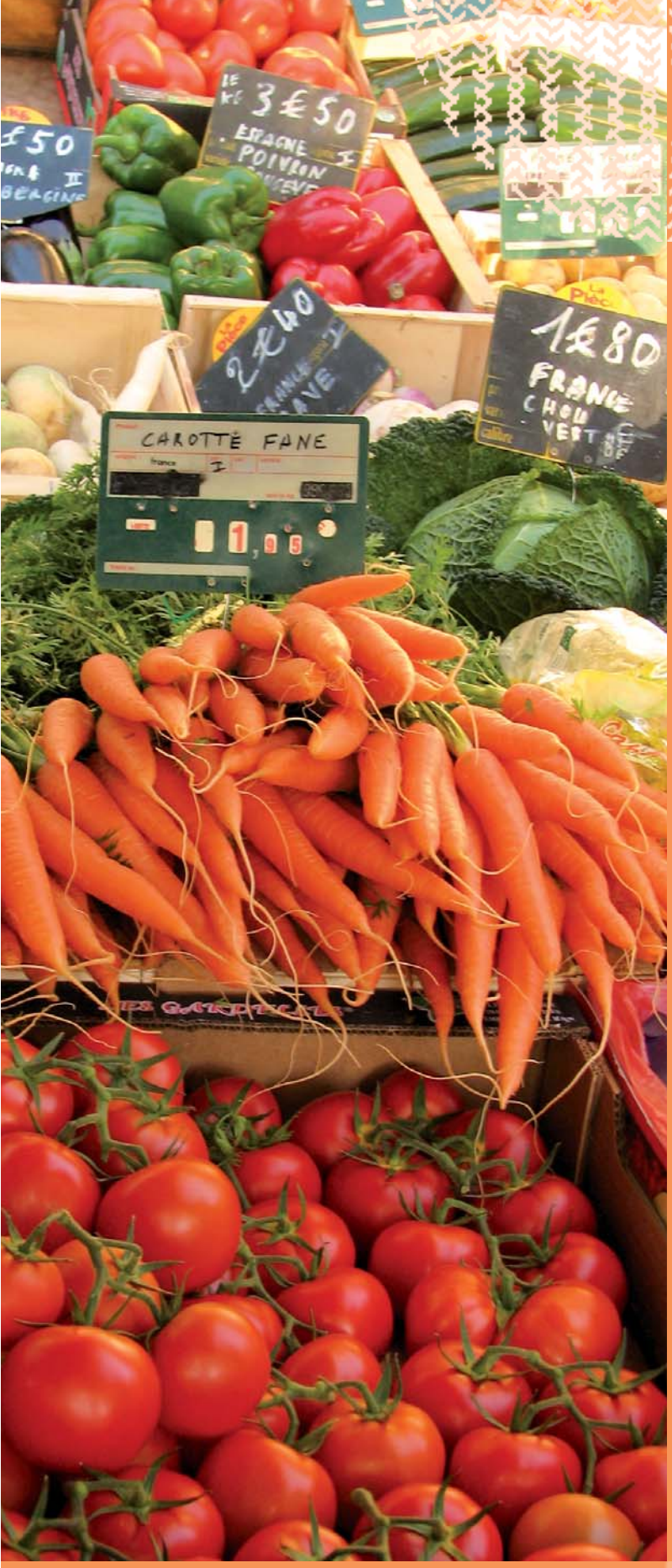



# Les fruits et légumes dans l'alimentation

## Enjeux et déterminants de la consommation

**Expertise scientifique collective**

Rapport d'expertise réalisé par l'INRA
à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Novembre 2007

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

Expertise scientifique collective INRA

# Les fruits et légumes dans l'alimentation

## Enjeux et déterminants de la consommation

**Rapport d'expertise**

Pierre Combris, Marie-Jo Amiot-Carlin, France Caillavet, Mathilde Causse, Jean Dallongeville, Martine Padilla, Catherine Renard, Louis-Georges Soler (éditeurs)

Novembre 2007

**Directrice de la publication :**
Claire Sabbagh, INRA, Unité Expertise scientifique collective

Coordination éditoriale :
Isabelle Savini, INRA, Unité Expertise scientifique collective

**Contacts :**
Pierre Combris : *combris@ivry.inra.fr* ; Claire Sabbagh : *sabbagh@paris.inra.fr*

Le rapport d'expertise est élaboré par les experts scientifiques sans condition d'approbation préalable par les commanditaires ou l'INRA.

# Avant propos

La consommation de fruits et légumes est considérée par de nombreuses instances comme un enjeu de santé publique et fait l'objet de recommandations nutritionnelles au niveau mondial par la FAO et l'OMS. En France, la recommandation incluse dans le Programme national nutrition santé lancé par les pouvoirs publics, de "manger 5 fruits et légumes par jour" est bien connue, mais encore peu suivie par les consommateurs. Lorsque cette campagne a été lancée, 60% des Français consommaient moins d'une portion et demie de fruits et moins de 2 portions de légumes par jour. Bien que les consommateurs reconnaissent l'intérêt d'une consommation accrue de fruits et légumes, leur consommation n'évolue que très peu, et reste caractérisée par de fortes inégalités dans la population.

Dans le même temps, le marché des fruits et légumes représente un enjeu économique pour les producteurs nationaux. La filière des fruits et légumes exerce ses activités dans un contexte commercial international et européen qui génère une concurrence accrue sur les prix. Cette situation est de plus en plus stigmatisée par les opérateurs, qui voient là une des causes principales de leurs difficultés. L'effet de crises récurrentes est ressenti d'autant plus violemment que les contraintes réglementaires et les règles de l'organisation commune de marchés limitent les possibilités d'intervention de l'Etat.

C'est dans ce contexte que le Ministère de l'agriculture et de la pêche (MAP) a commandé à l'INRA une expertise scientifique collective pour faire l'état des lieux des connaissances scientifiques disponibles concernant les enjeux de santé liés à un accroissement de la place des fruits et légumes dans l'alimentation, les facteurs susceptibles de favoriser la consommation et l'impact sur la filière. L'objectif est d'éclairer les pouvoirs publics, et le MAP en particulier, sur les actions à mener, aussi bien du côté de l'offre qu'auprès des consommateurs, pour répondre au double objectif de soutien économique aux filières de production et de protection de la santé publique.

Le champ retenu pour l'ESCo identifiait les principales questions suivantes : les fondements scientifiques des recommandations nutritionnelles (bénéfices et risques éventuels pour la santé) ; la variabilité des caractéristiques nutritionnelles des F&L liée aux facteurs génétiques, aux conditions de culture, aux traitements post-récolte et aux transformations industrielles et culinaires ; la variabilité de la consommation et ses déterminants socio-économiques ; l'impact des politiques de promotion de la consommation de F&L ; les liens entre les caractéristiques des produits et le fonctionnement des filières. Conformément à la définition de l'exercice, l'ESCo ne peut traiter ces questions que dans la mesure où elles ont fait l'objet de recherches et de publications scientifiques.

Pour réaliser cette ESCo, l'INRA a mobilisé un groupe d'une vingtaine d'experts, représentant un large éventail de disciplines (épidémiologie, toxicologie, nutrition, agronomie, génétique et amélioration des plantes, technologie de la transformation, économie, sociologie, marketing) et d'origines institutionnelles diverses (INRA, Institut Pasteur de Lille, INSERM, AgroParisTech, CIHEAM/IAM, INH, ENSAT).

## Auteurs et éditeurs de l'expertise

### ▶ Experts

#### Responsable de la coordination scientifique

Pierre COMBRIS, DR*, INRA-SAE2° Ivry-sur-Seine : Economie de la consommation

#### Contributeurs

**Marie-Jo AMIOT-CARLIN****, DR, INRA-AH Marseille : Nutrition, vitamines et microconstituants alimentaires
Pascale BARBERGER-GATEAU, MCU-PH, INSERM Bordeaux : Epidémiologie, maladies neurodégénératives
**France CAILLAVET**, DR, INRA-SAE2 Ivry-sur-Seine : Micro-économie de la consommation, alimentation et pauvreté
**Mathilde CAUSSE**, DR, INRA-GAP Avignon : Génétique et amélioration des fruits et légumes
Christian CHERVIN, Pr, ENSA Toulouse : Génomique et biotechnologie des fruits
Emmanuelle CHEVASSUS-LOZZA, DR, INRA-SAE2 Nantes : Economie des échanges agricoles internationaux
Jean-Marie CODRON, DR, INRA-SAE2 Montpellier : Economie institutionnelle, filière, grande distribution, qualité et sécurité des produits
**Pierre COMBRIS**, DR, INRA-SAE2 Ivry-sur-Seine : Economie de la consommation
**Jean DALLONGEVILLE**, DR, Institut Pasteur de Lille, INSERM : Epidémiologie, maladies cardiovasculaires
Luc DAUCHET, AH, CHU de Rouen, INSERM : Epidémiologie, maladies cardiovasculaires, cancer
Cécile DELCOURT, CR, INSERM Bordeaux : Epidémiologie, nutrition et maladies oculaires
Christian DEMIGNÉ, DR, INRA-AH Clermont-Ferrand : Alimentation, squelette et métabolismes
Françoise DOSBA, Pr, SupAgro, INRA-GAP Montpellier : Génétique, résistance aux parasites, arboriculture fruitière, filières F&L
Christophe DUPONT, PU-PH, Université Paris Descartes - APHP Paris : Allergies alimentaires
Patricia GURVIEZ, MC, AgroParisTech SESG Massy : Comportement du consommateur, marketing
Paule LATINO-MARTEL, DR, INRA-AH Jouy-en-Josas : Nutrition et cancers : épidémiologie nutritionnelle et mécanismes
Jean-Claude MAUGET, Pr, INH Angers : Agronomie, écophysiologie, arboriculture fruitière
Sophie NICKLAUS, CR, INRA-AH Dijon : Comportement du consommateur, perceptions sensorielles
**Martine PADILLA**, DR, CIHEAM/IAM Montpellier : Comportements alimentaires, politiques alimentaires au niveau international
**Catherine RENARD**, DR, INRA-CEPIA Avignon : Qualité, conservation et transformation des F&L
Vincent REQUILLART, DR, INRA-SAE2 Toulouse : Economie industrielle, politique agricole et analyses de filières
Claudie ROY, IC, INRA-AgroParisTech Paris : Risque alimentaire, pesticides
**Louis-Georges SOLER**, DR, INRA-SAE2 Ivry-sur-Seine : Economie industrielle, qualité et sécurité des produits
Philippe VERGER, DR, AgroParisTech Paris : Risque alimentaire, pesticides, nitrates
Jean-Luc VOLATIER, AFSSA Maisons-Alfort : Biostatistique, méthodologie des enquêtes de consommation alimentaire

* AH : Assistant des hôpitaux ; AI : Assistant ingénieur ; CR : Chargé de recherche ; DR : Directeur de recherche ; IC : Ingénieur contractuel ; IE : Ingénieur d'étude ; IR : Ingénieur de recherche ; MC : Maître de conférences ; MCU : Maître de conférences des Universités PH : Praticien hospitalier ; Pr : Professeur ; PU : Professeur des Universités.
° Départements de recherche INRA : AH : Alimentation humaine ; CEPIA : Caractérisation et élaboration des produits issus de l'agriculture ; GAP : Génétique et amélioration des plantes ; SAE2 : Sciences sociales, agriculture et alimentation, environnement et espace.
** En gras : experts coordinateurs de parties du rapport.

Cette liste n'intègre pas les chercheurs qui ont pu être sollicités (par l'un des experts ci-dessus) pour contribuer ponctuellement à la rédaction d'une section du rapport, mais n'ont pas participé au travail collectif. Ces chercheurs sont cités dans les contributions écrites auxquelles ils ont apporté leur concours.

### ▶ Unité Expertise scientifique collective (UESCo) de l'INRA

Claire SABBAGH, IR, INRA Paris : Direction de l'Unité, management de l'ESCo
Isabelle SAVINI, IE, INRA Paris : Rédaction et coordination éditoriale

Dominique FOURNIER, IR, INRA Montpellier : ingénierie documentaire
Armelle CHAMPENOIS, AI, INRA-SAE2, Ivry : documentation

## Sommaire


### La consommation des fruits et légumes : éléments de contexte

### 1. Consommation de fruits et légumes et santé

**1.1. Fruits et légumes et couverture des besoins nutritionnels**
1.1.1. Les caractéristiques nutritionnelles des fruits et légumes frais et transformés
1.1.2. Fruits et légumes et couverture des besoins nutritionnels
1.1.3. Conclusions

**1.2. Fruits et légumes et maladies cardiovasculaires**
1.2.1. Relation entre consommation de fruits et légumes et survenue de maladies cardiovasculaires dans les enquêtes prospectives
1.2.2. Essais d'intervention nutritionnelle
1.2.3. Relation avec les facteurs de risque
1.2.4. Rôle des vitamines
1.2.5. Conclusion

**1.3. Fruits et légumes et diabète**

**1.4. Fruits et légumes et cancers**
1.4.1. Synthèse des résultats des études épidémiologiques d'observation
1.4.2. Essais de prévention nutritionnelle
1.4.3. Mécanismes plausibles
1.4.4. Effets propres des fruits & légumes : analyse critique et pistes de recherche
1.4.5. Effet indirect des F&L sur le risque de cancer, via leur effet sur le surpoids et l'obésité
1.4.6. Eclairage donné par le récent rapport WCRF/AICR 2007
1.4.7. Conclusion générale

**1.5. Fruits et légumes, maladies neuro-dégénératives et bien-être**
1.5.1. Maladie d'Alzheimer et autres démences
1.5.2. Maladie de Parkinson
1.5.3. Bien-être, dépression, santé mentale

**1.6. Fruits et légumes et maladies oculaires**
1.6.1. Données épidémiologiques
1.6.2. Mécanismes d'action potentiels des constituants des fruits et légumes dans les maladies oculaires dégénératives

**1.7. Fruits et légumes, intérêt pour la santé osseuse**
1.7.1. Nutriments susceptibles d'être impliqués dans l'impact des fruits et légumes sur le métabolisme osseux
1.7.2. Etudes épidémiologiques sur les relations possibles entre consommation de fruits et légumes et statut osseux
1.7.3. Conclusions

**1.8. Les intolérances aux fruits et légumes**
1.8.1. Allergies aux fruits et légumes
1.8.2. Troubles fonctionnels digestifs

**1.9. Exposition aux pesticides liée à la consommation de fruits et légumes**
1.9.1. Contexte
1.9.2. Eléments de méthodologie sur l'évaluation du risque
1.9.3. Evaluation de l'exposition aux pesticides *via* la consommation de fruits et légumes
1.9.4. Que manque-t-il, que faut-il améliorer pour répondre à la question ?

**1.10. Exposition aux nitrates liée à la consommation de fruits et légumes**
1.11.1. Effets nocifs des nitrates et nitrites
1.11.2. Exposition *via* la consommation de fruits et légumes
1.11.3. Conclusions

**1.11. Conclusions : bilan de l'intérêt de la consommation de F&L**

**Références bibliographiques**

## 2. Les sources de variabilité des qualités nutritionnelles des fruits et légumes

**2.1. Les sources de variation biologiques d'ordre physiologique et génétique**
2.1.1. Variations physiologiques
2.1.2. Variabilité génétique de la qualité nutritionnelle des fruits et légumes
2.1.3. Eléments de conclusions

**2.2. Les sources de variations biologiques d'ordre agronomique et environnemental**
2.2.1. Effets des facteurs de l'environnement
2.2.2. Effets des techniques culturales
2.2.3. Effets des modes de culture et des modes de production
2.2.4. Résidus de pesticides
2.2.5. Eléments de conclusion

**2.3. Variations dues à la transformation et la conservation**
2.3.1. La conservation du végétal vivant – Première et quatrième gammes
2.3.2. Epluchage
2.3.3. Impact des traitements thermiques – Deuxième et cinquième gamme
2.3.4. La conservation par le froid - Troisième gamme
2.3.5. Jus et produits liquides
2.3.6. Déshydratation
2.3.7. Procédés innovants
2.3.8. Eléments de conclusion

**Références bibliographiques**

## 3. Les déterminants de la consommation, les obstacles et les interventions

**3.1. Les déterminants socio-économiques de la consommation de fruits et légumes**
3.1.1. Les caractéristiques sociodémographiques
3.1.2. Les facteurs économiques
3.1.3. Conclusions

**3.2. Facteurs sensoriels de l'acceptabilité des fruits et légumes**
3.2.1. Les caractéristiques sensorielles susceptibles d'influencer l'acceptabilité
3.2.2. Les facteurs d'acceptabilité des F&L liés à l'âge des consommateurs
3.2.3. Facteurs sensoriels et segmentation des consommateurs

**3.3. Perceptions et attitudes : la valeur des fruits et légumes du point de vue des consommateurs**
3.3.1. Revue de la littérature : L'influence des variables perceptuelles et psychologiques individuelles dans l'achat et la consommation des fruits et légumes
3.3.2. L'apport du concept de valeur de consommation à une meilleure compréhension de la consommation des fruits et légumes
3.3.3. Conclusion et propositions de recherches futures

**3.4. Les interventions et leur évaluation**
3.4.1. Les interventions portant sur l'individu, ses préférences, ses motivations
3.4.2. Les interventions portant sur l'environnement du consommateur
3.4.3. Les interventions combinées
3.4.4. La question de l'évaluation des politiques
3.4.5. Conclusions

**Références bibliographiques**

## 4. Les filières des fruits et légumes entre enjeux économiques et de santé publique

**4.1. Coûts de production, gains de productivité et prix des fruits et légumes**
4.1.1. Les gains de productivité dans les filières F&L
4.1.2. La formation des prix des fruits et légumes frais
4.1.3. Les prix des F&L transformés

**4.2. Variété, qualité et segmentation du marché des fruits et légumes : déterminants et impacts économiques**

**4.3. Interventions publiques et privées pour la sécurité sanitaire des fruits et légumes**
4.3.1. Démarches obligatoires *vs* volontaires, individuelles *vs* collectives
4.3.2. Modalités et déterminants de la régulation
4.3.3. Impacts et efficacité des dispositifs de régulation
4.3.4. L'évaluation des politiques publiques

**4.4. Le rôle de la politique commerciale européenne sur les échanges et les prix des fruits et légumes**
4.4.1. Les importations européennes et françaises de fruits et légumes : le poids des échanges intra-communautaires
4.4.2. La protection tarifaire du marché européen : un système complexe et très spécifique
4.4.3. Quelle incidence du système de prix d'entrée sur les prix d'importation ?
4.4.4. Quelle incidence des accords préférentiels sur les échanges ?
4.4.5. Quelle incidence potentielle d'une plus grande libéralisation du marché européen ?

**4.5. Conclusion : quelles politiques publiques et privées pour un accroissement significatif de la consommation de F&L ?**
4.5.1. Quelle est l'ampleur des enjeux pour les filières fruits et légumes ?
4.5.2. Une croissance de la consommation par l'augmentation de la demande ?
4.5.3. Une croissance de la consommation par une modification de l'offre de fruits et légumes ?
4.5.4. Faire évoluer la segmentation du marché ?
4.5.5. Conclusion

**Références bibliographiques**

## 5. Conclusions générales

# La consommation des fruits et légumes : éléments de contexte

Pierre Combris, Jean-Luc Volatier

L'objet de ce chapitre introductif est de fournir quelques éléments de cadrage sur l'évolution de la consommation des fruits et légumes en France et dans les pays développés. A la différence des autres chapitres, celui-ci ne s'appuie pas uniquement sur une revue de la littérature scientifique, mais également sur des données descriptives tirées des statistiques nationales et des enquêtes publiques ou privées représentatives. Ces données sont publiées sous forme de rapports ou d'ouvrages. Elles sont de plus en plus disponibles sur des sites Internet ; c'est le cas des données de l'INSEE et de la FAO par exemple.

Après un rappel des méthodologies de recueil et d'élaboration des données primaires, permettant de mieux comprendre la grande variabilité des évaluations de la consommation, l'évolution des quantités consommées depuis le début des années 1960 est présentée, ainsi que l'évolution des prix des fruits et légumes à la consommation par rapport à l'ensemble des prix alimentaires. Les variations des achats totaux de fruits et légumes en fonction des caractéristiques socio-démographiques des ménages sont examinées. Pour terminer des éléments de comparaison avec les situations prévalant dans d'autres pays développés sont rapidement évoqués.

## 1. Les sources : comment connaît-on la consommation ?

Il existe trois types de sources de données permettant d'évaluer la consommation alimentaire : les bilans alimentaires, les données d'approvisionnement des ménages, et les enquêtes alimentaires individuelles. La plupart des pays ont recours à ces trois types de source simultanément

### Les bilans alimentaires

Les bilans alimentaires, ou bilans d'approvisionnement ("Food Balance Sheet", "Food Supply" ou "Food Disappearance Data"), estiment les quantités des principales denrées alimentaires disponibles pour la consommation humaine. Pour chaque groupe de denrées, les disponibilités sont calculées en faisant le bilan de la production nationale, des importations et des exportations, des variations de stocks, et des usages non alimentaires. Les quantités disponibles sont divisées par la population totale et fournissent ainsi une approximation de la consommation par personne. Cette consommation, dite "apparente", excède évidemment la consommation effective, puis qu'elle ne tient pas totalement compte des pertes tout au long de la chaîne de transformation et de distribution, ni des usages domestiques. En France, les bilans d'approvisionnement sont élaborés par le Ministère chargé de l'agriculture. Ils servent de base aux calculs de la FAO qui établit des bilans alimentaires annuels pour l'ensemble des pays du monde (FAO, 2001). Ces données servent également à l'élaboration de la Comptabilité Nationale, qui fournit des estimations des quantités mises en marché des principaux produits alimentaires (INSEE, 2007), et qui construit des séries de consommation en valeur et en volume, ainsi que des indices d'évolution des prix (INSEE, 2006).

### Les approvisionnements des ménages

Les approvisionnements des ménages (achats et parfois autoconsommation), sont connus grâce aux enquêtes périodiques sur les budgets des ménages ("Household Budget Survey" ou "Household Expenditure Survey"), qui permettent d'estimer les dépenses, et, pour certaines, les quantités achetées, à partir de relevés effectués au niveau du ménage, pendant une durée variable selon les enquêtes. En France, l'enquête Budget de Famille de l'INSEE (Cérani, Camus, 2004) observe les dépenses courantes pendant 14 jours consécutifs. Ces enquêtes évaluent les dépenses alimentaires individuelles hors du domicile, mais rarement les quantités correspondantes. Les panels de consommateurs (TNS "Worldpanel", ACNielsen "Homescan") recueillent également des données sur les achats alimentaires des ménages à partir de l'enregistrement des codes barres des produits entrant dans le foyer. Des

procédures spécifiques permettent l'enregistrement des produits sans code barres (une grande partie des fruits et légumes frais). Les relevés d'achats sont détaillés (désignation des produits, quantités, prix et lieu d'achat) et réalisés en continu tout au long de l'année. L'autoconsommation et la consommation hors du domicile ne sont pas couvertes.

**Les enquêtes alimentaires individuelles**

Les enquêtes alimentaires individuelles ("Individual Dietary Survey") ont à la fois des objectifs de santé publique, qu'il s'agisse d'estimation ou de prévention des risques nutritionnels ou sanitaires, et des objectifs généraux de compréhension des comportements des consommateurs. Par rapport aux enquêtes d'achat, leur atout majeur est de prendre en compte l'ensemble des prises alimentaires individuelles quelle que soit l'origine des aliments consommés et les circonstances de consommation (moment, lieu…). La précision des données dépend de la méthode utilisée (fréquence de consommation, semainier, rappel des 24h, pesée…). En France, plusieurs de ces enquêtes sont effectuées sur des échantillons nationaux représentatifs, comme par exemple l'enquête ASPCC 1993-94 (Rigaud *et al*, 1997), le Baromètre santé nutrition 2002 (Guilbert, Perrin-Escalon, 2004), l'enquête INCA 1998-99 (Volatier, 2000), et l'enquête CCAF 2004 (Hebel, 2007).

**La comparabilité des sources**

Le tableau 1 synthétise les caractéristiques des principales sources primaires disponibles en France, en se limitant aux données nationales globales et aux enquêtes réalisées sur des échantillons nationaux représentatifs de la population. La diversité des champs pris en compte, des concepts et des méthodes de recueil explique que les données issues des différentes sources fournissent des estimations très différentes de la consommation. Cette situation est commune à toutes les évaluations de la consommation de produits alimentaires. Dans le cas des fruits et légumes, s'y ajoutent des difficultés supplémentaires liées à l'importance de l'autoconsommation, aux fluctuations de l'offre, et du côté de la consommation, à la présences des fruits et légumes dans beaucoup de préparations et de recettes, ce qui rend leur identification moins facile dans les enquêtes.

Une étude internationale (Serra-Majem et al, 2003) confirme que les données recueillies par les enquêtes sur les achats et par les enquêtes individuelles sont en moyenne inférieures à celles qui sont issues des bilans alimentaires. Les consommations individuelles moyennes observées par les enquêtes nutritionnelles sont du même ordre de grandeur que les évaluations faites à partir des enquêtes d'achats, sauf pour les légumes dont les consommations sont plus faibles dans les enquêtes sur les budgets des ménages. Ces écarts découlent directement des méthodologies de recueil et de constitution des données. Il importe donc d'en tenir compte lorsque l'on analyse des données provenant de sources différentes. Une étude spécifique sur la consommation des fruits et légumes en France (Decloître et Volatier, 2000) souligne les difficultés d'évaluation et l'ampleur des écarts entre les valeurs les plus fortes et les plus faibles selon la source dont elles sont issues. Au niveau international, les difficultés d'évaluation de la consommation effective des fruits et légumes ne sont pas moindres (Pomerleau et al., 2004).

La comparabilité des niveaux de consommation selon les sources et selon les études, en particulier au niveau international, soulève également des difficultés liées à des différences dans les produits pris en compte dans la définition du groupe des fruits et légumes. Si les pommes de terre n'en font généralement pas partie, et ont, de fait, été exclues du périmètre de l'expertise[1], d'autres produits, en particulier transformés, soulèvent des problèmes de classification. Les conserves de légumes et les surgelés sont toujours inclus dans la catégorie des fruits et légumes, mais d'autres produits, comme les jus de fruits, les compotes ou les soupes, ne sont pas classés avec les fruits et légumes dans toutes les enquêtes. Enfin, la consommation croissante de produits élaborés, et en particulier de plats préparés dans lesquels les fruits et légumes sont des ingrédients, complique l'évaluation précise de la consommation.

[1] Les recommandations de la FAO et de l'OMS excluent explicitement les pommes de terre du groupe des fruits et légumes, de même que beaucoup de programmes "5 fruits et légumes par jour" (mais pas ceux des Etats-Unis et de Nouvelle Zélande par exemple). Dans l'expertise, les pommes de terre sont toujours exclues, mais certains produits féculents (légumineuses en particulier) n'ont pas pu être systématiquement distingués au sein de l'ensemble des fruits et légumes.

**Tableau 1.** Les principales sources statistiques sur la consommation de fruits et légumes en France (1)

| Source | FAO Bilans Alimentaires | INSEE Comptabilité Nationale | INSEE Budget de Famille | TNS Worldpanel | INCA 1 | CREDOC CCAF | INPES Baromètre Santé Nutrition |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nature | Bilans | Bilans | Achats | Achats | Consommation | Consommation | Consommation |
| Populations de référence | Ménages Institutions | Ménages Institutions | Ménages | Ménages | Individus | Individus | Individus |
| Echantillon | - | - | 10305 ménages | En 2005 : 2869 ménages (FL frais) 7422 ménages (FL transformés) | 1985 adultes 15-75 ans<br>1018 enfants 3-14 ans | 1361 adultes 15-75 ans<br>1090 enfants 3-14 ans | 3153 individus 12-75 ans |
| Champ couvert | Domicile (achats, auto-consommation) Hors domicile | Domicile (achats, auto-consommation) Hors domicile | Domicile (achats) | Domicile (achats) | Domicile (achats, auto-consommation) Hors domicile | Domicile (achats, auto-consommation) Hors domicile | Domicile (achats, auto-consommation) Hors domicile |
| Méthode de recueil | - | - | Carnet d'achats (14 jours) | Relevé électronique quotidien | Carnet de consommation (7 jours) | Carnet de consommation (7 jours) | Rappel 24h Fréquences 15 jours |
| Unité de mesure | Equivalents primaires | Quantités mises en marchés Consommation en volume | Dépenses | Dépenses Quantités | Fréquences Quantités consommées | Fréquences Quantités consommées | Fréquences de consommation |
| Périodicité (dernières données disponibles) | Annuelle (2005) | Annuelle (Quantités : 2004 Volumes : 2005) | Quinquennale (2000-0101) | Enquête permanente | Variable (1998-1999) | Variable (2002-2003) | Variable (2002) |
| Consommation de F&L g/personne/jour (2) | 630 | 600 | - | 270-300 | 350 | 320 | - |

(1) Seules les sources portant sur des échantillons nationaux représentatifs ont été retenues dans ce tableau de synthèse.
(2) Il s'agit d'ordres de grandeur évalués pour les adultes seulement à partir des différentes données accessibles pour chaque source. Outre les différences de champ indiquées dans le tableau, les produits pris en compte dans les données publiées varient fortement selon les sources. Les bilans FAO et INSEE incluent l'ensemble des fruits et légumes frais et transformés y compris les jus de fruits. L'estimation réalisée à partir des données TNS Worldpanel, exclut tous les légumes féculents et les jus de fruits. Les estimations à partir d'INCA et de CCAF excluent également les jus de fruits. Un calcul précis à partir des données élémentaires des différentes sources permettrait d'affiner ces estimations.

## 2. Le niveau et l'évolution de la consommation

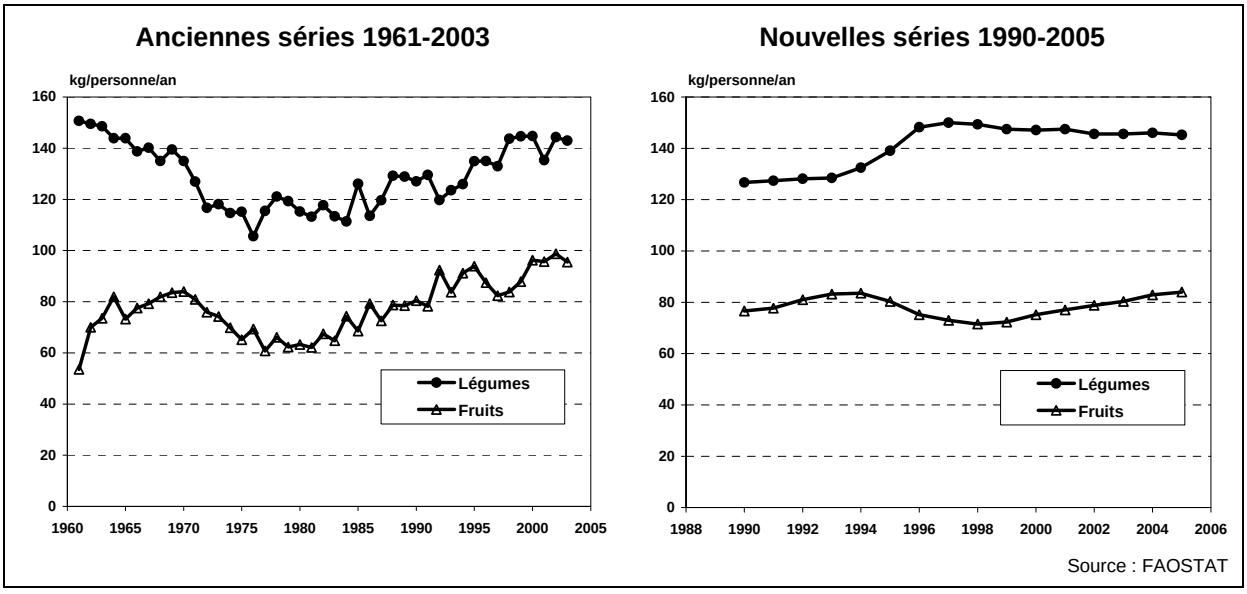
D'après les données des bilans alimentaires établis par la FAO, les disponibilités totales en France, en 2005, atteignaient 145 kg par personne pour les légumes et 84 kg pour les fruits, soit une consommation apparente totale de l'ordre de 630 g par personne et par jour. Rappelons que cette estimation correspond à l'ensemble des utilisations de fruits et légumes sur le territoire national, quelles que soient les formes et les lieux de consommation (frais, transformé, à domicile, au restaurant, dans les institutions…). L'évaluation intègre tous les fruits et légumes transformés (conserves, surgelés, soupes, jus de fruits, compotes, confiture...), qui sont convertis en "équivalents primaires"[2]. Ce mode de calcul permet de tenir compte de l'ensemble des formes de consommation y compris celles dans lesquelles les fruits et légumes ne sont pas toujours l'ingrédient dominant (plats

[2] Le raisin a été exclu des statistiques présentées ici, les données ne permettant pas de distinguer le raisin vinifié du raisin de table.

préparés, pizza, desserts lactés…). En revanche, ces disponibilités incluent des quantités qui sont perdues aux divers stades de la transformation, de la distribution et de la préparation finale des aliments. Elles surestiment donc les quantités effectivement ingérées par les consommateurs. Une étude réalisée sur les disponibilités alimentaires aux USA (Kantor et al., 1997) estime le montant des pertes à 32% pour les fruits et légumes frais et 16% pour les fruits et légumes transformés.

Les données issues des bilans d'approvisionnement présentent l'intérêt d'être disponibles sur de longues périodes et dans tous les pays du monde. La figure 1 montre l'évolution des disponibilités par personne en France depuis 1961 pour l'ensemble des fruits et des légumes (hors pommes de terre et féculents). Selon ces données, les disponibilités totales apparaissent régulièrement croissantes depuis la fin des années soixante-dix. Les nouvelles séries, établies avec une méthodologie améliorée, qui couvrent la période 1990-2005, montrent que, depuis le début des années 2000, la consommation apparente totale de légumes est stable, et que celle des fruits augmente légèrement.

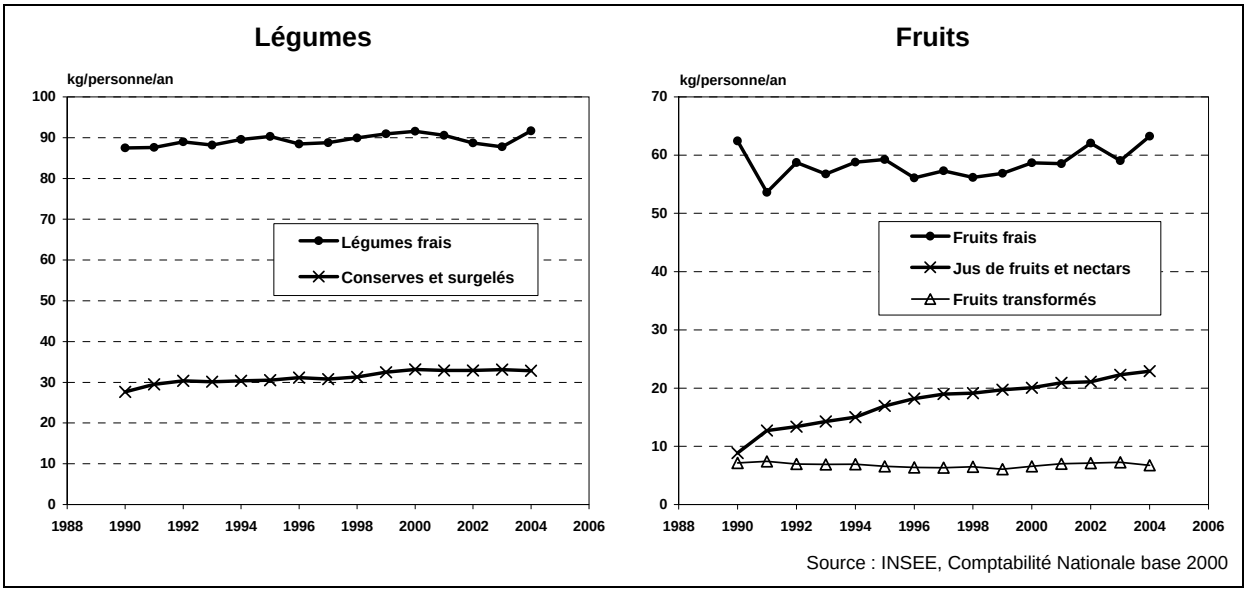
**Figure 1.** Evolution de la consommation apparente de fruits et légumes en France d'après les bilans alimentaires de la FAO




Les données issues de la Comptabilité Nationale permettent de compléter ces observations. La figure 2 confirme la faible croissance de la consommation apparente des légumes, qui concerne essentiellement les conserves et le surgelé. Du côté des fruits, ce sont aussi les produits transformés, et en particulier les jus de fruits, qui expliquent l'augmentation de la consommation apparente depuis le début des années quatre-vingt dix. En 2004, les données des Comptes Nationaux estiment la consommation totale de légumes à 125 kg (92 kg pour les légumes frais et 33 kg pour les conserves et le surgelé), et la consommation de fruits à 63 kg pour les fruits frais, 7 kg pour les fruits transformés et 23 litres pour les jus de fruits et les nectars. Ces données sont de même nature que celles issues de bilans alimentaires de la FAO. Elles concernent l'ensemble de la consommation sur le territoire national (à domicile, hors domicile et dans les institutions, et elle incluent une estimation de l'autoconsommation des produits des exploitations agricoles et des jardins familiaux). Contrairement aux données de la FAO, elles ne sont pas estimées en termes d'équivalents primaires, mais en termes de quantités mises en marché. Les pertes lors de la transformation sont donc exclues[3], mais pas celles qui interviennent lors de la distribution, du stockage et de la préparation domestique.

[3] Dans certains cas la transformation peut entraîner des ajouts (l'eau et le sucre dans les nectars par exemple).

**Figure 2.** Evolution de la consommation apparente de fruits et légumes d'après la Comptabilité Nationale

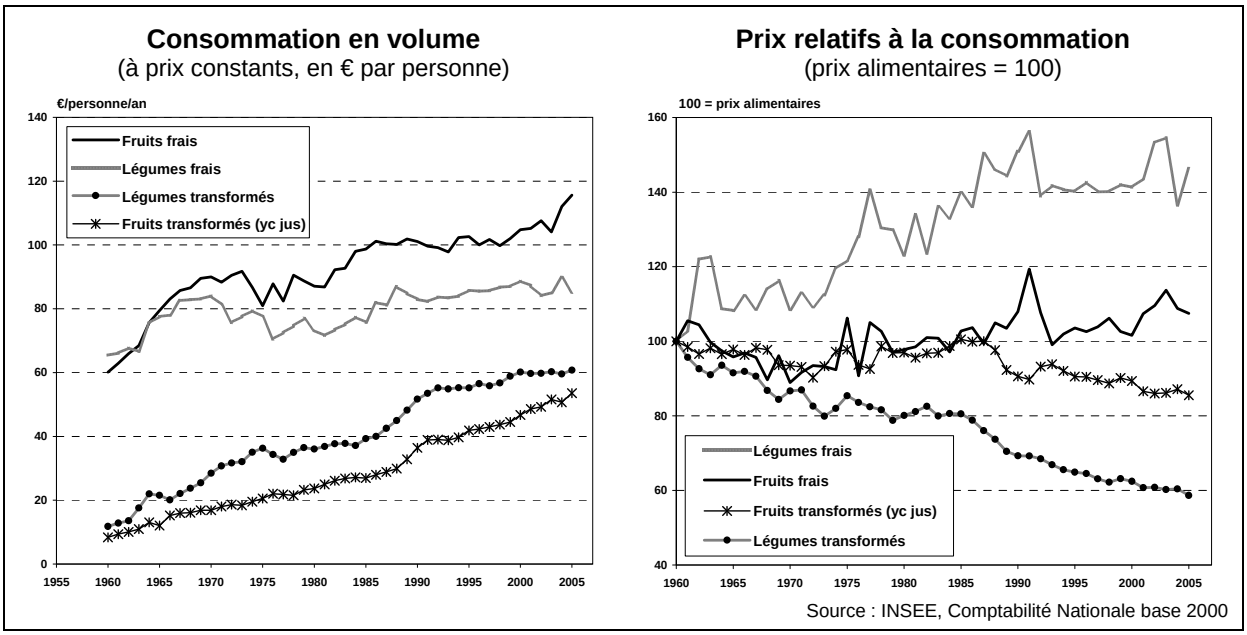



Les évolutions en volume confirment cette croissance plus marquée des légumes et des fruits transformés (Figure 3). Ces séries ne portent que sur la consommation à domicile des ménages dits "ordinaires", la consommation hors domicile et dans les institutions étant évaluées dans des postes spécifiques puisqu'ils correspondent à des activités économiques distinctes. Contrairement aux séries en quantités, les séries en volume de la Comptabilité Nationale tiennent compte des prix des produits. Pour chaque groupe de produits, les volumes sont calculés en multipliant les quantités d'une année par les prix de l'année précédente, on peut ainsi calculer les évolutions en effaçant les effets des hausses ou des baisses de prix, mais en pondérant chaque produit, ou chaque groupe de produits, par son prix. La croissance plus nette des séries en volume par rapport aux séries en quantités signifie qu'au sein de chaque poste, les variétés d'un prix moyen plus élevé se sont développées davantage que les variétés moins chères, c'est l'effet "qualité"[4]. Cette évolution traduit le fait que le panier de fruits et légumes a beaucoup changé depuis le début des années soixante, qu'il s'agisse des produits frais (nouvelles variétés, produits tropicaux et de contre-saison) ou des produits transformés (surgelés, légumes préparés, jus de fruits…).

La comparaison de l'évolution des prix et des volumes consommés montre que la croissance de la consommation est beaucoup plus forte pour les produits transformés dont les prix ont augmenté beaucoup moins vite que ceux des produits frais. De 1960 à 2005, les prix à la consommation des légumes frais ont augmenté de 40% de plus que l'ensemble des prix alimentaires, et les prix des légumes transformés ont baissé de 40% par rapport à la moyenne des prix alimentaires (Figure 3). Dans le cas des fruits, les écarts entre les produits frais et transformés est de moindre ampleur. Il n'apparaît qu'à la fin des années quatre-vingt, et résulte pour une large part de la baisse du prix des jus de fruits. Conjointement à l'évolution favorable des prix relatifs, l'évolution des modes de vie privilégiant l'économie de temps a fortement stimulé la demande de fruits et légumes transformés.

[4] L'effet qualité est totalement pris en compte dans les variations des volumes. L'évolution des prix est calculée à qualité constante. Lorsqu'une variété nouvelle est intégrée dans un poste seule la variation de prix et non le niveau du prix de la nouvelle variété affecte l'évolution de l'indice.

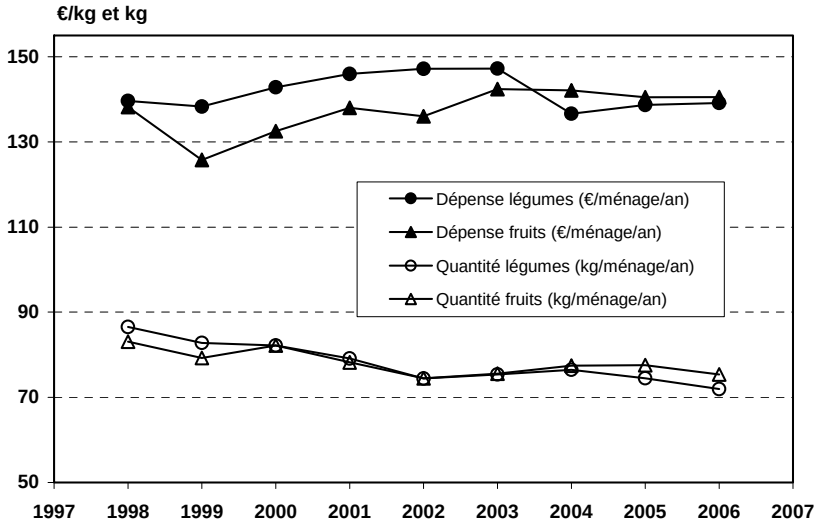
**Figure 3.** Evolution des volumes et des prix à la consommation des fruits et légumes de 1960 à 2005 (INSEE, Comptabilité Nationale, base 2000)




## 3. Tendances récentes de la consommation et recommandations

Depuis la fin des années quatre-vingt dix, les données des panels d'achats des ménages et des enquêtes alimentaires individuelles mettent en évidence une tendance à la baisse de la consommation. Les données recueillies par TNS Worldpanel et publiées par les organismes interprofessionnels montrent que, de 1998 à 2006, les achats de fruits et légumes frais des ménages pour la consommation à domicile ont baissé de façon régulière en quantité. Les dépenses correspondantes par ménage sont restées, elles, quasiment stables (Figure 4).

**Figure 4.** Evolution des achats de fruits et légumes frais des ménages de 1998 à 2006 (Ctifl, Interfel, Viniflhor, TNS Worldpanel)




L'évolution des quantités effectivement consommées par les individus à partir de l'enquête INCA 1 de 1998-99 et de l'enquête CCAF (Comportement et Consommation Alimentaire en France), réalisée en 2002-2003, conduites toutes les deux avec la même méthodologie, montre également une baisse de la consommation totale de fruits et légumes dans la population des adultes (Hebel, 2007).

L'ensemble des sources statistiques (disponibilités, panels d'achat, enquêtes de consommation) fournit donc des estimations un peu différentes : les panels et les enquêtes alimentaires montrent une baisse qui n'apparaît pas dans les données globales sur les disponibilités. Finalement, compte tenu des difficultés de mesure et des incertitudes sur la composition des produits élaborés, une hypothèse prudente consiste à considérer que les estimations de la consommation totale des fruits et légumes fluctuent autour d'une moyenne qui ne varie probablement pas beaucoup depuis la fin des années quatre-vingt dix.

Cette consommation reste, en tout cas, inférieure aux recommandations nutritionnelles (400 g/jour) pour une large fraction de la population. Les données de l'enquête INCA 1 indiquent qu'environ 60% des individus adultes ont une consommation inférieure à ce repère. Exprimée en fréquence de consommation ("5 fruits et légumes par jour"), la recommandation est suivie par une fraction encore plus faible de la population adulte (moins de 5% d'après l'enquête INCA 1, de l'ordre de 10% d'après le Baromètre Santé Nutrition ; cf. Encadré 1). Les différentes enquêtes font également ressortir des proportions élevées de petits consommateurs (moins de 3,5 portions par jour). Ces différentes observations, jointes au constat de la quasi-stationnarité de la consommation depuis la fin des années quatre-vingt dix, sont à l'origine des recommandations du deuxième Plan national nutrition santé relatives à la nécessité d'augmenter la consommation des fruits et légumes, et particulièrement celle des petits consommateurs.

**Encadré 1. Les repères de consommation : 400 g ou 5 portions par jour ?**

La mise en place aux Etats-Unis du programme "5 A Day for Better Health" par le NCI (National Cancer Institute) en 1991, à la suite du programme développé en Californie depuis 1988, a fait du repère de consommation "au moins 5 fruits et légumes par jour" un objectif de santé publique largement diffusé. La recommandation de consommer au moins 5 portions (servings) de fruits et légumes par jour est cependant beaucoup plus ancienne, puisqu'elle apparaît déjà dans le guide alimentaire de l'USDA (US Department of Agriculture) de 1916. Dans son rapport d'évaluation du programme "5 A Day for Better Health", le NCI reconnaît qu'à côté des justifications scientifiques, la commodité du repère a joué un rôle.

Parallèlement, dès 1990, les recommandations de l'OMS ont mis en avant le repère de 400 g par jour, comme minimum de consommation souhaitable. Ces deux repères aboutissent à une portion théorique de 80 g, peu contestable sur le plan arithmétique, mais ne correspondant pas toujours aux quantités effectivement ingérées par occasion de consommation. C'est en tout cas ce qui ressort de l'analyse des enquêtes de consommation françaises réalisée dans une étude commune de l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) et de l'INPES (Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé). Les portions effectives dépassent en général 80 g (130 à 170 g pour les adultes selon l'âge d'après l'enquête INCA 1), ce qui fait que la consommation est plus proche des recommandations lorsqu'elles sont mesurées en quantités que lorsqu'elles sont évaluées en portions ou en fréquences de consommation.

Le repère de consommation du Plan National Nutrition Santé 2, "au moins 5 fruits et légumes par jour", retient la fréquence de consommation dans ses recommandations, ainsi que dans son objectif de réduction du nombre de petits consommateurs (définis par une consommation inférieure à 3,5 portions par jour). Le dernier rapport conjoint de la FAO et de l'OMS sur la prévention des maladies chroniques (2003) formule ses recommandations uniquement en termes de quantités (au moins 400 g de fruits et légumes par jour). Le repère en fréquence facilite la diffusion des recommandations nutritionnelles, mais il ne faut pas perdre de vue que les deux repères correspondent à des estimations différentes de la prévalence de la sous-consommation dans la population française.

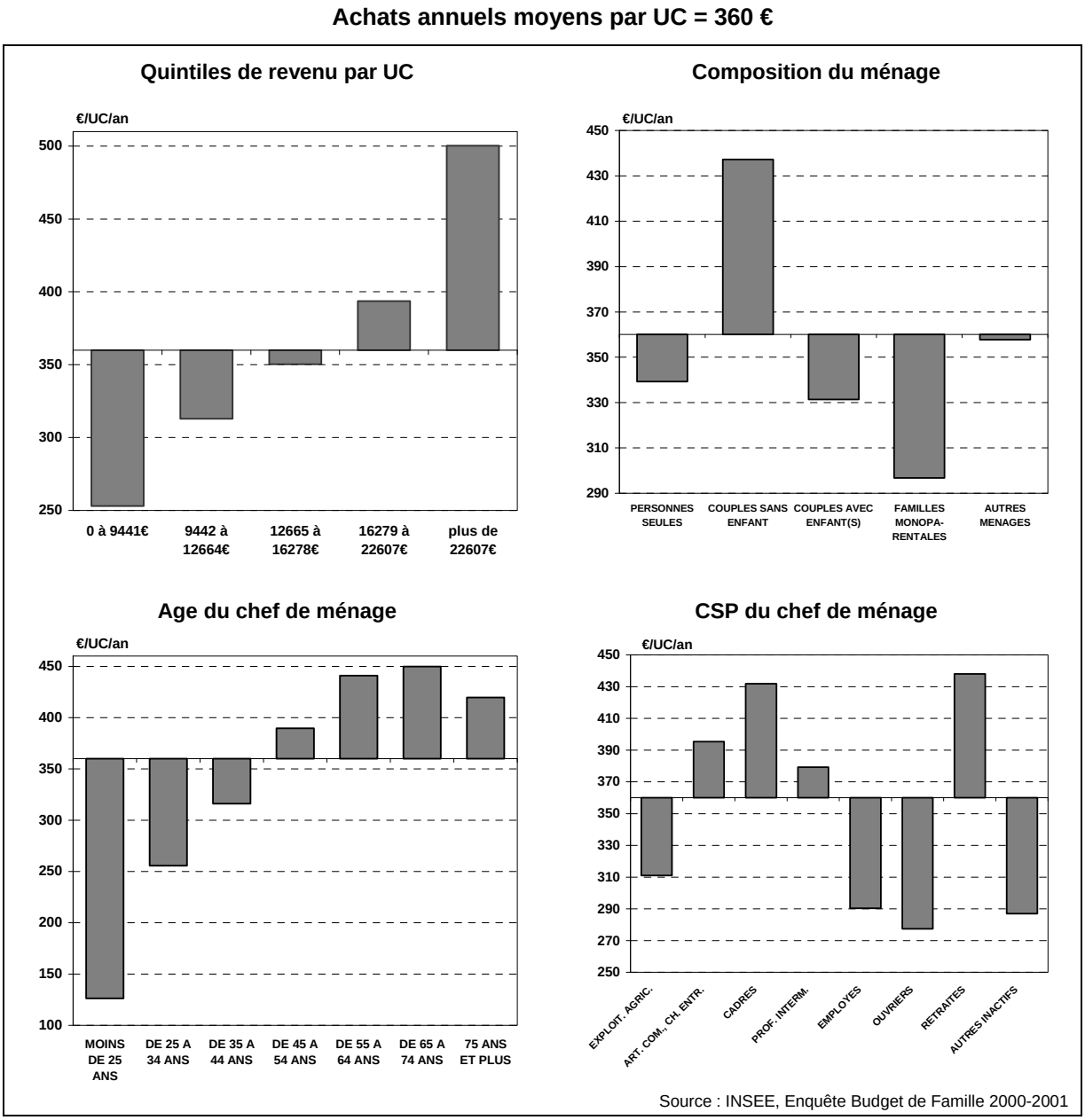
## 4. Les achats selon les caractéristiques socio-démographiques des ménages

Les données de l'enquête de l'INSEE sur les budgets des familles permettent de compléter l'analyse des tendances par des indications sur les différences de consommation au sein de la population. La figure 5 rassemble quelques indicateurs portant sur les écarts à la moyenne des achats annuels par

unité de consommation[5] de fruits et légumes sous toutes leurs formes (frais et transformés, jus de fruits inclus) en fonction des caractéristiques des ménages.

Le revenu et l'âge apparaissent, sur ces données, comme les principales sources de variation des achats globaux de fruits et légumes des ménages. La composition du ménage montre une consommation plus faible dans les ménages avec enfants, et en particulier dans les familles monoparentales. Les achats plus faibles des personnes seules masquent des différences importantes entre les hommes et les femmes (*cf.* chapitre 3). L'effet de la catégorie sociale apparaît clairement, et oppose en particulier les cadres aux employés et aux ouvriers. Les achats plus faibles des agriculteurs sont liés à l'autoconsommation, qui n'est pas prise en compte dans ces données. Les achats plus élevés des retraités sont à rapprocher de l'effet d'âge, les effets présentés ici n'étant pas corrigés des autres caractéristiques analysées.

**Figure 5.** Achats totaux de fruits et légumes selon les caractéristiques des ménages en 2001




[5] Le calcul des dépenses par unité de consommation, plutôt que par personne, permet de prendre en compte les économies d'échelle et les différences de consommation de la composition du ménage et de l'âge de ses membres (le premier adulte compte pour une UC, les autres personnes de 15 ans ou plus pour 0.5 et les enfants de moins de 15 an pour 0.3).

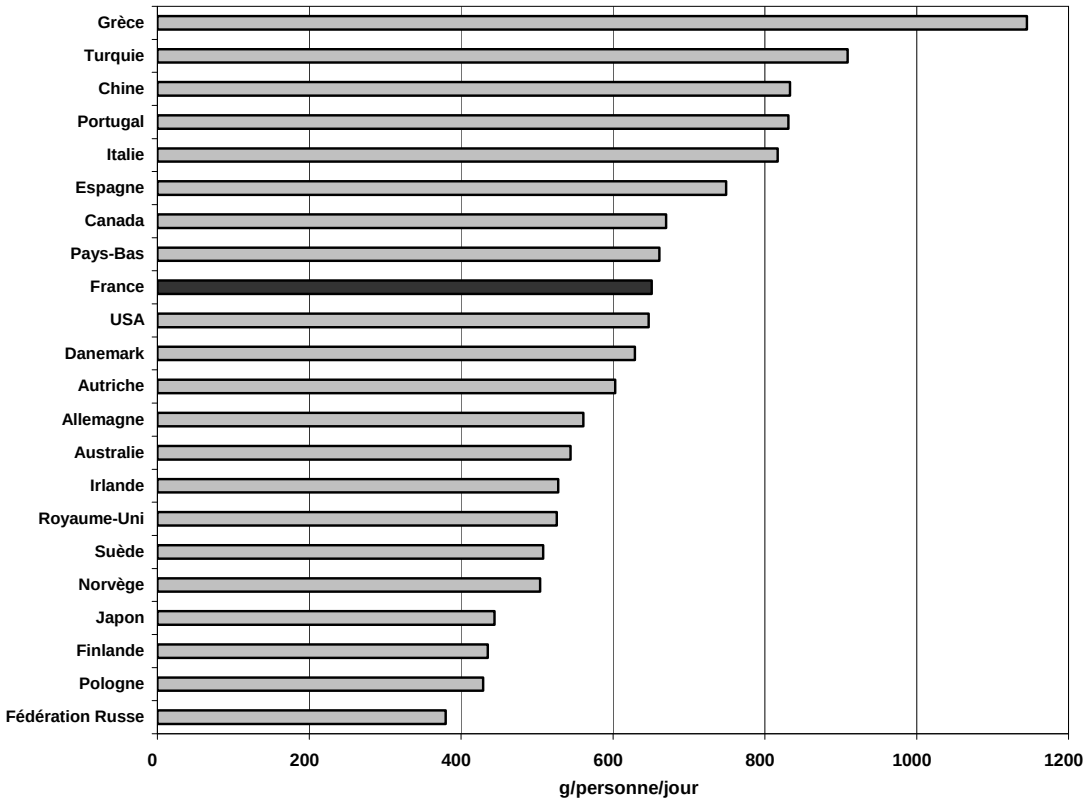
## 5. Comparaisons internationales

Il existe quelques publications de données d'enquête permettant de mettre en évidence des tendances de consommation de fruits et légumes au niveau international, mais les bilans alimentaires établis par la FAO restent la principale source d'information pour comparer les niveaux de consommation des différents pays du monde. La figure 6 rassemble les moyennes triennales 2001-2003 des consommations apparentes totales de fruits et légumes fournies par les bilans alimentaires de la FAO pour quelques pays développés ou en transition économique. On observe des écarts importants entre les pays forts consommateurs (pays de l'Europe du Sud, Turquie, Chine) et les pays faibles consommateurs (Europe du Nord et de l'Est, Japon). Dans l'ensemble retenu ici, la France occupe une position intermédiaire, où elle voisine avec le Canada, les Pays-Bas, les Etats-Unis et le Danemark.

Au niveau mondial, l'exploitation regroupée des données de consommation apparente de la FAO par le programme GEMS-FOOD Regional Diet de l'OMS montre une consommation moyenne de légumes (hors pommes de terre) plus forte dans le modèle européen (372 g/j) que dans les modèles moyen-oriental (233 g/j), asiatique (179 g/j), latino-américain (150 g/j) et africain (77 g/j). Pour les fruits, les consommations moyennes sont plus fortes dans le modèle latino-américain (271 g/j) que dans les modèles européen (212 g/j), moyen oriental (204 g/j) asiatique (85 g/j) et africain (95 g/j).

En Europe, l'étude EPIC dans 27 centres répartis dans 10 pays montre que la consommation de fruits et légumes est plus importante dans les pays méditerranéens et que la consommation la plus faible est enregistrée en Scandinavie et aux Pays-Bas pour les hommes comme pour les femmes (Agudo et al, 2002). Ce gradient Nord-Sud de la consommation de fruits et légumes en Europe est confirmé par l'étude DAFNE basée sur les achats des ménages (Naska et al., 2000).

**Figure 6.** Consommation apparente de fruits et légumes dans quelques pays développés, moyennes triennales 2001-2003 (Source : Bilans alimentaires FAO)




Consommations apparente en grammes par personne et par jour : la consommation apparente fournie par les bilans est estimée en équivalents primaires, elle recouvre l'ensemble des formes de consommation des fruits et légumes et excède la consommation effective d'au moins 20 à 33% selon la proportion de produits transformés dans le bilan de chaque pays.

En Suède, le projet MONICA a permis de comparer dans le temps quatre études individuelles transversales de méthodologie comparable dans le Nord de la Suède où la consommation de fruits et légumes était traditionnellement faible. Une augmentation significative de la fréquence de consommation de fruits était constatée entre 1986 et 1999 pour les fruits (hommes et femmes) et pour les légumes (femmes seulement). Seules les consommations de jus de fruits, de bananes et de laitues augmentaient à la fois chez les hommes et les femmes. Les consommations d'épinards, de choux blancs, d'oranges et de baies rouges baissaient chez les hommes ainsi que la consommation d'épinards chez les femmes (Krachler et al, 2005).

En Finlande, l'étude annuelle sur les comportements en matière de santé des adultes (AVTK-survey) montre une augmentation régulière de la fréquence de consommation quotidienne de légumes entre 1978 et 2002 pour les hommes comme pour les femmes. Cependant, ces fréquences restent basses : 40% chez les femmes et 28% chez les hommes en 2002 (Prattala, 2003). Au Danemark, l'étude nationale de consommation alimentaire individuelle montre une nette augmentation de la part des fruits (+64%) et des légumes (+33%) dans l'alimentation de la population totale entre 1995 et 2000-2002 (DFVF, 2005). Ces augmentations de consommation des fruits et légumes dans les pays scandinaves se font dans des régions ou pays où la consommation était traditionnellement basse. En revanche, aux Pays Bas, les études de consommation alimentaire individuelle FCS montrent plutôt une décroissance de la consommation de fruits et légumes entre 1987 et 1998 (Voedingscentrum, 1998).

Plusieurs publications font également mention d'une augmentation de la consommation de fruits et légumes dans des pays asiatiques comme la Corée (Lim et al, 2005) ou la Thaïlande (Schmidt et al, 2004). Aux Etats-Unis, les études de consommation alimentaire individuelle du ministère de l'agriculture CSFII montrent une légère amélioration de la consommation de fruits et de légumes entre 1977 et 1998 (Kranz et al, 2004).

Les tendances de consommation de fruits et légumes apparaissent donc contrastées selon les pays avec une augmentation dans les pays Scandinaves qui étaient traditionnellement très peu consommateurs.

## Références


AFSSA, INPES (2004). *Comparaison de deux enquêtes nationales de consommation alimentaire auprès des adolescents et des adultes – Baromètre santé nutrition (2002) et INCA (1998-99). Eléments de méthode et résultats*. INPES

Agreste (2004). Bilans d'approvisionnement agroalimentaires 2004-2006, *Agreste Chiffres et Données Agriculture*, (184).

Agudo, A., Slimani, N., Ocke, M. C., Naska, A., Miller, A. B., Kroke, A., Bamia, C., Karalis, D., Vineis, P. et al. (2002.) Consumption of vegetables, fruit and other plant foods in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) cohorts from 10 European countries. *Public Health Nutrition* **5**(6b): 1179-1196.

Cérani N., Camus M. (2004). Le budget des familles en 2001, *Insee Résultats*, (29).

Consales, G. (2007). La consommation des ménages en 2006. *INSEE Résultats*(71).

Decloître F., Volatier J.L. (2000). La consommation de légumes et de fruits en France. Etude comparée des différents types de données, *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, **35** (2) 99-110, 132-138.

DFVF, 2005, *Danskernes kostvaner 2000-2002*, Hovedresultater, Danmarks Fodevareforskning, DFVF, publikation (11), Soborg, Danmark,165 p.

FAO, 2001, *Food balance sheets. A Handbook*, Rome.

FAO, *Food balance sheets and food consumption surveys a comparison of methodologies and results,* www.fao.org/es/ess/consweb.asp, accès le 19/07/07.

Guilbert Ph., Perrin-Escalon H. (coord.). (2004). *Baromètre santé nutrition,* INPES.

Hebel P. (coord.).(2007). *Comportements et consommations alimentaires en France (Enquête CCAF 2004)*, CREDOC, Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

INSEE (2007). *Annuaire Statistique de la France,* Edition 2007, Insee Référence.

Institut de Veille Sanitaire (2005) *Situation et évolution des apports alimentaires de la population en France, 1997-2003*, 96 p.

Kantor L.S., Lipton K., Manchester A., Oliveira V. (1997). Estimating and Addressing America's Food Losses, *Food Review* **20**(1), January-April, pp. 2-12.

Krachler B, Eliasson MC, Johansson I, Hallmans G, Lindahl B. (2005). Trends in food intakes in Swedish adults 1986-1999: findings from the Northern Sweden MONICA (Monitoring of Trends and Determinants in Cardiovascular Disease) Study. *Public Health Nutrition*. **8**(6):628-35.

Kranz, S., Siega-Riz, A. M., and Herring, A. H. (2004). Changes in diet quality of American preschoolers between 1977 and 1998. *American Journal of Public Health* **94**(9): 1525-1530.

Lim, C., Lee, J., Choi, J., and Choi, J. (2005). Analysis of buying behavior and preference for fruits in Korea. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **23**(3)**,** 351-355

Naska A. et al., 2000, "Fruit and vegetable availability among ten European countries: how does it compare with the 'five-a-day' recommendation?", *British Journal of Nutrition*, **84(**4)**:** 549-556.

Pomerleau J., Lock K., McKee M., Altmann D.R. (2004). The Challenge of Measuring Global Fruit and Vegetable Intake, *The Journal of Nutrition*, **134**(5): 1175-1180.

Prattala, R., 2003, "Dietary changes in Finland, success stories and future challenge", *Appetit*e, **41**(3): 245-249.

Rigaud D. *et al*.. (1997) Enquête Française de consommation alimentaire. Energie et macronutriments, *Cahiers de Nutrition et Diététique*, **32** (6): 379-389.

Serra-Majem L., D. MacLean, L. Ribas, D. Brulé, W. Sekula, R. Prattala, R. Garcia-Closas, A. Yngve, M. Lalonde and A. Petrasovits. (2003) Comparative analysis of nutrition data from national, household, and individual levels: results from a WHO-CINDI collaborative project in Canada, Finland, Poland, and Spain. *Journal of Epidemiology and Community Health*, **57**(1):74-80.

Schmidt, E., and Isvilanonda, S. (2004). Food consumption expenditure structure in Thailand 1998: the case of vegetables. *Acta Horticulturae*(655): 99-106.

Voedingscentrum (1998).*Zo eet Nederland, resultaten van de Voedselconsumptiepeiling 1998.* Voedingscentrum, Den Haag, 219 p.

Volatier J.L. (coord.), 2000, *Enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires (INCA)*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

# 1. Consommation de fruits et légumes et santé

**Marie-Jo Amiot-Carlin** (coord.)
Pascale Barberger-Gateau
**Jean Dallongeville** (coord.)
Luc Dauchet
Cécile Delcourt
Christian Demigné
Christophe Dupont
Paule Latino-Martel
Claudie Roy
Philippe Verger

Documentation :
Dominique Fournier

## Table des matières

**1.1. Fruits et légumes et couverture des besoins nutritionnels ... 23**
1.1.1. Les caractéristiques nutritionnelles des fruits et légumes frais et transformés ... 23
1.1.2. Fruits et légumes et couverture des besoins nutritionnels ... 30
1.1.3. Conclusions ... 34
**1.2. Fruits et légumes et maladies cardiovasculaires ... 37**
1.2.1. Relation entre consommation de fruits et légumes et survenue de maladies cardiovasculaires dans les enquêtes prospectives ... 37
1.2.2. Essais d'intervention nutritionnelle ... 42
1.2.3. Relation avec les facteurs de risque ... 44
1.2.4. Rôle des vitamines ... 50
1.2.5. Conclusion ... 53
**1.3. Fruits et légumes et diabète ... 60**
**1.4. Fruits et légumes et cancers ... 63**
1.4.1. Synthèse des résultats des études épidémiologiques d'observation ... 63
1.4.2. Essais de prévention nutritionnelle ... 68
1.4.3. Mécanismes plausibles ... 70
1.4.4. Effets propres des fruits & légumes : analyse critique et pistes de recherche ... 73
1.4.5. Effet indirect des F&L sur le risque de cancer, via leur effet sur le surpoids et l'obésité ... 75
1.4.6. Eclairage donné par le récent rapport WCRF/AICR 2007 ... 76
1.4.7. Conclusion générale ... 76
**1.5. Fruits et légumes, maladies neuro-dégénératives et bien-être ... 82**
1.5.1. Maladie d'Alzheimer et autres démences ... 82
1.5.2. Maladie de Parkinson ... 86
1.5.3. Bien-être, dépression, santé mentale ... 87
**1.6. Fruits et légumes et maladies oculaires ... 92**
1.6.1. Données épidémiologiques ... 92
1.6.2. Mécanismes d'action potentiels des constituants des fruits et légumes dans les maladies oculaires dégénératives ... 95
**1.7. Fruits et légumes, intérêt pour la santé osseuse ... 100**
1.7.1. Nutriments susceptibles d'être impliqués dans l'impact des fruits et légumes sur le métabolisme osseux 101
1.7.2. Etudes épidémiologiques sur les relations possibles entre consommation de fruits et légumes et statut osseux ... 103
1.7.3. Conclusions ... 104
**1.8. Les intolérances aux fruits et légumes ... 107**
1.8.1. Allergies aux fruits et légumes ... 107
1.8.2. Troubles fonctionnels digestifs ... 110
**1.9. Exposition aux pesticides liée à la consommation de fruits et légumes ... 112**
1.9.1. Contexte ... 112
1.9.2. Eléments de méthodologie sur l'évaluation du risque ... 114
1.9.3. Evaluation de l'exposition aux pesticides *via* la consommation de fruits et légumes ... 118
1.9.4. Que manque-t-il, que faut-il améliorer pour répondre à la question ? ... 131
Résumé ... 134
**1.10. Exposition aux nitrates liée à la consommation de fruits et légumes ... 140**
1.11.1. Effets nocifs des nitrates et nitrites ... 140
1.11.2. Exposition *via* la consommation de fruits et légumes ... 141
1.11.3. Conclusions ... 142
**1.11. Conclusions : bilan de l'intérêt de la consommation de F&L ... 144**
**Références bibliographiques ... 145**

# 1.1. Fruits et légumes et couverture des besoins nutritionnels

Marie-Jo Amiot-Carlin

Les fruits et légumes apportent dans notre alimentation quotidienne des fibres, des vitamines, des minéraux, dont les apports nutritionnels conseillés ont été établis. Ils renferment aussi une grande variété de composés, dépourvus de valeur nutritionnelle *stricto sensu*. Ces composés appartiennent à différentes familles : les polyphénols, les caroténoïdes (en dehors des caroténoïdes provitaminiques A) comme le lycopène ou la lutéine, les composés soufrés (glucosinolates et sulfures d'allyle) et les phytostérols. Aujourd'hui, il n'existe pas d'ANC pour ces microconstituants, même si beaucoup de travaux établissent qu'ils pourraient avoir également un effet préventif sur notre santé.

## 1.1.1. Les caractéristiques nutritionnelles des fruits et légumes frais et transformés

### *1.1.1.1. Fibres, vitamines et minéraux*

***. Fibres***

Les fibres sont un groupe de molécules polymères présentant une hétérogénéité de structures. Les fibres sont, d'une part des polysaccharides ou polyosides, et d'autre part des lignines lesquels sont des polymères complexes de phénylpropane. Les polysaccharides sont constitués des structures suivantes : la cellulose, les beta-glucanes, les hémicelluloses, les pectines, les gommes, les oligosaccharides et l'amidon résistant. Les fibres sont insolubles ou solubles. Les teneurs en fibres des fruits et légumes varient de 1 à 5,2 g pour 100 g de matière fraîche.

Les propriétés des fibres et leurs effets sont rapportés dans le Tableau 1.1-1. Aussi les fibres sont-elles susceptibles d'être efficaces sur (1) les paramètres physiologiques comme la satiété, l'excrétion fécale et l'activité motrice de l'intestin (2) sur les paramètres métaboliques, notamment sur la réponse lipémique post-prandiale et, à plus long terme sur la lipémie basale et (3) les caractéristiques de la flore colique, dus aux effets prébiotiques de certaines fibres (Lairon, 2001; Lairon and Chanussot, 2001; James, Muir et al., 2003).

Plusieurs études épidémiologiques ont été publiées sur la relation quantité de fibres ingérées et maladies cardiovasculaires. Une des premières études publiée par Krombout et al. (Kromhout, Bosschieter et al., 1982) montre une importante diminution (rapport de 4) de la mortalité chez les hommes consommant au minimum 37 g/jour par rapport à ceux qui consomment moins de 20 g/j. Plus récemment, l'étude prospective conduite aux Etats Unis chez des hommes (Rimm, Ascherio et al., 1996) confirme une réduction de la mortalité cardiovasculaire (-60%) pour des forts consommateurs de fibres (30 g/j) par comparaison au quintile le plus faible consommateurs (10-17 g/jour). Une étude conduite en Europe (Pietinen, Rimm et al., 1996) montre qu'une augmentation de 3g/jour de fibres solubles est associée à une diminution de 27% de la mortalité cardiovasculaire. Deux autres études confirment l'effet protecteur des fibres sur les coronaropathies. Aux Etats-Unis, il a été montré, après 10 ans, que le risque est diminué de 34% chez le quintile de femmes (âgées de 37 à 64 ans) consommant le plus de fibres (22,9 g/jour par rapport au quintile des plus faibles consommatrices (11,5 g/jour) (Wolk, Manson et al., 1999).Cet effet protecteur est confirmé dans l'étude également conduite aux Etats-Unis chez des hommes et des femmes récemment publiée par Bazzano (2003).

Les relations entre type ou source de fibres et facteurs de risque cardiovasculaire ont été récemment précisées à partir des données de la cohorte SUVIMAX (Lairon, Arnault et al., 2005). Les enquêtes alimentaires dans l'étude SU.VI.MAX montrent que les hommes ingèrent en moyenne 21,9 g par jour de fibres totales comprenant 4,2 g de fibres solubles et les femmes ingèrent 18% de moins de fibres totales et 14,5% de moins de fibres solubles que les hommes. Les plus forts consommateurs de fibres (> 27,3 g/j H et >22,0 g/j F) ou fibres insolubles ont un risque diminué de surpoids, du rapport

**Tableau 1.1-1.** Effets reconnus (en gras) ou suggérés des fibres alimentaires sur la santé

| Propriétés | Type de fibre | Espèce chimique | Mécanismes impliqués | Aliments |
|---|---|---|---|---|
| Satiété, poids | solubles | Gommes, pectines, hémicelluloses… | ↑ masse fécale<br>↑ délai vidanges | Fruits, produits céréaliers complets, légumes secs, légumes frais |
| Contrôle glycémie insulinémie | solubles visqueuses | Galactomannanes<br>β-glucanes | ↑ délai vidange gastrique<br>↓ vitesse de digestion glucides | Gomme de guar, fruit, avoine, légumes |
| **Amélioration métabolisme des lipides** | **solubles** | **Gommes, pectines, hémicelluloses, β-glucanes** | **↓ absorption lipides**<br>**↑ délai vidange gastrique** | **Gomme de guar, son et farine d'avoine, psyllium** |
| **↓ Constipation** | **insolubles** | **Cellulose, hémicelluloses, lignine** | **↓ des troubles de motricité intestinale** | **Son de blé** |
| ↓ Diverticulose colique | forte rétention d'eau | | ↑ teneur en eau du contenu colique | Son de blé, avoine |
| Fermentation colique | pectines, guar | Amidons résistants, fructo- oligosaccharides | Fermentation par les Bactéries coliques et production d'acides gras volatils | Oignon, ail, artichauts, légumes secs |
| **Effet prébiotique** | | **Fructo-oligosaccharides** | | |
| Prévention cancers (FDA) | générant ↑ butyrate | Fructo- oligosaccharides | Dilution composés cancérogènes,<br>↓ [NH4] | Graines, fruits, légumes |

taille/hanche élevé, de pression artérielle élevée et d'autres paramètres associés au risque cardiovasculaire (ApoB plasmatique, cholestérol, triacylglycérols et homocystéine) ($p<0.05$). Les fibres solubles apparaissent moins efficaces. Les fibres provenant des légumes sont associées à une diminution de la pression artérielle et de l'homocystéine, tandis que celles des fruits sont associées à une diminution de la pression artérielle et du rapport taille/hanche. Cette analyse à partir d'une sous-population de SU.VI.MAX confirme qu'une plus grande ingestion de fibres réduit le risque de développement de maladies cardiovasculaires. Dans la cohorte SUVIMAX, on peut noter que seulement 21% des hommes et 7% des femmes atteignent les recommandations de 25g/j (Martin, 2001; Marlett, McBurney et al., 2002). Ceci souligne que des efforts importants sont à faire pour inciter à une plus grande consommation de produits riches en fibres (fruits, légumes, céréales complètes) apportant également une diversité de type de fibres permettant une plus grande protection vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires

Basée sur des résultats des études épidémiologiques sur les relations alimentation-santé, la recommandation est d'atteindre 25 g de fibres totales par jour, et si possible 30 g par jour pour les adultes y compris les jeunes adultes. Les recommandations françaises chez les enfants reprennent les données américaines, qui proposent la quantité de fibres totales = âge+5g. La quantité efficace de fibres solubles a été estimée à 10 g minimum.

L'artichaut est particulièrement riche en fibres solubles, de l'ordre de 35%, de même que les légumes secs (25% de fibres solubles). Les fruits secs comme les fruits séchés (figues, pruneaux et dattes) sont des sources intéressantes de fibres. Augmenter la consommation de fruits ou légumes pourrait permettre de mieux couvrir les besoins en fibres sans augmenter l'apport énérgétique.

### . *Caroténoïdes pro-vitaminiques A*

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles (dont les couleurs varient du jaune au rouge). Environ 600 structures existent dans le monde végétal, dont certaines, retrouvées dans notre alimentation quotidienne génère de la vitamine A par clivage central de la chaîne carbonée. Les principaux caroténoïdes pro-vitaminiques A de notre alimentation sont l'alpha et le beta-carotène et la beta-cryptoxanthine. Le clivage central de ces caroténoïdes est réalisé majoritairement par la beta-beta

carotène15,15' monooxygénase. Théoriquement, une molécule de beta-carotène devrait donner 2 molécules de rétinol. En fait, il existe un consensus scientifique sur le facteur de conversion des caroténoïdes en rétinol : de 1/6 pour le beta-carotène (6 mg de beta-carotène correspond à la même activité que 1 mg de rétinol) et de 1/12 pour les autres caroténoïdes provitaminiques A (Azais-Braesco and Grolier, 2001).

La vitamine A se présente, dans l'organisme, sous la forme de rétinol, de rétinal (dans la rétine), d'acide rétinoïque (dans les os et les muqueuses) ou de palmitate de rétinyle (réserves stockées dans le foie). C'est dans la rétine qu'on l'a isolée la première fois, d'où le nom de "rétinol". Elle joue un rôle important dans la vision, notamment dans l'adaptation de l'oeil à l'obscurité, mais aussi dans la croissance des os, la reproduction et la régulation du système immunitaire (Azais-Braesco and Grolier, 2001; Krinsky and Johnson, 2005; Amiot, Babot-Laurent et al., 2007). Elle contribue à la santé de la peau et des muqueuses (yeux, voies respiratoires et urinaires, intestins), qui constituent notre première ligne de défense contre les bactéries et les virus. Elle est essentielle à la différenciation et la croissance cellulaire, car elle participe à la transcription de certains gènes et à la synthèse de certaines protéines. Elle semble jouer un rôle dans la régulation des réponses inflammatoires.

Les besoins en vitamine A reposent sur peu d'études. Le besoin minimal est estimé à 600 ER et l'apport souhaitable entre 1000 et 1200 ER. Les apports nutritionnels conseillés varient de 350 ER par jour pour un nourrisson à 950 ER par jour pour des femmes allaitant. Il est conseillé que les apports en vitamine A proviennent des produits animaux pour 40% (foie, beurre, fromage, oeufs, lait entier) et des produits d'origine végétale riches en caroténoïdes provitaminiques A pour 60%. Une consommation de 2,1 mg de beta-carotène (correspond à 350 ER), notamment par une consommation de fruits et de légumes est conseillée dans notre alimentation quotidienne.

L'étude SU.VI.MAX montre bien que les hommes, à l'inclusion, étaient sous-consommateurs de fruits et légumes, ce que se traduit par un niveau plasmatique en beta-carotène plus faible que les femmes (Galan, Viteri et al., 2005). Une plus grande consommation de fruits et légumes est à recommander pour couvrir les besoins en caroténoïdes pro-vitaminiques A. Les principales sources de caroténoïdes provitaminiques A sont les fruits et légumes de couleur orange (carottes, potiron, melons, abricots, agrumes, mangues…) mais aussi les légumes feuilles (choux verts, épinards et brocolis) (http://www.ars.usda.gov/ )

***. Vitamine B9 (acide folique)***

La vitamine B9 est représentée par le groupe des folates ou polyglutamates, dont les différentes formes dérivent de l'acide folique ou acide ptéro-monoglutamique. Ce sont les formes réduites, comme le di-hydrofolate et le tétrahydrofolate, qui sont les seules actives (Potier de Courcy, Chritidès et al., 2001).

Les enquêtes nutritionnelles en France ont établi une corrélation étroite entre le statut biologique en folates et les apports alimentaires (Hercberg, Preziosi et al., 1994).

Les folates, en tant que donneur d'unités mono-carbonées, participe au métabolisme des acides aminés et des acides nucléiques. Ils ont une fonction essentielle dans le métabolisme de l'histidine, de la glycine, dans la synthèse de la méthionine par reméthylation de l'homocystéine et dans la synthèse des purines et des pyrimidines. La carence en folates est associée à un risque accru de maladies cardio-vasculaires et de déficit cognitif du sujet âgé (Krishnaswamy and Nair, 2001; Potier de Courcy, Chritidès et al., 2001; Stanger, 2002; Rampersaud, Kauwell et al., 2003).

De nombreuses études ont montré une corrélation inverse entre le niveau de folates circulants et l'homocystéinémie. Par ailleurs, on connaît l'association de polymorphismes génétiques de la MTHFR (5,10-méthylènetétrahydrofolate réductase) avec l'homocystéinémie (Chango, Boisson et al., 2000). Chez les sujets, qui, génétiquement, présentent un défaut de synthèse de MTHF (fréquence de cette anomalie assez élevée dans la population française), un apport suffisant de folates par l'alimentation peut prévenir ces effets d'insuffisance métabolique.

Les besoins en folates sont augmentés dès le début de la grossesse (Potier de Courcy, Chritidès et al., 2001). Une carence dans les premières semaines de la grossesse peut provoquer un défaut de fermeture

du tube neural. Une déficience plus tardive ou moins aiguë peut entraîner un retard de croissance *in utero*, ou peut produire un déficit des réserves en folates du nouveau-né. Compte tenu des différentes données, un apport minimal de 400 microg/jour est préconisé pour éviter tout risque durant la grossesse. Il apparaît qu'un tel apport est difficilement atteignable.

Les apports conseillés en folates sont de 330 microg/jour pour les hommes et adolescents et 300 microg/jour pour les femmes et adolescentes 16-19 ans et tous les adolescents de 13 à 15 ans. Sur la base des données INCA, les besoins nutritionnels moyens apparaissent loin d'être couverts par les très faibles consommateurs de fruits et légumes.

Les fruits et légumes sont des sources intéressantes d'acide folique, avec notamment les épinards frais, les petits pois, les haricots verts, les avocats et les tomates (http://www.ars.usda.gov/). Notons que les céréales, les légumineuses et les fruits secs (noix, amandes) sont aussi de bon contributeurs de l'acide folique et les sources les plus riches sont la levure et le foie (>200 microg/100g produit).

IL faut noter aussi que les fruits et légumes contiennent  également beaucoup d'autres vitamines du groupe B (B1, B2, B3,B5 et B6). Même si la contribution est inférieure à 20% pour chacune d'entre elles, ce groupe d'aliments participent à l'apport quotidien de ces vitamines.

***. Vitamine C (acide ascorbique)***

La vitamine C, en raison de sa structure comportant une fonction ène-diol, comporte des propriétés réductrices à la base de son activité biologique. Elle assure deux fonctions principales : une activité antioxydante et un rôle de cofacteur dans les réactions d'hydroxylation catalysées par les oxygènes. Aussi la vitamine C intervient-elle dans la synthèse de collagène, des catécholamines et de la carnitine. La vitamine C est caractérisée par un très fort potentiel antioxydant. L'ascorbate piège les espèces oxygénées réactives dérivées de l'oxygène, tels le radical hydroxyle et l'anion superoxyde, ainsi que les espèces réactives dérivées de l'azote, tel que le peroxynitrite (Jacob and Sotoudeh, 2002; Birlouez-Aragon and Tessier, 2003; Padayatty, Katz et al., 2003).

A concentration optimale (60 micromol/L dans le plasma), teneur assurée par une consommation journalière de 110 mg (équivalent à son Apport Nutritionnel Conseillé), son pouvoir réducteur protège nos tissus de l'ensemble des espèces radicalaires produites en milieu aqueux dans des conditions normales. En s'oxydant elle-même, elle protège ainsi un grand nombre de biomolécules. Le glutathion, autre composant réducteur, est capable de régénérer  la vitamine C ; un tel système permet le maintien de la concentration en vitamine C dans notre organisme. Une baisse de la concentration de vitamine C dans l'organisme, malgré le maintien des apports à un niveau adéquat, révèle la présence d'un stress oxydant et l'inefficacité de l'organisme à faire face à ce stress.

La vitamine C est essentiellement apportée par les fruits et légumes consommés en frais et leurs produits dérivés, dont les jus de fruits (Tableau 1.1-5 en Annexe). L'enquête INCA montre que plus de la moitié de la population française ne respectent pas les besoins nutritionnels moyens. Une consommation supérieure de fruits frais est à recommander pour couvrir les besoins, notamment chez les faibles consommateurs. Les sources de vitamine C sont, pour les fruits, les Citrus, les kiwis, les abricots et les petits fruits rouges, et pour les légumes, les poivrons et les choux.

Il faut noter que, à côté de la vitamine C, les fruits et légumes renferment de faibles quantités de vitamine E qui peuvent participer de façon non négligeable à l'apport quotidien (fruits secs, kiwi…). L'impact des apports en vitamine E a généralement été pris en compte dans le cadre d'associations avec la vitamine C et éventuellement d'autres composés (polyphénols ou caroténoïdes) qui permettent une autoprotection de ces substances antioxydantes.

***. Vitamine K***

La vitamine K regroupe des substances liposolubles possédant une structure commune, le noyau 2-méthyl-1-4 naphtoquinone, et dont les deux formes les plus importantes sont : les phylloquinones (d'origine végétale) ou vitamine K1 et les ménaquinones (d'origine bactérienne) ou vitamine K2 (Dowd, Ham et al., 1995; Guillaumont, 2001).

La vitamine K est un cofacteur indispensable à la carboxylation de certaines protéines intervenant dans la coagulation et dans l'activation de l'ostéocalcine. Des études plus récentes tentent de préciser le rôle de cette vitamine dans les processus de la minéralisation osseuse (Nieves, 2005).

Les besoins en vitamine K ne sont pas connus avec précision, mais il existe un consensus pour dire qu'ils sont faibles et évalués à 1 microg/kg/jour pour un adulte, ce qui permet une activité coagulante normale. Chez les personnes âgées, la carence en vitamine K serait fréquente, notamment chez les sujets atteints d'ostéoporose. Les apports nutritionnels conseillés varient de 10 microg par jour pour un nourrisson à 45 microg par jour pour un adulte.

Le statut nutritionnel en vitamine K de la population française est difficile à évaluer. En effet, il n'existe pas de marqueurs biologiques de la vitamine K, et l'apport est difficile à estimer en raison du manque de données des tables de composition. Cependant les fruits et légumes sont des sources importantes de vitamine K, les sources les plus riches étant les légumes verts (brocolis, choux, laitue, cresson, épinards) (Booth, Pennington et al., 1996) (http://www.ars.usda.gov/ ). Il faut noter que les huiles végétales, plus particulièrement les huiles de colza et soja, sont également des sources riches en vitamine K (entre 100 et 1000 microg/100g de produit).

***. Minéraux***

Les éléments minéraux indispensables sont classés en éléments minéraux majeurs : phosphore (P) calcium (Ca) magnésium (Mg) sodium (Na) potassium (K) chlore (Cl), et en oligo-éléments : fer (Fe) zinc (Zn) cuivre (Cu) managnèse (Mn) iode (I) sélénium (Se)… (Drüeke and Lacour, 2001; Rayssiguier, Boirie et al., 2001). Les fruits et légumes sont principalement des sources de K et de Mg.

Concernant le potassium, des fortes concentrations intracellulaires sont nécessaires pour le bon fonctionnement de nos cellules. Le potassium agit en étroite collaboration avec le sodium pour maintenir l'équilibre acido-basique du corps et celui des fluides. Il est essentiel à la transmission des impulsions nerveuses et à la contraction musculaire, y compris celle du muscle cardiaque. Des apports insuffisants en potassium ont un effet négatif sur la pression artérielle. L'effet protecteur d'un apport alimentaire élevé de potassium sur le développement de l'hypertension artérielle est bien documenté et que des apports de potassium de 4,5 g/j sont recommandés dans le cadre de la prévention primaire de l'hypertension artérielle (He and Whelton, 1997; Whelton, He et al., 1997). La consommation habituelle de potassium se situe entre 2340 à 5850 mg par 24h (Martin, 2001), et les besoins sont estimés à 3100 mg au niveau européen (Scientific Committee for Food. Nutrient and energy intakes for the European Community. Luxembourg: Commission of the European Communities, 1993). Les meilleures sources de potassium sont les aliments frais peu transformés, dont les fruits et légumes, car la transformation peut diminuer considérablement la teneur en potassium. Notons aussi que les aliments crus sont généralement pauvres en sodium et que les jus de fruits et les soupes sont des sources de potassium. Le potassium alimentaire est principalement sous forme de phosphate, citrate et bicarbonate.

Le magnésium, second cation intracellulaire, constitue un élément d'importance majeure en biologie humaine. La plupart des voies métaboliques sont magnéso-dépendantes et cet élément joue un rôle clé dans l'équilibre ionique des membranes. Le magnésium intracellulaire jouerait un rôle clé dans l'action régulatrice de l'insuline et dans le bon fonctionnement du système vasculaire. Le déficit en magnésium peut être également exacerbé par des facteurs qui altèrent les mécanismes homéostasiques du Mg : stress, diabète… D'après Sontia and Touyz (2007), les études épidémiologiques ainsi que des études expérimentales montrent une corrélation inverse entre le magnésium sérique et la tension artérielle. Selon Huerta et al (2005), une consommation plus importante de magnésium par des aliments, incluant les fruits et légumes, voire une supplémentation pourrait être également un moyen de prévention du diabète de type 2 chez les enfants obèses.

Le besoin moyen en magnésium est de 5 mg/kg/j quel que soit le sexe et les apports nutritionnels conseillés sont fixés à 6 mg de Mg/kg/j. Les apports alimentaires ont été récemment évalués en France chez les sujets participant à la cohorte SU.VI.MAX. Plus des deux tiers des sujets ont des apports inférieurs aux ANC fixés à 6 mg/kg/j, ce qui confirme la fréquence de déficit magnésique par apport nutritionnel insuffisant. Cependant, la plupart des aliments riches en magnésium comme le chocolat et

les fruits secs amènent et aussi un apport calorique élevé. Les fruits et légumes ayant une très faible densité énergétique apparaissent des sources quotidiennes intéressantes pour mieux couvrir les besoins en magnésium.

### *1.1.1.2. Substances spécifiques des fruits et légumes*

Les fruits et les légumes apportent une variété de composés, dépourvus de valeur nutritionnelle sensu stricto, qui pourraient avoir également des effets protecteurs vis-à-vis de diverses maladies dégénératives de par leurs effets biologiques rapportés dans de nombreux travaux (Tableau 1.1-2). Pour toutes ces substances, il n'existe pas à l'heure actuelle d'apports nutritionnels conseillés.

**Tableau 1.1-2.** Principaux constituants d'intérêt nutritionnel des fruits et légumes

| Composé | Nature | Effet biologique | Recommandation | Contribution des F&L aux apports[1] | Déficit dans la population | F&L riches [autres aliments riches en ces nutriments] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fibres | polymères : polysaccharides et lignines | actions sur la fonction gastro-intestinale ; action des fibres solubles sur certains désordres métabo-liques, (hyperglycémie, hyperinsulinémie) | 25-30 g/j<br>dont 10 g de solubles | F+L = 38% | Environ 75% de la population n'atteignent pas 25 g/j | artichaut, fruits séchés<br>[céréales] |
| Caroténoïdes pro-vitamine A (α- et β-carotènes) | pigments liposolubles | Vitamine A : dans la vision + autres (embryogenèse, croissance...) | Vitamine A :<br>ANC = 900-700 µg ER pour homme-femme | Vit. A :<br>F+L = 38% | | fruits et légumes de couleur orange, légumes feuilles<br>[produits animaux] |
| Vitamine B9 (acide folique) | hydrosoluble | Participe au métabolisme des acides aminés et des acides nucléiques | ANC = 330-300 µg pour homme-femme | F+L = 42% | chez 30-40% de la population<br>Pb femmes enceintes | épinards, légumineu-ses, avocat, tomate<br>[foie, levure de bière] |
| Vitamine C | hydrosoluble | antioxydant et cofacteur dans hydroxylation | ANC = 110 mg/j | F+L = 73% | chez >50% de la population | fruits frais<br>agrumes et jus d'agrumes |
| Vitamine. K | liposoluble | rôle dans la coagulation (et le métabolisme osseux) | | F+L = 29% | difficile à évaluer | légumes-feuilles<br>[huiles colza et soja] |
| Potassium | hydrosoluble | Maintien de l'équilibre acido-basique | 3,1g (Europe) | F+L = 29%<br>(90% des sels organiques) | 75% < ANC | fruits et légumes frais |
| Magnésium | hydrosoluble | Participe à l'équilibre ionique des membranes | ANC = 6 mg Mg/kg/j | F+L = 22% | 2/3 < ANC (SU.VI.MAX)° | fruits et légumes frais |
| Polyphénols | Grande diversité de structures composées de plusieurs noyaux phénoliques (différentes classes : acides phénoliques, flavonoïdes, tannins) | antioxydants (seuls ou en synergie) → protecteurs probables / maladies cardio-vasculaires (flavonoïdes) | pas d'ANC | F+L = 28% | | fruits (petits fruits rouges), légumes (artichaut, choux)<br>[café, thé, céréales, vin] |
| Caroténoïdes non pro-vitamine A | pigments liposolubles | antioxydants (seuls ou en synergie) | pas d'ANC | (non évalué) | | légumes feuilles (lutéine), tomate (lycopène) |
| Glucosinolates | hydrosolubles | anticarcinogènes potentiels (détoxification) par leurs métabolites | pas d'ANC | (en cours d'évaluation) | | crucifères |
| Phytostérols | liposolubles, structure analogue à celle du cholestérol | hypocholestérolémiant... à dose forte (> alimentaire, 2g/j) | pas d'ANC | | | crucifères |

[1] Contribution des F&L aux apports journaliers en fibres et micronutriments, estimés pour la consommation alimentaire moyenne (INCA)

### . *Polyphénols*

Les fruits apportent environ 28% de l'apport total en polyphénols (Brat, George et al., 2006) lequel est estimé à environ 1g par jour soit 10 fois l'apport en vitamine C et 100 fois celui en vitamine E. Une récente compilation d'études prospectives (Arts and Hollman, 2005) met en avant un effet protecteur probable d'un plus grand apport en flavonoïdes vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires (confirmé dans le rapport FAO, 2006). Mais il n'est apparu aucune association entre apport en flavonoïdes et protection des cancers. A l'heure actuelle, il n'est pas possible d'établir des apports journaliers recommandés pour les polyphénols.

La protection des polyphénols vis-à-vis des maladies cardiovasculaires est apparue essentiellement reliée à leurs effets antioxydants (en particulier l'effet protecteur sur la peroxydation des lipoprotéines). Il a été montré dans de nombreuses études que les polyphénols neutralisent les radicaux libres, entités extrêmement réactives et délétères vis-à-vis de nos biomolécules (protéines, lipides, ADN). Au niveau du plasma, l'effet biologique des polyphénols ne semble pas être attribuable à un effet antiradicalaire direct, car leur biodisponibilité est faible (Ross and Kasum, 2002; Amiot, Babot-Laurent et al., 2007). En revanche, les polyphénols peuvent moduler l'expression ou l'activité de molécules impliquées dans le processus athérosclérotique, et par exemple diminuer la production de facteurs pro-inflammatoires, et stimuler celle de facteurs anti-inflammatoires. Ils sont aussi capables de diminuer d'autres facteurs de risque des maladies cardio-vasculaires, comme l'hyperlipémie. Un effet antiradicalaire des polyphénols reste toutefois possible au niveau du tube digestif, où ils sont largement majoritaires lors de la digestion (Halliwell, Rafter et al., 2005). Ils pourraient alors agir en limitant les effets délétères des substances pro-oxydantes présentes dans le repas et protéger les autres antioxydants alimentaires de la dégradation. Les polyphénols auraient certainement un rôle de synergie ou de complémentarité avec les autres antioxydants (vitamines C et E, caroténoïdes) dans la prévention du risque cardiovasculaire.

### . *Caroténoïdes non pro-vitaminiques A*

L'effet protecteur des caroténoïdes vis-à-vis de certaines grandes pathologies chroniques est essentiellement dû à leur pouvoir antioxydant (Rao, 2002; Krinsky and Johnson, 2005; Amiot, Babot-Laurent et al., 2007). Les caroténoïdes sont alors capables de neutraliser les espèces oxygénées réactives (ERO) tels que l'oxygène singulet ($^1O_2$) et les radicaux peroxyles et de protéger ainsi les systèmes cellulaires de l'oxydation. Le caroténoïde le plus efficace en tant que piégeur de radicaux libres est le lycopène, suivi par α-carotène, β-cryptoxanthine, zéaxanthine et β-carotène, lutéine. Les caroténoïdes ont certainement un rôle de complémentarité ou de synergie avec d'autres antioxydants, telles que les vitamines C et E.

En addition de ces propriétés antioxydantes, le lycopène présente aussi des effets biologiques mettant en jeu des activités anti-inflammatoires, antimutagéniques, anticarcinogènes. L'effet inhibiteur du lycopène sur la carcinogenèse pourrait impliquer plusieurs mécanismes tels que : neutralisation des ERO, régulation positive des systèmes de détoxification, inhibition de la prolifération cellulaire et augmentation de la différenciation, induction de la communication cellulaire par les "gap junctions" et inhibition de la progression du cycle cellulaire.

La lutéine jouerait alors un rôle protecteur vis-à-vis de la dégénérescence liée à l'âge, en agissant directement en tant qu'antioxydant mais aussi indirectement en absorbant la lumière bleue, responsable de la formation de radicaux libres. La lutéine et son isomère structural la zéaxanthine sont les deux principaux caroténoïdes présents dans la macula et la rétine. Leur concentration peut atteindre 1 mmol/L, ce qui est environ 500 fois plus élevé que leur concentration dans les autres tissus.

Il apparaît que les légumes verts à feuilles font partie des aliments contenant le plus de caroténoïdes, le cresson étant le plus riche. En effet, celui-ci est, avec le persil et les épinards, une source importante de β-carotène et de lutéine. La tomate et ses produits dérivés sont des sources importantes en lycopène.

***. Glucosinolates***

Les brocolis, les choux, les choux- fleurs, les choux-frisés ou de Bruxelles sont des sources spécifiques de glucosinolates dans notre alimentation.

Récemment, il a été estimé que la consommation de ces végétaux type crucifère était de 11,3 g/jour en Espagne (cohorte espagnole nichée dans l'étude multicentrique EPIC "European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition". Cette consommation représente 5% de la consommation totale de légumes et correspond à 6,5 mg de glucosinolates. Aucune extimation de la consommation française n'existe. On peut supposer que la consommation française soit proche de cette valeur, laquelle est peu élevée comparée à celle des pays de l'Europe du Nord, de du Nord et de plusieurs pays d'Asie (Agudo, Slimani et al., 2002; Agudo, Ibanez et al., 2007). Pour être actifs, les glucosinolates doivent être hydrolysés par une enzyme, la myrosinase. La cuisson réduit l'activité de la myrosinase, ce qui, en théorie, diminuerait la possibilité de transformer les glucosinolates en composés actifs. Toutefois, les glucosinolates, une fois ingérés, sont transformés chez l'homme en isothiocyanates, substances potentiellement anticarcinogènes. Les isothiocyanates sont des substrats et inducteurs d'enzymes de la phase II comme la glutathion S-transférase (GST) impliquée dans la détoxification des carcinogènes (Stoewsand, 1995; Keum, Jeong et al., 2005; Moreno, Carvajal et al., 2006).

***. Phytostérols***

La consommation de phytostérols (ou stérols végétaux), qui sont des molécules liposolubles avec une structure semblable à celle du cholestérol, permet de réduire le cholestérol plasmatique (Miettinen and Gylling, 2003; Miettinen and Gylling, 2006).

Dans une étude récente, la consommation en Espagne a été estimée à 276 mg/ jour et le phytostérol majoritairement ingéré est le beta-sitostérol (79,7%). Cette consommation est similaire à celle de la Finlande et des Pays-Bas. Dans des enquêtes alimentaires réalisées à Marseille dans le cadre d'une étude clinique (Amiot et al, 2007, données non publiées), la consommation varie de 65 mg/jour à 270 mg/jour avec une moyenne de 173 mg/jour. En France, l'élaboration d'une table de composition est en cours. Les aliments contributeurs de l'apport en phytostérols sont : les céréales complètes et le pain complet, les huiles végétales, les légumineuses (lentilles), le maïs, les fruits secs et les brocolis. Les légumes de type crucifère représentent jusqu'à 20% de la consommation.

Le résultat d'une méta-analyse a montré que la consommation journalière de 2g/j de phytostérols réduisait de 10% le LDL-C (Katan, Grundy et al., 2003). Cet effet hypocholestérolémiant semble passer par la réduction de l'incorporation du cholestérol (alimentaire et biliaire) dans les micelles mixtes via une inhibition compétitive des phytostérols. Il apparaît clairement que l'apport en phytostérols est insuffisant pour avoir un effet hypocholestérolémiant. Cependant d'autres mécanismes de protection sont suggérés, comme une augmentation de l'efflux du cholestérol au travers une augmentation du nombre de transporteurs (NPC1L1, ABCA1, ABC G5/G8) et du nombre de récepteurs aux LDL. La régulation de l'expression de ces protéines passe par le récepteur hépatique X (LXR) dont les phytostérols mais aussi les phyto-oxystérols sont des ligands connus.

### 1.1.2. Fruits et légumes et couverture des besoins nutritionnels

**. Les références concernant les besoins**

Pour chaque micronutriment, le besoin nutritionnel moyen (BNM) est estimé expérimentalement sur des échantillons limités de sujets ; il correspond à la moyenne des besoins individuels. L'apport nutritionnel conseillé (ANC) est calculé à partir des BNM pour couvrir les besoins de la plus grande partie de la population, soit 97,5% des individus en tenant compte de la variabilité inter-individuelle. Les ANC doivent être distingués des apports journaliers recommandés (AJR), qui sont des valeurs utilisées pour l'étiquetage des produits. Les AJR sont des valeurs uniques pour chaque nutriment, qui ne prennent pas en compte les différences liées à l'âge ou au sexe, et sont harmonisés au niveau européen.

**Encadré 1.1-1. Apports Nutritionnels Conseillés (ANC)**

L'ANC est égal au besoin nutritionnel moyen (BNM)*, mesuré sur un groupe d'individus, auquel sont ajoutés 2 écarts types représentant souvent chacun 15% de la moyenne, marge de sécurité statistique tenant compte de la variabilité inter-individuelle et permettant de couvrir les besoins de la plus grande partie de la population, soit 97,5 % des individus. Ainsi l'ANC est égal en général à 130% du besoin nutritionnel moyen. Mais pour certains nutriments il peut être différent ; c'est le cas des folates dont l'ANC correspond à 140 % du BNM.

(* le BNM résulte de valeurs acquises sur un groupe expérimental constitué d'un nombre limité d'individus et correspond à la moyenne des besoins individuels. Les valeurs pourront être revues en fonction des connaissances acquises en nutrigénétique, c'est à dire de l'étude des bases héréditaires de la variabilité de réponse aux nutriments, ce qui nécessite des études avec un grand nombre d'individus)

*Référence : Martin A. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Paris : Tec et Doc, 2001.*

### . Données de consommation française et calculs des apports en micronutriments

L'enquête INCA 1 a été réalisée d'août 1998 à juin 1999 sur deux échantillons indépendants, l'un d'adultes de 15 ans et plus (n = 1985) et l'autre d'enfants de 3 à 14 ans (n = 1016). Ces échantillons, constitués par tirage au sort de ménages à partir du fichier d'un opérateur téléphonique, sont représentatifs de la population française. Un carnet de sept jours (semainier) décrit la consommation alimentaire. Les enquêtes ont été réparties sur l'ensemble de l'année, pour tenir compte de la saisonnalité de la consommation. La contribution des F&L aux apports en nutriments a été calculée à partir des tables de composition nutritionnelle moyenne des aliments. Ces valeurs sont à considérer avec prudence, car les tables de composition n'intègrent pas les variations dues à de multiples facteurs (variété génétique, conditions de stockage, modes de préparation…).

Dans INCA, la consommation moyenne de F&L est évaluée à 365 g par jour chez les personnes de 15 ans et plus (Tableau 1.1-3). Cette estimation est cohérente avec les données d'études épidémiologiques portant sur des volontaires, ne prenant pas en compte tout à fait les mêmes catégories de F&L : 450 et 410 g/j respectivement pour les hommes et les femmes dans l'étude SU.VI.MAX (sur un échantillon de 4 652 sujets âgés de 35 à 63 ans, recrutés en 1994-1995) et 460 g/j dans l'étude européenne EPIC (portant sur 465 586 sujets d'âge moyen 51,7 ans recrutés entre 1992 et 1998).

Il existe une grande disparité de consommation au sein de la population française, notamment en fonction de l'âge des individus. Dans INCA, la tranche d'âge 15-24 ans consomme, en moyenne, hors jus de fruits, 224 g de F&L par jour alors que la tranche des plus de 65 ans en consomme 509 g. Des disparités similaires sont rapportées en Europe ; même dans les pays ayant une consommation moyenne élevée comme la Grèce et l'Espagne, une fraction de la population présente un niveau très faible de consommation.

**Tableau 1.1-3.** Consommation journalière (en grammes) de fruits et légumes (hors jus de fruits) en fonction de l'âge, dans l'enquête INCA 1

| Catégorie / âge | 15-24 | 25-44 | 45-54 | 65 et plus | Ensemble |
|---|---|---|---|---|---|
| Fruits | 77 | 109 | 164 | 206 | 139 |
| Compotes et fruits cuits | 9 | 10 | 12 | 12 | 11 |
| Légumes (hors pomme de terre) | 94 | 116 | 146 | 129 | 121 |
| Soupes | 44 | 57 | 111 | 162 | 93 |
| Fruits + légumes | 171 | 225 | 311 | 335 | 260 |
| Total | 224 | 292 | 434 | 509 | 365 |

Dans un premier temps, la contribution des F&L frais et transformés aux apports de nutriments a été évaluée par rapport aux six autres groupes d'aliments (assaisonnements, féculents, plats préparés, produits laitiers, produits gras-sucrés-salés et viandes-poisson-œufs). Dans un second temps, au sein du groupe F&L, la contribution aux apports a été estimée pour chacun des 8 sous-groupes suivants : crudités, fruits séchés, fruits frais, fruits transformés, jus de F&L, légumes, fruits secs et soupes.

**Encadré 1.1-2. L'étude SU.VI.MAX**

**Objectif** : L'étude SU.VI.MAX est une étude épidémiologique longitudinale avec un essai contrôlé (essai randomisé en double aveugle), ayant testé, sur des sujets présumés sains, l'impact pendant 8 ans d'un apport quotidien d'antioxydants à des doses nutritionnelles, accessibles par l'alimentation (β-carotène : 6 mg, vitamine C : 120 mg, vitamine E : 30 mg, sélénium : 100 µg et zinc : 20 mg), sur la prévention des maladies cardiovasculaires et des cancers. A côté de ce premier objectif, un second objectif a été de constituer une base de données sur la consommation alimentaire des français.

**Méthodologies** : L'inclusion des volontaires (octobre-mai 1995) a faite suite aux deux étapes préalables :n appel au volontariat (mars-juin 1994) grâce au soutien des médias qui ont relayé l'appel des chercheurs; au total, 79 976 volontaires dans la tranche d'âge considérée se sont inscrits par téléphone, minitel ou par courrier, une sélection des participants (juin-aout 1994) ; 21 481 personnes ont retourné les formulaires de consentement et les questionnaires dûment remplis. Parmi ces 21 481 volontaires ont été sélectionnés les 14 412 les plus représentatifs de la population française. En août 1994, la cohorte SU.VI.MAX était constituée, les personnes retenues informées. Les volontaires ont été convoqués entre octobre 1994 et fin mai 1995 pour leur premier bilan SUVIMAX; 8 mois ont donc été nécessaires pour réaliser l'inclusion des sujets de la cohorte après passage des unités mobiles dans les 65 villes-étapes SU.VI.MAX où étaient rattachés les 14 412 volontaires. En fait, 13017 volontaires entre 1994 et 2002, soit 7886 femmes de 35 à 60 ans et 5141 hommes de 45 à 60 ans ont participé à cette étude. Les volontaires ont été partagés en deux groupes : l'un recevant la pilule SUVIMAX, l'autre une capsule placebo sans aucune substance et ceci tous les jours pendant 8 ans. Le cocktail SU.VI.MAX correspondait à la prise d'un complément nutritionnel à visée anti-oxydante, sa composition était la suivante : 6 mg de β-carotène, 120 mg vitamine C, 30 mg vitamine E, 100 microg de sélénium et 20 mg de zinc.

*Référence : Hercberg S, Preziosi P, Briancon S, et al. A primary prevention trial using nutritional doses of antioxidant vitamins and minerals in cardiovascular diseases and cancers in a general population: the SU.VI.MAX study-design, methods, and participant characteristics. SUpplementation en VItamines et Mineraux AntioXydants. Control Clin Trials 1998;19:336-351 (Hercberg, Preziosi et al., 1998).*

**Encadré 1.1-3. L'étude EPIC**

**Objectif :** L'étude prospective européenne sur le cancer et la nutrition (EPIC) est une étude prospective multi-centrique de cohorte, initiée en 1992. Cette étude représente un projet de collaboration entre 23 centres situés dans 10 pays Européens: l'Allemagne, le Danemark, l'Espagne, la France, la Grèce, la Hollande, l'Italie, la Norvège, le Royaume-Uni et la Suède.

**Méthodologie** : Plus de 500 000 bénévoles âgés de 35 à 70 ans, ont été inclus. Les informations sur les habitudes alimentaires et les données anthropométriques ont été recueillies à l'inscription. Des prises de sang ont été faites à la plupart des participants. EPIC représente la plus importante base de données mise à disposition pour les études prospectives de l'étiologie des cancers. Elle peut intégrer des questionnaires sur le mode de vie et le régime, des marqueurs biologiques alimentaires, des polymorphismes métaboliques et génétiques, avec l'avantage supplémentaire de pouvoir comparer l'incidence des cancers et des habitudes alimentaires entre les centres. La méthode de référence utilisée pour la validation du questionnaire était l'interview, effectué par une diététicienne, de l'alimentation des 24 heures précédentes, appelé rappel de 24h. Une des hypothèses testées dans l'étude EPIC est l'effet protecteur éventuel de la consommation de fruits et de légumes contre certains cancers.

*Références : Riboli E, Hunt KJ, Slimani N, et al. European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): study populations and data collection. Public Health Nutr 2002;5:1113-24. (Riboli, Hunt et al., 2002)*
*Slimani N, Kaaks R, Ferrari P, et al. European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) calibration study: rationale, design and population characteristics. Public Health Nutr 2002;5:1125-45. (Slimani, Kaaks et al., 2002)*

Pour évaluer la contribution des fruits et légumes en différents nutriments, la table de composition nutritionnelle des aliments de l'enquête INCA a été construite à partir de différentes sources de composition nutritionnelle moyenne des aliments[1]. La majorité des informations nutritionnelles de la table des aliments INCA est issue de la table du CIQUAL[1] de 1995. Cependant, les aliments de l'étude INCA n'étant pas tous présents dans le CIQUAL, les informations nutritionnelles ont été recherchées dans la table de composition SU.VI.MAX.[2], la table du CIQUAL[3] 1996, la table de Souci[4] et la table de McCance[5]. Enfin, les teneurs moyennes en zinc, cuivre, iode et sélénium proviennent de la table USDA[6].

Il faut être prudent dans l'interprétation car les tables de composition n'intègrent pas les variations dues à de multiples facteurs : variété, effet du stockage, modes de préparation…Dans un premier temps, nous avons évalué la contribution des fruits et légumes frais et transformés par rapport aux six autres groupes d'aliments : assaisonnements, féculents, plats préparés, produits laitiers, produits gras-sucrés-salés et les viandes-poisson-œufs. Dans un second temps, au sein du groupe fruits et légumes, la répartition de la contribution en divers nutriments dans 8 sous-groupes : les crudités, les fruits séchés, les fruits frais, les fruits transformés, les jus de fruits et légumes (seulement les jus pressés et à base de concentrés, mais pas les nectars), les légumes, les fruits secs et les soupes.

Les fruits et les légumes participent pour : 38,5% aux apports en fibres, 37,8% à ceux en vitamine A par leur richesse en caroténoïdes provitaminiques A, 41,6% en vitamine B9, 73% en vitamine C, 28,8% en potassium et 22,15% en magnésium (Figure 1.1-1 et Tableau 1.1-4 en Annexe). On peut constater également que les fruits également une grande diversité de vitamines et minéraux. Peu énergétiques, ils représentent le groupe d'aliments avec la plus forte densité nutritionnelle.

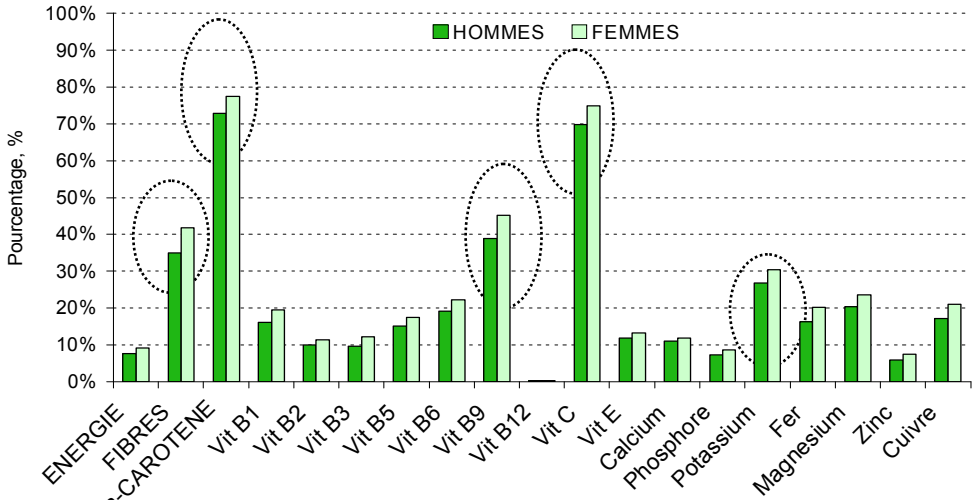



**Figure 1.1-1.** Contribution des F&L aux apports journaliers d'énergie et de nutriments dans l'alimentation (calculée à partir des données de l'enquête INCA 1)

Au sein du groupe fruits et légumes (Tableau 1.1-5, en Annexe), les fruits frais, les crudités et les jus sont les principaux contributeurs de vitamine C. Pour les fibres, les fruits frais et les légumes

[1] 1. Favier J., Ireland-Ripert J., Toque C., & Feinberg M. 1995. CIQUAL. Répertoire Général des Aliments. Table de composition Lavoisier, Tec&Doc, Paris.
2. Ouvrage collectif 2006. Table de composition des aliments SU.VI.MAX. Economica Editions.
3. Lamand M., Tressol J., Ireland-Ripert J., Favier J., & Feinberg M. 1996. CIQUAL. Répertoire Général des Aliments. Tome 4. Table de composition minérale. Eds Lavoisier, Tec&Doc, Paris.
4. Souci S.W. Fachmann W. Kraut H. 2000. Food composition and nutrition tables. CRC Press. Medpharm, Scientific Publishers, Stuttgart:6th revised edition.
5. Food Standard Agency, McCance and Widdowson's 2002. The composition of foods. Cambridge: Royal Society of Chemistry, Editor; Sixth Summary Edition.
6. USDA, Agricultural Research Service 2006. USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Available at http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/

représentent les pourcentages les plus élevés. Les crudités, les légumes et les soupes contribuent aux apports en caroténoïdes provitaminiques A. Ces mêmes sous-groupes avec les fruits contribuent également aux apports en vitamine B9.

Au sein du groupe F&L, les fruits frais, les crudités et les jus sont les principaux fournisseurs de vitamine C. Inciter à consommer plus de produits frais et des jus d'agrumes, reconnus pour leur richesse en vitamine C, est un moyen pour couvrir les besoins en cette vitamine chez les très faibles consommateurs de F&L. Les fruits frais et les légumes sont les principaux pourvoyeurs de fibres de l'alimentation. Augmenter la consommation de fruits ou légumes (une ou deux portions de 80 g) pourrait permettre de mieux couvrir les besoins en fibres. Les crudités, les légumes et les soupes contribuent aux apports en vitamine A par leur richesse en caroténoïdes pro-vitaminiques A. Ces mêmes sous-groupes avec les fruits contribuent également aux apports en vitamine B9.

### 1.1.3. Conclusions

Les fruits et les légumes sont des aliments avec une forte densité nutritionnelle, soit un apport calorique faible et une grande richesse en vitamines, en minéraux et en substances spécifiques, les modes d'action de ces derniers commençant à être mieux connus. Pour certains micronutriments, les fruits et les légumes représentent des sources importantes de notre alimentation : c'est le cas de la vitamine C, des folates et de la vitamine A apportée par les caroténoïdes pro-vitaminiques A. De plus, les fruits et légumes contribuent à l'apport quotidien d'autres vitamines, notamment celles du groupe B, ainsi qu'à une grande diversité de minéraux.

On peut considérer que les données INCA reflètent au plus juste la consommation moyenne de fruits et légumes, laquelle peut être évaluée à environ 350 g par jour. Mais il existe une grande disparité de consommation au sein de la population française. Tout d'abord on peut constater d'une part une consommation assez élevée de fruits et légumes et produits dérivés chez les consommateurs plus âgés, et d'autre part un pourcentage important de très faibles consommateurs (environ 25% de la population dont la consommation est inférieure à 250g). Une telle disparité a déjà été rapportée pour différents pays d'Europe, même pour des pays présentant une consommation moyenne élevée comme la Grèce et l'Espagne. Par ailleurs les femmes sont plus consommatrices de fruits et légumes.

De part la faible consommation de fruits et légumes, des déséquilibres apparaissent clairement dans la population française, notamment ceux en fibres, en vitamines B9 et C, et en minéraux, dont le potassium. D'après les données INCA (1999), il apparaît que les apports en ces nutriments sont très insuffisants surtout pour les très faibles consommateurs de fruits et légumes. Leurs apports pourraient être largement augmentés par une consommation plus importante de fruits et de légumes.

Certains groupes de population apparaissent ainsi à plus haut risque de non-couverture de leurs besoins en micronutriments : il s'agit des enfants et adolescents, de la population féminine (jeunes filles, femmes en âge de procréer et femmes enceintes), des sujets âgés et des personnes en situation précaire.

On peut donc s'interroger sur l'évolution dans le temps des grandes différences de consommation de fruits et légumes observées entre les différents groupes d'âge. Nos données sont encore limitées. Les résultats de l'enquête INCA2 qui seront publiés prochainement permettra de réactualiser nos connaissances sur les déficiences de la population française et de les analyser en fonction de l'évolution de notre mode de vie et de nos habitudes alimentaires. Par ailleurs, des tables de composition réactualisées sont nécessaires pour mieux préciser les apports en nutriments et autres substances bioactives.

Annexe

**Tableau 1.1-4.** Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport journalier en nutriments (Source : données INCA, 1999)

| groupe | ASSAISON -NEMENTS | FECULENTS | FRUITS_ LEGUMES | PLATS PREPARES | PRODUITS_ LAITIERS | PROD_SALE_ GRAS-SUCRE | VIANDE POISSON -OEUF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FREQ_ | 1332 | 1332 | 1327 | 1240 | 1326 | 1328 | 1332 |
| énergie | 7,96% | 23,99% | 8,56% | 10,38% | 11,71% | 19,84% | 18,42% |
| lipides | 21,03% | 5,54% | 2,66% | 13,67% | 16,62% | 15,98% | 25,57% |
| glucides | 0,07% | 43,27% | 15,09% | 7,65% | 5,12% | 28,81% | 0,68% |
| protéines | 0,22% | 15,51% | 4,86% | 10,72% | 17,89% | 6,64% | 45,01% |
| AGS | 22,74% | 3,09% | 1,13% | 12,76% | 23,00% | 17,03% | 21,29% |
| suc_aj | 0,00% | 2,79% | 5,00% | 0,78% | 3,95% | 87,59% | 0,24% |
| fibres | 0,01% | 41,03% | 38,49% | 9,97% | 0,20% | 10,55% | 0,62% |
| β-carotène | 3,77% | 0,17% | 75,50% | 12,57% | 3,17% | 3,25% | 2,73% |
| Vit _A totale | 10,41% | 0,17% | 37,84% | 9,72% | 13,53% | 8,23% | 21,00% |
| Vit_B1 | 0,19% | 20,86% | 17,67% | 11,22% | 9,31% | 8,51% | 33,15% |
| Vit_B2 | 0,41% | 9,32% | 10,41% | 7,87% | 31,66% | 10,03% | 31,05% |
| Vit_B3 | 0,04% | 18,62% | 10,66% | 11,07% | 3,00% | 4,34% | 53,10% |
| Vit_B5 | 0,29% | 13,73% | 16,30% | 8,52% | 20,64% | 10,06% | 31,23% |
| Vit_B6 | 0,15% | 21,01% | 20,39% | 9,21% | 7,42% | 6,29% | 36,29% |
| Vit_B9 | 0,10% | 19,43% | 41,59% | 7,34% | 9,41% | 9,43% | 13,43% |
| Vit_B12 | 0,07% | 0,77% | 0,27% | 9,37% | 21,16% | 5,51% | 63,61% |
| Vit_C | 0,02% | 9,44% | 72,99% | 7,07% | 2,79% | 4,27% | 4,20% |
| Vit_E | 32,65% | 10,83% | 17,59% | 12,71% | 4,39% | 11,08% | 11,75% |
| Vit_D | 12,24% | 0,32% | 0,11% | 9,55% | 9,76% | 21,10% | 47,70% |
| Min_Ca | 0,60% | 7,02% | 11,35% | 10,39% | 55,82% | 9,88% | 5,98% |
| Min_P | 0,48% | 14,76% | 7,98% | 10,13% | 26,78% | 9,41% | 31,35% |
| Min_K | 0,22% | 18,15% | 28,79% | 8,70% | 14,91% | 7,67% | 22,37% |
| Min_Fe | 0,34% | 24,55% | 17,95% | 10,39% | 3,96% | 10,56% | 33,09% |
| Min_Mg | 0,22% | 25,28% | 22,15% | 10,09% | 13,84% | 10,05% | 19,26% |
| Min_Zn | 0,22% | 15,92% | 6,76% | 11,91% | 19,73% | 6,68% | 39,74% |
| Min_Cu | 0,17% | 32,43% | 19,18% | 11,72% | 3,79% | 13,47% | 20,18% |
| Min_I | 0,61% | 9,58% | 3,86% | 8,92% | 33,54% | 12,13% | 32,17% |
| Min_Se | 0,12% | 20,91% | 4,15% | 10,58% | 7,96% | 7,61% | 49,47% |
| Min_Na | 0,41% | 27,98% | 11,08% | 18,74% | 13,03% | 7,76% | 22,42% |

**Tableau 1.1-5.** Contribution des différentes catégories de fruits et légumes à l'apport journalier en nutriments (Source : données INCA, 1999)

| **catégories** | Crudités | Fruits séchés | Fruits frais | Fruits transf. | Jus | Légumes | Fruits secs | Soupes | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Energie** | 0,70% | 1,07% | 3,84% | 1,30% | 2,65% | 1,12% | 2,97% | 2,44% | 8,56% |
| **Lipides** | 0,55% | 0,07% | 0,46% | 0,07% | 0,18% | 0,40% | 5,91% | 0,42% | 2,66% |
| **Glucides** | 0,89% | 2,22% | 8,08% | 2,96% | 5,33% | 1,59% | 0,43% | 4,78% | 15,09% |
| **Protéines** | 0,65% | 0,35% | 1,09% | 0,12% | 1,11% | 1,80% | 2,06% | 1,30% | 4,86% |
| **Fibres** | 5,46% | 3,81% | 15,32% | 2,46% | 1,83% | 12,89% | 3,42% | 10,37% | **38,49%** |
| **β-carotène** | 27,35% | 2,03% | 12,41% | 0,44% | 4,42% | 21,38% | 0,09% | 32,18% | **75,50%** |
| **Vit A_totale** | 13,96% | 1,06% | 6,53% | 0,18% | 1,73% | 10,55% | 0,04% | 16,70% | **37,84%** |
| **Vit_B1** | 2,95% | 0,65% | 4,73% | 1,10% | 8,74% | 3,44% | 4,05% | 3,73% | 17,67% |
| **Vit_B2** | 2,01% | 1,05% | 3,01% | 0,64% | 2,50% | 3,25% | 1,13% | 1,10% | 10,41% |
| **Vit_B3** | 1,86% | 1,34% | 3,20% | 0,51% | 2,54% | 2,64% | 3,11% | 2,69% | 10,66% |
| **Vit_B5** | 3,21% | 1,18% | 4,84% | 0,56% | 5,87% | 3,97% | 3,45% | 2,76% | 16,30% |
| **Vit_B6** | 3,22% | 1,03% | 8,84% | 0,94% | 4,08% | 4,01% | 2,86% | 5,04% | 20,39% |
| **Vit_B9** | 11,39% | 0,50% | 10,80% | 0,37% | 10,45% | 12,32% | 3,58% | 6,07% | **41,59%** |
| **Vit_B12** | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,15% | 0,00% | 0,23% | 0,27% |
| **Vit_C** | 11,49% | 0,39% | 27,84% | 2,42% | 45,69% | 11,85% | 0,25% | 6,65% | **72,99%** |
| **Vit_E** | 2,63% | 1,25% | 4,70% | 0,98% | 2,46% | 2,45% | 6,30% | 2,14% | 17,59% |
| **Min_Ca** | 1,84% | 0,75% | 2,75% | 0,58% | 2,05% | 3,79% | 1,43% | 3,03% | 11,35% |
| **Min_P** | 1,18% | 0,79% | 1,94% | 0,20% | 1,81% | 2,44% | 2,94% | 2,33% | 7,98% |
| **Min_K** | 5,53% | 3,45% | 10,80% | 1,11% | 9,10% | 5,27% | 2,25% | 5,81% | **28,79%** |
| **Min_Fe** | 2,69% | 3,02% | 3,52% | 1,32% | 4,88% | 7,16% | 2,29% | 3,82% | 17,95% |
| **Min_Mg** | 3,01% | 1,95% | 6,82% | 0,98% | 6,23% | 5,70% | 6,42% | 6,33% | **22,15%** |
| **Min_Zn** | 1,10% | 0,46% | 1,74% | 0,27% | 0,07% | 2,55% | 2,71% | 1,79% | 6,76% |
| **Min_Cu** | 2,96% | 2,06% | 7,46% | 1,65% | 0,69% | 5,22% | 8,93% | 4,84% | 19,18% |
| **Min_I** | 0,63% | 0,17% | 1,03% | 0,05% | 1,17% | 0,62% | 0,43% | 1,98% | 3,86% |
| **Min_Se** | 0,33% | 0,70% | 0,81% | 0,18% | 2,61% | 1,13% | 0,71% | 1,63% | 4,15% |
| **Min_Na** | 0,32% | 0,05% | 0,26% | 0,24% | 0,10% | 3,24% | 0,03% | 13,48% | 11,08% |

## 1.2. Fruits et légumes et maladies cardiovasculaires

Jean Dallongeville, Luc Dauchet

Les cardiopathies ischémiques et les accidents vasculaires cérébraux sont la principale cause de décès en France et dans le monde. L'alimentation et les habitudes de vie ont un rôle important dans l'étiologie des maladies cardiovasculaires. Plusieurs nutriments comme les acides gras saturés, les acides gras *trans* et le sel affectent les niveaux des principaux facteurs de risque et la survenue des accidents vasculaires.

Ces dernières décennies, la mise en évidence biologique de possibles effets protecteurs de nombreux constituants, notamment des antioxydants, a stimulé un intérêt particulier pour l'étude des propriétés des fruits et des légumes. A la fin des années 80, la cohérence des données expérimentales, cliniques et épidémiologiques qui montraient des effets favorables des fruits et légumes et de leurs composés sur l'athérosclérose a conduit les autorités de santé américaines, et plus tard françaises, à promouvoir la consommation de fruits et légumes de la population (Committee on Diet and Health and National Research Council, 1989; National Cancer Institute, 2001; Ministère de la Santé et des Solidarités, 2006).

Depuis, de nombreuses autres études ont été publiées. L'objectif de cette revue est d'analyser les arguments qui permettent de préciser la nature de la relation entre la consommation de fruits et légumes et les maladies vasculaires. Pour cela, nous nous sommes intéressés principalement aux études qui évaluaient les effets de la consommation de fruits et de légumes sur les facteurs de risque et la survenue de maladies cardiovasculaires. La revue est divisée en 4 parties : les études épidémiologiques prospectives qui mesurent la relation entre la consommation de fruits et légumes et la survenue d'évènements vasculaires dans des cohortes de population, les essais d'intervention nutritionnelle qui évaluent les effets de la consommation de fruits et légumes sur la survenue d'évènements vasculaires, les études cliniques qui mesurent les effets de la consommation de fruits et légumes sur les facteurs de risque cardiovasculaire, et les essais d'intervention pharmacologique qui mesurent l'impact des principaux composés des fruits et légumes sur la survenue d'évènements vasculaires.

### 1.2.1. Relation entre consommation de fruits et légumes et survenue de maladies cardiovasculaires dans les enquêtes prospectives

L'analyse de la relation entre la consommation de fruits et de légumes et le risque de maladie chronique s'appuie en grande partie sur des études épidémiologiques d'observation, conduites pour la plupart aux Etats-Unis et en Europe du Nord. Les études contrôlées d'intervention nutritionnelle sont rares et plus récentes.

Les enquêtes épidémiologiques d'observation sont des techniques d'étude d'association entre des facteurs d'exposition et des maladies. La mise en évidence d'une association entre la consommation de fruits et légumes et les maladies vasculaires est une étape importante de la recherche étiologique de ces maladies. Cependant, une mesure d'association ne préjuge pas d'un lien causal entre le facteur d'exposition et la maladie. D'autres arguments sont nécessaires pour établir les effets de la consommation de fruits et légumes sur la santé cardiovasculaire (Potischman and Weed, 1999).

Plusieurs approches expérimentales sont possibles. Les études cas-témoins sont les plus anciennes. Elles comparent les habitudes alimentaires de patients et témoins. En épidémiologie nutritionnelle, ces enquêtes souffrent toutefois d'importantes limites méthodologiques en raison notamment, de la chronologie des maladies chroniques, dont l'initiation peut précéder de plusieurs années les manifestations cliniques rendant difficile l'évaluation précise des habitudes alimentaires antérieures. Dans ce travail, comme dans les rapports récents de l'OMS/FAO (Bazzano, 2005), l'analyse des

enquêtes prospectives a été privilégiée car elles offrent le meilleur compromis méthodologique pour l'étude de l'association entre des facteurs nutritionnels et des maladies vasculaires.

Les enquêtes épidémiologiques prospectives nutritionnelles évaluent les relations entre les habitudes alimentaires observées et les maladies vasculaires dans des cohortes de sujets. Dans ces enquêtes, l'investigateur a un rôle d'observateur et n'intervient pas sur le comportement alimentaire des participants. Le principe des études prospectives repose donc sur la description des caractéristiques (sociales, économiques, cliniques, biologiques) et des habitudes alimentaires des sujets. La cohorte ainsi caractérisée est suivie pendant un temps donné, généralement plusieurs années, au cours duquel certains participants vont présenter un évènement vasculaire. Le principe de l'analyse consiste à comparer les habitudes alimentaires de ces derniers, à celles des sujets qui en restent indemnes, dévoilant ainsi des différences éventuelles entre les patients et les témoins non malades.

Cependant, ce raisonnement est compliqué par le fait que les habitudes alimentaires - comme par exemple la consommation de fruits et de légumes - sont étroitement dépendantes de caractéristiques sociales ou culturelles, de niveau d'éducation, ou d'habitudes de vie (Irala-Estevez, Groth et al., 2000; Roos, Johansson et al., 2001; Kamphuis, Giskes et al., 2006) dont certaines sont elles-mêmes associées au risque vasculaire. Cette double association introduit un élément de confusion dans l'interprétation de l'analyse nutritionnelle car les habitudes alimentaires reflètent des caractéristiques plus larges des individus ne permettant pas d'attribuer aux seuls paramètres nutritionnels les relations observées avec l'évènement vasculaire. De ce fait, il persiste une incertitude quant à la réalité du lien causal et à l'intensité de l'association entre le facteur d'exposition nutritionnelle et les maladies vasculaires.

Dans cette revue, les articles qui s'intéressent aux fruits et/ou aux légumes comme variable d'exposition nutritionnelle ont été répertoriés. Les fruits et les légumes sont considérés comme un ensemble, à l'instar des recommandations de santé publique. Les études qui rapportent des résultats par catégories particulières de fruit ou légume ont été exclues car trop peu nombreuses. Les études qui décrivent les relations avec les micro- ou macro-constituants (comme les fibres ou les vitamines) n'ont pas été retenues en raison de l'imprécision des tables de composition des aliments. Il est important de noter la grande variabilité des méthodes de recueil de données alimentaires et d'expression des résultats.

Le critère de jugement clinique retenu est la diminution des évènements vasculaires fatals ou non, d'origine cardiaque ou cérébrale. Les études qui rapportent des évènements vasculaires périphériques, rénaux, et abdominaux, des gestes thérapeutiques, tels que l'angioplastie ou le pontage, ou des critères composites de ces évènements sont présentées séparément. Il est important de noter qu'en dépit d'un vocabulaire commun ces critères cachent une grande diversité de méthodes et de critères diagnostiques qui nuisent à la précision de l'évaluation des relations.

#### *1.2.1.1. Revues antérieures*

En 1997, Ness et Powles ont analysé les études écologiques, cas-témoins, prospectives et d'intervention qui rapportaient une relation entre la consommation de fruits, légumes et leurs composés chimiques et la survenue de cardiopathies ischémiques, d'accidents vasculaires cérébraux et circulatoires (Ness and Powles, 1997). Six cohortes sur 16 rapportaient une association favorable entre la consommation de fruits et légumes ou leurs composés et la survenue de cardiopathies ischémiques, 6 sur 8 montraient une association favorable avec les accidents vasculaires cérébraux, et 1 sur 2 avec les évènements cardiovasculaires. La relation semblait plus forte pour les accidents cérébrovasculaires que coronaires. Sans exclure la possibilité de biais de publication et sans préjuger des mécanismes impliqués, les auteurs concluaient que la consommation de fruits et légumes ou de leurs composés était inversement associée à la survenue d'accidents vasculaires cérébraux et, à un moindre degré, coronaires ischémiques. Les auteurs signalaient également la rareté des études qui disposaient d'une estimation de la consommation de fruits et légumes pour ces analyses : 5 enquêtes prospectives seulement, dont certaines manquaient de puissance statistique.

En 1998, Law et Morris ont mesuré dans une méta-analyse d'enquêtes prospectives la relation entre la consommation de fruits et légumes et de leurs constituants et les cardiopathies ischémiques (Law and Morris, 1998). Les enquêtes cas-témoins et écologiques et les études rapportant moins de 50 évènements étaient exclues pour des raisons méthodologiques. L'analyse montrait une diminution non significative des risques relatifs d'évènements coronaires de 14% entre les extrêmes de consommation ($\geq 90^e$ vs. $\leq 10^e$ percentile) de fruits (3 études) et de 18% pour les légumes (2 études). Les tests statistiques suggéraient une hétérogénéité de résultats entre les études. Les principales critiques de ce travail ont porté sur les lacunes dans l'identification des études, sur le manque de précision des critères de sélection, et sur l'inadéquation des méthodes d'analyses statistiques (Law and Morris, 1999; Ness, Egger et al., 1999) .

Dans une analyse des données de la Nurses' Health Study et de la Professionals' Health Study, Hu et *al* rapportent en 2003 une diminution du risque relatif de 20% [9-32%] et 18% [7-30%] de cardiopathies ischémiques et une diminution de 31% [14-53%] et 10% [-12-38% ; ns] des accidents vasculaires cérébraux entre les quintiles supérieurs et inférieurs de consommation de fruits et de légumes, respectivement (Hu, 2003).

En 2005, Bazzano et *al* ont réévalué la relation entre consommation de fruits et légumes et les cardiopathies ischémiques à partir d'enquêtes prospectives (Bazzano, Serdula et al., 2003; Bazzano, 2005). Dans ce travail, les enquêtes qui rapportaient uniquement une relation avec des micro- ou macro-constituants des fruits et légumes ou avec un aliment particulier (par exemple : les agrumes, tomates...) étaient exclues. Au total, 14 enquêtes prospectives rapportaient une relation avec les cardiopathies ischémiques, 11 avec les accidents vasculaires cérébraux. La méta-analyse des résultats montre une diminution du risque relatif de 15% [10-20%] pour les cardiopathies ischémiques et une diminution de 20% [7-34%] pour les accidents vasculaires cérébraux entre les sujets des quintiles extrêmes de consommation de fruits et de légumes.

Dans une méta-analyse récente, Dauchet et *al* ont mesuré la relation entre des quantités de fruits et légumes consommées et le risque d'accident vasculaire cérébral et cardiaque à partir d'études épidémiologiques prospectives (Dauchet, Amouyel et al., 2005; Dauchet, Amouyel et al., 2006). Pour cela, les études qui présentaient des données quantitatives de consommation étaient incluses. Les risques relatifs étaient exprimés par rapport à la variation d'un portion de 106 g/j et les critères de jugement comprenaient les accidents vasculaires cérébraux et les évènements coronaires (fatals ou non). Sept enquêtes prospectives étaient utilisées pour les accidents vasculaires cérébraux, 9 pour les évènements coronaires. Les résultats montrent une diminution de 11% [7-15%] et 3% [2-8%] du risque relatif d'accident vasculaire cérébral par portion additionnelle quotidienne de fruits ou de légumes respectivement (Dauchet, Amouyel et al., 2005). Ces relations étaient compatibles avec un effet dose dépendant. Enfin, les analyses ne mettaient pas en évidence d'hétérogénéité entre les résultats ni de biais de publication évident. Pour les évènements coronaires, les résultats montraient une diminution du risque de 7% [3-10%] par portion de fruits additionnelle quotidienne (Dauchet, Amouyel et al., 2006). La relation entre la consommation de légumes et la survenue d'évènements coronaires est plus difficile à interpréter en raison d'un biais de publication qui ne permettait pas de conclure définitivement. L'analyse de la relation entre la consommation de fruits et de légumes pris dans leur globalité montrait une diminution de 5% [2-7%] du risque d'accident vasculaire cérébral par portion quotidienne (Dauchet, Amouyel et al., 2005) et une diminution de 4% [1-7%] du risque d'accident coronaire (Dauchet, Amouyel et al., 2006).

Une autre méta-analyse rapporte la relation entre la consommation de fruits et de légumes pris dans leur globalité et la survenue d'accidents vasculaires cérébraux et coronaires. Les résultats montrent une diminution du risque relatif d'accident vasculaire cérébral de 26% (He, Nowson et al., 2006) et une diminution du risque relatif de cardiopathie ischémique de 17% (He, Nowson et al., 2007) entre les sujets qui consomment 5 portions de fruits et légumes par jour et ceux qui en consomment moins de 3. Les tests d'hétérogénéité mettaient en évidence une absence d'homogénéité pour les études présentant les évènements coronaires.

### *1.2.1.2. Récapitulatif des enquêtes prospectives*

Dans ce paragraphe, les enquêtes prospectives anciennes et plus récentes qui évaluent la relation entre la consommation de fruits et/ou légumes et la survenue de maladies vasculaires ont été répertoriées. Les articles sont issus de Pub-Med et des références d'articles, de revues et de méta-analyses publiés précédemment. Seuls les articles qui présentent la consommation de "fruits", de "légumes" et de "fruits et légumes" comme variable d'exposition nutritionnelle sont retenus. Les analyses par catégories particulières de fruits et légumes (ex : noix, salade) ou par composé chimique (ex : fibres, vitamines) sont exclues. Les critères de jugement clinique retenus sont la diminution des évènements vasculaires fatals ou non, d'origine cardiaque ou cérébrale.

Le Tableau 1.2-1 présente les principales études prospectives publiées à ce jour (Kushi, Lew et al., 1985; Hirayama, 1986; Fraser, Sabate et al., 1992; Fehily, Yarnell et al., 1993; Knekt, Reunanen et al., 1994; Gaziano, Manson et al., 1995; Gillman, Cupples et al., 1995; Key, Thorogood et al., 1996; Knekt, Jarvinen et al., 1996; Pietinen, Rimm et al., 1996; Rimm, Ascherio et al., 1996; Sahyoun, Jacques et al., 1996; Mann, Appleby et al., 1997; Joshipura, Ascherio et al., 1999; Cox, Whichelow et al., 2000; Hirvonen, Virtamo et al., 2000; Liu, Manson et al., 2000; Strandhagen, Hansson et al., 2000; Bazzano, He et al., 2001; Joshipura, Hu et al., 2001; Liu, Lee et al., 2001; Bazzano, He et al., 2002; Johnsen, Overvad et al., 2003; Mozaffarian, Kumanyika et al., 2003; Rissanen, Voutilainen et al., 2003; Sauvaget, Nagano et al., 2003; Steffen, Jacobs et al., 2003; Dauchet, Ferrieres et al., 2004; Genkinger, Platz et al., 2004; Hung, Joshipura et al., 2004; Ness, Maynard et al., 2005; Tucker, Hallfrisch et al., 2005). Les résultats sont présentés par évènements vasculaires : Tableau 1.2-2, cardiopathies ischémiques fatales ou non ; Tableau 1.2-3, mortalité coronaire ; Tableau 1.2-4, maladies cardiovasculaires (critère composite incluant au moins une de localisations vasculaires fatales ou non) ; Tableau 1.2-5, accidents vasculaires cérébraux fatals ou non.

Les caractéristiques des sujets sont très variées, liées à la diversité des critères d'inclusion des études ou au mode de recrutement des sujets : genre (hommes et/ou femmes) ; âge (sujets âgés, enfants, bornes d'âge d'inclusion) ; catégories socioprofessionnelles (cohortes professionnelles) ; cohortes particulières (Irradiés d'Hiroshima), etc.

La plupart des enquêtes ont été conduites en Amérique du Nord et en Europe de Nord. Les dates d'inclusion couvrent essentiellement la fin du 20$^{e}$ siècle, sur une période de 50 ans, pendant laquelle les habitudes alimentaires et les modes de vie ont beaucoup évolué.

Les méthodes de recueil alimentaire sont nombreuses, comprenant l'histoire alimentaire, le rappel des 24 heures, le questionnaire alimentaire et le carnet alimentaire de 3 ou 7 jours. L'expression de la relation entre la variable d'exposition alimentaire (F&L) et la maladie varie entre les études. Les risques relatifs sont ainsi exprimés en fonction des quintiles, quartiles ou tertiles extrêmes, ou le risque est exprimé pour un changement d'apport ou pour un changement de fréquence de consommation quotidienne, rendant les comparaisons difficiles.

Enfin, les effectifs des études, la durée du suivi, la définition des évènements et les facteurs d'ajustement diffèrent considérablement.

#### *. Accident vasculaire coronaire*

Les enquêtes prospectives (n=8) sur la relation entre la consommation de fruits et/ou légumes et les cardiopathies ischémiques sont présentées Tableau 1.2-2. Parmi ces études, 4 rapportent plus de 1000 évènements, 1 présente entre 500 et 1000 évènements et 3 présentent moins de 500 évènements.

Une seule étude, la Health Professionnal Follow-up Study (n=1063 évènements), rapporte une réduction du risque statistiquement significative entre la consommation de "*fruits et légumes*" et la survenue d'infarctus fatal et non fatal (RR 0.96 [0.93-1.00] pour une portion supplémentaire). Cinq décrivent une relation inverse entre la consommation de fruits et légumes et les évènements coronaires ischémiques, mais non significative. Enfin, la NHANES Follow-up study (n=1786) présente un RR proche de 1 (RR 1.01 [0.84-1.21].

Cinq études rapportent une relation entre la consommation de "*fruits*" et la survenue d'évènements coronaires. La Health Professionnal Follow-up Study (n=1063 évènements) rapporte une réduction du risque statistiquement significative (RR 0.92 [0.87-0.98] pour une portion supplémentaire). Trois autres présentent une relation inverse mais statistiquement non significative entre la consommation de fruit et la survenue d'évènements coronaire. Une dernière enquête (n=134 évènements) présente un risque relatif proche de 1.

Cinq études rapportent une relation entre la consommation de "*légumes*" et la survenue d'évènements coronaires. La Nurses' Health Study (n=1127 évènements) et la Physicians' Health Study (n=1148 évènements) rapportent une réduction du risque statistiquement significative. Les 3 autres présentent des relations statistiquement non significatives.

***. Mortalité coronaire***

Les enquêtes présentant la relation entre la consommation de fruits et/ou légumes et la mortalité coronaire sont présentées Tableau 1.2-3. Le nombre d'évènements varie entre 639 et 58 décès.

Parmi ces études, aucune ne rapporte une association statistiquement significative avec la consommation de "fruits et légumes". Une seule présente une relation inverse significative entre la consommation de "fruits"et les décès coronaires. Deux enquêtes rapportent une relation inverse significative entre la consommation de "légumes" et les décès coronaires (ATBC, n=635 décès ; Baltimore Longitudinal Study, n=71 décès).

***. Evénements cardiovasculaires***

Les études prospectives sur la consommation de fruits et légumes et les évènements cardiovasculaires sont présentées Tableau 1.2-4. Sept études présentent une relation entre la consommation de fruits et légumes et les évènements cardiovasculaires.

Une relation inverse significative entre la consommation de "fruits et légumes" et la survenue d'évènements cardiovasculaire est observée dans 2 études sur 4. Cinq et 4 études rapportent la relation entre la consommation de "fruits" et de "légumes" respectivement. Une relation inverse significative est retrouvée dans la moitié d'entre-elles.

***. Accidents vasculaires cérébraux fatals et non fatals***

La relation entre la consommation de fruits et légumes et les accidents vasculaires cérébraux est présentée Tableau 1.2-5.

Dix études rapportent une association entre la consommation de fruits et/ou légumes et la survenue d'évènements vasculaires cérébraux. Trois études rapportent un nombre d'évènement compris entre 500 et 1000, 4 présentent entre 200 et 500 évènements, les 3 dernières moins de 100 évènements. Parmi les 6 études qui présentent une relation entre la consommation de "fruits et légumes" et la survenue d'un évènement cérébrovasculaire, 3 présentent une association statistiquement significative. Les autres présentent des relations inverses non significatives.

Huit études rapportent une relation entre la consommation de "fruits" et la survenue d'évènements cérébrovasculaires. Quatre rapportent une réduction du risque statistiquement significative. Les autres présentent des relations inverses non significatives.

Sept études rapportent une relation entre la consommation de "légumes" et la survenue d'évènements cérébrovasculaires. Trois rapportent une réduction du risque statistiquement significative. Les autres présentent des relations inverses non significatives.

### *1.2.1.3 Interprétation des résultats*

L'analyse de ces résultats montre que la consommation de fruits et ou de légumes est associée à une baisse des taux d'accidents coronaires fatals ou non fatals et des accidents vasculaires cérébraux dans

la grande majorité des études en population publiées à ce jour. Cependant, les tests de tendance, qui permettent d'estimer la possibilité d'une relation dose réponse, ne sont pas toujours statistiquement significatifs, suggérant l'absence de relation dépendante de la quantité de fruits et légumes consommés et la survenue des évènements cardiovasculaires ou un manque de puissance statistique.

Les associations sont le plus souvent statistiquement non significatives suggérant que la relation est de faible intensité ou que les enquêtes manquent de puissance. L'estimation de l'intensité de la relation est difficile tant les méthodes de recueil des données alimentaires et l'expression des résultats diffèrent entre les études.

Les résultats des études publiés à ce jour semblent homogènes, rapportant des relations inverses entre la consommation de fruits et légumes et la survenue d'évènements vasculaires. Toutefois, deux méta-analyses récentes (He, Nowson et al., 2006; He, Nowson et al., 2007) rapportent des tests d'hétérogénéité significatifs entre les enquêtes prospectives qui explorent la relation entre les légumes et les cardiopathies ischémiques. De plus, bien que les résultats des principales grandes prospectives nutritionnelles soient publiés, la possibilité de biais de publications ne peut pas être totalement exclue. Par exemple, dans l'étude Framingham la relation entre la consommation de fruits et légumes et les évènements cérébrovasculaires, mais pas cardiovasculaires, est documentée ; de même, dans la Physicians' Health Study seules les données des légumes, mais pas les fruits, sont publiées.

Au sein de chaque étude, les tests de tendance permettent d'estimer la possibilité d'une relation dose dépendante. Les résultats de ces tests sont le plus souvent non significatifs, suggérant l'absence de relation dépendante de la quantité de fruits et légumes consommés.

Les enquêtes prospectives nutritionnelles présentent des limites méthodologiques qu'il convient de rappeler. Les sujets qui s'engagent dans les cohortes sont des volontaires, souvent motivés, qui présentent des caractéristiques différentes de la population générale. Ces différences peuvent théoriquement influencer les relations observées. Certaines cohortes sont issues de bases de sondage professionnelles (Infirmières américaines), communautaire (Framingham) ou historique (Irradiés d'Hiroshima). La généralisation des résultats à d'autres communautés peut poser des problèmes. Dans la plupart des études, les habitudes alimentaires sont recueillies une seule et unique fois à l'inclusion des sujets. Ainsi, les associations mesurées après plusieurs années de surveillance des cohortes peuvent-elles être affectées par des changements éventuels du comportement alimentaire de certains sujets. Les méthodes d'évaluation de la consommation alimentaire sont nombreuses et variées. Certaines reflètent mal les habitudes alimentaires au long cours. D'autres sont sujettes à des biais de mémorisation. Enfin, les informations recueillies sont parfois très limitées. L'imprécision qui en résulte tend à réduire l'intensité de l'association. Les habitudes alimentaires tendent à ségréger avec les caractéristiques sociales des sujets dont certaines peuvent influencer le risque cardiovasculaire (Lawlor, Davey et al., 2004). Ce facteur de confusion n'est pas toujours mesuré avec précision ou pris en compte dans les modèles d'analyses statistiques.

Les enquêtes épidémiologiques prospectives sont des techniques de mesure d'association entre la consommation de fruits et légumes et les maladies vasculaires et ne préjugent pas d'un lien causal entre le facteur d'exposition et la maladie. En l'absence de randomisation il est difficile de distinguer ce qui tient de l'effet propre de l'aliment sur l'évènement vasculaire, des caractéristiques sociales, du mode de vie ou de facteurs non mesurés dans les relations observées. Plusieurs arguments peuvent être avancés pour estimer le degré de causalité des associations observées dans les enquêtes observationnelles (Potischman and Weed, 1999). L'intensité de la relation observée dans les études doit être importante, dose dépendante et homogène entre les études. Ces conditions ne semblent pas être respectées parfaitement dans le cas des études des fruits et légumes et des maladies cardiovasculaires. D'autres arguments seront évalués dans la suite de la revue.

### 1.2.2. Essais d'intervention nutritionnelle

Depuis quelques années, l'étude de la relation entre la consommation de fruits et de légumes et les maladies chroniques s'est enrichie des résultats d'essais d'intervention nutritionnelle. Ces études ont

une importance majeure dans la démonstration des relations de cause à effet entre la consommation de fruits et légumes et la prévention des maladies cardiovasculaires. A l'heure actuelle, elles restent rares en raison des difficultés propres à leur mise en œuvre.

Les essais d'intervention nutritionnelle évaluent les effets de la consommation d'un régime enrichi en fruits et légumes sur la survenue d'évènements vasculaires. Contrairement aux études épidémiologiques d'observation, l'investigateur a un rôle actif sur le comportement nutritionnel des participants. Le principe de ces essais repose sur la comparaison d'un régime expérimental, enrichi en fruits et en légumes, et témoin, moins riche en végétaux. La randomisation de l'affectation du régime assure une comparabilité parfaite des caractéristiques des sujets des groupes expérimental et témoin, notamment pour les facteurs de confusion. A l'instar des études prospectives les participants sont suivis sur le plan médical pendant un temps donné. Une difficulté importante consiste à pérenniser les modifications du comportement alimentaire dans le groupe expérimental pendant toute la durée de l'intervention. Le principe de l'analyse vise à comparer les taux d'incidence des évènements vasculaires des groupes expérimental et témoin. A l'issue de l'étude l'interprétation des résultats est simplifiée car les différences observées sont en principe attribuables à la seule intervention nutritionnelle. Ainsi la démonstration d'une modification des taux d'évènements dans le groupe expérimental apporte-t-elle des arguments forts pour un lien de cause à effet entre l'alimentation et l'évènement vasculaire. De plus, si les conditions de l'intervention se rapprochent des conditions de vie habituelle, il devient possible d'extrapoler les bénéfices à la communauté.

Dans un premier temps, les études qui évaluent l'efficacité des interventions nutritionnelles sur les modifications des comportements alimentaires seront brièvement décrites. Ensuite, les résultats des essais qui ont mesuré l'impact de ces interventions chez des coronariens et des sujets sains seront rapportés.

#### *1.2.2.1. Conseils alimentaires et consommation de fruits et de légumes*

Les modifications des comportements alimentaires et leurs pérennisations au long cours sont des éléments importants de la réussite des essais d'intervention nutritionnelle. Dans une méta-analyse des études randomisées de plus de 3 mois (6 à 48 mois), Brunner et *al* ont évalué l'impact des méthodes visant à augmenter la consommation de fruits et de légumes chez des adultes (Brunner, Thorogood et al., 2006). Ces méthodes étaient nombreuses, allant de la simple information nutritionnelle à l'aide de livrets, à des interventions plus élaborées, conduites par du personnel médical au cours d'entretiens spécialisés. La méta-analyse montrait une augmentation significative des apports quotidiens de fruits et de légumes chez les sujets qui bénéficiaient des conseils. Cependant, la différence avec le groupe témoin était modeste, à peine supérieure à 1 portion par jour pour l'ensemble des études. Les analyses en sous-groupes montraient de meilleurs résultats pour les interventions soutenues, conduites dans un environnement médical ou chez les sujets avec des antécédents vasculaires ou de cancer.

#### *1.2.2.2. Consommation de fruits et légumes et morbidité mortalité cardiovasculaire*

***. Prévention des récidives chez des patients coronariens***

Pour un individu, la probabilité de faire un accident vasculaire est fortement majorée lorsqu'il présente déjà des antécédents similaires. Plusieurs études ont évalué chez des coronariens l'effet de régimes enrichis en fruits et légumes sur les taux de récidives. Même si les mécanismes de ces complications relèvent de voies physiopathologiques sensiblement différentes de celles l'athérogenèse, leurs résultats complètent les données de prévention primaire.

En marge d'un essai pharmacologique, 11 000 patients coronariens ont bénéficié de conseils diététiques pour augmenter leur consommation de fruits et légumes, mais aussi de poisson et d'huile d'olive (Barzi, Woodward et al., 2003). Les récidives diminuaient de 40 à 45% chez les patients qui consommaient des fruits et des légumes plus d'une fois par jour comparativement à ceux qui en

consommaient rarement ou jamais. Cependant, ces résultats doivent être interprétés avec prudence car ils sont issus d'une étude d'intervention non contrôlée.

En France, l'étude de Lyon a évalué l'impact d'une intervention multifactorielle qui comprenait une augmentation de la consommation de fruits et légumes (mais aussi l'arrêt du tabac, la pratique d'une activité physique régulière et l'ingestion d'une margarine enrichie en acide gras n-3) sur les taux de récidive cardiovasculaire chez 302 sujets coronariens (de Lorgeril, Renaud et al., 1994; de Lorgeril, Salen et al., 1999) . Après 5 ans, les récidives fatales diminuaient dans le groupe expérimental comparativement aux témoins. Toutefois, le caractère multifactoriel de l'intervention ne permet pas d'attribuer ces bénéfices à la consommation de fruits et légumes (Kris-Etherton, Eckel et al., 2001).

L'essai randomisé DART II a évalué l'effet de conseils nutritionnels pour augmenter la consommation de fruits et légumes, de fibres alimentaires et de jus d'orange naturel sur la survenue d'accidents vasculaires chez 3 114 angineux de moins de 70 ans (Burr, Ashfield-Watt et al., 2003). Le suivi durait entre 3 à 9 ans. Au terme de l'étude, les taux de décès cardiaque et de mort subite n'étaient pas différents entre les groupes expérimental et témoin. Dans une enquête nutritionnelle ancillaire, il apparaissait que les différences d'apports de fruits et légumes étaient de l'ordre de 20 g/j entre les groupes expérimental et témoin, expliquant sans doute l'absence de résultat (Ness, Ashfield-Watt et al., 2004; Burr, 2007) .

***. Prévention des accidents vasculaires en prévention primaire***

La "Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial a mesuré l'effet de conseils diététiques pour diminuer des apports lipidiques (à 20% des AET), augmenter la consommation de fruits et légumes (à 5 portions par jour) et de céréales (à 6 portions par jour) sur les taux de survenue de cancers (Beresford, Johnson et al., 2006; Prentice, Caan et al., 2006) et de maladies cardiovasculaires (Howard, Manson et al., 2006) chez 48 835 femmes ménopausées âgées de 50 à 79 ans. Après 6 ans, la consommation de fruits et légumes était plus élevée de 1,2 portions par jour dans le groupe expérimental que dans le témoin. Les taux d'évènements coronaires ou vasculaires cérébraux n'étaient pas différents entre les 2 groupes. Le risque d'évènements majeurs diminuait de 7% chez les femmes sans antécédents cardiovasculaires et augmentait de 3,4% chez les femmes avec des antécédents positifs.

**En conclusion**, les essais randomisés d'intervention nutritionnelle qui ont évalué les effets des fruits et légumes sur les évènements cardiovasculaires sont très rares. A l'heure actuelle, aucun n'a mis en évidence un effet protecteur des fruits et légumes vis-à-vis des maladies cardiovasculaires. Toutefois, les résultats de ces études sont difficilement interprétables en raison de l'échec relatif des interventions nutritionnelles qui n'ont pas produit de gains significatifs de consommation de fruits et légumes par rapport aux témoins. Par conséquent, la preuve formelle que la consommation de fruits et légumes diminue les taux de survenue de maladie cardiovasculaire est encore inexistante.

### 1.2.3. Relation avec les facteurs de risque

Un facteur de risque cardiovasculaire est une caractéristique clinique ou biologique d'un individu qui augmente sa probabilité de faire un accident cardiovasculaire. Les principaux facteurs de risque sont le tabagisme, l'hypercholestérolémie, l'hypertension artérielle, le diabète de type 2 et l'obésité. Les principaux agents pharmacologiques de prévention primaire des maladies cardiovasculaires agissent essentiellement sur des facteurs de risque cardiovasculaire. Par extension, l'étude des effets de la consommation des fruits et de légumes sur les facteurs de risque cardiovasculaire apparaît comme un élément important de l'argumentation de leurs effets protecteurs vis-à-vis les maladies cardiovasculaires.

Des travaux de laboratoire et des études chez l'homme ont montré des effets favorables de certains composés des fruits et des légumes sur des facteurs de risque cardiovasculaire (Lampe, 1999; Van Duyn and Pivonka, 2000). Ces résultats obtenus dans des expériences de supplémentation pharmaco-

logique contrôlées ne reflètent pas toujours bien l'environnement physiologique des fruits et des légumes. En effet, les fruits et les légumes contiennent de multiples composés susceptibles d'interagir. De plus, les procédés usuels de conditionnement ou de traitement culinaire peuvent affecter leurs propriétés. Dès lors, il apparaît important de s'intéresser aux effets propres des fruits et légumes, notamment pour définir les quantités efficaces pour produire une normalisation des facteurs de risque.

Dans l'ESCo, les principales études cliniques qui ont mesuré les effets de la consommation de fruits et de légumes sur variations des niveaux des principaux facteurs de risque (pression artérielle, le LDL-cholestérol et le poids) ont été examinées. L'objectif était de déterminer si la consommation de fruits et légumes produisait une variation significative de ces facteurs et d'estimer la quantité de fruits et légumes nécessaires pour produire un effet cliniquement significatif.

#### *1.2.3.1. Hypertension artérielle*

L'hypertension artérielle est un facteur de risque majeur d'accident vasculaire cérébral, de maladie cardiovasculaire (infarctus du myocarde, insuffisance cardiaque) et d'atteinte rénale vasculaire. De nombreux arguments sont en faveur d'un effet possible de la consommation de fruits et légumes sur la régulation de la pression artérielle (Shah, Jeffery et al., 1990): les végétariens présentent des niveaux de pression artérielle inférieurs aux non-végétariens (Sacks, Rosner et al., 1974); la substitution d'une alimentation omnivore par un régime végétarien s'accompagne d'une baisse de la pression artérielle (Margetts, Beilin et al., 1986); l'augmentation de la pression artérielle au cours du vieillissement est moins marquée chez les consommateurs de fruits et légumes (Dauchet, Kesse-Guyot et al., 2007); les apports de magnésium et de potassium contenu dans les fruits et les légumes sont inversement associés à la pression artérielle (Ascherio, Rimm et al., 1992; Dyer, Elliott et al., 1994; Stamler, Caggiula et al., 1996), l'augmentation des apports de potassium diminue les taux de survenu d'hypertension artérielle (1990).

Plus récemment, des études cliniques contrôlées ont spécifiquement évalué les effets de la consommation de fruits et légumes sur la pression artérielle.

Dans l'essai randomisé DASH, 459 sujets avec une élévation modérée de la pression artérielle ont été randomisés en 3 groupes d'intervention nutritionnelle : un groupe *fruits et légumes*, un groupe *DASH* (riche en fruits, légumes et en calcium et pauvre en acides gras saturés) et un régime témoin (alimentation américaine habituelle) (Appel, Moore et al., 1997). Les apports de fruits et de légumes étaient de 5,2 et 3,3 portions par jour dans les groupes *fruits et légumes* et *DASH* contre 1,6 et 2,0 portions par jour dans le groupe témoin. Des repas calibrés étaient fournis aux participants pendant les 8 semaines de l'intervention. Les résultats montrent une diminution modeste (-2,8 et -1,1 mm de Hg de la pression artérielle systolique et diastolique) dans le groupe *fruits et légumes* comparativement aux témoins. Cet effet était plus marqué chez les sujets hypertendus (-7,2 et -2,8 mm de Hg) et non significatif chez les sujets normotendus (-0,8 et -0,3 mm de Hg) (Appel, Moore et al., 1997). Enfin, les effets étaient plus nets avec le régime *DASH* (-5,5 et -3,0 mm de Hg) ou lorsque les apports de sel étaient réduits (-8,9 et -4,5 mm de Hg) (Appel, Moore et al., 1997; Sacks, Svetkey et al., 2001). Ces travaux, conduits dans des conditions expérimentales rigoureuses, démontrent l'effet hypotenseur de la consommation de fruits et légumes chez des sujets modérément hypertendus. Cet effet est toutefois très modeste. Enfin, la généralisation des conclusions à la communauté pose des problèmes en raison de la durée limitée de l'intervention.

La même équipe a entrepris une nouvelle étude pour évaluer l'efficacité du régime *DASH* en ambulatoire (Appel, Champagne et al., 2003; Elmer, Obarzanek et al., 2006) . Dans l'étude PREMIER, 810 sujets pré-hypertendus (PAS/PAD entre 120-159/80-95 mm Hg) étaient randomisés en 3 groupes. Le groupe *recommandation* recevait des conseils pour une prise en charge hygiéno-diététique optimale de l'hypertension, le groupe *recommandation-DASH* bénéficiait de la prise en charge optimale et du régime *DASH*, enfin le groupe témoin bénéficiait d'une prise en charge standard (Svetkey, Harsha et al., 2003; Funk, Elmer et al., 2006). Les conseils étaient dispensés au cours de 18 entretiens pour le groupe *recommandation* et *recommandation-DASH* et par une entrevue de 30

minutes pour le groupe témoin. L'intervention durait 6 mois. A l'issue de l'étude, les apports de fruits et légumes étaient passés de 4,8 à 7,8 portions par jour dans le groupe *recommandation-DASH*, et étaient restés stables dans les groupes *recommandation* (de 4,6 à 5,1 portions par jour ) et témoin (4,4 à 4,9 portions par jour). Comparativement au groupe témoin, la pression artérielle a diminué dans le groupe *recommandations-DASH* (PAS/PAD : -4,3/-2,6 mm de Hg) et *recommandation* (PAS/PAD : -3,7/-1,7 mm de Hg). Les effets n'étaient pas statistiquement différents entre ces 2 groupes, suggérant que le régime *DASH* n'apporte pas de bénéfice supplémentaire lorsque les recommandations de prise en charge optimale sont respectées. Après 18 mois, la diminution de pression artérielle par rapport au témoin s'était atténuée dans le groupe *recommandations-DASH* (PAS/PAD : -1,9 et 1,1 mm de Hg) malgré la persistance d'un différentiel de consommation de fruits et de légumes équivalent suggérant un échappement au régime (Elmer, Obarzanek et al., 2006).

Dans un essai conduit à Oxford, 729 sujets sans antécédents de maladies cardiovasculaires (autre que l'hypertension) étaient randomisés en 2 groupes pour évaluer l'impact de la consommation de fruits et de légumes sur la pression artérielle (John, Ziebland et al., 2002). Le groupe expérimental bénéficiait de conseils nutritionnels dont l'objectif était d'augmenter la consommation de fruits et légumes jusqu'à 5 portions par jour ou plus. L'intervention comprenait un entretien éducatif de 25 minutes par une infirmière, un appel téléphonique 2 semaines après, et un courrier d'information le 3$^{e}$ mois. Le groupe témoin recevait un livret d'information. La durée de l'étude était de 6 mois. A l'inclusion, la consommation de fruits et légumes était égale à 3,4 portions par jour dans les 2 groupes. Six mois après l'inclusion, la consommation de fruits et légumes avait augmenté de 1,4 portions par jour dans le groupe expérimental et de 0,1 portions par jour dans le groupe témoin. Le bilan biologique montrait une augmentation significative de vitamines plasmatiques dans le groupe expérimental, témoignant de l'adhérence au régime. La pression artérielle diminuait significativement dans le groupe expérimental (PAS/PAD : -3,4 et -1,4 mm de Hg) comparativement au groupe témoin. Ces résultats démontrent qu'une intervention dont l'objectif est d'augmenter la consommation de fruits et légumes jusqu'à 5 portions par jour diminue faiblement les niveaux de pression artérielle chez des sujets maintenus dans leur condition de vie habituelle.

DASH, PREMIER et l'étude d'Oxford, avaient pour critère de jugement principal la pression artérielle. D'autres études, généralement en marge d'essais de prévention du cancer, ont rapporté des effets de la consommation de fruits et légumes sur la pression artérielle.

Dans la Minnesota CPRU Diet Intervention, 200 sujets avec des adénomes colorectaux étaient randomisés en 2 groupes : le groupe expérimental bénéficiait de conseils pour augmenter la consommation de fruits et légumes jusqu'à 8 portions ; le groupe témoin bénéficiait de conseils généraux (Smith-Warner, Elmer et al., 2000). A l'issue de l'étude, d'une durée de 1 an, les apports quotidiens de fruits et légumes étaient de 11,9 portions dans le groupe expérimental et de 6,2 pour les témoins, se traduisant par une augmentation des indicateurs biologiques de la consommation de fruits et légumes. La pression artérielle n'était pas différente entre les 2 groupes.

Dans le Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modididfcation Trial (Howard, Van Horn et al., 2006), la différence de consommation de fruits et légumes entre le groupe bénéficiant des fruits et légumes et le groupe témoin était de l'ordre de 1,2 portions par jour. La pression artérielle, mesurée 3 ans après l'inclusion, était plus basse dans le groupe expérimental (PAS/PAD : -0,17/-0,31 mm de Hg) que dans le groupe témoin.

En conclusion, l'analyse des études cliniques et des essais d'intervention nutritionnelle montre que la consommation de fruits et légumes diminue la pression artérielle. Ces effets sont observés pour des objectifs d'apports de fruits et légumes supérieurs à 5 portions par jour. La baisse de la pression artérielle est très modeste, insignifiante à l'échelle individuelle, un peu plus marquée chez les hyper-tendus. Compte tenu du lien étroit qui unit la pression artérielle et le risque cardiovasculaire, et compte tenu aussi de la prévalence élevée de l'hypertension artérielle dans la population, une diminution même très minime de la pression artérielle pourrait se traduire par un bénéfice cardiovasculaire notable à l'échelle d'une population (Rose, 1985). Enfin, des études complémentaires sont nécessaires pour démontrer si les effets observés à court terme (DASH, Oxford) persistent au long cours.

### *1.2.3.2. Hypercholestérolémie*

L'hypercholestérolémie est facteur de risque majeur de cardiopathies ischémiques. Plusieurs composés des fruits et légumes présentent des propriétés hypocholestérolémiantes avérées. Les fibres sont des composés végétaux résistants à la digestion qui favorisent l'excrétion de cholestérol dans les fèces, en modifiant la physiologie biliaire et le cycle entéro-hépatique du cholestérol (Lampe, 1999). Une méta-analyse des essais cliniques contrôlés a mis en évidence une baisse de 0,13 mmol/l de LDL-cholestérol pour la consommation de 3 grammes de fibres solubles par jour (Brown, Rosner et al., 1999). Les autres paramètres du bilan lipidique ne sont pas affectés, suggérant un effet spécifique sur le métabolisme du LDL-cholestérol. Les phytostérols (sitostérol, sitostanol, campostérol et campostanol) sont des constituants chimiques des plantes. Ils inhibent l'absorption intestinale du cholestérol alimentaire par des mécanismes de compétition directe. Dans des conditions expérimentales contrôlées, l'ingestion de quantités importantes de phytostérols (>2 g/j) diminue les niveaux plasmatiques de LDL-cholestérol chez l'homme (Thompson and Grundy, 2005).

Les effets de la consommation de fruits et légumes sur le LDL-cholestérol plasmatique ont été rapportés dans plusieurs études. Aucune n'avait pour critère de jugement principal les lipides plasmatiques. De ce fait, les schémas expérimentaux et les caractéristiques des sujets ne sont pas optimisés pour l'investigation de ce facteur de risque. Par exemple, aucune étude n'incluait exclusivement des sujets hypercholestérolémiques, plus à même de répondre à une intervention hypolipémiante.

Dans une étude néo-zélandaise, 90 sujets âgés de 18 à 69 ans consommant moins de 3 portions de fruits et légumes par jour ont été randomisés en 2 groupes (Zino, Skeaff et al., 1997): le groupe expérimental recevait des conseils pour augmenter les apports de fruits et légumes jusqu'à 8 portions par jour ; le groupe témoin maintenait ses habitudes alimentaires. Après 4 semaines d'intervention, la consommation de fruits et légumes était de 7,1 portions par jour dans le groupe expérimental et de 2,4 dans le groupe témoin. Les niveaux de LDL- et HDL-cholestérol n'étaient pas différents entre le groupe expérimental (2,9 et 1,2 mmol/l) et témoins (2,8 et 1,2 mmol/l) au terme de 4 semaines.

Dans une étude, 29 femmes consommant moins de 5 portions de fruits et légumes par jour étaient randomisées en 2 groupes : un groupe expérimental bénéficiait de conseils pour augmenter la consommation de fruits et légumes à plus de 9 portions par jour ; et un groupe témoin. Après 6 mois d'intervention, la consommation de fruits et de légumes était plus élevée dans le groupe expérimental (3,5 et 4,7 portions par jour) que témoin (2,0 et 2,1 portions par jour). Les niveaux de LDL-cholestérol n'étaient pas différents entre les 2 groupes (190 *vs*. 202 mg/dL) (Maskarinec, Chan et al., 1999).

Dans DASH, la consommation du régime *fruits et légumes* pendant 8 semaines s'accompagnait d'une diminution non significative du LDL-cholestérol de 0,05 mmol/l comparativement au groupe témoin (Obarzanek, Sacks et al., 2001). Dans l'étude d'Oxford, le régime avec les fruits et légumes pendant 6 mois était associé à une augmentation non significative de 0,018 mmol/l du LDL cholestérol par rapport aux témoins (John, Ziebland et al., 2002). Et dans la Minnesota CPRU Diet Intervention, le LDL cholestérol était sensiblement plus bas dans le groupe expérimental que témoin au terme d'une année d'intervention (Smith-Warner, Elmer et al., 2000).

D'autres études ont associé à l'augmentation de la consommation de fruits et légumes des objectifs de diminution des apports lipidiques.

Dans le Polyp Prevention Trial, 2 079 sujets avec des antécédents d'adénomes colorectaux étaient randomisés en 2 groupes : le groupe expérimental bénéficiait de conseils diététiques pour augmenter la consommation de fruits et légumes, de fibres et réduire les apports en lipides ; le groupe témoin conservait une alimentation américaine habituelle. Après 4 ans, le cholestérol plasmatique total diminuait un peu plus dans le groupe expérimental (0,13 mmol/l) que témoin (0,07 mmol/l) (Lanza, Schatzkin et al., 2001).

Dans une étude ancillaire de la Women's Healthy Eating and Living Study, 400 femmes avec des antécédents de cancer du sein étaient randomisées pour recevoir des conseils pour augmenter leurs apports de fibres (30 g/j), en fruits (3 portions/j) et en légumes (5 portions/j) et diminuer leurs lipides

(<20% des AET) (Pierce, Newman et al., 2004), ou (Rock, Flatt et al., 2004) des conseils hygiéno-diététiques généraux pour la prévention du cancer du sein. Après 12 mois d'intervention, les apports de fruits et légumes étaient plus élevés dans le groupe expérimental (4,2 et 7,8 portions par jour) que témoin (3,4 et 3,9 portions par jour). Les niveaux de LDL-cholestérol n'étaient pas différents entre les 2 groupes. En revanche, les concentrations de HDL-cholestérol diminuaient dans le groupe expérimental par rapport au témoin (Rock, Flatt et al., 2004).

Enfin, dans le Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modididfcation Trial, un régime riche en fruits et légumes et réduit en lipides pendant 3 ans diminuait les niveaux plasmatiques de cholestérol total, de LDL-cholestérol et de HDL-cholestérol de -3,26 ($p<0.05$), -3,55 ($p<0.05$) et -0,43 (ns) mg/dl comparativement aux témoins (Howard, Van Horn et al., 2006).

En conclusion, aucune étude n'a été conçue pour tester spécifiquement les effets de la consommation de fruits et légumes sur le LDL-cholestérol. Ainsi, les schémas expérimentaux, la puissance des études et les critères d'inclusion des sujets ne permettent pas de juger au mieux des effets du régime sur les paramètres lipidiques. La plupart des données sont issues d'essais de prévention ou d'études pilotes. Les résultats suggèrent que des apports de fruits et légumes équivalents à ceux qui diminuent la pression artérielle n'ont pas d'effet sur les niveaux de LDL-cholestérol. Dans les essais de prévention du cancer, qui associent une diminution des apports lipidiques à l'augmentation des fruits et légumes, la baisse très modeste du LDL-cholestérol peut s'accompagner d'une diminution concomitante du HDL-cholestérol. Aujourd'hui les preuves d'un effet de la consommation de fruits et légumes sur les niveaux de LDL-cholestérol sont pratiquement inexistantes.

#### *1.2.3.3. Obésité*

L'obésité est un facteur de risque de diabète et de cardiopathies ischémiques, qui résulte d'un déséquilibre entre les apports et les dépenses énergétiques. Les fruits et les légumes sont une source énergétique alimentaire de densité réduite du fait de leur contenu limité en matière grasse (9 kcal/g) et d'une teneur élevée en eau (0 kcal/g) et en fibres non digestibles. A poids égal, ils apportent moins de calories que d'autres aliments plus riches en lipides. Dans le contexte général d'abondance énergétique qui caractérise les habitudes alimentaires des sociétés occidentales, une consommation importante de fruits et de légumes, en substitution d'aliments plus denses, pourrait contribuer à la diminution de la ration calorique quotidienne (Ledikwe, Blanck et al., 2006; Ledikwe, Blanck et al., 2006) et du poids (Rolls, Drewnowski et al., 2005; Ledikwe, Blanck et al., 2006).

Des investigations de courte durée semblent confirmer ces hypothèses. En effet, ces expériences contrôlées ont montré que la consommation d'aliments de faible densité énergétique était associée à une diminution des apports caloriques quotidiens (Bell, Castellanos et al., 1998; Rolls, Bell et al., 1999; Rolls, Bell et al., 1999). Les résultats indiquent que les sensations de rassasiement sont contrôlées par le poids des aliments ingérés. Ainsi, la substitution d'aliments de forte densité par des aliments de plus faible densité énergétique déclenche-t-elle la satiété pour des apports caloriques inférieurs (Yao and Roberts, 2001). La régulation à plus long terme semble plus complexe notamment dans des conditions expérimentales laissant libre le choix des aliments (Yao and Roberts, 2001), limitant l'utilisation des résultats de ces expériences pour les problématiques de santé publique (Drewnowski, Almiron-Roig et al., 2004).

Des revues antérieures ont évalué les effets de la consommation des fruits et légumes sur la régulation du poids (Rolls, Ello-Martin et al., 2004; Tohill, Seymour et al., 2004; Tohill, 2005). Dans ce travail, nous avons retenu les études randomisées qui évaluaient les effets de la consommation de fruits et légumes sur le poids. Il est important de noter en préambule que la plupart des études n'étaient pas conçues pour étudier les effets des fruits et légumes sur les paramètres anthropométriques. Les essais de prévention du cancer qui avaient pour objectif une diminution des apports lipidiques sans objectif obligatoire de contrôle de poids sont présentés. En revanche, les études d'interventions multifactorielles avec un objectif de perte de poids (notamment chez des patients obèses) ne sont pas rapportées car elles ne permettent pas de juger les seules propriétés des fruits et légumes.

***. Consommation de fruits et légumes et régulation du poids***

Dans une petite étude de 6 mois chez 29 femmes, la comparaison d'un régime expérimental (apportant 3,5 portions de fruits et 4,7 de légumes par jour) et d'un régime témoin (2,0 portions de fruits et 2,1 de légumes par jour) n'avait pas d'effet sur le poids (128 contre 125 livres) (Maskarinec, Chan et al., 1999).

Dans la Minnesota CPRU Diet Intervention, la consommation de fruits et légumes pendant 1 an diminuait les apports lipidiques mais augmentait les glucides alimentaires sans réduire des apports énergétiques. Au terme de l'étude, les différences de poids entre les groupes expérimental et témoin n'étaient pas significatives (Smith-Warner, Elmer et al., 2000).

Dans l'essai d'Oxford, la consommation de fruits et légumes était associée à une augmentation du poids (0,6 kg) équivalente à l'augmentation observée dans le groupe témoin (0,6 kg) (John, Ziebland et al., 2002).

Dans la Nutrition and Breast Health Study, l'effet de la consommation de 9 portions de fruits et légumes sur les paramètres anthropométriques a été évalué pendant 1 an chez 97 femmes âgées de 21 à 50 ans (Djuric, Poore et al., 2002). Les femmes étaient randomisées en 4 groupes (de 20 à 25 sujets) : *hypolipidique*, riche en *fruits et légumes*, *intervention combinée* et témoin (qui maintenait ses habitudes alimentaires). Après 1 an, la consommation de fruits et légumes était de 11,1 portions par jour dans le groupe *fruits et légumes* et de 3,6 dans le groupe témoin. Parallèlement, le poids passait de 66 à 67,7 kg dans le groupe *fruits et légumes* et diminuait de 65,5 à 65 kg dans le groupe témoin. Ces résultats doivent être interprétés avec prudence en raison des petits effectifs de l'étude.

Deux autres études avec des effectifs réduits ne mettent pas en évidence d'effet de la consommation de fruits et de légumes sur les indices anthropométriques (Zino, Skeaff et al., 1997; Maskarinec, Chan et al., 1999) .

En conclusion, ces études en ambulatoire montrent que la promotion de la consommation de fruits et légumes *per se* n'a pas d'effet majeur sur le poids et l'indice de masse corporelle. Ces résultats doivent toutefois être considérés avec une certaine prudence en raison du petit nombre d'études et de leurs limites méthodologiques.

***. Intervention avec objectif de diminution des apports lipidiques et régulation du poids***

Dans le Polyp Prevention Trial, l'augmentation des apports de fruits et légumes et la diminution des lipides se traduisaient par une diminution du poids de -0,65 kg, significativement plus forte que la variation de poids de +0,31 kg dans le groupe témoin (Lanza, Schatzkin et al., 2001). Ces différences étaient plus marquées la première année (-1,96 *vs*. +0,01 kg) et s'atténuaient progressivement au cours du temps.

Dans la Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial, les objectifs de l'intervention étaient de réduire les apports lipidiques jusqu'à 20% des AET en substituant les aliments riches en lipides par des fruits et des légumes (Howard, Manson et al., 2006). La différence de poids entre les groupes expérimental et témoin était un peu supérieure à 2 kg la 1re année et s'estompait progressivement pour atteindre 0,7 kg la 9e année d'étude. Les analyses a posteriori ont montré que la variation de poids était inversement corrélée à la variation des apports lipidiques (exprimés en % des AET) mais pas à celle de la consommation de fruits et légumes.

Enfin dans la Women's Healthy Eating and Living Study, 3 088 femmes âgées de 18 à 74 ans avec des antécédents de cancer du sein bénéficiaient de conseils pour augmenter leurs apports de fruits et de légumes (3 et 5 portions par jour) et de fibres (30 g/j), et diminuer leur consommation de lipides (<20% des AET). Après 6 ans, les apports en fruits et légumes étaient plus élevés dans le groupe expérimental (3,4 et 5,8 portions par jour) que dans le groupe témoin (2,9 et 3,6 portions par jour). En revanche, la différence de poids n'était pas significative entre les groupes intervention et témoin chez ces femmes avec des antécédents de cancer (Rock, Thomson et al., 2001; Thomson, Rock et al., 2005; Pierce, Natarajan et al., 2007).

En conclusion, les résultats montrent que la promotion de la consommation des fruits et légumes associée à une diminution des apports lipidiques diminue le poids de sujets participant à des essais de prévention du cancer. Ces résultats doivent cependant être considérés avec une certaine prudence en raison du petit nombre d'études et de leurs contraintes méthodologiques.

**En conclusion sur les facteurs de risque.** Les interventions réalisées dans un cadre expérimental contraint permettent de vérifier l'hypothèse, les interventions en ambulatoire testent parallèlement la faisabilité du traitement des facteurs de risque. Dans la mesure où les sujets peuvent adapter leur comportement, et en particulier échapper à la contrainte du régime, une partie de l'échec des résultats observés peut s'expliquer par une perte de l'adhérence au régime. Seule l'étude DASH contrôle expérimentalement les apports de fruits et légumes et permet de ce fait de tester l'hypothèse d'une relation avec les facteurs de risque. DASH, d'une durée de 8 semaines, montre un effet significatif sur la pression artérielle mais pas sur le LDL-cholestérol. L'effet sur le poids ne peut être testé dans cette étude où le maintien d'un poids stable faisait partie des objectifs.

### 1.2.4. Rôle des vitamines

L'athérosclérose est un processus biologique multifactoriel complexe impliquant l'interaction de nombreux facteurs vasculaires et plasmatiques. L'hypothèse d'un effet des fruits et légumes sur la prévention des maladies cardiovasculaires est soutenue par des expériences biologiques cellulaires et chez l'animal de laboratoire. De nombreuses études ont ainsi mis en évidence des effets des vitamines dans la régulation des mécanismes d'oxydation, de migration et d'apoptose cellulaire, ainsi que dans les processus de thrombose et d'accumulation lipidique vasculaire (Lampe, 1999).

Deux hypothèses principales impliquent les vitamines dans les processus physiopathologiques de l'athérosclérose et de ses complications. Selon la première, l'oxydation des LDL favoriserait la formation et le développement de la plaque d'athérome en stimulant l'activation des monocytes dans l'espace sous-endothélial des vaisseaux (Chisolm and Steinberg, 2000; Witztum and Steinberg, 2001; Blomhoff, 2005) . Le corollaire est que l'absorption de vitamines antioxydantes des fruits et légumes pourrait inhiber l'oxydation des LDL et par conséquent le développement de la plaque d'athérome.

La seconde découle du rôle de l'homocystéine dans d'athérothrombose. Une baisse des concentrations plasmatiques d'homocystéine, induite par les vitamines B6, B9 et B12 contenues dans les légumes verts, pourrait ainsi diminuer le risque d'évènements thrombotiques.

Les études expérimentales, explorant séparément des voies métaboliques uniques, ne peuvent cependant pas rendre compte de la complexité des mécanismes mis en jeu dans le développement de l'athérosclérose. La démonstration chez l'homme des effets des microconstituants des fruits et légumes sur la survenue d'accidents cardiovasculaires est une étape importante de la démonstration des mécanismes protecteurs des effets des fruits et légumes. Les résultats des principales études de prévention vasculaire sont présentés brièvement.

***. Vitamine E***

Le terme "Vitamine E" évoque de nombreux isomères, dont l'α-tocophérol est le plus abondant et le plus actif dans le plasma. Les principales sources de vitamine E de l'alimentation en Europe et Amérique du Nord sont les huiles végétales et les légumes. Les apports alimentaires moyens dans la population sont de l'ordre de 10 à 15 mg/jour, correspondant aux apports conseillés (2001).

La vitamine E est un antioxydant liposoluble puissant. Cette propriété lui confère un rôle important dans la prévention de la peroxydation des lipides des membranes cellulaires et des LDL (Jialal, Fuller et al., 1995; Devaraj and Jialal, 1996; Fuller, Chandalia et al., 1996; Devaraj, Adams-Huet et al., 1997). L'α-tocophérol inhibe également l'activité de la protéine kinase C et la prolifération cellulaire, réduit l'angiogenèse tumorale, module l'expression de certains gènes et augmente la réponse

immunitaire (Traber, 2001; Brigelius-Flohe, Kelly et al., 2002; Chattopadhyay and Bandyopadhyay, 2006). L'ensemble de ces propriétés contribue *in vitro* à la prévention de l'athérosclérose.

La relation entre la consommation de vitamine E et les maladies cardiovasculaires est documentée dans la littérature épidémiologique. Une méta-analyse de 9 études prospectives regroupant 293 172 sujets, suivis en moyenne pendant 10 ans, a rapporté une relation inverse entre la consommation du vitamine E alimentaire et la survenue d'évènements coronaires (Knekt, Ritz et al., 2004). La diminution du risque coronaire était atténuée après ajustement sur les principaux facteurs de confusion. Certaines études en revanche n'ont pas trouvé de relation entre les taux circulants de vitamine E et la maladie coronaire (Hense, Stender et al., 1993; Ohrvall, Berglund et al., 1996; Evans, Shaten et al., 1998).

Plusieurs essais contrôlés de prévention ont évalué les effets de la supplémentation en vitamine E sur la mortalité cardiovasculaire et totale. Les données de ces essais sont résumées dans 4 méta-analyses (Vivekananthan, Penn et al., 2003; Eidelman, Hollar et al., 2004; Shekelle, Morton et al., 2004; Miller, Pastor-Barriuso et al., 2005; Pham and Plakogiannis, 2005) . Dans une analyse dose-réponse portant sur 19 essais (incluant plus de 130 000 sujets, suivis pendant 1,8 à 8,2 ans, et recevant entre 16,5 à 2000 UI/jour de vitamine E) la supplémentation vitaminique était directement associée à la mortalité totale (Miller, Pastor-Barriuso et al., 2005). L'augmentation était linéaire et continue à partir de 150 UI/jour de vitamine E. Ces résultats ont été confirmés dans une méta-analyse récente, qui montrait une augmentation moyenne de 4% du risque de décès chez les sujets qui reçoivent des suppléments de vitamine E (Bjelakovic, Nikolova et al., 2007).

En conclusion, la prescription de suppléments de vitamine E dans des essais randomisés n'est pas associée à une diminution des évènements et de la mortalité cardiovasculaires. Ces résultats ne permettent pas de vérifier l'hypothèse d'un rôle protecteur de la vitamine E des légumes sur les maladies cardiovasculaires.

***. Folate, vitamine B6, B12***

L'homocystéine est un acide aminé produit par le catabolisme de la méthionine. Les concentrations plasmatiques sont déterminées par des facteurs nutritionnels et génétiques. L'altération du métabolisme de l'homocystéine, secondaire à un défaut de la cystathionine synthase, est responsable des manifestations cliniques importantes et précoces d'athérosclérose (McCully, 1969; Welch and Loscalzo, 1998). Dans les études épidémiologiques, une augmentation modérée des concentrations d'homocystéine est associée à un risque accru de coronaropathie (Bautista, Arenas et al., 2002; Ford, Smith et al., 2002; the Homocysteine Studies Collaboration, 2002; Wald, Law et al., 2002) .

Les carences en vitamines B6 (pyridoxine), B12 (cobalamine) ou B9 (folate) et des apports excessifs de méthionine s'accompagnent d'une augmentation significative des concentrations plasmatiques d'homocystéine. A l'inverse, le traitement par acide folique diminue les niveaux plasmatiques laissant prévoir un effet protecteur vasculaire (Homocysteine Lowering Trialists' Collaboration, 2005).

Deux méta-analyses récentes résument les résultats des essais de prévention vasculaire avec les vitamines B6, B12 et B9 en prévention secondaire (Bazzano, Reynolds et al., 2006; Wang, Qin et al., 2007). Dans la première, la supplémentation avec la vitamine B9 s'accompagnait d'une diminution de 4% du risque relatif de mortalité totale, de 5% du risque relatif d'évènement cardiovasculaire et de 14% du risque relatif d'accident vasculaire (toutes non significatives). La suppression d'une étude de prévention secondaire des accidents vasculaires cérébraux (VISP) se traduisait par une diminution du risque de 24% (statistiquement significative). Des résultats similaires sont rapportés dans la seconde méta-analyse avec une sélection différente d'études (Wang, Qin et al., 2007). Le risque relatif d'accident vasculaire cérébral diminuait de 18%. La réduction du risque était corrélée à la durée de l'étude et à la diminution des niveaux plasmatiques d'homocystéine.

L'ensemble de ces résultats ne permet pas de conclure à un bénéfice de la supplémentation en vitamines B6, B9 et B12 pour la prévention des récidives coronaires et cardiaques. La diminution du risque d'accident vasculaire cérébral chez les sujets sans antécédents cérébrovasculaire mérite d'être

signalée. Enfin, aucun essai d'intervention n'a traité la question de la prévention primaire des accidents vasculaires.

### . *Vitamine A : β-carotène et rétinol*

Le terme Vitamine A fait référence à un ensemble de molécules comprenant les caroténoïdes (pro "vitamine A") et les rétinoïdes. De nombreuses études épidémiologiques d'observation ont mis en évidence des relations favorables entre les niveaux plasmatiques ou les apports alimentaires de vitamine A et la survenue d'évènements cardiaques (Marchioli, Schweiger et al., 2001). Les essais cliniques randomisés n'ont pas confirmé ces résultats. Les évènements vasculaires tendent à augmenter chez les patients qui reçoivent les vitamines B6, B9 et B12 simultanément.

Une méta-analyse a fait la synthèse des essais randomisés de prévention cardiovasculaire avec le β-carotène. Les résultats montrent un excès de risque de décès cardiovasculaire chez les sujets qui reçoivent le traitement actif (Vivekananthan, Penn et al., 2003). Enfin une méta-analyse récente rapporte une augmentation significative du risque de mortalité toutes causes confondues de 7% dans les essais cliniques avec le β-carotène et de 16% dans les essais avec de la vitamine A (Bjelakovic, Nikolova et al., 2007).

### . *Vitamine C : acide ascorbique*

La "Vitamine C" est un antioxydant hydrosoluble puissant chez l'homme (Sauberlich, 1994). Les concentrations plasmatiques sont étroitement contrôlées en fonction de la dose. Les principales sources alimentaires sont les fruits et les légumes.

La vitamine C est oxydée par de nombreux composés qui sont potentiellement impliqués dans diverses pathologies (Padayatty, Katz et al., 2003), notamment l'athérosclérose. L'oxydation *ex vivo* des LDL est diminuée par des concentrations physiologiques de vitamine C (Jialal and Grundy, 1991; Jialal and Grundy, 1993) . La vitamine C augmente les concentrations d'oxyde nitrique endothélial en inhibant son oxydation et en augmentant sa synthèse (Huang, Vita et al., 2000; Heller, Unbehaun et al., 2001). Enfin, la vitamine C aurait des effets favorables sur la fonction endothéliale (Brown and Hu, 2001).

A l'heure actuelle, aucun essai de prévention primaire ni secondaire n'a encore évalué l'effet cardioprotecteur possible d'une supplémentation en vitamine C (Frei, 2003).

### . *Multivitamines et minéraux*

Une méta-analyse récente a évalué les effets de suppléments multi-vitaminiques et minéraux sur la prévention des maladies cardiovasculaires (Huang, Caballero et al., 2006) sans mettre en évidence d'effet protecteur.

### . *Conclusion*

L'analyse des essais de prévention avec la vitamine A, le β-carotène et la vitamine E n'a pas mis en évidence de bénéfice des suppléments sur la prévention des maladies cardiovasculaires (Kris-Etherton, Lichtenstein et al., 2004). A l'inverse, la supplémentation pharmacologique par la vitamine A, le β-carotène et la vitamine E est associée à un excès de mortalité. Les essais thérapeutiques avec les vitamines B6, B9 et B12 ont démontré une baisse des niveaux d'homocystéine mais pas de diminution significative des évènements coronaires. Il persiste encore un doute concernant un effet protecteur possible de la supplémentation pharmacologique avec la vitamine B9 sur les évènements vasculaires cérébraux. Enfin, l'absence d'essai thérapeutique pour la vitamine C ne permet pas de conclure. L'ensemble des études publiées à ce jour n'apporte donc pas de preuve directe d'un effet protecteur de la consommation de vitamines sur la survenue de coronaropathies et d'accidents vasculaires cérébraux.

### 1.2.5. Conclusion

Depuis la publication des recommandations de santé publique, de nouvelles études ont permis de préciser la nature de la relation entre la consommation de fruits et légumes et les maladies vasculaires. L'objectif de cette revue était d'analyser les arguments qui permettent de démontrer le lien entre la consommation de fruits et la survenue des maladies cardiovasculaires.

La publication récente d'essais de prévention a permis d'évaluer directement les effets de la consommation de fruits et légumes. Ces études sont encore trop peu nombreuses. Les résultats des deux essais, DART II pour la prévention secondaire et Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modidifcation Trial pour la prévention primaire, n'ont pas démontré d'effet de l'intervention. Dans ces deux études, l'intervention n'était manifestement pas assez efficace pour créer un différentiel important de consommation de fruits et de légumes entre les groupes expérimental et témoin ne permettant pas de conclure définitivement.

En l'absence de résultat, et par conséquent de preuve formelle d'un effet protecteur de la consommation de fruits et légumes sur l'incidence des maladies cardiovasculaires, les arguments en faveur d'une relation doivent être recherchés dans les enquêtes épidémiologiques d'observation. Celles-ci sont nombreuses, conduites pour la plupart aux Etats-Unis et en Europe du Nord. Dans leur grande majorité les études prospectives montrent une diminution du risque relatif d'accidents coronaires fatals ou non fatals et cérébraux vasculaires. Cependant, la plupart des relations observées sont statistiquement non significatives, suggérant que ces relations sont de faible intensité ou que les études n'avaient pas assez de puissance pour démontrer une relation.

Les observations des études de cohorte ne préjugent pas d'un lien causal entre l'ingestion de fruits et de légumes et la formation de l'athérosclérose dans les vaisseaux. En effet, les consommateurs de fruits et légumes présentent des caractéristiques sociales, culturelles et des habitudes de vie qui leur confèrent un protection vis-à-vis des maladies cardiovasculaires. De plus, la consommation de fruits et légumes s'accompagne d'une diminution des apports d'autres aliments dont certains pourraient être délétères sur le plan vasculaire. Ainsi, les enquêtes épidémiologiques observationnelles ne permettent pas de conclure formellement quant aux effets des fruits et légumes.

Les effets de la consommation de fruits et légumes sur les facteurs de risque cardiovasculaire sont très faibles ou non démontrés. Dans des conditions d'expérimentation rigoureuses, la consommation de fruits et légumes s'accompagnent d'une diminution très modeste de la pression artérielle, un facteur de risque important de maladies cardio- et cérébrovasculaires. Les effets des fruits et légumes sur le LDL-cholestérol et le poids n'ont pas été explorés correctement.

L'hypothèse du rôle protecteur des vitamines antioxydantes sur la formation de la plaque d'athérome et la prévention de ses complications n'a pas été vérifiée dans des essais pharmacologiques de prévention cardiovasculaire. Ces essais montrent en revanche un surcroît de mortalité pour les suppléments de vitamine E, vitamine A et β-carotène.

Ainsi, à l'heure actuelle, les preuves d'un effet protecteur fort des fruits et légumes sur la survenue d'accidents cardiovasculaires sont très faibles, pratiquement inexistantes. Ceci n'exclut pas un effet des fruits et des légumes sur ces événements. Il reste toutefois à trouver les quantités efficaces et les conditions optimales d'une prévention individuelle. Par ailleurs, compte tenu de la forte prévalence de l'hypertension artérielle dans la population et de sa relation étroite avec les maladies vasculaires, la diminution très modeste de la pression artérielle sous l'effet d'une alimentation riche en fruits et légumes pourrait présager d'un bénéfice cardiovasculaire à l'échelle de la population.

**Tableau 1.2-1.** Description des Cohortes portant sur la consommation de Fruits et / ou Légumes et le risque de Cardiopathies ischémiques ou d'Accidents Vasculaires Cérébraux (AVC) fatals et non-fatals

| Cohorte | Auteur | Revue | Date de publication | Lieu | | Effectif (h/f) | Age (an) | Durée moyenne (ou médiane) de suivi (ans) | Date de recrutement | AVC totaux | AVC fatal ou non (généralement ischémique) | Accident coronaire fatal ou non | Mortalité coronaire | Maladie cardiovasculaire (généralement AVC et coronaire) | Evénement | Exposition | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Adventist Health Study | GE Fraser et al | Arch Int Med | 1992 | Californie (USA) | membres de la communauté Adventiste d'origine Caucasienne | 10 003 / 16 740 | > 25 | 6 | 1976 | | | 134 | 463 | | IM non fatal (n=134), IM fatal (n=260), Cardiopathie ischémique fatale (n=463) | score de fruits | FFQ |
| Mobile Clinic of the Finnish Social Insurance | P Knekt et al | Am J Epidemiology | 1994 | Finlande | volontaires sains recrutés en Finlande | 2 748 / 2 385 | 30 à 69 | 12 à 16 | 1966 à 1972 | | | | 244 | | décès coronaire | fruits et légumes | Dietary History |
| Framingham Study | MW Gillman et al | JAMA | 1995 | Framingham (USA) | résidents de la commune de Framingham | 832 / - | 45 à 65 | 20 | 1966 à 1969 | 97 | 61 | | | | AVC et AIT | fruits et légumes | 24 hours Recall |
| ATBC | P Pietinen et al | Circulation | 1996 | Finlande : essai de prévention du cancer du poumon chez les fumeurs | fumeurs de 50 à 69 ans originaire du sud-ouest de la Finlande | 21 930 / - | 50 à 69 | 6.1 | 1993 | | | | 635 | | dècès coronaire | fruits (+ baies) et légumes | FFQ |
| Mobile Clinic of the Finnish Social Insurance | P Knekt et al | BMJ | 1996 | Finlande | volontaires sains recrutés en Finlande | 2 748 / 2 385 | 30 à 69 | 26 | 1966 à 1972 | | | | 473 | | décès coronaire | fruits | FFQ |
| Health Professionals' Follow-up Study | EB Rimm et al | JAMA | 1996 | USA | professionnels de santé | 43 757 / | 40 à 75 | 6 | 1986 | | | 734 | | | événement coronaire (n=511), décès coronaire (n=229) | fruits & légumes | FFQ |
| Boston Community | NR Sahyoun et al | Am J Epidemiology | 1996 | Massachusetts (USA) | volontaires de plus de 60 ans du Massachusetts | 254 / 471 | 60 à 101 | 9 à 12 | 1981 à 1984 | | | | 101 | | mortalité cardiaque | fruits (+ jus) et légumes | 3 days food record |
| Vegetarians and other Health Conscious People | TJA Key et al | BMJ | 1996 | Royaume-Uni | Végétariens et Informé santé | 4 336 / 6 435 | > 16 | 16.8 | 1973 à 1979 | | 147 | | 350 | 598 | décès coronaires, vasculaires et cérébraux | fruits frais | FFQ |
| Health Conscious Individuals | JI Mann et al | Heart | 1997 | Royaume-Uni | Végétariens et Informé santé | 4 102 / 6 700 | 16 à 79 | 13.3 | 1980 à 1984 | | | | 64 | | décès coronaire | fruits frais et secs | FFQ |
| Health Professionals' Follow-up Study | KJ Joshipura et al | JAMA | 1999 | USA | Professionnels de santé | 38 683 / - | 40 à 75 | 8 | 1986 | | 204 | | | | AVC ischémique fatal ou non | fruits, légumes et fruits & légumes | FFQ |
| Nurses' Health Study | KJ Joshipura et al | JAMA | 1999 | USA | Infirmières | - / 75 596 | 34 à 59 | 14 | 1980 | | 366 | | | | AVC ischémique fatal ou non | fruits, légumes et fruits & légumes | FFQ |
| Women's Health Study | S Liu et al | Am J Clin Nutr | 2000 | USA | Femmes professionnelles de santé | - /39127 | age moyen 54 | 5 | 1993 | | 160 | 126 | | 418 | infarctus du myocarde, AVC, maladie cardiovasculaire, pontage et angioplastie | fruits, légumes et fruits & légumes | FFQ |
| Study of men Born in 1913 | E Strandhagen et al | Eur J Clin Nutr | 2000 | Göteborg (Suède) | Hommes nés en 1913 | 730 / - | 54 | 26 | 1967 | | | | | 209/226 | angor, infarctus et AVC (n= 209 non-fatals) et DC cardiovasculaire (n=226) | fruits, légumes | FFQ |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| British Health and Lifestyle Survey | BD Cox et al | Public Health Nutr | 2000 | Angleterre, Pays de Galles et Ecosse | Résident du Royaume Uni | 1422 / 1826 | 35 à 75 | 7 | 1984 - 1985 | | | | | 392 | MI, angor, pontage, AVC et AOMI mortalité | fruits et saisons | FFQ |
| ATBC | T Hirvonen et al | Stroke | 2000 | Finlande : essai de prévention du cancer du poumon chez les fumeurs | fumeurs originaire du sud-ouest de la Finlande | 26 497 / - | 50 à 69 | 6.1 | 1993 | | 736 | | | | AVC ischémique | fruits, légumes | Dietary History |
| Physicians' Health Study | S Liu et al | Int J Epidemiol | 2001 | USA | Médecins Américains | 15 220 / - | 40 à 84 | 12 | 1982 | | | 387 | | | infarctus du myocarde fatal ou non fatal | légumes (pourquoi pas fruits ?????) | FFQ |
| Health Professionals' Follow-up Study | KJ Joshipura et al | Ann Intern Med | 2001 | USA | Professionnels de santé | 42 148 / - | 40 à 75 | 8 | 1986 | | | 1063 | | | événement coronaire fatal ou non | fruits, légumes et fruits & légumes | FFQ |
| Nurses' Health Study | KJ Joshipura et al | Ann Intern Med | 2001 | USA | Infirmières | - / 84 251 | 34 à 59 | 14 | 1980 | | | 1127 | | | événement coronaire fatal ou non | fruits, légumes et fruits & légumes | FFQ |
| NHANES Follow-up Study | LA Bazzano et al | Am J Clin Nutr | 2002 | USA | Echantillon de population | 3 684 / 5 924 | 25 à 74 | 19 | 1971 à 1975 | 888 | | 1786 | 639 | 1445 | événement coronaire fatal ou non, AVC totaux, décès cardiovasculaire | fruits & légumes | FFQ |
| Vegetarians and other Health Conscious People | JN Appleby et al | IARC Sci Publ | 2002 | Royaume-Uni | Végétariens et Informé santé | 4325 / 6416 | > 16 | 18 à 24 | 1973 à 1979 | 356 | | | 605 | 1202 | décès coronaires, vasculaires et cérébraux | fruits frais | FFQ |
| Artherosclerosis Risk in Communities ARIC | LM Steffen et al | Am J Clin Nutr | 2003 | USA : Forsyth, Mineapolis, Washington counties | fruits, légumes et fruits & légumes | 5 171 / 6 669 | 45 à 64 | 11 | 1987 à 1989 | 270 | 214 | 535 | | | événement coronaire fatal ou non et AVC ischémique | fruits & légumes | semi quant. FFQ |
| Danish Diet Cancer and Health study | SP Johnsen et al | Am J Clin Nutr | 2003 | Copenhage et Aarhus (Danemark) | Volontaires sains | 27 177 / 29 876 | 50 à 64 | 3.09 | 1993 à 1997 | | 266 | | | | AVC ischémiques | fruits, légumes et fruits & légumes | semi quant. FFQ |
| Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor (KIHD) | TH Rissanen et al | J Nutr | 2003 | Kupio (Finlande) | Echantillon de population | 1 950 / - | 42 à 60 | 12.8 | 1984 à 1989 | | | | | 115 | Mortalité cardiovasculaire | fuits (+ baies) et légumes | Juornam Alimentaire de 4 jours |
| Nagasaki Life Span Study | C Sauvaget et al | Stroke | 2003 | Japon | Echantillon de population | 14 966 / 23 471 | 35 à 103 | 16 | 1978 à 1981 | 1926 | 920 | | | | DC par AVC ischémique | fruits et légumes (verts et jaunes) | FFQ |
| Prime | L Dauchet et al | Br J Nut | 2004 | France et Ulster | Volontaires sains | 8087 / - | 50 à 59 | 5 | 1991 | | | 249 | | | événement coronaire fatal ou non et angor | fruits, légumes et fruits & légumes | FFQ |
| Odyssey Cohort | JM Genkinger et al | Am J Epidemiology | 2004 | Washington county (USA) | Volontaires sains | 6151 | 30 à 93 | » 13 | 1974 et 1989 | | | | | 378 | mortalité cardiovasculaire | fruits & légumes | FFQ |
| Nurses' Health Study & Health Professionals' Follow-up Study | HC Hung et al | J Nat Cancer Ints | 2004 | USA | Professionnels de santé et Infirmières | 37 725 / 71 910 | 34 à 75 | » 13 | 1984 et 1986 | | | | | 3864 | IM et AVC fatal ou non | fruits, légumes et fruits & légumes | FFQ |
| Baltimore Longitudinal Study of Aging | KL Tucker et al | J Nutr | 2005 | USA | hommes de plus de 80 ans | 501 / - | <80 | 18 | 1958 | | | | 71 | | mortalité coronaire | fruits, légumes et fruits & légumes | Journal alimentaire de 7 jours X4 |
| Carnegie (Boyd Orr) Survey | AR Ness et al | Heart | 2006 | Angleterre et Ecosse | enfants | 4028 | 7.5 | 37 | 1937 à 1939 | 83 | | | 298 | | mortalité coronaire et AVC | fruits & légumes | 7 days household inventory |

IHD ischemic heart disease ; IM infarctus du myocarde ; AVC accident vasculaire cérébral.
ATBC : Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study

**Tableau 1.2-2.** Consommation de Fruits et / ou Légumes et Cardiopathies Ischémiques

| Cohorte | Auteur | Année | Critère de jugement | Nombre d'événements | Aliment | Résultats RR [95% IC]* | Test de tendance | Exposition |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Adventist Health Study | Fraserr | 1992 | IM non-fatal | 134 | fruits | 1.07 [0.58-1.96] | ns | >2 parts/j vs. <1/ j |
| Health Professionals' Follow-up Study | Rimm | 1996 | IM fatal et non-fatal | 734 | fruits et légumes | 0.78 [0.58-1.04] | | ³ 7 parts / j vs. < 3/ j |
| Health Professionals' Follow-up Study | Joshipura | 2001 | IM fatal ou non-fatal | 1063 | fruits | 0.92 | | 1 portion supplémentaire /j |
| | | | | | légumes | 0.97 | | |
| | | | | | fruits et légumes | 0.96 [0.93-0.99] | | |
| Nurses' Health Study | Joshipura | 2001 | IM fatal ou non-fatal | 1127 | fruits | 0.95 | | 1 portion supplémentaire /j |
| | | | | | légumes | 0.93 | | |
| | | | | | fruits et légumes | 0.97 [0.93-1.00] | | |
| Women's Health study | Liu | 2000 | IM fatal ou non-fatal | 126 | fruits | 0,66 [0,36-1,22] | 0.26 | Q5 (³ 3.9 / j) vs. < Q1 (0.6/ j) |
| | | | | | légumes | 0,88 [0,50-1,58] | 0.6 | Q5 (³ 6.9 / j) vs. Q1 (< 1.5/ j) |
| | | | | | fruits et légumes | 0,63 [0,38-1,17] | 0.21 | Q5 (³ 10.2 / j) vs. < Q1 (2.6/ j) |
| Physicians' Health Study | Liu | 2001 | IM fatal ou non-fatal | 387 | légumes | 0.81 [0.59-1.31] | 0.24 | ³ 2.5 portions / j vs. < 1/ j |
| NHANES Follow-up Study | Bazzano | 2002 | IM fatal ou non-fatal | 1786 | fruits et légumes | 1.01 [0.84-1.21] | 0.08 | ³ 3 fois / j vs. < 1/ j |
| ARIC | Steffen | 2003 | IM fatal ou non-fatal | 535 | fruits et légumes | 0.82 [0.57-1.17] | 0.29 | Q5 (³ 7.5 portions / j) vs. Q1 (< 2.1/ j) |
| Prime | Dauchett | 2004 | IM fatal ou non, angor | 249 | fruits | 0.90 [0.66-1.24] | 0.13 | T3 (³ 1.29 fois/j) vs. T1 (£ 0.57/j) |
| | | | | | légumes | 1.01 [0.88-1.15] | 0.93 | T3 (³ 1.5 fois/j vs. T1 (£ 0.79/j) |
| | | | | | fruits et légumes | 0.78 [0.56-1.07] | 0.18 | T3 (³ 2.6 fois/j) vs. T1(£ 1.57/j) |
| | | | | | | | | |

IHD ischemic heart disease ; IM infarctus du myocarde

ARIC: Artherosclerosis Risk in Communities

*Les RR correspondent aux variables d'expositions présentes dans les articles (colonne de droite)

**Tableau 1.2-3.** Consommation de Fruits et / ou Légumes et Mortalité Cardiovasculaire

| Cohorte | Auteur | Année | Critère de jugement | Nombre d'événements | Aliment | Résultats RR [95% IC]* | Test de tendance | Exposition |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Adventist Health Study | Fraser | 1992 | Mortalité coronaire (definite) | 260 | fruit | 1.08 [0.67-1.75] | ns | >2 fois / j vs. <1/ j |
| | | | Mortalité coronaire (death certificat) | 463 | fruit | 1.18 [0.82-1.70] | ns | >2 fois / j vs. <1/ j |
| Mobile Clinic of Social Insurance | Knekt | 1994 | Mortalité coronaire | 186 H 58 F | fruits | H: 0.77 [0.52-1.12]<br>F: 0.66 [0.36-1.22] | H : 0.28 / F :0.10 | 3ème tertile vs. 1er tertile |
| Mobile Clinic of Social Insurance | Knekt | 1996 | Mortalité coronaire | 350 H 123 F | légumes | H: 0.89 [0.65-1.21]<br>F: 0.77 [0.49-1.21] | ? | 4ème quartile vs. 1er quartile |
| ATBC | Pietinen | 1996 | Mortalité coronaire | 635 | fruits (+ baies) | 0.78 [0.59-1.03] | 0.008 | 5ème quintile vs. 1er quintile |
| | | | | | légumes | 0.60 [0.45-0.79] | <0.001 | |
| Vegetarians and other health conscious people | Key | 1996 | Mortalité coronaire | 350 | fruits frais | 0.76 [0.60-0.97] | nd | ³1 portion / j vs. <1/ j |
| Mobile Clinic of Social Insurance | Knekt | 1994 | Mortalité coronaire | 350 H 123 F | légumes | H: 0.89 [0.65-1.21]<br>F: 0.77 [0.49-1.21] | | 4ème quartile vs. 1er quartile |
| Health Conscious Individuals | Mann | 1997 | Mortalité coronaire | 64 | fruits | 0.89 [0.44-1.80] | ns | ³ 10 fois / sem vs. < 5 /sem |
| | | | | | légumes verts | 1.34 [0.47-3.84] | ns | ³ 5 fois /sem vs. < 1 /sem |
| Women's Health Study | Liu | 2000 | infarctus du myocarde, AVC, maladie cardiovasculaire, pontage et angioplastie | 418 | fruits | 0.96 [0.70-1.33] | 0.69 | Q5 vs. Q1 |
| | | | | | légumes | 0.85 [0.61-1.19] | 0.21 | Q5 vs. Q2 |
| | | | | | fruits et légumes | 0.85 [0.61-1.17] | 0.45 | Q5 vs. Q3 |
| NHANES Follow-up Study | Bazzano | 2002 | Mortalité coronaire | 639 | fruits et légumes | 0.76 [0.56-1.03] | 0.07 | ³ 3 fois / j vs. < 1/ j |
| Vegetarians and other Health Conscious People | JN Appleby et al | 2002 | Mortalité coronaire | 605 | fruits frais | 0.89 [0.77-1.03] | | ³ 1 fois / j vs. < 1/ j |
| | | | | | légumes frais | 0.94 [0.83-1.07] | | ³ 1 fois / j vs. < 1/ j |
| Baltimore Longitudinal Study of Aging | KL Tucker | 2005 | IM fatal | 71 | fruits | 0.97 [0.79-1.20] | | 1 portion supplémentaire /j |
| | | | | | légumes | 0.73 [0.54-0.97] | | |
| | | | | | fruits et légumes | 0.90 [0.76-1.05] | | |
| Carnegie (Boyd Orr) Survey | AR Ness | 2006 | Mortalité coronaire | 298 | fruits | 1.19 [0.76-1.87] | 0.7 | Q4 (moy 90g/j) vs. Q1 (moy 0.7 g/j) |
| | | | | | légumes | 1.01[0.70-1.63] | 0.7 | Q4 (moy 116g/j) vs. Q1 (moy 24 g/j) |

Mortalité cardiaque : IM, trouble du rythme et insuffisance cardiaque fatals. Mortalité coronaire : IM fatal.
*Les RR correspondent aux variables d'expositions présentes dans les articles (colonne de droite)

**Tableau 1.2-4.** Consommation de Fruits et / ou Légumes et Mortalité Cardiovasculaire

| Cohorte | Auteur | Année | Critère de jugement | Nombre d'événements | Aliment | Résultats RR [95% IC]* | Test de tendance | Exposition |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Boston Community | Sahyoun | 1996 | Mortalité cardiaque | 101 | fruit et jus de fruits | 0.64 [0.34 - 1.21] | 0.48 | 3ème tertile vs. 1er tertile |
| | | | | | légumes | 0.51 [0.27 - 0.95] | 0.04 | |
| Study of Men Born in 1913 | Strandhagen | 2000 | Mortalité cardiovasculaire | 226 | fruits | incidence : 27.7% vs 36.7% | 0.042 | 0-1 vs. 6-7 prises / sem |
| | | | | | légumes | incidence : 26.9% vs 35.5% | ns | |
| | | | IM, angor, AVC non-fatal | 209 | fruits | incidence sur 26 ans de suivi : 32% vs 25,8% | ns | |
| | | | IM, angor, AVC non-fatal | | légumes | 29.8% vs 24.6% | ns | |
| British Health and Lifestyle Survey | BD Cox | 2000 | Mortalité cardiovasculaire | 392 | fruits en hiver | H : OR=0.69 ; F OR=0.52 | 0.70 / 0.004 | journalier à jamais (5 niveaux) |
| | | | | | fruits en été | H :OR=0.80 ; F OR=0.63 | 0.63 / 0.014 | journalier à jamais (5 niveaux) |
| NHANES Follow-up Study | Bazzano | 2002 | Mortalité cardiovasculaire | 1145 | fruits et légumes | 0.73 [0.58-0.92] | 0.008 | ³ 3 fois / j vs. < 1/ j |
| Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor (KIHD) | Rissanen | 2003 | Mortalité cardiovasculaire | 115 | fruits et légumes | 0.59 [0.33-1.06] | 0.02 | Q5 (>408 g/j) vs. < Q1 (133 g/j) |
| Odyssey Cohort | Genkinger JM | 2004 | Mortalité cardiovasculaire | 378 | fruits et légumes | 0.76 [0.54-1.06] | 0.15 | Q5 (med 4.9 portions/j) vs. Q1 (med 0.87/j) |
| Nurses' Health Study & Health Professionals' Follow-up Study | Hung H | 2004 | IM et AVC fatals ou non | 3864 | fruits | 0.87 [0.80-0.94] | | 3 portions supplémentaires /j |
| | | | | | légumes | 0.93 [0.86-1.00] | | 3 portions supplémentaires /j |
| | | | | | fruits et légumes | 0.88 [0.81-0.95] | | 5 portions supplémentaires /j |
| | | | | | | | | |
| Women's Health study | Liu S | 2000 | IM fatal ou non-fatal, PTCA, CABG | 418 | fruits | 0,96 [0,70-1,33] | 0.69 | 5ème quintile vs. 1er quintila |
| | | | | | légumes | 0,85 [0,61-1,19] | 0.21 | |
| | | | | | fruits et légumes | 0,85 [0,61-1,17] | 0.45 | |

Mortalité cardiaque : IM, trouble du rythme et insuffisance cardiaque fatals. Mortalité coronaire : IM fatal.

*Les RR correspondent aux variables d'expositions présentes dans les articles (colonne de droite)

**Tableau 1.2-5.** Consommation de Fruits et / ou Légumes et Accidents Vasculaires Cérébraux (AVC)

| Cohorte | Auteur | Année | Critère de jugement | Nombre d'événements | Aliment | Résultats RR [95% IC]* | Test de tendance | Exposition |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Framingham study | Gillman | 1995 | AVC ischémique | 61 | fruits et légumes | 0.77 [0.60-0.98] | | 3 portions supplémentaires / j |
| | | | AVC total et AIT | 97 | fruits | 0.81 [0.56-1.19] | | |
| | | | AVC total et AIT | 97 | légumes | 0.74 [0.54-1.02] | | |
| Vegetarian Health Conscious People | Key | 1996 | AVC | 147 | fruits frais | 0.68 [0.47-0.98] | nd | ³1 portion / j vs. <1 / j |
| Health Professionals' Follow-up Study | Joshipura | 1999 | AVC ischémique | 204 | fruits et légumes | 0.96 [0.89-1.03] | | 1 portion supplémentaire / j |
| | | | | | fruits | 0.93 [0.82-1.05] | | |
| | | | | | légumes | 0.98 [0.88-1.09] | | |
| Nurses' Health Study | Joshipura | 1999 | AVC ischémique | 366 | fruits et légumes | 0.93 [0.87-1.00] | | 1 portion supplémentaire / j |
| | | | | | fruits | 0.87 [0.78-0.96] | | |
| | | | | | légumes | 0.95 [0.86-1.06] | | |
| ATBC | T Hirvonen et coll. | 2000 | AVC non hémorragiques | 736 | Fruits | 0.96 [0.78-1.18] | 0.73 | Q4 (>120 g/j) vs. Q1 (<32 g/j) |
| | | | | | Légumes | 0.71 [0.57-0.87] | 0.001 | Q4 (>142 g/j) vs. Q1 (<59 g/j) |
| NHANES Follow-up Study | Bazzano | 2002 | AVC total | 888 | fruits et légumes | 0.73 [0.57-0.95] | 0.01 | ³ 3 fois / j vs. < 1/ j |
| ARIC | Steffen | 2003 | AVC ischémique | 214 | fruits et légumes | 0.94 [0.54-1.63] | 0.4 | Q5 (³ 7.5 portions / j) vs. < Q1 (2.1/ j) |
| Danish Cancer and Health study | Joshen | 2003 | AVC ischémique | 266 | fruits et légumes | 0.72 [0.47-1.12] | 0.04 | Q5 (med 673 g/j) vs. Q1 (147 g/j) |
| | | | | | fruits | 0.60 [0.38-0.95] | 0.02 | Q5 (med 423 g/j) vs. Q1 (41 g/j) |
| | | | | | légumes | 1.00 [0.66-1.53] | 0.57 | Q5 (med 312 g/j) vs. Q1 (66 g/j) |
| Nagasaki Life Span Study | Sauvaget | 2003 | Mortalité par AVC ischémique | 920 | légumes verts et jaunes | H: 0.68 [0.50-0.94]<br>F: 0.70 [0.55-0.90] | 0.022/0.0054 | 1 portion / j vs. £1/ sem |
| | | | | | fruits | H: 0.63 [0.47-0.83]<br>F: 0.77 [0.61-0.96] | 0.0012/0.0175 | |
| Carnegie (Boyd Orr) Survey | AR Ness et coll. | 2006 | Mortalité par AVC | 83 | fruits | 0.48 [0.21-1.10] | 0.3 | Q4 (moy 90g/j) vs. Q1 (moy 0.7 g/j) |
| | | | | | légumes | 0.40 [0.19-0.83] | 0.01 | Q4 (moy 116g/j) vs. Q1 (moy 24 g/j) |

IM infarctus du myocarde ; AVC accident vasculaire cérébral. AIT accident ischémique transitoire.

ARIC: Artherosclerosis Risk in Communities

*Les RR correspondent aux variables d'expositions présentes dans les articles (colonne de droite)

## 1.3. Fruits et légumes et diabète

Marie-Jo Amiot-Carlin

A l'opposé du diabète de type I, qui est une affection immunitaire de la cellule ß du pancréas, le diabète de type II est une maladie nutritionnelle largement liée à la situation de pléthore alimentaire et de faible activité physique. Il se caractérise par un déficit d'insulino-sécrétion et une insulino-résistance, les 2 mécanismes conduisant à l'hyperglycémie chronique. Le déficit d'insulino-sécrétion résulte d'altérations complexes mettant en jeu la réduction de la masse des cellules ß, la gluco- et la lipotoxicité et le stress oxydant. L'hyperglycémie chronique a des conséquences délétères importantes, principalement sur les micro-vaisseaux (microangiopathies). Celles-ci sont responsables des complications vasculaires (rénales, oculaires, cardiaques, artérite des membres inférieurs) qui font la gravité de la maladie. De plus, l'hyperglycémie chronique est fréquemment associée à une dyslipidémie qui se caractérise par plusieurs anomalies athérogènes des lipides et des lipoprotéines plasmatiques liées les unes aux autres : élévation des triglycérides, baisse du HDL cholestérol, apparition de particules LDL et HDL petites et denses, riches en triglycérides.

A côté du diabète, classiquement caractérisé par la présence d'une hyperglycémie à jeun ou permanente, il existe une phase précoce de la maladie, l'insulino-résistance, qui représente un enjeu majeur de santé publique. En effet, l'accroissement de la disponibilité nutritionnelle, notamment à travers des aliments à haute valeur énergétique, associé à divers changements sociologiques (faible dépense énergétique) conduisent à une augmentation de la masse du tissu adipeux menant à la surcharge pondérale ou à l'obésité. Il a été bien montré qu'il existe une relation inverse entre la sensibilité à l'insuline et la masse du tissu adipeux. L'insulino-résistance, ou premier stade de la maladie métabolique qui conduira potentiellement au diabète de type II, est caractérisée par la nécessité d'une sécrétion d'insuline plus forte pour maintenir la glycémie, qui elle est encore normale ou subnormale. Cette insulino-résistance, associée à une hypertension artérielle, à une dyslipidémie et à une microalbuminurie a été regroupée en un syndrome que l'on appelle parfois le syndrome X, ou plus récemment le syndrome métabolique. L'évolution de ce syndrome se fait vers un "épuisement" pancréatique, c'est-à-dire une insuffisance de la sécrétion d'insuline, et un diabète de type II.

Compte tenu des conséquences lourdes en termes de santé publique, la prévention primaire du diabète passe par des changements de style de vie, dont l'alimentation. Il a été très largement montré que la réduction du poids associée à la pratique d'une activité physique suffisante étaient très efficaces dans l'amélioration, voire la correction de l'insulino-résistance et de ses conséquences évolutives. De fait, à côté de diverses médications, la prescription de règles hygiéno-diététiques demeure au centre de la prise en charge de ces sujets. En France, la prévention du diabète fait l'objet de la politique nutritionnelle menée dans le cadre du Programme national nutrition et santé (PNNS) mis en place par le Ministère de la Santé et de la protection sociale en 2001, pour notamment réduire la prévalence du surpoids et de l'obésité chez l'adulte et chez l'enfant, facteur de risque important du diabète.

### 1.3.1. Les études épidémiologiques

Plusieurs études prospectives ont cherché à évaluer si la consommation de fruits et légumes était associée à une prévention du diabète de type II. Une plus grande consommation de fruits et de légumes est apparue associée à une diminution du risque de développer un diabète chez les femmes de la cohorte "National Health and Nutrition Examination Survey" (Ford and Mokdad, 2001). Une telle association n'a pas été retrouvée chez les hommes. Le risque est diminué de près de 40% chez les femmes consommant au minimum 5 portions de fruits et légumes par jour (RR: 0,65, IC 95% : 0,42-0,88) par rapport à celles qui n'en consomment pas. Dans cette même cohorte, il a été montré que la consommation de fruits et de légumes était plus faible chez les sujets ayant un syndrome métabolique. Chez ces sujets, les concentrations plasmatiques en divers micronutriments (vitamines C, β-carotène, lutéine/zéaxanthine) sont significativement (très) inférieures à celles des sujets n'ayant pas de syndrome métabolique (Ford, Mokdad et al., 2003). Dans une cohorte finlandaise, un apport plus

conséquent de fruits et de petits fruits (>136g par jour *versus* <33 g par jour) est associé également à une réduction du risque d'environ 30% (RR: 0,69, IC 95% : 0,51-0,92). Dans cette même étude, aucun effet n'a été observé pour l'apport en légumes (Montonen, Jarvinen et al., 2005). Mais si ces deux études sont apparues prometteuses dans la prévention du risque, d'autres sont sans effet (Lundgren, Bengtsson et al., 1989; Feskens, Bowles et al., 1991; Colditz, Manson et al., 1992; Meyer, Kushi et al., 2000; Liu, Serdula et al., 2004).

Récemment, dans la cohorte EPIC, il a été établi qu'un "bon" profil alimentaire (plus de fruits, moins de viandes, de légumineuses et de pain blanc) a des effets favorables sur des biomarqueurs plasmatiques associés à une plus grande protection du diabète de type II : HDL cholestérol et adiponectine plus élevés et, à l'opposé, hémoglobine glycosylée HbA1 et protéine C-réactive CRP plus basses (Heidemann, Hoffmann et al., 2005). Dans l'étude des infirmières "Nurses' Health Study II", une augmentation des marqueurs d'inflammation et du risque de développer un diabète de type II est associée à un profil alimentaire considéré comme défavorable : plus de sucres simples, de céréales raffinées, plus de viandes et moins de légumes riches en caroténoïdes et en glucosinolates (Schulze, Hoffmann et al., 2005). Plus récemment, Lindstrom et ses collaborateurs (2006) rapportent qu'un apport plus élevé de fibres (correspondant à une alimentation plus riche en céréales complètes, en fruits et en légumes) associé à un plus faible apport en lipides, notamment saturés, conduit à une diminution du poids et réduit le risque de développer un diabète de type II chez les sujets obèses.

Des modifications de style de vie appliquées dans des études d'intervention ont donné des résultats convaincants sur la prévention du diabète de type II (Tuomilehto, Lindstrom et al., 2001; Knowler, Barrett-Connor et al., 2002; Lindstrom, Eriksson et al., 2003; Lindstrom, Louheranta et al., 2003). Bien que l'apport plus important en fruits et légumes ait été une composante forte de ces études, il est impossible d'évaluer les effets propres à ce groupe d'aliments.

### 1.3.2. L'index glycémique

L'index glycémique est un paramètre qui a été, et reste encore, mis en avant pour essayer de caractériser le caractère potentiellement délétère de certains aliments. Il s'agit de mesurer la réponse glycémique chez l'homme, consécutive à l'ingestion d'un aliment (ou d'un groupe d'aliments). Bien sûr, ce paramètre n'a de sens que si on le rapporte à la quantité d'hydrates de carbone ingérés. Le but étant d'avoir l'index glycémique le plus bas pour un apport glucidique élevé, ce qui caractérise les sucres dits "lents" par rapport aux "rapides". Si ce paramètre est indéniablement intéressant pour caractériser des aliments comparables, il est clair que tout ce qui ralentit l'absorption digestive des sucres "améliore" l'index glycémique. Ainsi la présence de fibres joue un rôle important pour réduire l'index glycémique, mais l'apport lipidique aussi.

Différentes études prospectives récentes ont étudié les relations entre l'index glycémique de l'alimentation, ou le plus souvent le rapport entre l'index glycémique et la charge en hydrates de carbone et, la prise alimentaire (effet satiétogène), la tolérance glucidique (réponse à une charge glucidique), l'insulino-sensibilité ou divers autres paramètres reliés à l'insulino-résistance ou au diabète de type II. Une influence de l'index glycémique sur la prise alimentaire n'a pas été retrouvée par Jimenez-Cruz et coll (2003). Par contre, ces auteurs ont retrouvé dans le régime ayant le plus faible index glycémique une réduction de l'hémoglobine A1c, paramètre témoignant de l'intensité de l'hyperglycémie chronique. Alfenas et coll ont également étudié les relation entre index glycémique et prise alimentaire avec un résultat négatif, mais celui-ci a donné lieu à un vigoureux débat dans la littérature, témoignant des faiblesses de cette étude et de la conviction de la majorité des auteurs d'une relation faible entre index glycémique et satiété.

Dans une autre étude interventionnelle portant sur 5675 sujets ayant pour objectif de déterminer l'influence de l'index glycémique sur la sensibilité à l'insuline (mesurée à l'aide d'un algorithme appelé HOMA-IR pour "homeostasis model assessment of insulin resistance"), Lau et coll ont montré que l'amélioration de la sensibilité à l'insuline retrouvée avec un régime à faible index glycémique était surtout le fait de la présence de fibres, et que lorsque ce paramètre était pris en compte l'effet propre des fruits et légumes était bien moindre.

Enfin, des études récentes ont montré que des interventions nutritionnelles visant à augmenter la part de fruits et légumes avaient des effets significatifs sur l'expression de différents gènes dans le tissu adipeux chez l'Homme. Bien sûr, les impacts sur la santé de telles études ne peuvent être que déductifs (Beulens et coll, Takeda et coll).

### 1.3.3. Conclusions

Les relations entre alimentation et insulino-résistance ou diabète de type II sont claires. Il est notamment établi que la surcharge pondérale, et donc l'excès d'apport énergétique, est le principal facteur explicatif de cette pathologie. Cependant, il n'est pas possible de retrouver dans la littérature la démonstration claire et univoque qu'un apport riche en fruits et légumes est associé à la diminution du risque de développer un diabète de type II. De plus, le risque relatif étant ajusté sur l'IMC (indice de masse corporelle) dans toutes les études, il est impossible de séparer les effets du régime et les facteurs confondants susceptibles d'influer sur le poids. Par contre, la réduction de l'index glycémique des aliments, notamment par l'introduction de fibres, semble améliorer la sensibilité à l'insuline.

## 1.4. Fruits et légumes et cancers

Paule Latino-Martel, Luc Dauchet

Depuis une dizaine d'années, afin de préciser la relation entre la consommation de fruits & légumes (F&L) et le risque de cancer, plusieurs comités d'experts ont examiné et synthétisé les résultats des études épidémiologiques et biologiques. Le comité français réuni par le Centre national d'études et de recommandations sur la nutrition et l'alimentation (CNERNA, 1996) ainsi que le comité britannique "Committee on medical aspects of food and nutrition policy" (COMA, 1998) ont examiné l'homogénéité ou la discordance des résultats. Le comité international réuni par le "World cancer research fund" et l'"American institute for cancer research" a évalué et qualifié le niveau de preuve (convaincant, probable, possible, ou insuffisant) (WCRF and AICR, 1997). Plus récemment, le groupe d'experts internationaux conduit par l'"International agency for research on cancer" a analysé le niveau de preuve séparément pour les fruits ou les légumes (IARC, 2003; Vainio and Weiderpass, 2006). Enfin, une mise à jour du rapport du WCRF/AICR vient d'être publiée début novembre 2007.

### 1.4.1. Synthèse des résultats des études épidémiologiques d'observation

Pour actualiser et synthétiser les données épidémiologiques d'observation, nous avons pris comme documents de référence le rapport d'experts le plus récent au démarrage de l'expertise scientifique (IARC, 2003; Vainio and Weiderpass, 2006), ainsi que la méta-analyse (étude statistique faisant l'analyse combinée de plusieurs études) publiée la même année et portant sur différentes localisations de cancers (Riboli and Norat, 2003). Comme le rapport IARC, la méta-analyse de Riboli et Norat a considéré séparément les effets des fruits et les effets des légumes. Ces deux analyses ont pris en compte d'une part les résultats des études cas-témoins (rétrospectives) et d'autre part les résultats des études de cohorte (prospectives) ; bien que contemporaines, elles se distinguent par les critères de sélection des études et le mode d'expression des résultats (cf. Tableau 1.4-1).

D'une manière générale dans l'ESCo F&L, pour les études d'observation, en raison des limites méthodologiques des études cas- témoins (voir ci-dessous), les études de cohortes (prospectives) ont été privilégiées dans l'analyse des résultats et l'établissement des conclusions ; en effet, ces dernières offrent le meilleur compromis méthodologique pour l'analyse des relations entre l'alimentation et la survenue de maladie.

Pour ce chapitre concernant la relation entre F&L et risque de cancer, nous avons mis à jour les données en nous appuyant sur les méta-analyses plus récentes lorsqu'elles existaient (cf. Tableau 1.4-1). Enfin ces résultats ont été complétés par les résultats des études de cohortes les plus récentes non incluses dans les méta-analyses et les précédentes revues de la littérature (cf. Tableau 1.4-2). Nous n'avons pas recherché l'exhaustivité pour les études cas-témoins et nous nous sommes limités aux synthèses de la littérature.

Ainsi, d'une manière générale, nous constatons qu'il existe de très nombreuses études d'observation portant sur la relation entre consommation de F&L et le risque de survenue de différents cancers. Les études cas-témoins sont les plus nombreuses et les plus anciennes mais plusieurs études de cohorte ont été publiés récemment. Les associations observées entre consommation de F&L et risque de cancer sont généralement plus fortes dans les études cas-témoins que dans les études de cohorte.

Ces contradictions peuvent s'expliquer par les limites méthodologiques des études cas-témoins. Les études cas-témoins comportent des faiblesses méthodologiques, en particulier dans le domaine de la nutrition, ce qui doit rendre leur interprétation prudente. Le souvenir et les déclarations portant sur l'alimentation passée peuvent être biaisés par le diagnostic de cancer. Le biais de sélection peut poser encore plus de problèmes : la participation des personnes souffrant d'un cancer est habituellement élevée alors que celle des témoins est souvent de l'ordre de 50 ou 60% (Hartge, Brinton et al., 1984). De plus, les personnes qui acceptent de participer à l'enquête en tant que témoins sont susceptibles

d'être plus attentifs à leur santé et donc de consommer plus de F&L que ceux qui n'y participent pas. Ainsi, lorsque les cas et les témoins sont comparés, cela induit une relation inverse apparente entre la consommation de F&L et cancer (Willett, 2005).

Les études de cohortes ne sont pas pour autant dépourvues de limites. En particulier elles présentent le plus souvent un biais de sélection : les sujets qui s'engagent dans les cohortes sont généralement des volontaires, qui présentent des caractéristiques différentes de la population générale, ce qui peut affecter les relations observées. Par exemple, les personnes volontaires pour participer à des enquêtes sont souvent plus soucieuses de leur état de santé ; elles peuvent présenter des apports nutritionnels optimaux limitant les possibilités de mettre en évidence des pathologies associées à des déficiences ou des carences. De plus, dans le cas des maladies peu fréquentes, tels que certains cancers, les études prospectives ne peuvent pas toujours être mise en œuvre, le nombre de nouveaux cas incidents étant trop faible ou exigeant pour être suffisant un nombre considérable de sujets ou un temps d'observation très long.

Les données issues de cet examen de la littérature sont résumées ci-après par localisation de cancer. On considère qu'une étude de cohorte ou une méta-analyse d'études de cohortes met en évidence une diminution significative du risque relatif (RR) de cancer, si RR < 1 et si l'intervalle de confiance (entre crochets) ne comprend pas la valeur 1 ou $p < 0,05$. Selon les études, les événements mesurés peuvent être soit les nouveaux cas de cancers soit les décès par cancer. Les études portant sur la mortalité par cancer intègrent donc à la fois l'influence sur la survenue et sur les possibilités de guérison. Pour comparer les sujets ayant de fortes consommations de F&L par rapport à ceux qui ont de faibles consommations, ceux-ci sont répartis en sous-groupes égaux (tertiles, quartiles ou quintiles).

***. Estomac***

La méta-analyse de Riboli et Norat ainsi que le rapport de l'IARC trouvaient une diminution importante du risque de cancer gastrique associée à la consommation de F&L dans les études cas-témoins. Pour les études de cohortes les résultats étaient plus modérés et non significatifs.

Une méta-analyse publiée en 2005, prenant en compte les résultats des cohortes récentes, a retrouvé une diminution significative du risque du cancer de l'estomac, RR = 0,82 [0,73-0,93], associée à la consommation de fruits pour la classe de consommation supérieure par rapport à la classe de consommation inférieure. Cependant, ces résultats étaient très dépendants de la méthodologie des études. Cette relation était plus forte dans les cohortes ayant un suivi long et aucune relation n'était observée avec le risque de mortalité par cancer de l'estomac. Cette relation était non significative pour la consommation de légumes (Lunet, Lacerda-Vieira et al., 2005). Deux études de cohorte publiées depuis ont trouvé, pour l'une, une diminution du risque de cancer de l'estomac en dehors du cardia avec les fruits (Nouraie, Pietinen et al., 2005) et pour l'autre, pas de relation pour le risque de mortalité (Tokui, Yoshimura et al., 2005).

Ainsi les résultats des études de cohortes sont plutôt en faveur d'un effet protecteur des fruits. L'absence de relation observée avec la mortalité pourrait éventuellement s'expliquer par un nombre d'événements plus faible ou un diagnostic moins précis dans les études portant sur la mortalité. Des études supplémentaires seraient donc utiles pour préciser les relations avec la mortalité.

***. Poumon***

La méta-analyse de Riboli et Norat ne trouvait pas d'association significative entre consommation de légumes et le risque de cancer du poumon dans les études de cohortes (trois cohortes). En revanche, elle trouvait une relation significative avec les fruits. Toutefois, la force de la relation entre consommation de fruits et risque de cancer était différente selon les études (test d'hétérogénéité significatif).

Le rapport de l'IARC incluant des études plus récentes trouvait une relation significative avec les consommations de F&L.

Depuis, de nombreux résultats d'études de cohortes ont été publiés. Dans une analyse combinant les données de huit cohortes (n = 3206), Smith-Warner et al ont retrouvé une diminution significative du risque de cancer du poumon associée à la consommation de fruits, RR = 0,77 [0,67-0,87], dans le quintile des grands consommateurs comparé au quintile des faibles consommateurs (Smith-Warner, Spiegelman et al., 2003). Dans cette analyse, une diminution du risque non significative était observée avec la consommation de légumes. D'autres résultats ont été publiés indépendamment. Trois études de cohorte ont observé une diminution significative du risque associé à la consommation de fruits (Neuhouser, Patterson et al., 2003; Sauvaget, Nagano et al., 2003; Miller, Altenburg et al., 2004) et quatre autres n'ont pas trouvé de relation significative (Hertog, Bueno-de-Mesquita et al., 1996; Ocke, Bueno-de-Mesquita et al., 1997; Jansen, Bueno-de-Mesquita et al., 2001; Liu, Sobue et al., 2004). Pour toutes ces études, les résultats sont non significatifs avec les légumes. Une seule retrouve une association avec les F&L combinés (Jansen, Bueno-de-Mesquita et al., 2001).

Ces résultats en faveur d'un effet des fruits doivent être nuancés par l'existence probable d'un effet de confusion lié au tabac. La consommation de tabac pourrait expliquer la relation observée avec les fruits. En effet la proportion de fumeurs est généralement plus faible chez les grands consommateurs de F&L. Ce facteur de confusion est généralement pris en compte dans l'analyse statistique grâce à un ajustement. Néanmoins, l'évolution de la consommation de tabac sur la période de suivi est rarement connue et la mesure de l'exposition au tabac peut être imprécise. Il est donc possible que la consommation de tabac influence de manière résiduelle la relation observée entre consommation de fruits et risque de cancer du poumon.

En conclusion, les résultats des études de cohorte suggèrent une diminution du risque de cancer du poumon associée à la consommation de fruits alors que l'association avec les légumes n'est pas clairement mise en évidence. Un travail de méta-analyse serait nécessaire pour quantifier plus précisément cette relation et explorer l'hétérogénéité entre les études.

***. Vessie***

Le rapport de l'IARC trouvait une diminution significative du risque de cancer de la vessie associée à la consommation de fruits dans les études cas-témoins mais pas significative dans les études de cohorte.

La méta-analyse de Riboli et Norat trouvait, sur trois études de cohortes, une diminution du risque de cancer de la vessie associée à la consommation de fruits mais pas de relation significative avec les légumes. Les résultats de cohortes non incluses dans la méta-analyse de Riboli et Norat confortent ces résultats : deux cohortes (Chyou, Nomura et al., 1993; Sakauchi, Mori et al., 2004) retrouvent une relation protectrice significative avec les fruits ; aucune cohorte ne retrouve de relation significative entre consommation de légumes et risque de cancer de la vessie ou cancer urothélial sur 152 sujets (Mills, Beeson et al., 1991), 569 sujets (Zeegers, Goldbohm et al., 2001), 157 sujets (Sauvaget, Nagano et al., 2003), 88 sujets (Sakauchi, Mori et al., 2004) et 237 sujets (Holick, De Vivo et al., 2005).

Ces résultats sont en faveur d'une possible relation protectrice entre consommation de fruits et risque de cancer de la vessie. Néanmoins, comme pour le cancer du poumon, on ne peut pas exclure un effet de confusion résiduel lié à la consommation de tabac. De plus, il faut noter que cette relation est retrouvée quasi exclusivement dans les études japonaises ou portant sur des Japonais immigrés à Hawaï et pas dans les études américaines (Holick, De Vivo et al., 2005) ; il est donc possible que la relation observée s'explique par l'existence d'un facteur de confusion spécifique à cette population (par exemple un comportement alimentaire spécifique associé à la consommation de fruits chez les Japonais). Des résultats d'études de cohorte dans d'autres populations en particulier en Europe seraient nécessaires pour conclure.

***. Voies aéro-digestives supérieures (VADS)***

La méta-analyse de Riboli et Norat et le rapport de l'IARC trouvaient, pour les études cas-témoins, une diminution importante du risque de cancer de l'oro-pharynx et du larynx associée à la consommation

de fruits. Cette association n'était significative pour la consommation de légumes que dans le rapport de l'IARC.

Une méta-analyse récente, portant sur une étude de cohorte et 16 études cas-témoins, confirme ces résultats en retrouvant une diminution de moitié du risque de cancer de la bouche ou du pharynx pour chaque portion de fruits ou de légumes supplémentaire consommée (Pavia, Pileggi et al., 2006). Bien que la relation observée soit forte, il faut mentionner l'existence de problèmes méthodologiques très importants. Tout d'abord, la force de la relation observée est très différente d'une étude à l'autre. Cette hétérogénéité pourrait s'expliquer par les limites méthodologiques des études cas-témoins. L'analyse des données suggère également l'existence d'un biais de publication qui majore probablement la relation observée (les études ayant des résultats significatifs sont plus facilement publiées).

Bien que nombreux, les résultats des études cas-témoins comportent trop de limites méthodologiques pour nous permettre de conclure. Il est donc nécessaire de disposer de résultats d'études prospectives. Les deux études de cohorte portant sur les cancers des VADS (Chyou, Nomura et al., 1995) ou sur des lésions pré-cancéreuses (Maserejian, Giovannucci et al., 2006) n'ont pas trouvé de relations significatives, mais le nombre de cas était très limité (92 et 207 cas). Les résultats de la cohorte "EPIC", portant sur un plus grand nombre de cas (352), trouvent une diminution significative du risque de cancer des VADS associée à la consommation de F&L (Boeing, Dietrich et al., 2006). Toutefois, d'autres résultats d'études de cohortes seraient nécessaires pour conclure.

***. Côlon-rectum***

La méta-analyse de Riboli et Norat ne trouvait pas, dans les études de cohortes, de relation significative entre consommation de légumes (17 cohortes) ou de fruits (16 cohortes) et le risque global de cancer colo-rectal mais elle montrait des relations spécifiques entre consommation de légumes et risque de cancer du côlon et entre consommation de fruits et risque de cancer du rectum. Les résultats des cohortes nord-américaines et européennes étaient similaires.

Le rapport de l'IARC, qui prenait en compte deux cohortes plus récentes (Flood, Velie et al., 2002; McCullough, Robertson et al., 2003) ne trouvait pas de relation significative pour l'ensemble des études de cohorte.

Cinq études de cohorte, publiées depuis, n'ont trouvé aucune relation significative (Kojima, Wakai et al., 2004; Lin, Zhang et al., 2005; Sato, Tsubono et al., 2005; Tsubono, Otani et al., 2005; Wark, Weijenberg et al., 2005). En revanche, une étude de cohorte a trouvé une relation avec la consommation de fruits sur un petit nombre d'événements (Sanjoaquin, Appleby et al., 2004). Seules des relations spécifiques sur des sous-groupes de personnes, d'aliments ou de tumeurs sont significatives : diminution de la mortalité par cancer du rectum chez les hommes avec la consommation de légumes verts feuillus (Kojima, Wakai et al., 2004), association avec certains types histo-génétiques de tumeurs (Wark, Weijenberg et al., 2005). Par ailleurs, la consommation de fruits et de légumineuses a été associée à un risque moindre d'adénome du côlon distal dans la "Nurse's Health Study" (Michels, Giovannucci et al., 2006) mais une telle relation observée sur des lésions pré-cancéreuses ne permet pas de préjuger de l'effet sur l'apparition d'un cancer. Enfin, contrairement aux attentes, une augmentation de la mortalité par cancer du côlon associée à la consommation de fruits a été observée dans une cohorte, chez les femmes seulement, mais ce résultat reste isolé (Kojima, Wakai et al., 2004).

Au total, malgré des relations spécifiques isolées dans les études de cohortes et des relations significatives observées dans les études cas-témoins, les résultats récents des études de cohortes ne permettent pas de conclure à une diminution globale du risque de cancer colorectal associée à la consommation de F&L. Des explorations plus spécifiques seraient nécessaires et notamment des analyses séparées en fonction des localisations distales ou proximales (Smith-Warner, Spiegelman et al., 2006).

**Sein**

La méta-analyse de Riboli et Norat trouvait une diminution significative du risque de cancer du sein associée à la consommation de légumes, pour les études de cohortes.

Le rapport de l'IARC trouvait une association avec la consommation de fruits.

Cependant, les résultats récents de grandes études portant sur un très grand nombre d'événements viennent remettre en cause ces observations. Une analyse poolée de 9 cohortes portant sur 7377 cancers du sein invasifs ne retrouve pas de relation significative ni avec les légumes (RR =1,00 [0,97-1,02] pour 100 g supplémentaires) ni avec les fruits (RR = 0,99 [0,98-1,00]) (Smith-Warner, Spiegelman et al., 2001). Les résultats des cohortes non incluses dans cette étude poolée sont également non significatifs (Shibata, Paganini-Hill et al., 1992; Verhoeven, Assen et al., 1997; Maynard, Gunnell et al., 2003; Sauvaget, Nagano et al., 2003; Mattisson, Wirfalt et al., 2004; van Gils, Peeters et al., 2005). En particulier, aucune relation significative n'est retrouvée dans la cohorte "EPIC" dans une analyse portant sur 3659 cancers du sein (van Gils, Peeters et al., 2005). Néanmoins, il est possible que les femmes qui consomment plus de F&L soient plus soucieuses de leur santé et plus nombreuses à se soumettre au dépistage du cancer du sein. Ce phénomène aurait pour conséquence une augmentation du risque observé de cancer du sein chez ces femmes qui pourrait masquer un effet protecteur des F&L.

En conclusion, les résultats négatifs des études de cohorte récentes portant sur un très grand nombre d'événements ne sont pas en faveur de l'existence d'une relation entre la consommation de F&L et le risque de cancer du sein et suggèrent que, si cette relation existe, elle est probablement faible.

***. Ovaire***

La méta-analyse de Riboli et Norat ainsi que le rapport de l'IARC ne disposaient pas d'informations suffisantes pour explorer la relation entre consommation de F&L et risque de cancer de l'ovaire.

Depuis, d'importants résultats d'études de cohorte ont été publiés. Une analyse poolée de 12 études de cohortes américaines et européennes rassemblant 2130 cancers incidents de l'ovaire n'a pas trouvé de relation entre la consommation de fruits (RR 1$^{er}$ quartile vs 4$^{e}$ quartile : 1,06 [0,92-1,21]) ou de légumes (RR 1$^{er}$ quartile vs 4$^{e}$ quartile : 0,90 [0,78-1,04]) et le risque de cancer de l'ovaire (Koushik, Hunter et al., 2005). Les résultats de deux autres grandes cohortes ont été publiés séparément. Dans la cohorte "EPIC", le risque relatif de survenue d'un cancer de l'ovaire pour une consommation de 80g de F&L supplémentaire était de 1,02 [0,95-1,10] (nombre de cancers de l'ovaire recensés : n = 581) (Schulz, Lahmann et al., 2005). Cette relation était également non significative dans la "Netherlands cohort study" (n = 252) (Mommers, Schouten et al., 2005).

En conclusion, aucune relation n'a été observée dans les études de cohorte entre consommation de F&L et risque de cancer de l'ovaire malgré des effectifs importants et des études bien menées. Il est donc peu probable qu'il existe une relation entre consommation de F&L et risque de cancer de l'ovaire ou cette relation, si elle existe, doit être faible.

***. Prostate***

Le rapport de l'IARC ne trouvait pas de diminution du risque de cancer de la prostate associée à la consommation de **F&L** et trouvait même une légère augmentation du risque non significative associée à la consommation de fruits. Cette augmentation de risque observée pourrait s'expliquer par un meilleur dépistage chez les grands consommateurs de fruits qui sont, peut-être, des hommes plus soucieux de leur santé.

Depuis, les résultats récents de la "Health professionnal follow up study" ont suggéré une diminution du risque possible associée à la consommation de crucifères à la limite de la significativité ($p < 0,06$) (Giovannucci, Rimm et al., 2003). Toutefois, ce résultat reste isolé et dans l'ensemble les données épidémiologiques ne sont pas en faveur d'une diminution du risque de cancer de la prostate associée à la consommation de F&L.

Il existe des hypothèses spécifiques (voir § 1.4.3) suggérant que les **tomates** pourraient avoir un effet protecteur spécifique sur le développement du cancer de la prostate. Ces hypothèses ont conduit à s'interroger sur l'existence d'un lien protecteur entre consommation de tomates et risque de cancer de la prostate. La méta-analyse de Etminan et al a trouvé une diminution significative du risque de cancer de

la prostate liée la consommation de tomate crue sur deux cohortes comportant 953 sujets au total (Etminan, Takkouche et al., 2004). Or, une étude de cohorte multicentrique nord-américaine récente remet en question cette relation : dans une analyse portant sur 1338 cancers de la prostate, Kirsh et al n'ont pas retrouvé de relation avec la consommation de tomate (Etminan, Takkouche et al., 2004). Les résultats des études de cohorte restent donc contradictoires et ne permettent pas actuellement de conclure.

***. Autres localisations***

Pour d'autres localisations (pancréas, utérus, rein et foie…), les données restent encore insuffisantes.

## 1.4.2. Essais de prévention nutritionnelle

En principe, les essais d'intervention permettent de palier certaines limites des études d'observation. Ils permettent surtout de mieux appréhender le lien de causalité dans les relations observées. Or, les essais d'intervention nutritionnelle sont particulièrement difficiles à mettre en place dans le domaine de la prévention des cancers. Il existe peu de facteurs de risques intermédiaires en cancérologie (comme par exemple la cholestérolémie ou la tension artérielle pour les maladies cardio-vasculaires) qui permettraient de juger de l'effet d'une intervention sur une courte période. Les essais de prévention nutritionnelle dans le domaine de la cancérologie doivent donc porter sur des populations importantes et sur des durées de suivi longues. Au-delà de la lourdeur de telles études, la portée des résultats est limitée par la difficulté à maintenir le respect des recommandations alimentaires sur une longue période dans le groupe intervention ce qui réduit la différence des expositions dans les groupes intervention et contrôle, et par conséquent l'effet attendu de l'intervention. Pour ces raisons, les essais d'intervention portant sur les relations entre consommation de F&L et cancer sont relativement rares.

Les seuls résultats publiés actuellement proviennent de trois essais de prévention basés sur des conseils diététiques visant en particulier à augmenter la consommation de F&L : "Women Health Initiative (WHI) randomized controlled trial" (Beresford, Johnson et al., 2006), "Polyp Prevention Trial (PPT)" (Shike, Latkany et al., 2002; Lanza, Hartman et al., 2006) et "Women's Healthy Eating and Living (WHEL) randomized trial" (cf. Tableau 1.4-3).

Pour l'essai d'intervention **WHI**, 48835 femmes ménopausées ont été recrutées. Après tirage au sort, 40% d'entre elles ont été affectées au groupe intervention et 60% au groupe de comparaison. Le groupe intervention a suivi un programme intensif de modification du comportement alimentaire comportant 18 séances de groupe dans la première année et des séances de rappel trimestriel. Les objectifs de cette intervention étaient de diminuer la consommation de graisses à 20% de l'apport énergétique total (AET), d'augmenter la consommation de F&L à au moins 5 portions par jour, et la consommation de céréales à au moins 6 portions par jour. La consommation de F&L avait significativement augmenté dans le groupe intervention par rapport au groupe contrôle. Néanmoins, cette différence était relativement modérée (+ 1,2 portions à 1 an ; + 1,3 à 2 ans ; + 1,1 à 3 ans). Après un suivi moyen de 8,1 ans le risque de survenue d'un cancer du sein était de 9% inférieur dans le groupe intervention par rapport au groupe contrôle (RR = 0,91 [083-1,01]), mais cette diminution du risque n'était pas statistiquement significative (Prentice, Caan et al., 2006). Une autre analyse des données de cet essai ne retrouvait aucune diminution du risque de cancer colo-rectal (augmentation non significative du risque : RR = 1,08 [0,90-1,29]) (Beresford, Johnson et al., 2006).

L'essai **PPT** portait sur 1905 hommes et femmes de plus de 35 ans ayant eu au moins un adénome du côlon ou du rectum diagnostiqué par coloscopie. La moitié des sujets sélectionnés aléatoirement ont bénéficié d'une intervention consistant en 50 heures de conseils dont 20 la première année ayant pour objectif de diminuer la consommation de graisses à 20% de l'AET, d'augmenter la consommation de F&L à au moins 3,5 portions pour 1000 kcal et la consommation de fibres à 18 g pour 1000 kcal. Quatre ans après le début de l'intervention, la consommation de F&L avait augmenté de 1,13 [1,04-1,21] portions pour 1000 kcal dans le groupe intervention par rapport au groupe contrôle. Malgré les

modifications de comportement induits par l'intervention, aucun effet sur le risque de récidive de polype n'a été observé (Lanza, Hartman et al., 2006). Une analyse complémentaire des données de cet essai a également montré une absence d'effet de l'intervention sur l'élévation des taux de l'antigène spécifique de la prostate (PSA), utilisé comme marqueur précoce du cancer de la prostate (Shike, Latkany et al., 2002).

Enfin l'essai **WHEL** portait sur 3088 femmes ayant un antécédent traité de cancer du sein. L'intervention attribuée aléatoirement à la moitié des femmes consistait en un programme de conseil téléphonique ayant pour objectif une consommation de 5 légumes par jour, de 0,90 L de jus de légumes, 3 fruits, 30 g de fibres, et 15 à 20 % de l'AET provenant des graisses. Après 7,5 ans de suivi, malgré des différences importantes de consommation entre les deux groupes (4,5 portions de légumes et 0,8 portion de fruits à 6 mois et 2,2 portions de légumes et 0,8 portion de fruits à 6 ans consommés en plus par le groupe intervention par rapport au groupe contrôle), aucun effet significatif n'a été observé sur la récidive du cancer du sein (RR = 0,96 [0,80-1,14]) ni sur le risque de décès (RR = 0,91 [0,72-1,15]).

Ces résultats d'essais de prévention sont relativement décevants. Néanmoins, cette absence de résultat ne permet pas d'exclure un effet de la consommation de F&L sur le risque de survenue de cancers, ceci pour plusieurs raisons :

- Tout d'abord, le développement d'un cancer implique des processus très longs, les études épidémiologiques mesurent des consommations qui sont probablement représentatives des habitudes alimentaires d'une vie entière alors que les essais de prévention ne modifient le comportement que sur une période de quelques années (durée des trois essais comprise entre 4 et 8 ans) ;
- Etant donné les difficultés à faire évoluer les comportements alimentaires, les différences de consommation de F&L entre les groupes contrôle et intervention restent modestes et ne suffisent peut être pas à obtenir un effet suffisant pour être mis en évidence dans ce type d'étude. De plus, les conseils diététiques ne portaient pas uniquement sur les F&L (certains concernaient les matières grasses, les céréales) ce qui complique l'évaluation de l'effet spécifique des F&L ;
- L'étude PPT n'avait pas pour critère de jugement le risque de cancer mais la récidive de lésions précancéreuses (adénomes colorectaux ) ou la modification d'un biomarqueurs intermédiaire (taux de PSA). Il est possible que les effets sur la survenue de cancers ne puissent pas être mesurés correctement par des critères de jugement intermédiaires tel le taux de PSA ou la récidive de polypes colorectaux. Par exemple, la consommation de F&L pourrait avoir un effet sur la croissance des polypes et non sur leur apparition (Lanza, Hartman et al., 2006) ;
- L'étude WHEL n'avait pas pour critère la survenue de cancer du sein mais la récidive et le décès précoce. Les résultats obtenus chez des personnes à haut risque ayant déjà eu un cancer ne sont peut-être pas extrapolables en prévention primaire ;
- L'étude WHI avait bien pour critère de jugement le risque de survenue de cancer du sein ou de cancer colorectal. La diminution du risque de cancer du sein de 9% associée à l'augmentation d'un peu plus d'une portion par jour de fruits & légumes même si elle est non significative est de l'ordre de grandeur de la diminution associée à la consommation de légumes retrouvée dans les études de cohorte dans la méta-analyse de Riboli et Norat. Un essai de plus grande puissance serait donc nécessaire pour vérifier ce résultat ;
- Enfin et surtout, les deux localisations de cancer ne font pas partie des localisations de cancer pour lesquelles les arguments en faveur d'un effet protecteur des F&L sont les plus nombreux.

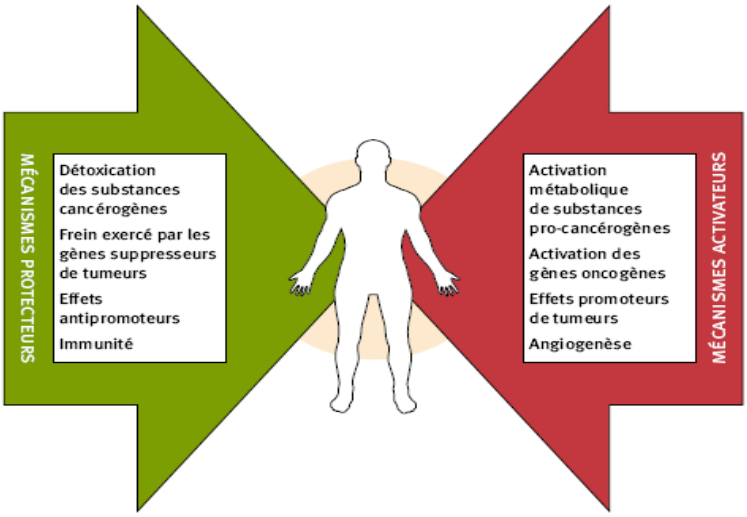
Finalement, d'autres essais de prévention primaire d'une puissance statistique suffisante, seraient nécessaires pour confirmer les arguments en faveur d'une relation de causalité entre consommation de F&L et diminution du risque cancer et évaluer l'efficacité des recommandations nutritionnelles sur le risque de cancers (Tadjalli-Mehr, Becker et al., 2003). En particulier, des essais portant sur des localisations de cancers pour lesquelles des relations sont suggérées par les études de cohorte (poumon, vessie, estomac, bouche, pharynx), seraient nécessaires.

### 1.4.3. Mécanismes plausibles

Rappelons que les cancers sont des maladies complexes, multi-étapes, dont le développement (cancérogenèse) requiert généralement plusieurs décennies. Grâce aux études sur animaux on a pu identifier plusieurs phases clés qui ont été appelées : initiation, promotion tumorale et progression tumorale. Schématiquement, l'initiation correspond aux premières altérations du génome qui induisent l'apparition de cellules transformées ; la promotion tumorale consiste en la multiplication des cellules transformées jusqu'à l'obtention d'une tumeur ; la progression tumorale correspond à l'acquisition de nouvelles anomalies génomiques, de la vascularisation de la tumeur et de la capacité de migration des cellules vers d'autres tissus.

Pour que le processus de cancérogenèse aille à son terme, on constate qu'il faut à la fois que des mécanismes activateurs soient déclenchés ou accentués et que des mécanismes protecteurs soient affaiblis ou annihilés (cf. Figure 1.4-1).

**Figure 1.4-1.** Mécanismes activateurs et protecteurs impliqués dans la cancérogenèse (source : brochure WCRF/NACRe, 2002)




Ces mécanismes opposés sont tous deux sous l'influence de facteurs endogènes et de facteurs exogènes. Ainsi, on considère actuellement que les cancers résultent d'une interaction gènes/environnement au sens large (c'est-à-dire incluant tous les facteurs auquel l'organisme biologique peut être exposé, y compris les facteurs alimentaires). Le terrain génétique joue un rôle primordial pour les cancers héréditaires (présence d'une prédisposition génétique), tandis que les facteurs environnementaux ont un poids plus important dans le cas des cancers sporadiques (cancers les plus nombreux) (Lacave, Larsen et al., 2005).

#### *Propriétés biologiques des composants des fruits et légumes*

Les F&L contiennent plus de 25000 constituants différents. De nombreux travaux réalisés à l'aide de modèles cellulaires ou de modèles animaux ont exploré les propriétés biologiques de certains de ces constituants (Milner, 2004; Aggarwal and Shishodia, 2006). Le tableau 1.4-4 donne une illustration des composants pouvant exercer des effets protecteurs à l'égard de la cancérogenèse et des mécanismes impliqués.

On constate qu'un même constituant des F&L peut exercer divers effets protecteurs, aux différents stades de la cancérogenèse. Par exemple, des polyphénols ou des sulfures d'allyle peuvent, grâce à leurs propriétés biochimiques, exercer des effets antioxydants en piégeant des radicaux libres ; étant reconnus par l'organisme comme des xénobiotiques, leur consommation régulière induit l'expression des gènes qui codent pour les enzymes de détoxication, avec pour conséquence l'accroissement de la

capacité de l'organisme à détoxifier des substances cancérogènes auxquelles l'organisme pourrait être exposé dans le même temps ; des polyphénols interviennent dans le contrôle de la multiplication et/ou de la mort cellulaire, améliorent les communications intercellulaires, inhibent l'angiogenèse ou les processus inflammatoires, etc.

**Tableau 1.4-4.** Exemples d'effets protecteurs des composants des F&L à l'égard de la cancérogenèse

| Phases de la cancérogenèse | Effets protecteurs | Exemples de composants |
|---|---|---|
| **Initiation** | Induction des enzymes du métabolisme des xénobiotiques (en particulier les glutathion-S-transférases) | Polyphénols, sulfures d'allyle, glucosinolates |
| | Amélioration des défenses antioxydantes (piégeage des radicaux libres) | Polyphénols, vitamines C et E, caroténoïdes, sélénium |
| | Stimulation de la réparation de l'ADN | Polyphénols |
| | Inhibition de la formation de nitrosamines | Vitamine C |
| **Promotion tumorale** | Inhibition de la multiplication cellulaire | Polyphénols, lycopène, métabolite des fibres (butyrate) |
| | Induction de la différenciation cellulaire | butyrate |
| | Amélioration des communications intercellulaires par les jonctions communicantes | β-carotène, lycopène, flavonoïdes, sulfures d'allyle |
| | Induction de la mort cellulaire programmée (apoptose) | Polyphénols, butyrate |
| | Modulation de l'état de la chromatine | Sulfures d'allyle, butyrate |
| **Progression tumorale** | Induction des réparations de l'ADN | Polyphénols |
| | Régulation de la méthylation de l'ADN | Vitamines B9, B6, B12 |
| | Inhibition de l'angiogenèse | Polyphénols |
| | Stimulation des défenses immunitaires | Vitamines E et C, β-carotène, sélénium |
| | Inhibition des processus inflammatoires | Polyphénols, vitamine C |

On constate donc non seulement l'existence d'un très grand nombre de molécules potentiellement actives mais aussi une multiplicité de cibles biologiques pouvant contribuer à un effet protecteur global. Certaines de ces propriétés semblent pouvoir s'exprimer à des doses nutritionnelles tandis que d'autres sont obtenues à des doses pharmacologiques (cf. Figure 1.4-2).

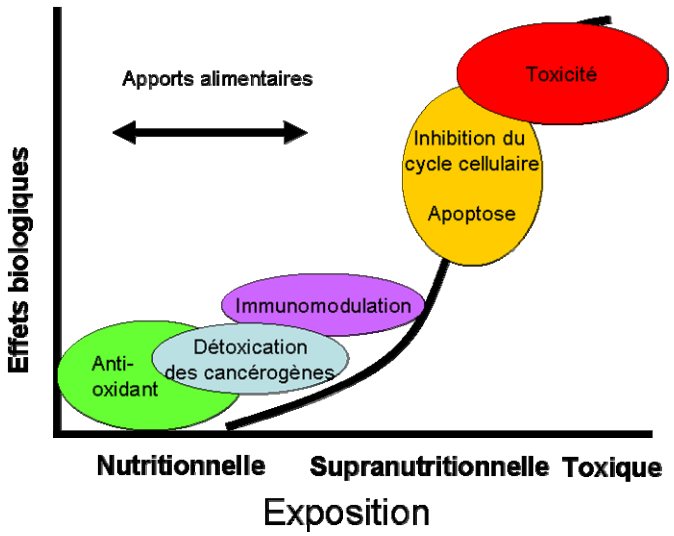



**Figure 1.4-2.** Illustration de la diversité des effets exercés par des constituants alimentaires en fonction de la dose. Exemple du sélénium (Combs and Gray, 1998)

### *Etudes d'interventions avec des composants des F&L*

Quelques essais d'intervention ont été mis en œuvre pour vérifier les propriétés protectrices de certains composants des F&L : β-carotène, lycopène, vitamine E, vitamine C, fibres, etc. En particulier, les essais d'intervention portant sur le β-carotène, en combinaison avec d'autres composés, et le risque de cancer ont donné des résultats controversés qui, en fin de compte, ont été riches d'enseignements (cf. Tableau 1.4-5).

**Tableau 1.4-5.** Caractéristiques des principaux essais d'intervention avec le β-carotène

| Essai d'intervention | Linxian | ATBC | CARET | PHS | Su.Vi.Max. |
|---|---|---|---|---|---|
| Référence | (Blot, Li et al., 1993) | (ATBC, 1994) | (Omenn, Goodman et al., 1996) | (Hennekens, Buring et al., 1996) | (Hercberg, Galan et al., 2004) |
| Dose de β-carotène (mg/j) (composants associés) | 15 (sélénium, α-tocophérol) | 20 (α-tocophérol) | 30 (vit A) | 25 (aspirine) | 6 mg (vit C, α-tocophérol, zinc et sélénium) |
| Durée de suivi (années) | 5 | 6 | 4 | 12 | 7,5 |
| Population | Chinois ayant des déficiences nutritionnelles ; 30% de fumeurs | Finlandais (100% fumeurs) | Américains fumeurs (98%) exposés à l'amiante | Médecins américains (50% fumeurs) | Français (population générale, H plus faibles consommateurs de F&L que les F) |
| Concentration plasmatique finale de β-carotène (ng/mL)<br>Groupe Témoin<br>Groupe Intervention | <br><br>120<br>860 | <br><br>180<br>3000 | <br><br>170<br>2100 | <br><br>300<br>1200 | <br><br>330 (H) 570 (F)<br>540 (H) 920 (F) |
| RR cancer de l'estomac | 0,79* (incid) | | | | |
| RR cancer du poumon | | 1,18* (incid)<br>1,08* (mort) | 1,28* (incid)<br>1,17* (mort) | 0,95 (incid)<br>1,02 (mort) | |
| RR tous cancers | 0,87 (mort) | | | | 0,69* (incid hommes)<br>1,04 (incid femmes) |
| H : hommes ; F : femmes ; * : résultat significatif ; incid : nouveaux cancers ; mort : mortalité | | | | | |

Le risque relatif de cancers a été réduit dans l'étude "Linxian" et dans l'étude française "Su.Vi.Max", alors qu'il a augmenté pour le cancer du poumon dans les études "ATBC" et "CARET", et n'a pas varié dans la "Physicians'Health Study". Ces différences d'effets peuvent trouver plusieurs explications :

- différence de statut nutritionnel initial de la population : intérêt d'un apport nutritionnel supplémentaire en cas de déficience nutritionnelle dans l'étude Linxian ou du fait du statut en β-carotène faible chez les hommes dans l'étude Su.Vi.Max. ;
- différence dans les niveaux d'apport de β-carotène : doses très supérieures (x5, x10) aux doses nutritionnelles dans le cas des études ATBC, CARET, PHS ; effet favorable d'une combinaison de molécules à activités antioxydantes fournies à dose nutritionnelle (étude Su.Vi.Max) ;
- différence d'exposition à des cancérogènes : populations sélectionnées à haut risque de cancer dans deux des quatre études : fumeurs (étude ATBC) et fumeurs exposés à l'amiante (étude CARET) ;
- effet pro-oxidant du β-carotène à forte dose se révélant délétère chez les sujets déjà exposés au tabac (études CARET et ATBC).

Une méta-analyse récente portant sur des essais randomisés de supplémentation vitaminique montre une augmentation significative du risque de mortalité pour la supplémentation en β-carotène, vitamine A et vitamine E (Bjelakovic, Nikolova et al., 2007). Une autre méta-analyse portant sur la vitamine E observe un effet qui diffère selon la dose : la vitamine E à dose supérieure à 400 UI/j augmente la mortalité, ce qui n'est pas le cas pour les doses inférieures (Miller, Pastor-Barriuso et al., 2005).

L'importance de tenir compte du statut tabagique est confirmée par les observations de l'étude cas-témoins nichée dans la cohorte de femmes françaises E3N. Dans cette étude, l'apport en β-carotène (alimentaire ou sous forme de compléments) est associé, chez les non-fumeurs, à une diminution des cancers dont le tabac est un des facteurs de risque reconnu, alors qu'un apport élevé en β-carotène est associé à une augmentation du risque chez les fumeurs (Touvier, Kesse et al., 2005).

D'autres essais d'intervention portant sur les folates ou les fibres donnent lieu à des résultats controversés (Hursting, Forman et al., 2006; Kim, 2006). Un essai randomisé récent mené chez 1210 sujets ayant des antécédents récents d'adénome ou de carcinome du côlon testant l'effet d'une supplémentation en acide folique à 1 mg/j pendant 3 ou 5 ans a trouvé une absence d'effet significatif sur le risque de survenue de nouvel adénome du côlon et en revanche une augmentation du risque de lésions avancées chez les sujets ayant été suivis 5 ans (Cole, Baron et al., 2007). Là encore, de nouvelles études contrôlant les facteurs suspectés d'induire ces divergences seront nécessaires.

Au total, ces divers essais d'intervention révèlent non seulement la difficulté de mimer l'effet protecteur des F&L avec des compléments alimentaires, mais aussi l'effet délétère d'un apport excessif de composants isolés (notamment pour les sujets exposés à des cancérogènes). Elles suggèrent que l'apport de F&L serait préférable du fait d'un apport optimal et diversifié des composants, propice à l'expression de leurs effets synergiques (Eberhardt, Lee et al., 2000; Liu, 2003; Liu, 2004).

### 1.4.4. Effets propres des fruits & légumes : analyse critique et pistes de recherche

Les études de cohorte récentes apportent des arguments en faveur d'une relation inverse entre la consommation de fruits et les risques de survenue de cancer de l'estomac, du poumon et de la vessie et dans une moindre mesure (manque d'études de cohorte) entre consommation de F&L et risque de cancer de l'oro-pharynx. Les relations sont observées dans des populations très différentes.

Il existe de nombreux arguments biologiques plausibles pour expliquer un éventuel effet protecteur des fruits et/ou des légumes. Les études réalisées sur cellules et sur animaux montrent des effets favorables des micro- et macro-constituants des F&L dans les mécanismes de cancérogenèse. Les résultats des essais de supplémentation chez l'Homme n'apportent cependant pas beaucoup d'arguments. L'hypothèse du rôle protecteur des constituants antioxydants sur la prévention du cancer a fait l'objet de plusieurs essais d'intervention contrôlés randomisés, qui ont donné des résultats hétérogènes suggérant l'influence du statut nutritionnel initial, des doses administrées, et de l'éventuelle exposition préalable à des facteurs de risque.

On observe un effet est plus net pour les fruits que pour les légumes. Cette différence est peut-être simplement liée au fait qu'il est plus facile d'estimer la consommation de fruits que celle de légumes. Par exemple, la quantité de légumes apportée par les plats composés est estimée à partir de recettes standard et ne reflète pas toujours la réalité. Au-delà de ces considérations méthodologiques, on peut également s'interroger sur les différences de composition des fruits par rapport aux légumes. Les fruits sont de plus grands contributeurs de vitamine C, tandis que les légumes (jaunes, oranges) sont de plus grands contributeurs de β-carotène. Est-ce que la réduction de risque de cancer associée à la consommation de fruits pourrait être en partie liée à leur contribution aux apports en vitamine C (et à une synergie avec d'autres composants des fruits) ? Sachant que la vitamine C est dotée de nombreuses activités biologiques protectrices dont l'inhibition de la formation de nitrosamines dans l'estomac (cf. Tableau 1.4-4), et que les concentrations sériques de vitamines C diminuent avec le tabagisme (Faure, Preziosi et al., 2006), cette hypothèse méritera donc d'être réexaminée. Enfin, les légumes sont peut-être associés à d'autres facteurs qui pourraient masquer ou réduire leurs effets bénéfiques (matières grasses ajoutées, perte de nutriments liée à certains modes de cuisson).

Dans le cas des cancers liés au tabac, en particulier le cancer du poumon, il reste néanmoins possible que les ajustements statistiques ne suffisent pas à éliminer totalement ce facteur de confusion majeur. Les relations observées pourraient alors s'expliquer par une consommation de tabac plus faible chez

les grands consommateurs de F&L. La prise en compte des effets du tabac se fait par des ajustements statistiques. Cependant, l'ajustement statistique ne permet pas d'éliminer totalement ce facteur de confusion. En effet, les quantités de tabac consommées ainsi que la durée de consommation ne sont pas toujours mesurées avec précision : dans certaines études, seul le statut fumeur ou non-fumeur est connu. Dans l'analyse poolée de Smith-Warner (Smith-Warner, Spiegelman et al., 2003), la relation entre consommation de fruits & légumes et risque de cancer du poumon est considérablement atténuée après ajustement sur la consommation de tabac, ce qui démontre l'importance de ce facteur de confusion dans la relation observée. Il est donc très probable que la relation résiduelle observée après ajustement s'explique entièrement par un ajustement insuffisant sur la consommation de tabac. Cet effet de confusion du tabac joue probablement un rôle également très important dans les relations avec les cancers de la vessie et les cancers des VADS.

La relation observée entre consommation de fruits et cancer de l'estomac pourrait s'expliquer par d'autres facteurs de confusion non pris en compte comme les habitudes alimentaires ou le mode de conservation des aliments (fumaison, salaison, séchage). A l'inverse, le recours à des biomarqueurs plasmatiques apporte d'autres arguments : par exemple, l'étude cas-témoins nichée dans l'étude EPIC (EPIC-EURGAST) ainsi, alors que les auteurs n'ont pas observé de relation significative entre le risque de cancer gastrique et la consommation d'agrumes (Gonzalez, Pera et al., 2006) ou les apports estimés de vitamine C alimentaire (Jenab, Riboli et al., 2006), ils ont pu mettre en évidence une association inverse significative avec la vitamine C plasmatique (Jenab, Riboli et al., 2006). Ce type d'étude montre que l'estimation des apports alimentaires à partir de questionnaires (en particulier les questionnaires de fréquence) est moins précise que la mesure issue de biomarqueurs d'exposition et que cette imprécision peut faire perdre la significativité de l'effet ou masquer une relation modérée.

Les résultats des études de cohorte concernant le cancer colorectal sont pour l'instant hétérogènes. Pour les cancers du sein et de l'ovaire, les études récentes sont en faveur d'une absence de relation. Pour d'autres localisations de cancers, les données sont encore insuffisantes. D'ailleurs, il est important de rappeler que pour certaines localisations de cancers peu fréquentes, il n'est pas toujours possible de mettre en œuvre des études de cohorte de puissance suffisante. Dans ce cas, on ne pourra disposer que de résultats d'études cas-témoins.

L'absence de relation observée ne permet pas d'exclure un effet des F&L, en raison des imprécisions des mesures d'exposition et du faible nombre d'études de cohorte disponibles. De plus, même si les cohortes sont construites avec des effectifs très importants, le nombre d'événements reste relativement faible ce qui ne permet pas toujours de mettre en évidence un effet modéré. Enfin, des facteurs de confusion pourraient masquer l'effet des F&L. Par exemple, les grands consommateurs de F&L sont probablement plus soucieux de leur santé et participent peut être plus au dépistage ce qui augmenterait le nombre de cancer diagnostiqué et compenserait un éventuel effet des F&L. Un éventuel effet délétère des pesticides résiduels pourrait également compenser un éventuel effet bénéfique des F&L. Même s'il n'existe pas de preuve des effets cancérogènes des pesticides retrouvés dans l'alimentation, il est possible que les personnes atteintes de cancer aujourd'hui aient subi des expositions plus importantes à des époques où les expositions aux pesticides étaient moins bien contrôlées.

Certains aspects ont été peu explorés : les relations avec des types particuliers de fruits ou de légumes sont relativement mal étudiées. En effet, si les mesures de consommation de F&L totaux sont imprécises, il est encore plus difficile de mesurer les consommations de sous-groupes particuliers. Dans le cas des légumes crucifères (et de leurs composants spécifiques : isothiocyanates et indoles), on dispose du rapport publié par le groupe d'experts internationaux réunis par l'IARC qui a fait le point des données disponibles et des besoins de recherche (IARC, 2004). Par ailleurs, un éventuel effet d'une consommation diversifiée de F&L a été peu étudié. Il serait intéressant d'analyser d'utiliser des indicateurs de la diversité des F & L comme cela commence à être le cas dans les études épidémiologiques récentes examinant les déterminants socio-économiques de la consommation de F&L. Il conviendrait, dans la mesure du possible de tenir compte des polymorphismes génétiques des populations étudiées. Enfin, les seuls essais de prévention nutritionnelle visant à augmenter la consommation de F&L en association avec d'autres conseils diététiques n'ont pas été concluants.

**En conclusion**, les arguments en faveur d'un effet protecteur spécifique des F&L sur le risque de certains cancers reposent sur des enquêtes prospectives, ainsi que de très nombreuses études cas-témoins et études mécanistiques. Pour répondre aux questions en suspens de nouvelles recherches sont nécessaires :

- des études de cohorte de grande taille disposant d'un recueil de données alimentaires très précis, recourant à des biomarqueurs d'exposition aux nutriments des F&L et à leurs éventuels contaminants, ainsi qu'à des biomarqueurs d'effets en cancérogenèse validés (Rafter, Govers et al., 2004), et contrôlant précisément les facteurs de confusion connus, sont indispensables ;
- de plus, des essais de prévention de grande taille, incitatant à consommer plus de F&L avec une durée de suivi très longue, portant sur les localisations de cancer (poumon, vessie, estomac, bouche, pharynx) pour lesquelles des relations sont suggérées par les études de cohorte, seraient donc souhaitables pour apporter la preuve d'un effet protecteur des F&L.

Il n'en reste pas moins que les F&L jouent un rôle essentiel dans l'équilibre alimentaire et dans le contenu de la ration, réduisant ainsi le risque lié à l'excès d'autres aliments en particulier les aliments très énergétiques qui contribuent au développement du surpoids et de l'obésité (eux-mêmes facteurs de risque de certains cancers : voir ci-après). Les études épidémiologiques récentes qui visent à mettre en évidence l'effet propre des F&L ajustent quasi systématiquement les résultats sur l'indice de masse corporelle (IMC) et gomment ainsi l'effet indirect des fruits et légumes via le surpoids et l'obésité. Ce n'est pas pour autant qu'il faille négliger, dans le domaine de la prévention, cet effet indirect des F&L sur le risque de cancer.

### 1.4.5. Effet indirect des F&L sur le risque de cancer, via leur effet sur le surpoids et l'obésité

Les F&L contribuent au maintien du poids et à la prévention du surpoids et de l'obésité. L'influence du surpoids et de l'obésité sur la survenue de cancers a été largement étudiée. Le propos n'est pas de proposer une revue exhaustive des données de la littérature concernant la relation entre surpoids/obésité et cancers, mais de rappeler les arguments marquants.

Les conclusions du comité d'experts internationaux réuni par l'IARC en 2002 (IARC, 2002) sont les suivantes : le surpoids et l'obésité ont été reconnus comme des facteurs de risque pour les cancers du côlon, du rein, de l'oesophage, du sein (en post-ménopause) et de l'endomètre. Les résultats disponibles ont également suggéré un effet possible du surpoids et de l'obésité à l'égard du risque de cancer pour d'autres localisations.

Depuis cette monographie, on mentionnera les résultats décisifs de l'étude prospective américaine de très grande taille (900 000 adultes, 16 ans de suivi, 57000 décès par cancer) menée par l'American Cancer Society (Calle, Rodriguez et al., 2003). Celle-ci a montré que les sujets qui ont un IMC élevé ont risque de mortalité par cancer significativement plus élevé que les sujets qui ont un IMC normal (IMC compris entre 18,5 et 24,9 kg/m²). Il s'agit des cancers de l'œsophage, du côlon-rectum, du foie, de la vésicule biliaire, du pancréas et des reins dans les deux sexes, des cancers de l'estomac et de la prostate chez l'homme, et des cancers du sein, de l'endomètre, du col de l'utérus et de l'endomètre chez la femme.

Ainsi, la réduction du surpoids et de l'obésité est un facteur lié à la nutrition important pour la prévention des cancers et la réduction de la mortalité par cancer. La consommation de F&L, à côté de l'exercice physique régulier, contribue à limiter le surpoids et l'obésité.

**En conclusion**, en termes de recommandations nutritionnelles, il est important de prendre en considération non seulement l'effet propre des F&L sur le risque de cancer que nous avons analysé précédemment mais aussi et leur effet indirect via le surpoids et l'obésité.

### 1.4.6. Eclairage donné par le récent rapport WCRF/AICR 2007

Un éclairage complémentaire d'une grande portée est fourni par le dernier rapport du World Cancer Research Fund et de l'American Institute for Cancer Research, "Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer : a global perspective", qui vient d'être rendu public (1er novembre 2007). Ce rapport repose sur la revue systématique par 9 centres internationaux des publications réalisées jusqu'en 2006 puis l'évaluation par un panel de 22 experts internationaux, La qualification du niveau de preuve prend en compte la quantité, la qualité et la nature des données. En plus des critères classiques concernant la qualité des études, l'absence d'hétérogénéité et la plausibilité biologique, une relation est jugée "convaincante" si l'on dispose d'au moins deux types d'études et de 2 études de cohorte indépendantes, elle est jugée "probable" si l'on dispose d'au moins 2 études de cohorte indépendantes ou d'au moins 5 études cas-témoins. Les relations convaincantes et probables donnent lieu à des recommandations.

Concernant la relation entre la consommation de F&L et le risque de cancer, plus de 20 nouvelles méta-analyses ont été effectuées. Les principales conclusions du panel d'experts sont :

- L'affaiblissement des arguments en faveur d'un effet protecteur des F&L par les résultats des études de cohorte conduites depuis le milieu des années 1990. Dans aucune relation entre F&L et cancer les arguments ne sont suffisants pour être jugés convaincants, seules des relations probables sont évoquées.
- La diminution probable du risque des cancers de la bouche, du pharynx, du larynx, de l'œsophage et de l'estomac pour les F&L ; la diminution probable du risque de cancer du poumon pour les fruits seulement ;
- La protection probable par les F&L à l'égard de la prise de poids du fait de leur faible densité énergétique ; l'augmentation convaincante par le surpoids/obésité du risque de cancer pour de nombreuses localisations : œsophage (adénocarcinome), pancréas, côlon-rectum, sein (en post-ménopause), endomètre, rein ;
- L'objectif de santé publique d'atteindre une consommation moyenne en population de 600 g/j de F&L ; la recommandation pour les individus de consommer au moins 5 portions/j (au moins 400g/j) de F&L.

En comparaison avec l'analyse qui vient d'être faite dans le cadre de l'ESCo F&L, on constate que le panel d'experts réuni par le WRC et l'AICR arrive à des conclusions moins restrictives puisque les études cas-témoins lorsqu'elles sont de bonne qualité et en nombre suffisant ont été prises en compte pour l'établissement d'une relation probable.

### 1.4.7. Conclusion générale

Il existe des arguments en faveur d'un effet protecteur spécifique des F&L sur le risque de certains cancers qui reposent sur des enquêtes prospectives, de très nombreuses études cas-témoins et des études mécanistiques. Cependant des études de cohorte et des essais de prévention sont encore nécessaires pour confirmer cet effet protecteur.

Par ailleurs, la consommation de F&L qui participe au maintien d'un poids corporel normal et à la prévention du surpoids/obésité, contribue indirectement à la réduction du risque de nombreux cancers.

**Tableau 1.4-1.** Récapitulatif des résultats du rapport de l'IARC (2003) et des méta-analyses

| Site | Aliment | Rapport IARC (2003)[1] | | Méta-analyse de Riboli et Norat (2003)[2] | | | Meta-analyses ou analyses poolées récentes[3] | | | Nombre de cohortes récentes | Commentaire global |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cas-témoins | Cohortes | Cas-témoins | Cohortes | Total | Référence | Catégories | Total | | |
| Estomac | Fruits | 28/0,63[0,58-0,69]$^{\Delta}$ | 10/0,85[0,77-0,95] | 24/0,69[0,62-0,77] | 7/0,89[0,73-1,09] | 31/0,74[0,69-0,81] | Lunet 2005 : 15 C | catégorie supérieure vs inférieure | 0,82[0,73-0,93] | | Relation probable pour les fruits |
| | Légumes | 20/0,66[0,61-0,71]$^{\Delta}$ | 5/0,94[0,84-1,06]Δ | 17/0,78[0,71-0,86] | 5/0,89[0,75-1,05] | 22/0,81[0,75-0,87] | Lunet 2005 : 10 C | | 0,88[0,69-1,13] | | |
| Poumon | Fruits | 21/0,70[0,45-1,07]$^{\Delta}$ | 13/0,77[0,71-0,84] | 22/0,83[0,74-0,94]$^{\Delta}$ | 13/0,86[0,78-0,94]$^{\Delta}$ | 35/0,85[0,78-0,92]$^{\Delta}$ | Smith-Warner 2003 : 8 C | 5ème quintile vs 1er quintile | 0,77[0,67-0,87] ptrend 0,001 | 1 NS | Relation probable avec les fruits mais pas avec les légumes |
| | Légumes | 18/0,69[0,63-0,76]$^{\Delta}$ | 11/0,80[0,73-0,88] | 14/0,85[0,77-0,92]$^{\Delta}$ | 11/0,92[0,84-1,07]$^{\Delta}$ | 25/0,89[0,82-0,93]$^{\Delta}$ | | | 0,88[0,78-1,00] ptrend 0,12 | | |
| Vessie | Fruits | 5/0,74[0,59-0,92] | 5/0,87[0,72-1,04] | 5/0,82[0,70-0,94] | 3/0,80[0,65-0,99] | 8/0,81[0,73-0,91] | | | | 1: orange ↓ S; autres fruits & légumes NS | Relation possible des fruits: manque de données en dehors du Japon |
| | Légumes | 3/0,89[0,76-1,16] | 3/0,94[0,76-1,16] | 4/0,90[0,78-1,03] | 2/0,92[0,75-1,14] | 6/0,91[0,82-1,00] | | | | | |
| Oro-pharynx | Fruits | 10/0,45[0,38-0,53]$^{\Delta}$ | 1/diminution significative chez les femmes | 9/0,53[0,37-0,76] | | 9/0,53[0,37-0,76] | Pavia 2006 (oral cancer): 15 CT et 1C | pour une portion supplémentaire | 0,51[0,40-0,65] | 1 NS + 1 lésions précancéreuses NS | Relation possible mais résultats d'études de cohortes trop rares |
| | Légumes | 7/0,49[0,39-0,62] | | 7/0,84[0,67-1,07] | | 7/0,84[0,67-1,07] | | | 0,50[0,38-0,65] | | |
| Colo-rectal | Fruits | 9/0,87[0,78-0,97] | 11/1,00[0,96-1,05]$^{\Delta}$ | | | | | | | colo-rectal: 2 NS et 1↓S (fruits); côlon: 2 NS; rectum 1 ↓S (légumes verts feuillus) et 1 NS; adénomes 1 ↓S (fruits) | Résultats des études de cohortes hétérogènes: résultats isolés sur certains groupes alimentaires |
| | Légumes | 13/0,63[0,56-0,70]$^{\Delta}$ | 10/0,97[0,87-1,08] | | | | | | | | |
| Côlon | Fruits | | | 10/0,90[0,82-0,99]$^{\Delta}$ | 9/0,97[0,91-1,04]$^{\Delta}$ | 19/0,90[0,82-1,00]$^{\Delta}$ | | | | | |
| | Légumes | | | 17/0,90[0,78-1,03]$^{\Delta}$ | 11/0,91[0,86-0,96] | 27/0,91[0,83-1,00]$^{\Delta}$ | | | | | |
| Rectum | Fruits | | | | 5/0,88[0,81-0,96] | | | | | | |
| | Légumes | | | | 5/1,06[0,90-1,25] | | | | | | |
| Sein | Fruits | 12/0,99[0,92-1,07]$^{\Delta}$ | 6/0,82[0,71-0,95] | 8/0,92[0,84-1,01] | 10/0,99[0,98-1,00] | 18/0,99[0,98-1,00] | Smith-Warner 2001: 9 C poolées | catégorie supérieure vs inférieure | 0,99[0,98-1,00] | 2 NS | Pas de relation |
| | Légumes | 12/0,66[0,57-0,75]$^{\Delta}$ | 5/0,94[0,83-1,07] | 10/1,00[0,97-1,02] | 10/0,86[0,78-0,94] | 20/0,96[0,94-0,98] | | | 1,00[0,97-1,02] | | |
| Ovaire | Fruits | données insuffisantes | | données insuffisantes | | | Koushik 2005 : 12 C poolées | 4ème quartile vs 1er quartile | 1,06[0,92-1,21] ptrend 0,73 | 2 NS | Pas de relation |
| | Légumes | | | | | | | | 0,90[0,78-1,04] ptrend 0,06 | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Prostate | Fruits | 9/1,08[0,98-1,18]$^{\Delta}$ | 8/1,11[0,98-1,26] | | | Etminan 2004 tomates crues: 5CT et 1C; tomates cuites : 3 C | 5ème quintile | tomate crue 0,89[0,80-1,00] | 1/crucifères NS |
| | Légumes | 9/0,90[0,90-1,00] | 6/0,95[0,84-1,08] | | | | | tomate cuite 0,81[0,71-0,92] | 1/tomate NS |
| Larynx | Fruits | 4/0,63[0,52-0,77] | | 5/0,73[0,64-0,84] | 5/0,73[0,64-0,84] | | | | |
| | Légumes | 4/0,49[0,40-0,61]$^{\Delta}$ | | 4/0,92[0,83-1,02] | 4/0,92[0,83-1,02] | | | | |
| Œsophage | Fruits | 16/0,54[0,48-0,61]$^{\Delta}$ | 1 seule cohorte faible diminution | 12/0,72[0,62-0,83]$^{\Delta}$ | 13/0,72[0,62-0,83]$^{\Delta}$ | | | | |
| | Légumes | 10/0,64[0,57-0,72]$^{\Delta}$ | 4 pas sur légumes totaux | 12/0,89[0,82-0,97]$^{\Delta}$ | 13/0,89[0,82-0,97]$^{\Delta}$ | | | | |
| Pancréas | Fruits | 6/0,72[0,63-0,83]$^{\Delta}$ | 6/NS | | | | | | |
| | Légumes | 5/0,80[0,69-0,93]$^{\Delta}$ | 6/NS | | | | | | |
| Utérus | Fruits | 7/1,03[0,90-1,17]$^{\Delta}$ | | | | | | | |
| | Légumes | 5/0,75[0,64-0,89] | | | | | | | |
| Rein | Fruits | 7/0,76[0,63-0,91] | 2/NS | | | | | | |
| | Légumes | 4/0,86[0,67-1,09] | 1/NS | | | | | | |
| Foie | Légumes | | une seule avec diminution significative | | | | | | |

| | |
|---|---|
| Prostate | Données insuffisantes |
| Larynx | Données insuffisantes |
| Œsophage | Données insuffisantes |
| Pancréas | Données insuffisantes |
| Utérus | Données insuffisantes |
| Rein | Données insuffisantes |
| Foie | Données insuffisantes |

Les résultats sont exprimés de la façon suivante : nombre d'études/OR ou RR [intervalle de confiance]; p tend.= p de tendance; $^{\Delta}$ : hétérogénéité significative entre les études; S : résultat significatif; NS : résultat non significatif

1 Classe de consommation la plus élevée versus la plus basse

2 Pour 100g/jour consommé en plus

3 C : cohortes; CT: études-cas-témoins

**Tableau 1.4-2.** Résultats d'études de cohortes récentes non incluses dans le rapport IARC (2003) ou les méta-analyses

| COHORTE | | | POPULATION | | | | SUIVI | | EVENEMENTS | | EXPOSITION | | RESULTAT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nom | Référence | Pays | Type | H | F | Age | Début | Durée | Type | N | Niveau | Variable | Risque relatif |
| Health professionals follow up study | Maserejian (2006) | USA | Professionnels de santé | 42311 | | 40-75 | 1986 | 6 ans | Lésion précancéreuse de la cavité orale | 207 | 5ème quintile vs 1er quintile | F&L | 0,99[0,61-1,61] p_tend.=0,88 |
| | | | | | | | | | | | | F | 0,77[0,47-1,27] p_tend.=0,14 |
| | | | | | | | | | | | | L | 1,05[0,65-1,71] p_tend. = 0,41 |
| | Giovanucci (2003) | | | 47365 | | | | 4 ans | Cancer de la prostate (T1a exlus) | 2969 | | Crucifères | 0,93[0,82-1,05] p_tend.=0,30 |
| | | | | | | | | | Cancer de la prostate localisé | 1681 | | Crucifères | 0,88[0,74-1,05] p_tend. 0,06 |
| Netherland cohort study | Mommers (2005) | | | | 62572 | 55-69 | | 11,3 ans | Cancer de l'ovaire | 252 | 5ème quintile vs 1er quintile | F | 1,11[0,70-1,78] p_tend. 0,46 |
| | | | | | | | | | | | | L | 0,98[0,61-1,58] p_tend. 0,83 |
| | | | | | | | | | | | | F&L | 1,13[0,70-1,82] p_tend. 0,53 |
| | Wark (2005) | | | 58279 | 62572 | 55-69 | | 7,3 ans | Cancer du côlon hMLH1 + | 333 | 3ème tertile vs 1er tertile | F | 1,03[0,78-1,35] p_tend. =0,81 |
| | | | | | | | | | | | | L | 0,94[0,72-1,23] p_tend.=0,72 |
| | | | | | | | | | Cancer du côlon hMLH1 - | 54 | | F | 0,46 [0,23-0,90] p_tend.=0,029 |
| | | | | | | | | | | | | L | 0,86[0,45-1,65] p_tend.=0,67 |
| EPIC | Van Gils (2005) | Europe | Population générale Européenne | | 285526 | 25-70 | 1992 | 5,4 ans | Cancer du sein | 3659 | 5ème quintile vs 1er quintile | F | 1,09[0,94-1,25] p_tend. 0,11 |
| | | | | | | | | | | | | L | 0,98[0,84-1,14] p_tend. 0,65 |
| | Schulz (2005) | | | | 325640 | | | 6,3 ans | Cancer de l'ovaire | 581 | pour 80 g suppl | F | 1,08[0,99-1,18] |
| | | | | | | | | | | | | L | 0,92[0,76-1,11] |
| | | | | | | | | | | | | F&L | 1,02[0,95-1,10] |
| | Boeing (2006) | | | | | | 1992 | 6,3 ans | Cancer des voies aérodigestives supérieures | 352 | pour 80 g suppl | F&L | 0,91[0,83-1,00] |
| | | | | | | | | | | | pour 40 g suppl | F | 0,97[0,92-1,02] |
| | | | | | | | | | | | | L | 0,89[0,78-1,02] |
| Japan Collaborative cohorte Study | Sakauchi (2004) | Japon | Recrutement en centre d'examen de santé | 47997 | 66520 | 40-79 | 1988-1990 | 9,9 ans | Décès par cancer urothélial | 88 | quotidienne vs 0-2 fois/sem | F autre que orange | 0,43[0,21-0,86] p_tend. 0,016 |
| | | | | | | | | | | | | | NS avec les autres types de F&L |
| | Kojima (2004) | | | 45181 | 6243 | | | | Décès par cancer du côlon | 284 | | L verts feuillus | 1,19[0,74-1,91] p_tend. 0,40 |
| | | | | | | | | | | | | F | 1,06[0,64-1,75] p_tend. 0,63 |
| | | | | | | | | | Décès par cancer du rectum | 173 | | L verts feuillus | 0,57[0,34-0,94] p_tend. 0,02 |
| | | | | | | | | | | | | F | 0,80[0,46-1,26] p_tend. 0,78 |
| | Tokui (2005) | | | 110792 | | | | | décès par cancer de l'estomac | 859 | | Pas de relation avec orange, mandarine, carotte, épinard, tomate, chou, jus de fruit, haricot, champignon | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nurses' health study | Holick (2005) | USA | Infirmières | | 88796 | 30-55 | 1980 | 20ans | Cancer de la vessie | 237 | 5ème quintile vs 1er quintile | F<br>L<br>F&L | 0,95[0,62-1,46] p_tend. 0,01<br>1,29[0,87-1,19] p_tend. 0,40<br>1,08[0,70-1,65] p_tend. 0,99 |
| | Michels (2006) | | Ayant eu une coloscopie | | 34467 | | | | Adénome du côlon distal et du rectum (cas prévalent) | 1720 | <=3 portions/jour vs >=7 | F<br>L<br>F&L | 0,60[0,44-0,81] p_tend. 0,001<br>0,82[0,65-1,05] p_tend.0,10<br>0,81[0,68-0,96] p_tend.0,02 |
| Japan Public Health Center based prospective study | Liu (2004) | Japon | Recrutement en centre d'examen de santé | 45452 | 49924 | 40-69 | 1993 | 10 et 7 ans | Cancer du poumon | 428 | 3ème tertile vs 1er tertile | F<br>L<br>F&L | 1,16[0,84-4,58]<br>1,03[0,81-1,30]<br>1,10[0,79-1,52] |
| JPHC | Tsubono (2005) | Japon | Population de 9 secteurs de centre de santé | 42525 | 46133 | 40-69 | 1990 et 1993 | jusque 1999 | cancer colo-rectale | 705 | 4ème quartile vs 1er quartile | F<br>L | 0,92[0,70-1,19]<br>1,00[0,79-1,27] |
| Women's health study | Lin (2005) | USA | Professionnelles de santé | 36976 | | >=45 | 1993 | 10 ans | Cancer colo-rectal | 223 | 5ème quintile vs 1er quintile | F<br>L | 0,79[0,49-1,27] p_tend. 0,30<br>0,88[0,56-1,38] p_tend. 0,30 |
| Miyagi cohort study | Sato (2004) | Japon | Population rurale japonaise | 22836 | 24769 | 40-64 | 1990 | 7ans | Cancer du côlon | 165 | 4ème quartile vs 1er quartile | F<br>L<br>F&L | 1,45[0,85-2,47] p_tend.=0,28<br>1,24[0,79-1,95] p_tend.=0,34<br>1,13[0,73-1,75] p_tend.=0,62 |
| | | | | | | | | | Cancer du rectum | 110 | 4ème quartile vs 1er quartile | F<br>L<br>F&L | 1,41[0,73-2,73] p_tend.=0,30<br>1,14[0,73-2,73] p_tend.=0,55<br>1,12[0,67-1,89] p_tend.=0,37 |
| Prostate lung colorectal ovarian trial | Kirsh (2006) | USA | Population générale | 38352 | | 55-74 | | 4,2 | Cancer de la prostate | 1338 | >3/sem vs <1/mois | Tomate crue | 1,04[0,86-1,27] p_tend. 0,84 |
| Malmo diet and cancer cohort | Mattisson (2004) | Suède | Femmes ménopausées | | 111720 | 51-80 | 1996 | jusque decembre 2001 | Cancer du sein | 342 | 5ème quintile vs 1er quintile | F&L | 0,82[0,57-1,17] |
| ATBC | Nouraie (2005) | Finlande | Fumeurs participant à un essai de supplémentation en bêta-carotène | 29133 | | 50-69 | 1985-1988 | 12 ans | Cancer gastric du cardia | 64 | 4ème quartile vs 1er quartile | F<br>L | 1,00[0,47-2,18] p_tend.=0,77<br>0,81[0,27-2,48] p_tend.=0,59 |
| | | | | | | | | | Cancer gastric non cardia | 179 | | F<br>L | 0,66[0,43-1,02] p_tend.=0,04<br>0,85[0,43-1,68] p_tend.=0,11 |
| EPIC-Oxford | Sanjoaquin (2004) | GB | 10998 | | | | | 17ans | Cancer colorectal | 95 | | F | Diminution du risque associée à la consommation de F |

**Tableau 1.4-3.** Récapitulatif des études d'intervention

| Cohorte | Population | Effectif | Age | Intervention | Effet sur la consommation de F&L | Début | Durée | Critère de jugement | Nombre d'événements | Résultat | Référence |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Women Health Initiative (WHI) | 40 centres d'examen USA | 48835 femmes | 50-79 ans | 40% bénéficient de l'intervention: conseils pour diminuer les graisses, augmenter F&L et céréales | A 3 ans: 5,2 portions/j dans le groupe intervention/ 3,9 dans le groupe contrôle | 1993 - 1998 | 8,1 ans | Cancer colorectal<br>Cancer du sein | 480<br>1727 | RR 1,08[0,90-1,29]<br>RR 0,91[0,83-1,01] effet plus fort chez les femmes adhérant au régime | Beresford (2006)<br>Prentice (2006) |
| Polyp Prevention Trial (PPT) | Sujets ayant des polypes adenomateux du côlon dans les 6 mois | 1037 (intervention) 1042 (contrôle) | moyenne : 61 | Conseils avec pour objectif : fibre 4,30g/MJ; F&L 0,84 portion/MJ; graisses=20% de l'AET | +0,27 portions de F&L /MJ (soit 1,13 portion /1000 kcal) dans le groupe intervention | | 4 ans | adénome colorectal avancé | 1905 | Pas d'effet de l'intervention : pas de lien entre augmentation de consommation de F&L et récidive; recurrence plus faible chez ceux qui ont le plus augmenté leur consommation de haricot OR 4ème Quintile = 0.35 p trend. 0,001 | Lanza (2001; 2006) |
| | Sous-échantillon prostate | 685+661 | moyenne : 62 | Conseils: peu de graisse beaucoup de F&L/ contrôle=brochure | +2,3 portions de F&L/j | | 4 ans | mesure annuelle de PSA | | Pas de difference dans l'augmentation de PSA (p=0,34) 19 cancers de la prostate (contrôle)/ 22 (intervention) | Shike (2002) |
| Women Healthy Eating and Living (WHEL) | Femmes à un stade invasif précoce de cancer du sein (dans les 4 ans à partir du diagnostic) | 3088 femmes | 18-70 ans | Conseils par téléphone: 5 F&L; 450 g de jus de L; 30 g de fibres et graisses 15-20% de l'AET | + 4,5 L et +0,8 F à 6 mois<br>+ 2,2 L et +0,8 F à 6 ans | 1995-2000 | 7,5 ans | Récidives de cancer du sein et décès précoces | 518 récidives et 315 décès | Récidive RR 0,96 [0,80-1,14]<br>Décés 0,91[0,72-1,15] | Pierce (2002; 2007) |

AET : apport énergétique total

## 1.5. Fruits et légumes, maladies neuro-dégénératives et bien-être

Pascale Barberger-Gateau

### 1.5.1. Maladie d'Alzheimer et autres démences

L'étude PAQUID (QUID des Personnes Agées) a permis d'estimer qu'il y aurait actuellement environ 860.000 cas de démence chez les plus de 65 ans en France avec une incidence de 220.000 nouveaux cas par an (Office parlementaire d'évaluation des politiques de santé, 2005)[2]. La démence se caractérise par un déclin cognitif associant des troubles de la mémoire et d'au moins une autre fonction cognitive, et dont la sévérité est assez importante pour entraîner des difficultés dans les activités de la vie quotidienne. La cause la plus fréquente de démence est la maladie d'Alzheimer (MA), affection irréversible dans l'état actuel de nos connaissances puisque les seuls traitements disponibles sont purement symptomatiques (Blennow, de Leon et al., 2006). Avant la survenue du stade de démence irréversible, le déclin cognitif progressif va se manifester par des déficiences cognitives légères (Mild Cognitive Impairment ou MCI) qui atteignent environ 15 à 20% de la population âgée de 65 ans et plus, mais qui représentent un état instable encore potentiellement réversible dans son évolution naturelle ou grâce à la mise en place d'une prévention secondaire (Petersen, 2004).

Les principaux facteurs de risque de MA, l'âge et la possession de l'allèle ε4 du gène de l'apolipoprotéine E (apoE4) pour sa forme tardive ou sporadique, sont des facteurs de prédisposition qui n'offrent aucune possibilité de prévention. Il importe donc d'identifier des facteurs environnementaux modulant le vieillissement cérébral et le risque de MA, sur lesquels il serait possible d'agir. L'alimentation est à ce titre un levier d'action très intéressant, avec des hypothèses physiopathologiques permettant d'envisager un rôle des nutriments contenus dans les fruits et légumes (FL) via deux mécanismes principaux : l'apport de micro-nutriments anti-oxydants contre le stress oxydant et l'effet protecteur des folates contre l'hyperhomocystéinémie (Luchsinger and Mayeux, 2004).

Par ailleurs les affections cérébro-vasculaires sont par définition un facteur de risque majeur de démence vasculaire, mais elles sembleraient également être associées à la MA (Honig, Tang et al., 2003; Blennow, de Leon et al., 2006) suggérant que l'athérosclérose et la MA pourraient être deux processus pathologiques indépendants mais convergents (Casserly and Topol, 2004). Plusieurs études ont également montré que la présence d'un diabète (Biessels, Staekenborg et al., 2006) ou d'une obésité (Whitmer, Gunderson et al., 2005) était associée à un risque augmenté de démence. L'effet éventuel des fruits et légumes contre les maladies vasculaires, le diabète et l'obésité pourrait donc également contribuer à diminuer les démences, et nous renvoyons aux paragraphes correspondants.

#### *1.5.1.1. Données épidémiologiques*

***. Etudes d'observation***

Seules les études longitudinales prospectives (études de cohorte) sont pertinentes pour montrer que le comportement alimentaire observé a bien précédé le déclin cognitif ou la démence, et non l'inverse, en particulier dans une affection dont le maître symptôme est la perte de la mémoire. Elles analysent soit directement les quantités de fruits et légumes consommées, soit leur traduction en termes de nutriments ingérés, quelle que soit leur source alimentaire, et peuvent également dans certaines études inclure les nutriments apportés par des suppléments. La plupart de ces études sont américaines et reflètent donc des habitudes alimentaires particulières tout en comprenant des proportions importantes d'utilisateurs de suppléments, qui peuvent biaiser les résultats si leur composition précise n'est pas

[2] http://www.assemblee-nationale.fr/12/rap-off/i2454.asp

prise en compte. Cependant trois grandes études épidémiologiques françaises comportent à la fois des données nutritionnelles et cognitives répétées en population générale âgée, permettant d'étudier les relations entre nutrition et vieillissement cérébral : l'étude PAQUID (Commenges, Scotet et al., 2000), l'étude EVA (Etude du Vieillissement Artériel) (Berr, Balansard et al., 2000) et l'Etude des 3 Cités (3C) (Three-City Study Group, 2003).

**.** *Association entre consommation de F&L et risque diminué de démence ou de MA ou de déclin cognitif (Tableau 1.5-1)*

Les jus de fruits et légumes ont des propriétés anti-oxydantes particulièrement intéressantes en raison de leur teneur en polyphénols provenant de la pulpe et de la peau. L'étude Kame a montré que le risque de MA diminuait significativement avec la fréquence de consommation de jus de fruits. Le risque relatif était de 0,24 (IC 0,09 à 0,61) pour ceux consommant des jus au moins 3 fois par semaine par rapport à ceux en consommant moins d'une fois, en ajustant sur la consommation totale de vitamines E, C et beta-carotène (ce qui permet de faire l'hypothèse que l'effet est attribuable à d'autres composants, dont les polyphénols) et les facteurs de confusion classiques dont le niveau d'études qui est aussi associé à un moindre risque de démence (Dai, Borenstein et al., 2006).

Une étude prospective a mis en évidence une diminution du risque de déclin cognitif chez les femmes consommant beaucoup de légumes verts à feuilles, riches en lutéine et zéaxanthine, deux caroténoïdes xanthophylles, mais aussi en folates (Kang, Ascherio et al., 2005). Ces résultats sont retrouvés dans l'étude Chicago Health and Aging Study (CHAP) qui met en évidence un déclin cognitif moins rapide chez les personnes âgées consommant au moins 4 portions de légumes par jour, surtout pour les légumes verts à feuilles, mais pas d'effet protecteur de la consommation de fruits (Morris, Evans et al., 2006). La consommation de fruits supérieure à la médiane n'est pas associée à une diminution du risque de MA dans le Washington Heights Inwood Columbia Aging Project (WHICAP) tandis que l'association avec la consommation de légumes n'y est plus significative dans les analyses multivariées (Scarmeas, Stern et al., 2006).

Dans l'étude 3C, une consommation quotidienne de fruits et légumes crus et cuits est associée à une diminution de 30% du risque de démence dans les 4 ans qui suivent (RR=0,72, IC 0,53 à 0,97) dans les modèles multivariés ajustés pour les caractéristiques socio-démographiques, l'apoE4, le diabète et l'IMC (Barberger-Gateau, Raffaitin et al., 2007).

Des données plus anecdotiques et reposant essentiellement sur des travaux in vitro et chez l'animal supposent un effet potentiellement protecteur de la consommation d'ail (Chauhan, 2005) mais il n'existe aucune étude épidémiologique à ce sujet. De plus les études ont été effectuées avec de l'extrait d'ail en solution alcoolique qui sort donc du champ de cette expertise.

**.** *Association entre nutriments potentiellement protecteurs contenus dans les F&L (folates, vitamine C, caroténoïdes, polyphénols…) et risque de démence*

*Données de consommation alimentaire de nutriments*

Les études épidémiologiques ayant analysé la relation entre consommation de nutriments anti-oxydants et le risque de démence ou de MA (Tableau 1.5-2) ont montré des résultats discordants (Luchsinger and Mayeux, 2004; Barberger-Gateau, Delcourt et al., 2006). L'étude PAQUID (flavonoïdes) (Commenges, Scotet et al., 2000), l'étude 3 C (flavonoïdes) (Letenneur, Proust-Lima et al., 2007) et la Rotterdam Study (vitamine C) (Engelhart, Geerlings et al., 2002) ont apporté des arguments en faveur d'un rôle protecteur des anti-oxydants contenus dans les FL contre la démence ou le déclin cognitif, contrairement au WHICAP (Luchsinger, Tang et al., 2003) et au CHAP (Morris, Evans et al., 2002). Les études épidémiologiques d'observation ont également montré des résultats disparates quant à l'effet protecteur éventuel de la consommation de folates contre le déclin cognitif et la démence (Luchsinger and Mayeux, 2004). Il est cependant très difficile d'isoler l'action d'un nutriment au sein de l'alimentation : en effet, celui-ci peut n'être qu'un marqueur de la consommation d'un autre nutriment auquel il est très associé dans certains aliments (exemple des légumes verts à feuilles qui apportent à la fois des folates et de la lutéine, caroténoïde xanthophylle).

*Données de consommation de suppléments (Tableau 1.5-3)*

Bien qu'elles ne concernent pas directement la consommation de F&L et qu'elles portent sur des quantités ingérées quotidiennes généralement très supérieures à celles apportées par l'alimentation, les études d'observation sur la supplémentation en nutriments retrouvés dans les FL pourraient apporter des arguments sur la plausibilité des mécanismes d'action sous-jacents. L'utilisation de suppléments contenant de la vitamine C était associée à une réduction du risque de démence ou de déclin cognitif dans un sous-échantillon des cohortes Established Populations for the Epidemiologic Study of the Elderly (EPESE) (Morris, Beckett et al., 1998), dans la Cache County Study (Zandi, Anthony et al., 2004) et la Nurses' Health Study (Grodstein, Chen et al., 2003) mais pas dans le WHICAP (Luchsinger, Tang et al., 2003), ni l'étude CHAP (Morris, Evans et al., 2002), ni dans la Honolulu-Asia Aging Study (HAAS) (Laurin, Foley et al., 2002). De plus ces relations différaient en fonction du type et/ou du dosage des suppléments, en particulier de l'association entre vitamines E et C, mais également après prise en compte d'interactions avec des facteurs environnementaux comme le tabagisme ou génétiques comme l'apoE4. L'effet apparent des suppléments dans certaines études d'observation pourrait être du à des facteurs de confusion non contrôlés, notamment socio-culturels.

**. *Etudes d'intervention***

Seules les études d'intervention permettent d'éliminer définitivement les facteurs de confusion, notamment socio-démographiques (niveau d'études et de revenus) qui pourraient expliquer à la fois une forte consommation de FL et un moindre risque de démence.

**.** *Interventions visant à augmenter la consommation de F&L*

Aucune étude d'intervention publiée n'a évalué l'impact de l'augmentation de la consommation de fruits ou de légumes sur la démence ou le déclin cognitif.

**.** *Interventions avec des suppléments contenus dans les F&L*

Les quelques études d'intervention réalisées avec des suppléments comportant des nutriments contenus dans les F&L pourraient cependant apporter des arguments quant à la plausibilité biologique des résultats des études épidémiologiques d'observation, en éliminant les facteurs de confusion.

*Anti-oxydants*

En prévention primaire, une association d'antioxydants n'a eu aucun effet sur le déclin cognitif de volontaires sains (Smith, Clark et al., 1999). L'article de Chandra (2001) qui rapportait des résultats positifs d'une supplémentation avec un ensemble d'anti-oxydants a été officiellement rétracté par le journal Nutrition (Meguid, 2005). Une étude ancillaire de la Women's Health Study, étude randomisée en double aveugle contre placebo de supplémentation par 600 UI de vitamine E un jour sur deux chez des femmes âgées de 65 ans et plus, n'a pas trouvé d'impact sur le déclin cognitif sauf chez les femmes ayant un apport alimentaire de cette vitamine inférieur à la médiane de l'échantillon (6,1 mg/j), peu d'activité physique (moins d'une fois par semaine) et n'ayant pas de diabète (Kang, Cook et al., 2006). Il faut toutefois se méfier des analyses post-hoc non planifiées avant la randomisation car elles peuvent porter sur des sous-groupes non comparables.

En prévention secondaire, un récent essai randomisé de supplémentation en vitamine E à 2000 UI/jour chez des patients atteints de MCI s'est avéré négatif (Petersen, Thomas et al., 2005). Il faut souligner qu'il s'agit de doses extrêmement élevées, très largement supérieures aux ANC, et avec lesquelles des effets délétères pro-oxydants pourraient même être attendus, administrées à des individus ayant déjà développé des signes cliniques de la maladie. De telles doses ne peuvent en aucun cas être obtenues par l'alimentation, même en accompagnant abondamment les légumes d'huile végétale (principale source de vitamine E).

*Folates*

Une revue de littérature des essais randomisés parue en 2007 concluait à l'absence de preuve de l'efficacité d'une supplémentation en folates contre le déclin cognitif, qu'il s'agisse de prévention primaire ou secondaire (Balk, Raman et al., 2007). Un essai randomisé publié depuis a montré l'efficacité de la supplémentation par 800 µg/j d'acide folique sur le déclin cognitif chez des sujets de

50 à 70 ans ayant une hyperhomocystéinémie sans déficit en vitamine B12 (Durga, van Boxtel et al., 2007). Une telle dose est toutefois très difficile à atteindre avec des légumes (elle équivaut par exemple à 500 g de mâche) mais il peuvent apporter un complément intéressant à côté des sources animales (foie).

D'une façon générale, les résultats décevants des études d'intervention peuvent s'expliquer d'une part par un mauvais ciblage des personnes susceptibles de bénéficier d'un supplément d'apport des micro-nutriments évalués (absence de carence nutritionnelle), d'autre part par une inadéquation qualitative ou quantitative des suppléments utilisés. Il faut privilégier autant que possible l'apport alimentaire des nutriments plutôt que les suppléments (Lichtenstein and Russell, 2005).

#### *1.5.1.2. Mécanismes d'action potentiels des constituants des fruits et légumes dans la pathologie dégénérative cérébrale*

***. Anti-oxydants***

Le cerveau est particulièrement vulnérable au stress oxydant en raison de sa composition en acides gras poly-insaturés (AGPI) à longue chaîne très sensibles à la peroxydation (en particulier le DHA C22:6(n-3)), de sa consommation élevée d'oxygène entraînant un niveau élevé de production de radicaux libres et de sa teneur en Fer-ascorbate pro-oxydant (Floyd and Hensley, 2002). Par ailleurs les systèmes de défense anti-oxydants y sont assez peu présents et semblent devenir moins efficaces avec le vieillissement (Coyle and Puttfarcken, 1993). Dans la MA l'accumulation de protéine β-amyloïde est associée à une augmentation de la production de radicaux libres, attestée par une augmentation de la peroxydation lipidique au niveau cérébral (Floyd and Hensley, 2002; Montine, Neely et al., 2002). Des phénomènes oxydatifs révélés par des dosages d'isoprostanes, marqueurs de la peroxydation lipidique, ont aussi été observés dans les cerveaux de patients atteints de MCI avec des niveaux similaires à ceux de patients atteints de maladie d'Alzheimer, suggérant un rôle précoce du stress oxydant dans la pathogénie de la MA (Markesbery, Kryscio et al., 2005).

Les données biologiques d'études épidémiologiques confirment la relation entre statut oxydatif de l'organisme et risque de démence ou de déclin cognitif. Dans l'étude EVA, des taux élevés de TBARS (marqueurs de peroxydation lipidique) étaient associés à une augmentation de la probabilité de déclin cognitif, d'autant plus que les taux d'antioxydants plasmatiques étaient bas (sélénium, caroténoides ou vitamine E) (Berr, Balansard et al., 2000). Dans PAQUID, des taux bas de vitamine E plasmatique (marqueur du statut oxydatif global) étaient associés à un risque plus élevé de démence ultérieure (Helmer, Peuchant et al., 2003). Le niveau en anti-oxydants du plasma (activités enzymatiques, vitamines, caroténoïdes) était également plus faible chez des sujets atteints de MCI, et proche de celui des patients atteints de MA dans une étude italienne (Rinaldi, Polidori et al., 2003). Une étude expérimentale de supplémentation menée chez des sujets atteints de MA a montré l'intérêt de l'association des vitamines E (400 UI) et C (1000 mg/j) pour améliorer les paramètres de peroxydation lipidique chez ces patients (Kontush, Mann et al., 2001). Il s'agit là toutefois de doses très supérieures aux ANC, non atteignables par l'alimentation, et de malades, non de prévention primaire.

Le rôle spécifique des caroténoïdes xanthophylles dans la MA, la démence vasculaire ou le MCI est suggéré par deux études cas-témoin (Rinaldi, Polidori et al., 2003; Polidori, Mattioli et al., 2004) et une étude en IRM (den Heijer, Launer et al., 2001). Dans l'étude EVA les participants ayant un bas niveau de performances cognitives avaient de plus bas taux plasmatiques de lycopène et de zéaxanthine (Akbaraly, Faure et al., 2007). L'effet protecteur des anti-oxydants (évalué par le niveau plasmatique de beta-carotène) serait plus marqué chez les sujets ayant le facteur de risque génétique de la MA (apoE4) (Hu, Bretsky et al., 2006). On manque cependant d'études longitudinales permettant d'affirmer le caractère causal de ces associations.

Des données chez l'animal viennent corroborer ces hypothèses. La supplémentation de l'alimentation de rats âgés par des extraits d'épinards, de fraises ou de myrtilles a retardé les déficits neuronaux et cognitifs liés à l'âge (Youdim and Joseph, 2001; Joseph, Shukitt-Hale et al., 2005; Lau, Shukitt-Hale et al., 2005). L'effet des myrtilles a été attribué par ces auteurs à leurs propriétés anti-oxydantes et

anti-inflammatoires, mais aussi à l'effet direct des flavonoïdes qu'elles contiennent sur la signalisation cellulaire améliorant la plasticité cérébrale au niveau de l'hippocampe.

Les anti-oxydants (vitamine C, caroténoïdes, flavonoïdes) contenus dans les fruits et légumes pourraient donc contribuer à protéger le cerveau contre le stress oxydant et à prévenir la survenue de la pathologie dégénérative cérébrale.

***. Vitamines du groupe B, folates et homocystéine***

Les carences en vitamines B12 ou en folates sont associées à des déficits neurologiques congénitaux ou acquis. Elles pourraient peut-être avoir un rôle dans la prévention des pathologies neuro-dégénératives. De plus, leur carence est associée à une élévation de l'homocystéinémie, facteur de risque vasculaire et potentiellement de démence (voir chapitre sur la pathologie vasculaire) (Reynolds, 2006).

***. Acides gras poly-insaturés : rôle de l'ac. Alpha-linolénique***

Certains végétaux (mâche) apportent également de l'acide alpha-linolénique C18:3(n-3), acide gras essentiel précurseur du DHA dont le rôle protecteur contre le déclin cognitif et la démence est soupçonné (Bourre, 2005). Cependant les quantités apportées par les légumes sont tout-à-fait négligeables à côté de celles fournies par les huiles végétales, en particulier de colza et de noix, et la recommandation porterait donc plus sur le choix de l'huile d'assaisonnement que sur celui de la salade pour couvrir les besoins en ces nutriments. Nous ne détaillerons donc pas ici les mécanismes d'action potentiels de ces acides gras.

### Synthèse

Les études épidémiologiques d'observation fournissent des résultats encourageants quant à l'effet protecteur des fruits et légumes dans le vieillissement cérébral mais elles ne sont étayées par aucune étude d'intervention. Une association entre la consommation de fruits et légumes en général, de jus de fruits et légumes, ainsi que de légumes à feuilles et un moindre risque de déclin cognitif et de maladie d'Alzheimer a été mise en évidence. Ces résultats ont une plausibilité biologique car ils peuvent s'expliquer par les effets des nutriments anti-oxydants (flavonoïdes, caroténoïdes, vitamine C) et des folates contenus dans les fruits et légumes. L'effet protecteur des anti-oxydants serait plus marqué chiez les sujets ayant le facteur de risque génétique (apoE4 +). Toutefois, en l'absence d'études d'intervention visant à augmenter la consommation de fruits et légumes et malgré l'ajustement sur de nombreux facteurs socio-culturels et génétiques, on ne peut exclure des effets de confusion résiduels qui expliqueraient les associations. Enfin peu d'études épidémiologiques dans le monde disposant à la fois de données nutritionnelles et neuro-pychologiques de qualité, les résultats reposent donc sur un petit nombre de sites d'observation (mais de grande taille chacun) essentiellement aux Etats-Unis, en France et aux Pays-Bas.

## 1.5.2. Maladie de Parkinson

La maladie de Parkinson (MP) est une affection neuro-dégénérative due principalement à la perte de neurones du locus niger entraînant un déficit de la neuro-transmission dopaminergique mais aussi d'autres systèmes neurotransmetteurs. Beaucoup plus rare que la maladie d'Alzheimer, sa prévalence augmente avec l'âge, passant de 0,6% à 3,5% entre 65 et 89 ans en Europe (Fahn and Sulzer, 2004). Une meta-analyse de 25 études a estimé l'incidence pour l'ensemble de la population entre 16 et 19 nouveaux cas pour 100.000 personnes-années (Fahn and Sulzer, 2004). Son incidence croît légèrement avec le vieillissement, le risque de développer une MP augmentant de 1,1% par année d'âge (Fahn and Sulzer, 2004).

### *1.5.2.1. Etudes épidémiologiques*

Très peu d'études ont analysé l'association entre consommation de F&L ou leurs nutriments et risque de MP, et elles ont amené des résultats discordants voire paradoxaux.

Une méta-analyse réalisée en 2005 (Etminan, Gill et al., 2005) n'a identifié que 8 études comportant des données sur la relation entre consommation de vitamine C, E ou beta-carotène et risque de MP dont une seule étude de cohorte (Zhang, Hernan et al., 2002). En combinant les données, seule la consommation alimentaire modérée de vitamine E est associée à un moindre risque de MP (RR=0,81, CI 0,67 à 0,98), pas celle de vitamine C ni de beta-carotène, ce qui n'est pas en faveur d'un effet protecteur des fruits et légumes à part les oléagineux (noix : Golbe, Farrell et al., 1988). Ce résultat est similaire à celui de l'unique étude de cohorte qui trouve un effet protecteur de la vitamine E d'origine alimentaire et des noix (Zhang, Hernan et al., 2002). Une étude cas-témoins (Scheider, Hershey et al., 1997) n'a pas mis en évidence d'effet protecteur de la consommation passée globale d'anti-oxydants estimée par questionnaire de fréquence semi-quantitatif alors qu'au contraire, la consommation de certains caroténoïdes, fruits et légumes était plus élevée chez les patients atteints de MP. Deux hypothèses sont envisageables : un mauvais contrôle des facteurs de confusion dans cette petite étude rétrospective, ou un effet toxique des pesticides contenus dans les F&L, dont le rôle est par ailleurs soupçonné dans la maladie de Parkinson (Fahn and Sulzer, 2004).

Concernant les vitamines du groupe B, la Rotterdam Study n'a pas trouvé d'association avec les folates ni la vitamine B12 d'origine alimentaire, mais un risque diminué avec la vitamine B6 (trouvée essentiellement dans le poisson et le foie mais aussi dans la banane, la pomme de terre non pelée et certains fruits secs) uniquement chez les fumeurs (de Lau, Koudstaal et al., 2006).

#### *1.5.2.2. Mécanismes d'action potentiels*

Le rôle potentiel du stress oxydant dans la MP (Fahn and Sulzer, 2004) permettrait d'espérer un rôle protecteur des fruits et légumes riches en anti-oxydants (vitamine C, caroténoïdes, flavonoïdes). Par ailleurs des taux élevés d'homocystéine pourraient contribuer à aggraver le déficit dopaminergique en raison de ses effets neurotoxiques (de Lau, Koudstaal et al., 2006). Les folates contenus dans les F&L pourraient donc contribuer à améliorer l'état fonctionnel de ces malades en permettant un abaissement de l'homocystéinémie.

**Synthèse**

Malgré des hypothèses séduisantes au niveau des mécanismes d'action potentiels, il n'existe guère d'arguments convaincants d'un effet protecteur des F&L pour la prévention de la maladie de Parkinson. Très peu d'études d'observation ont été conduites, aucune intervention, et elles ont donné des résultats discordants.

### 1.5.3. Bien-être, dépression, santé mentale

Il existe très peu d'études étayant un rôle direct de la consommation des F&L dans le bien-être au sens de la définition de la santé de l'OMS "état de bien-être complet, physique, psychique et social et non pas la simple absence de maladie ou d'infirmité". Un effet indirect pourrait être mis en jeu : si les F&L ont réellement des effets protecteurs contre certaines maladies, le soulagement des symptômes qui leur sont attribuables peut concourir à une amélioration du bien-être perçu. Nous n'aborderons pas dans ce chapitre les effets supposés des isoflavones de soja sur les symptômes de la ménopause.

#### *1.5.3.1. Données épidémiologiques*

***. Etudes d'observation***

A la date du 03/12/2006, aucune revue de littérature n'a été publiée au cours des 10 dernières années en français ou en anglais concernant la relation entre la consommation de fruits ou légumes et le bien-être, la dépression ni la santé mentale. Les seuls travaux de synthèse publiés concernent les herbes médicinales utilisées en supplément, les isoflavones de soja dans les symptômes liés à la ménopause et l'ail. Nous avons trouvé seulement deux études épidémiologiques ayant analysé la relation entre

consommation de F&L et bien-être ou dépression. D'une façon générale il est extrêmement difficile d'isoler l'effet propre des FL sur le bien-être, notion très subjective, indépendamment de leur effet sur les maladies, comme nous l'avons évoqué ci-dessus.

Une étude transversale menée auprès de Chinois âgés de 65 ans et plus a trouvé une association entre une forte consommation de légumes supérieure à 2112 g/semaine (soit 300 g/jour) (et aussi de vitamines A, B2, B3, C, de fibres ou d'isoflavones de soja) et un moindre risque de dépression évaluée par la Geriatric Depression Scale. Cet effet protecteur persistait dans les analyses multivariées. Aucune association n'était observée avec la consommation de fruits (Woo, Lynn et al., 2006). Cependant aucune causalité ne peut en être inférée car il s'agit d'une analyse purement transversale. En effet, il est très possible que les personnes déprimées aient modifié leur comportement alimentaire.

Une publication très récente de données de la cohorte EPIC-Norfolk (UK) portant sur 16792 participants âgés de 41 à 80 ans a mis en évidence une association positive entre consommation de FL et la dimension physique de l'échelle de qualité de vie SF-36 mesurée 18 mois plus tard, indépendamment de l'IMC, du tabagisme, du niveau socio-culturel, de la consommation d'énergie totale et de la présence de co-morbidités à la visite initiale (Myint, Welch et al., 2007). Cette association était également retrouvée pour la dimension mentale chez les femmes. Une augmentation de la consommation de 2 portions de FL par jour correspondait à une augmentation de 11% de la probabilité d'avoir un bon état fonctionnel subjectif au SF-36. De même une modification globale des comportements alimentaires (consommation de fruits et légumes) mais aussi d'activité physique était associée à une amélioration de l'état de santé mental chez des résidents de quartiers défavorisés en Grande-Bretagne .

***. Etudes d'intervention***

Aucune étude d'intervention publiée n'a cherché à augmenter la consommation de fruits ou légumes avec pour objectif principal d'améliorer l'humeur des participants. Un essai randomisé a comparé deux méthodes de conseil nutritionnel afin d'augmenter la consommation de F&L dans un échantillon de 271 adultes de 18 à 70 ans d'un quartier défavorisé de Londres (Steptoe, Perkins-Porras et al., 2004). Les composantes physique et mentale du SF-36 se sont améliorées durant les 8 premières semaines de l'intervention dans les deux groupes, de façon corrélée à l'augmentation de la consommation de FL. L'association se maintenait sur 1 an uniquement pour la composante physique du SF-36, suggérant que l'impact était plus dû à une amélioration globale de l'état de santé que directement de l'état psychique. L'augmentation de la consommation de FL était aussi associée à une amélioration de l'état de santé auto-évalué. La plausibilité biologique des résultats était corroborée par l'existence d'une corrélation entre l'évolution des taux plasmatiques de vitamine C et l'amélioration du score de santé physique du SF-36. Par contre aucune association n'a pu être mise en évidence avec les taux plasmatiques de beta-carotène. Il faut souligner que cette étude n'a pas comparé des recommandations d'augmentation de consommation des F&L à l'alimentation habituelle, mais deux méthodes différentes d'éducation nutritionnelle. Ses résultats peuvent donc être biaisés comme ceux d'une étude de cohorte, notamment par l'effet placebo qui va augmenter le bien-être par le seul fait d'être inclus dans une étude. Il n'y pas de double aveugle possible ici.

Un essai en cours évalue l'impact d'une intervention multi-factorielle (incluant la recommandation de 5 fruits et légumes par jour) sur l'état psychologique de femmes traitées pour cancer du sein, mais il s'agit d'une population très particulière et le rôle spécifique des fruits et légumes ne pourra pas être isolé (Saxton, Daley et al., 2006).

### *1.5.3.2. Arguments biologiques*

Les légumes verts à feuilles sont riches en folates qui auraient un rôle contre la dépression. En effet, de nombreuses études ont trouvé une relation entre des niveaux plasmatiques de folates bas et un risque accru de dépression (Reynolds, 2006). Une étude finlandaise a mis en évidence un risque accru de haut niveau de symptomatologie dépressive chez les hommes dans le tercile inférieur de consommation de folates mais il s'agit d'une simple étude transversale (Tolmunen, Voutilainen et al., 2003).

Plusieurs études d'intervention ont montré l'intérêt du traitement adjuvant par les folates chez des patients déprimés, confirmé par méta-analyse (Taylor, Carney et al., 2003). Une revue de littérature conduite en 2006 identifie 6 essais randomisés de traitement par les folates chez des patients présentant des symptômes neuropsychiatriques, dont 5 ont montré une amélioration de l'humeur et de l'intégration sociale (Reynolds, 2006). Cependant il s'agit ici de patients traités et non de prévention primaire. De plus ces études d'intervention sont menées avec des suppléments dont les teneurs en acide folique (200 µg à 15 mg/j) ou methyl folates (15 à 50 mg par jour) semblent parfois difficiles à atteindre avec l'alimentation.

### Synthèse

Les données biologiques permettent d'espérer un effet positif des légumes verts, riches en folates, sur la symptomatologie dépressive. Cependant les données épidémiologiques en faveur d'un effet bénéfique des F&L sur le bien-être reposent sur une seule étude d'intervention qui souffre de limites méthodologiques et doit être reproduite dans d'autres contextes pour apporter des arguments plus concluants.

**Tableau 1.5-1.** Principales études épidémiologiques longitudinales d'observation de la relation entre consommation de fruits ou légumes et vieillissement cérébral pathologique

| Etude | N | Age | Facteur étudié | Evénement suivi | Résultat (après ajustement) |
|---|---|---|---|---|---|
| Kame (hommes japonais aux Etats-Unis) (Dai, Borenstein et al., 2006) | 3045 | ≥ 65 | Jus de fruits et légumes (fréquence) | Maladie d'Alzheimer | Effet protecteur RR = 0,24 (IC 0,09 à 0,61) pour ceux consommant des jus au moins 3 fois par semaine |
| WHICAP (Etats-Unis) (Scarmeas, Stern et al., 2006) | 2258 | | Légumes (quantité/j) | Maladie d'Alzheimer | Effet protecteur d'une consommation de légumes supérieure à la médiane en analyse brute RR=0,76 (IC 0.60 à 0.97), NS en multivarié |
| Nurses' Health Study (Etats-Unis) (Kang, Ascherio et al., 2005) | 15080 | ≥ 70 | Fruits et légumes (portions) | Déclin cognitif | Pas d'association entre fruits et déclin cognitif Effet protecteur des légumes verts à feuilles |
| CHAP (Etats-Unis) . (Morris, Evans et al., 2006) | 3718 | ≥ 65 | Légumes | Déclin cognitif | |
| PAQUID (France) (Letenneur, Proust-Lima et al., 2007) | 1640 | ≥ 68 | Fruits (quantité/j) Légumes (quantité/j) | Déclin cognitif | Pas d'effet significatif propre quand ajusté sur flavonoïdes |
| 3C (France) (Barberger-Gateau, Raffaitin et al., 2007) | 8085 | ≥ 65 | Fruits et légumes (fréquence) | Démence | Effet protecteur HR=0,72 (IC 0.53 à 0.97) pour une consommation quotidienne de fruits et légumes crus et cuits |

WHICAP : Washington Heights Inwood Columbia Aging Project
CHAP : Chicago Health and Aging Project
PAQUID : QUID des Personnes Agées
3C : Etude des 3 Cités

**Tableau 1.5-2.** Principales études épidémiologiques longitudinales d'observation de la relation entre consommation de nutriments anti-oxydants et vieillissement cérébral pathologique

| Etude | N | Age | Facteur étudié | Evénement suivi | Résultat significatif (après ajustement) |
|---|---|---|---|---|---|
| PAQUID<br>(France)<br>(Commenges, Scotet et al., 2000) | 1367 | ≥ 68 | Flavonoïdes alimentaires | Démence | Effet protecteur |
| PAQUID<br>(France)<br>(Letenneur, Proust-Lima et al., 2007) | 1640 | ≥ 68 | Flavonoïdes alimentaires | Déclin cognitif sur 10 ans | Effet protecteur |
| Rotterdam Study<br>(Pays-Bas)<br>(Engelhart, Geerlings et al., 2002) | 5395 | ≥ 55 | Vitamine E<br>Vitamine C<br>β-carotène<br>flavonoïdes alimentaires | Maladie d'Alzheimer | Effet protecteur des vitamines C et E<br>Pas d'effet du □-carotène ni des flavonoïdes sauf chez les fumeurs |
| CHAP<br>(Etats-Unis)<br>(Morris, Evans et al., 2002) | 815 | ≥ 65 | Vitamine E<br>Vitamine C<br>β-carotène<br>alimentaires + suppléments | Maladie d'Alzheimer | Pas d'effet de la vitamine C ni du □-carotène, ni de la vitamine E en suppléments<br>Effet protecteur de la vitamine E alimentaire seulement chez apoE4 négatifs |
| WHICAP<br>(Etats-Unis)<br>(Luchsinger, Tang et al., 2003) | 980 | ≥ 65 | Caroténoïdes<br>Vitamine E<br>Vitamine C<br>alimentaires + suppléments | Maladie d'Alzheimer | Aucune association avec les données alimentaires ni les suppléments |

**Tableau 1.5-3.** Principales études épidémiologiques longitudinales d'observation de la relation entre consommation de suppléments anti-oxydants et vieillissement cérébral pathologique

| Etude | N | Age | Facteur étudié | Evénement suivi | Résultat (après ajustement) |
|---|---|---|---|---|---|
| EPESE<br>(Etats-Unis)<br>(Morris, Beckett et al., 1998) | 633 | ≥ 65 | Suppléments en vitamines E ou C | Maladie d'Alzheimer | Effet protecteur de la vitamine C, pas la E.<br>Mais peu de variables d'ajustement. |
| Cache County Study<br>(Etats-Unis)<br>(Zandi, Anthony et al., 2004) | 3227 | ≥ 65 | Suppléments en vitamines E (>400 UI) ou C (>500 mg) | Maladie d'Alzheimer | Pas d'association avec l'utilisation de vit. E ou C seules mais effet protecteur de l'utilisation combinée vit. E+C |
| Nurses' Health Study<br>(Etats-Unis)<br>(Grodstein, Chen et al., 2003) | 14 968 | 70-79 | Suppléments en vitamines E ou C, sauf multi-vitamines | Tests des fonctions cognitives | Meilleures performances avec suppléments vit. E+C combinées, surtout si faible apport nutritionnel en vit. E |
| HAAS<br>(hommes Japonais à Honolulu)<br>(Laurin, Masaki et al., 2004) | 2369 | 71-92 | Suppléments en vitamines E ou C | Démence<br>Maladie d'Alzheimer<br>Démence vasculaire | Aucune association avec consommation de suppléments, à court ou long terme |

## 1.6. Fruits et légumes et maladies oculaires

Cécile Delcourt

Les maladies oculaires liées à l'âge (cataracte, dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) et glaucome) sont actuellement les principales causes de cécité au niveau mondial (Resnikoff, Pascolini et al., 2004). La cataracte, caractérisée par une opacification du cristallin (lentille en avant de l'œil, ayant pour fonction la focalisation de la lumière sur la rétine), est la première cause de cécité mondiale, représentant à elle seule 50 % des cas de cécité. Ceci est dû essentiellement à sa plus grande fréquence, à des âges plus précoces, dans les pays en voie de développement, qui n'ont par ailleurs pas les moyens chirurgicaux d'y faire face. Comme dans les autres pays industrialisés, l'extraction du cristallin est l'acte chirurgical le plus fréquent en France, avec environ 400 000 opérations chaque année (Baubeau, Bousquet et al., 2001). La DMLA est la première cause de cécité dans les pays industrialisés, où elle représente 50 % des cas (Resnikoff, Pascolini et al., 2004). Nous avons estimé récemment sur la base de données françaises et internationales, que le nombre de personnes atteintes de la forme symptomatique de la DMLA est d'environ 608 000 (Delcourt, 2007). Le nombre de nouveaux cas a été estimé à 30 000 chaque année en France (Korobelnik, Moore et al., 2006). Malgré des progrès thérapeutiques récents, notamment avec l'apparition de traitements anti-angiogéniques, cette pathologie reste très préoccupante et pour l'essentiel irréversible. Enfin, le glaucome est la troisième cause de cécité au niveau mondial (Resnikoff, Pascolini et al., 2004).

Le rôle des facteurs nutritionnels soulève un grand intérêt pour la prévention de la cataracte et de la DMLA, alors que le glaucome ne semble pas fortement lié à l'alimentation. Les principaux facteurs de risque connus sont, pour la cataracte, le tabagisme, le diabète, l'utilisation de corticoïdes oraux et l'exposition aux ultraviolets (Asbell, Dualan et al., 2005); pour la DMLA, il s'agit du tabagisme (Thornton, Edwards et al., 2005) et du polymorphisme du gène du Complement Factor H (impliqué dans l'immunité innée) et de l'apolipolipoprotéine E (impliqué dans le métabolisme lipidique) (Haddad, Chen et al., 2006). L'intérêt pour la nutrition en ophtalmologie est récent et a été décuplé par la publication en 2001 des résultats d'un grand essai randomisé, démontrant l'efficacité de la supplémentation en antioxydants vis-à-vis de la prévention de la DMLA (Areds, 2001). Les fruits et légumes pourraient ainsi avoir un rôle important dans la prévention de la cataracte et de la DMLA, au travers de deux mécanismes principaux : un effet antioxydant global (notamment apports en vitamines C et E), et un effet passant par les apports en caroténoïdes. En effet, l'œil accumule spécifiquement deux caroténoïdes, la lutéine et la zéaxanthine (qui sont isomères), à l'exclusion des autres caroténoïdes présents dans le plasma (alpha- et béta-carotène, lycopène, béta-cryptoxanthine). La lutéine et la zéaxanthine sont présentes à très fortes concentrations dans la partie centrale de la rétine, où elles forment le pigment maculaire, qui a donné son nom à cette zone de la rétine (macula lutea : tache jaune). Le rôle du pigment maculaire est de filtrer physiquement la lumière bleue (qui a des effets toxiques sur la rétine au travers de réactions photochimiques entraînant la production d'un stress oxydant) ainsi qu'un effet directement antioxydant, comme tous les caroténoïdes (Whitehead, Mares et al., 2006). La lutéine et la zéaxanthine sont également les deux seuls caroténoïdes présents dans le cristallin, où elles pourraient avoir un rôle similaire (Bernstein, Khachik et al., 2001). La lutéine et la zéaxanthine proviennent uniquement de l'alimentation, et principalement de la consommation de légumes verts à feuille (épinards, chou frisé, etc.). Un effet préventif de l'apport en fruits et légumes est actuellement supposé pour la DMLA et la cataracte, bien que les données épidémiologiques et interventionnelles restent limitées dans ce domaine.

### 1.6.1. Données épidémiologiques

L'épidémiologie des maladies oculaires est une discipline assez récente. L'intérêt pour le rôle des facteurs nutritionnels étant encore plus récent, il existe encore relativement peu d'études au niveau mondial sur ce sujet. Elles sont pour l'essentiel anglo-saxonnes (Etats-Unis et Australie). Les résultats

obtenus ne sont donc pas toujours aisément extrapolables aux populations européennes, en raison d'habitudes alimentaires différentes, et en particulier d'une utilisation bien inférieure de compléments alimentaires. De plus, il existe encore peu de données provenant d'études prospectives, seules à même de démontrer que les habitudes alimentaires ont bien précédé l'apparition de la maladies, et d'éliminer la possibilité que les habitudes alimentaires soient le reflet de changements dus à la maladie elle-même. Ces aspects sont cependant un peu moins déterminants dans le cas des maladies oculaires que pour d'autres pathologies. En effet, les maladies oculaires entraînent moins de changement de comportement que d'autres pathologies plus sévères (cancer, déficits cognitifs) et n'entraînaient pas, jusqu'à très récemment, de recommandations diététiques pouvant biaiser les estimations (comme pour les maladies cardiovasculaires ou le diabète). Les études prospectives restent cependant plus fiables, bien que souvent associées à une faible puissance statistique due au faible nombre des cas incidents, ceci pouvant expliquer l'absence d'association souvent observée dans ces études.

#### *1.6.1.1. Etudes d'observation*

***. Association entre consommation de FL et risque diminué de DMLA ou de cataracte***

Il existe un nombre extrêmement restreint d'études ayant cherché à mesurer les associations entre consommation de fruits et légumes et maladies oculaires. Les études publiant de tels résultats l'ont souvent fait pour conforter les résultats d'analyses portant sur les nutriments (en particulier la lutéine et la zéaxanthine) et se sont donc intéressées à des fruits et légumes particuliers (épinards, brocolis, crucifères, chou, melon…) plutôt qu'à la consommation globale de fruits et légumes. Concernant la DMLA, la Eye Disease Case Control Study, première grande étude cas-témoin ayant recherché les facteurs de risque de la DMLA, avait montré une très forte diminution du risque de DMLA néovasculaire chez les sujets forts consommateurs d'épinards (OR=0,54 (0,3-0,9) pour 2-4 fois par semaine contre moins d'une fois par mois) (Seddon, Ajani et al., 1994). Par contre, dans une étude transversale australienne, aucune association n'était trouvée en consommation d'épinards, ou de brocolis et risque de DMLA (Smith, Mitchell et al., 1999). Dans une analyse commune des études Nurses et Physicians' Health, une consommation importante de fruits était associée à un risque de DMLA incidente diminué de 36 % (OR=0,64 (0,44-0,93)), tandis qu'aucune association n'était trouvée avec la consommation totale de légumes, ainsi qu'avec la consommation d'épinards (Cho, Seddon et al., 2004). Dans l'étude de Beaver Dam, aucune relation significative n'a été trouvée entre la consommation de fruits et légumes et l'incidence de la DMLA précoce (Vandenlangenberg, Maresperlman et al., 1998). Globalement, les études sont très peu nombreuses, et ne semblent pas indiquer de manière évidente un effet protecteur fort de la consommation de fruits et légumes vis à vis de la DMLA.

Les données concernant la cataracte sont plus nombreuses et plus cohérentes. En totale cohérence avec l'hypothèse du rôle de la lutéine et de la zéaxanthine, toutes les études disponibles montrent un risque réduit de cataracte chez les forts consommateurs d'épinards, et, dans une moindre mesure, de légumes verts. La consommation totale de fruits et légumes ne semble cependant pas associée au risque de cataracte, probablement parce que les légumes verts représentent seulement une partie de fruits et légumes. Ainsi, dans une analyse transversale de l'étude de Beaver Dam aux USA, la consommation de FL n'était significativement associée au risque de cataracte, tandis que la forte consommation d'épinards et de salade verte était significativement associée à une diminution du risque de cataracte nucléaire (Mares Perlman, Brady et al., 1995). Dans une étude cas-témoin italienne, un risque diminué de cataracte était associé à une forte consommation de crucifères (OR=0,5 (0,3-0,8)), d'épinards (0R=0,6 (0,4 – 0,9)), de tomates (OR=0,5 (0,4-0,8)) et de melon (OR=0,5 (0,5-0,8)) (Tavani, Negri et al., 1996). Dans l'étude transversale des Blue Mountains (Australie), la forte consommation de brocolis et d'épinards était associée à un risque diminué de cataracte nucléaire, association à la limite de la signification (OR=0,6 (0,4-1,1), p de tendance=0,10 et OR=0,7 (0,4 – 1,4), p de tendance=0,07, respectivement). Enfin, trois études prospectives, provenant de grandes cohortes américaines, montraient un risque significativement réduit d'environ 50% d'extraction du cristallin chez les forts consommations d'épinards et de brocolis (Hankinson, Stampfer et al., 1992; Brown, Rimm et al., 1999; Chasan Taber, Willett et al., 1999).

Globalement, ces données épidémiologiques d'observation sont donc en faveur d'une réduction importante du risque de cataracte, et peut-être de DMLA, chez les forts consommateurs de légumes verts, et en particulier d'épinards (principale source de lutéine et zéaxanthine dans nos populations).

***. Association entre nutriments potentiellement protecteurs (antioxydants, caroténoïdes) et risque de maladies oculaires***

Les études d'association entre apports en nutriments antioxydants (principalement vitamines E et C) et cataracte ont donné des résultats discordants (Tableau 1). Bien qu'une association significative soit retrouvée dans la plupart des études, elle n'est pas reproductible d'une étude à l'autre, l'association étant tantôt avec la vitamine C, tantôt avec la vitamine E, rarement avec les deux. De plus, les 2 études épidémiologiques prospectives ne montrent aucune association avec les apports nutritionnels en vitamines C et E (Lyle, Maresperlman et al., 1999; Jacques, Taylor et al., 2005). Par contre, les études disponibles sont nettement en faveur d'un effet protecteur d'un apport important en lutéine et zéaxanthine. Ainsi, toutes les études, depuis les plus anciennes (n'estimant que l'apport de vitamine A totale, ou de caroténoïdes totaux) aux plus récentes (distinguant les différents caroténoïdes), montrent un risque significativement diminué de cataracte chez les sujets ayant des apports élevés en lutéine et zéaxanthine (Tableau 1), à l'exception d'une étude cas-témoin espagnole et d'une étude prospective très récente ayant une faible puissance statistique (seuls 408 sujets suivis). Dans l'ensemble, ces études indiquent une relation spécifique avec la localisation nucléaire des opacités cristalliniennes. Malgré la forte corrélation des apports nutritionnels des différents caroténoïdes (alpha- et béta-carotène, lycopène, béta-cryptoxanthine, lutéine et zéaxanthine), les études épidémiologiques semblent confirmer le lien spécifique avec la lutéine et la zéaxanthine, spécificité attendue en raison de l'absence des autres caroténoïdes dans le cristallin. Ces données nutritionnelles sont également en parfaite cohérente avec les données concernant la consommation de légumes verts, issues des mêmes études.

En ce qui concerne la DMLA, les résultats sont moins convaincants (Tableau 2). Alors que trois études cas-témoin ayant montré un risque diminué de DMLA pour les apports élevés en lutéine et zéaxanthine, deux grandes études transversales et deux études prospectives à 5 ans n'ont montré aucune association du risque de DMLA avec les apports en vitamine C, E, zinc et caroténoïdes. Les trois études prospectives à long terme (8 à 10 ans) ont donné des résultats discordants : l'une montrait un effet protecteur du zinc et de la vitamine E mais pas de la lutéine et de la zéaxanthine (van Leeuwen, Boekhoorn et al., 2005), l'autre un effet protecteur de la lutéine et de la zéaxanthine et du zinc mais un effet délétère du béta-carotène et de la vitamine E (Tan, Wang et al., 2007), tandis que la troisième ne montrait aucune association significative (Cho, Seddon et al., 2004).

### *1.6.1.2. Etudes d'intervention*

***. Interventions visant à augmenter la consommation de FL***

Il n'existe aucune étude d'intervention ayant cherché à évaluer l'effet de l'augmentation de la consommation de FL sur la prévention des maladies oculaires.

***. Interventions avec des suppléments contenus dans les FL***

La principale étude est l'étude AREDS (Age-Related Eye Diseases Study), portant sur près de 5000 sujets, et ayant pour objectif principal l'évaluation de l'effet d'une combinaison d'antioxydants, administrée par voie orale à doses pharmacologique (500 mg/jour de vitamine C, 400 UI/jour de vitamine E, 15 mg/jour de béta-carotène, 80 mg/jour d'oxyde de zinc associé à 2 mg/jour d'oxyde de cuivre), vis-à-vis de la prévention de la DMLA et de la cataracte. Cette étude a montré une réduction significative de 28 % du risque de DMLA sévère incidente chez les sujets traités par rapport au placebo(Areds, 2001). Par contre, aucun effet n'était montré pour la forme précoce de la DMLA, ni pour la cataracte (Areds, 2001). Ceci est cohérent avec une méta-analyse récente (Chong, Wong et al., 2007), montrant que les données des études épidémiologiques prospectives et des essais randomisés actuellement publiées ne sont pas en faveur d'un effet des antioxydants en prévention primaire de la

DMLA. Les quelques autres études d'intervention disponibles vont dans le même sens, ne montrant pas d'effet des antioxydants généraux sur l'incidence de la DMLA précoce (Teikari, Laatikainen et al., 1998; Taylor, Tikellis et al., 2002), ni de la cataracte (Teikari, Virtamo et al., 1997; Christen, Manson et al., 2003; McNeil, Robman et al., 2004; Gritz, Srinivasan et al., 2006), à l'exception d'une étude anglo-américaine, montrant une réduction du risque d'évolution de la cataracte, mais l'effet n'était pas homogène entre les sujets américains et anglais, limitant l'extrapolation des résultats (Chylack Lt, Brown et al., 2002). Aucune de ces études n'avait la puissance statistique nécessaire pour reproduire les résultats de l'étude AREDS concernant la réduction du risque de DMLA sévère chez les sujets supplémentés.

Seule une petite étude randomisée a évalué l'effet d'une supplémentation en lutéine et zéaxanthine dans la DMLA atrophique, suggérant une légère amélioration des sujets traités (Richer, Stiles et al., 2004). Plusieurs grands essais randomisés (dont un deuxième volet de l'étude AREDS) sont actuellement en cours.

## 1.6.2. Mécanismes d'action potentiels des constituants des fruits et légumes dans les maladies oculaires dégénératives

### *1.6.2.1. Antioxydants*

L'oeil est particulièrement soumis au stress oxydant en raison de son exposition directe à la lumière. L'absorption de la lumière par les tissus oculaires est accompagnée d'un transfert d'énergie qui initie des réactions photochimiques. En présence d'oxygène, celles-ci entraînent la production d'espèces oxygénées réactives (EOR). Le cristallin et la cornée sont les tissus les plus touchés, car ils absorbent les ultraviolets. Ainsi, l'exposition aux ultraviolets est maintenant un facteur de risque reconnu de la cataracte, sur la base d'une quinzaine d'études épidémiologiques (Asbell, Dualan et al., 2005). L'oxydation des protéines de structure du cristallin, entraînant leur agrégation, est directement responsable de l'opacification de celui-ci (Boscia, Grattagliano et al., 2000). In vitro et chez l'animal, des niveaux élevés d'EOR (tels que l'eau oxygénée, génératrice de radicaux hydroxyles, ou les peroxydes lipidiques) provoquent une opacification du cristallin (Spector, 1995; Babizhayev, 1996). Chez l'homme, on observe également des niveaux élevés d'EOR dans les cristallins cataractés, et dans l'humeur aqueuse d'yeux atteints de cataracte (Spector, 1995). Les vitamines C et E permettent de retarder le processus caractogène dans plusieurs modèles animaux (Taylor and Hobbs, 2001).

En ce qui concerne la rétine, de manière similaire au cerveau, la sensibilité au stress oxydant provient principalement d'une très forte activité métabolique, productrice d'EOR, associée à une forte concentration d'acides gras poly-insaturés (principalement l'acide docosahéxaénoïque ou DHA, de la série oméga 3), facilement peroxydables. L'exposition à la lumière visible (puisque les ultraviolets sont absorbés en avant de l'œil par le cristallin et la cornée) contribue également au stress oxydant rétinien. Les expériences chez l'animal et quelques cas cliniques indiquent que c'est particulièrement la lumière bleue qui est dommageable pour la rétine (Beatty, Koh et al., 2000). Les expériences in vitro montrent que les dommages rétiniens dus à un stress oxydant, ou à un stress photochimique peuvent être réduits par l'adjonction de vitamines C ou E (Beatty, Koh et al., 2000). La vitamine E pourrait être particulièrement importante, car, étant liposoluble, elle a pour rôle principal de protéger les acides gras polyinsaturés de la lipoperoxydation. Dans l'étude française POLA, nous avons mis en évidence une réduction du risque de DMLA de 80% chez les personnes ayant des niveaux plasmatiques élevés de vitamine E (Delcourt, Cristol et al., 1999). La Baltimore Longitudinal Study of Aging (West, Vitale et al., 1994) et l'Eye Disease Case-Control Study (1993) avaient montré des résultats similaires, mais qui n'atteignaient pas la signification statistique. Cependant, les taux plasmatiques de vitamine E n'y étaient pas corrigés pour les lipides circulants qui transportent la vitamine E, contrairement à notre étude.

### *1.6.2.2. Lutéine et zéaxanthine*

La lutéine et la zéaxanthine s'accumulent de manière spécifiquement dans la rétine, où elles forment le pigment maculaire, et dans le cristallin (Whitehead, Mares et al., 2006). Leur rôle probable consiste en la filtration de la lumière bleue (pouvant provoquer des dommages sur la rétine), ainsi qu'un rôle directement antioxydant (Whitehead, Mares et al., 2006). La densité du pigment maculaire peut être mesurée in vivo, de manière non invasive, en utilisant ses propriétés d'absorption de la lumière bleue. Trois petites études cas-témoin ont ainsi mis en évidence une diminution de la densité du pigment maculaire dans les rétines à haut risque de DMLA, suggèrant un effet protecteur du pigment maculaire vis-à-vis de la DMLA (Beatty, Murray et al., 2001; Bone, Landrum et al., 2001; Bernstein, Zhao et al., 2002). Dans l'étude française POLA, les sujets ayant un niveau plasmatique élevé en lutéine et zéaxanthine, montraient un risque très fortement diminué de DMLA (précoce ou sévère) (OR= 0,21 (0,05-0,79)) (Delcourt, Carriere et al., 2006). Dans la même étude, le risque de cataracte (tous type confondus) était également diminué de moitié pour les niveaux élevés de zéaxanthine plasmatique (OR= 0,53 (0,31-0,89)), tandis qu'aucune association significative n'était retrouvée pour la lutéine seule, ou combinée avec la zéaxanthine (Delcourt, Carriere et al., 2006). Ces résultats sont cohérents avec les quelques autres études disponibles dans ce domaine. Une étude transversale anglaise et une étude cas-témoin américaine (Eye Disease Case-control Study, 1993) ont montré un risque de DMLA significativement diminué pour les niveaux plasmatiques élevés de lutéine et zéaxanthine, tandis que dans deux études épidémiologiques américaines, les résultats allaient dans le sens d'une diminution du risque mais n'étaient pas statistiquement significatifs, probablement en raison d'une très faible puissance statistique (Mares Perlman, Brady et al., 1995; Mares Perlman, Fisher et al., 2001). Seules trois études antérieures ont estimé les associations entre niveaux plasmatiques de lutéine et zéaxanthine et cataracte, ne trouvant pas d'association significative (Mares Perlman, Brady et al., 1995; Lyle, Maresperlman et al., 1999; Gale, Hall et al., 2001). Deux de ces études ne distinguaient pas la lutéine de la zéaxanthine, ce qui peut avoir affaibli les associations, au cas où l'association avec la zéaxanthine soit effectivement plus forte qu'avec la lutéine.

Alors que les études épidémiologiques portant sur les apports alimentaires et celles portant sur les mesures plasmatiques sont assez cohérentes en ce qui concerne la cataracte (et globalement en faveur d'un effet protecteur de la lutéine et de la zéaxanthine vis-à-vis de cette pathologie), les résultats sont beaucoup plus discordants pour la DMLA : tandis qu'une association n'a été trouvé que dans deux études cas-témoin (les plus sujettes aux biais, par rapport aux études en population), les études avec mesures biologiques (rétiniennes ou plasmatique) semblent indiquer une forte diminution du risque de DMLA pour les statuts biologiques élevés. Outre la moindre précision de l'estimation des apports alimentaires (qui de plus ne prennent pas en compte certains éléments jouant sur la biodisponibilité tels que le mode de cuisson et les assaisonnements), ceci suggère que d'autres facteurs affectant la biodisponibilité de ces composés pourraient être impliqués dans la DMLA. La lutéine et la zéaxanthine ont un métabolisme complexe, impliquant le métabolisme des lipides (elles sont transportées par les lipoprotéines) ainsi que des transporteurs spécifiques (encore mal connus), responsables de l'accumulation dans les tissus oculaires (Whitehead, Mares et al., 2006). Certains facteurs, tels que le tabagisme et l'obésité sont maintenant connus pour diminuer la densité du pigment maculaire, à apports alimentaires constants (Whitehead, Mares et al., 2006). Il n'est pas impossible également que des interactions existent avec des facteurs génétiques. On peut bien sûr penser aux gènes des transporteurs de la lutéine et de la zéaxanthine. De plus, le gène du Complement Factor H, impliqué dans l'immunité innée, est fortement au risque de DMLA, avec un risque attribuale de 50 % (Haddad, Chen et al., 2006). D'autres gènes sont en cours d'identification. Les interactions entre les facteurs nutritionnels et génétiques devront être recherchées dans les futures études .

#### Synthèse

La consommation de légumes verts, et en particulier de légumes verts à feuille (dont les épinards) pourrait être particulièrement importante pour la prévention des maladies dégénératives oculaires (principalement la cataracte et la DMLA). En effet, de nombreux arguments biologiques et expérimentaux sont en faveur d'un effet protecteur de la lutéine et de la zéaxanthine (deux

caroténoïdes provenant des légumes verts) vis à vis de ces pathologies. Les études épidémiologiques sont encore peu nombreuses dans ce domaine. En ce qui concerne la cataracte, plusieurs études prospectives montrent de manière concordante une diminution du risque chez les sujets ayant une forte consommation de lutéine et zéaxanthine, et de manière cohérente, chez les sujets ayant une forte consommation d'épinards et autres légumes verts. Dans le domaine de la DMLA, les résultats sont plus décevants, puisque seule une des études prospectives a mis en évidence une association entre risque de DMLA et apport alimentaire en lutéine et zéaxanthine, ce qui est en contradiction avec les études comportant des mesures biologiques (plasmatiques ou rétiniennes). En sus de l'alimentation, d'autres facteurs, en particulier génétiques, affectant la biodisponibilité de ces composés, pourraient être responsables de ces discordances entre études alimentaires et études biologiques. Les interactions gène-alimentation seront particulièrement importantes à rechercher, surtout depuis l'identification de gènes ayant un risque attribuable de plus de 50 % pour la DMLA.

De manière plus large, les apports en antioxydants (vitamines C et E notamment) apparaissent liés à une diminution du risque de cataracte et de DMLA. Cependant, il existe de fortes discordances entre les observations épidémiologiques et les études d'intervention portant sur les composés antioxydants. Ces discordances pourraient provenir d'effets de confusion. En particulier en ce qui concerne la cataracte, d'autres composés liés à l'apport en fruits et légumes, tels que les vitamines du groupe B, ou la lutéine et la zéaxanthine pourraient expliquer l'échec des essais d'intervention portant sur les vitamines C et E.

**Tableau 1.6-1.** Principales études épidémiologiques d'observation de la relation entre consommation de nutriments anti-oxydants et cataracte.

| Auteur, Etude | N | Type | Facteur étudié | Type de cataracte | Résultat significatif (après ajustement)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Leske, LOCS<br>(Leske, Chylack Lt et al., 1991) | 1380 | cas-témoin | Vitamines A,C, E | Tous types | Effet protecteur des vitaminesA, C et E (OR=0,40 (0,21-0,78) pour l'index antioxydant global) |
| Tavani<br>(Tavani, Negri et al., 1996) | 913 | Cas-témoin | Vitamines C et E | Extraction du cristallin | Effect protecteur de la vitamine E (OR=0,5 (0,3 – 1,0)) |
| Valero<br>(Valero, Fletcher et al., 2002) | 702 | Cas-témoin | Vitamines C, E, zinc, sélénium, caroténoïdes | Tous types | Effet protecteur de la vitamine C |
| Mares-Perlman, Beaver Dam Eye Study<br>(Mares Perlman, Brady et al., 1995) | 1919 | Transversale | Vitamines A, C, E, caroténoïdes | Nucléaire | Effet protecteur des vitamines A et E et de la lutéine |
| Cumming, Blue Mountains Eye Study<br>(Cumming, Mitchell et al., 2000) | 2756 | Transversale | Vitamine C, zinc, caroténoïdes totaux | Tous types | Effet protecteur des caroténoïdes totaux (nucléaire) |
| Jacques, Taylor<br>Nutrition and Vision Project (Jacques, Chylack Lt et al., 2001; Taylor, Jacques et al., 2002) | 478 | Transversale | Vitamines C, E, caroténoïdes | Tous types | Effet protecteur de la vitamine C, limite signification pour vitamine E et L&Z (nucléaire) |
| Vu<br>Melbourne VIP Study<br>(Vu, Robman et al., 2006) | 2322 | Transversale | Lutéine et zéaxanthine | Tous types | Effet protecteur pour L&Z (nucléaire) |
| Lyle,<br>Beaver Dam Eye Study (Lyle, Maresperlman et al., 1999) | 1354 | Prospective | Vitamines C, E, caroténoïdes | Nucléaire | Effet protecteur pour L&Z uniquement |
| Chasan-Taber<br>Nurse Health Study (Chasan Taber, Willett et al., 1999) | 77 466 | Prospective | Caroténoïdes | Extraction du cristallin | Effet protecteur pour L&Z uniquement |
| Brown,<br>Physicians' Health Study (Brown, Rimm et al., 1999) | 36 644 | Prospective | Caroténoïdes | Extraction du cristallin | Effet protecteur pour L&Z uniquement |
| Jacques,<br>Nutrition and Vision Project (Jacques, Taylor et al., 2005) | 408 | Prospective | Vitamines C, E, caroténoïdes | Nucléaire | Pas d'association significative |
| Yoshida<br>Japan PHC Study<br>(Yoshida, Takashima et al., 2007) | 35186 | Prospective | Vitamine C | Tous types, extraction du cristallin | Effet protecteur de la vitamine C |

* facteurs nutritionnels montrant une association statistiquement significative avec au moins l'un des types de cataracte (nucléaire, corticale, sous-capsulaire postérieure, mixte…)
L&Z : lutéine et zéaxanthine

**Tableau 1.6-2.** Principales études épidémiologiques d'observation de la relation entre consommation de nutriments anti-oxydants et DMLA.

| Auteur, Etude | N | Type | Facteur étudié | Type de DMLA | Résultat significatif (après ajustement)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Seddon, EDCC<br>(Seddon, Ajani et al., 1994) | 876 | Cas-témoin | Vitamines A, C et E, caroténoïdes | DMLA néovasculaire | Effet protecteur pour caroténoïdes totaux et surtout pour L&Z (OR=0,43 (0,2-0,7)) |
| Snellen<br>(Snellen, Verbeek et al., 2002) | 138 | Cas-témoin | L&Z | DMLA néovasculaire | Effet protecteur de L&Z |
| AREDS<br>(SanGiovanni, Chew et al., 2007) | 4519 | Cas-témoins | Vitamines A, E, C, caroténoïdes | DMLA précoce et sévère | Effet protecteur de la L&Z |
| Mares Perlman, Beaver Dam Eye Study<br>(Mares Perlman, Klein et al., 1996) | 1968 | Transversale | Vitamines C et E,<br>Caroténoïdes, zinc | DMLA précoce et sévère | Pas d'association significative |
| Smith, Blue Mountains Eye Study<br>(Smith, Mitchell et al., 1999) | 2900 | Transversale | Vitamines A et C, carotene, zinc | DMLA précoce et sévère | Pas d'association significative |
| Vandenlangenberg,<br>Beaver Dam Eye Study<br>(Vandenlangenberg, Maresperlman et al., 1998) | 1709 | Prospective (5 ans) | Vitamines C et E,<br>Caroténoïdes, zinc | DMLA précoce et sévère | Pas d'association convaincante |
| Flood, Blue Mountains Eye Study<br>(Flood, Smith et al., 2002) | 1989 | Prospective (5 ans) | Vitamines A et C, caroténoïdes, zinc | DMLA précoce | Vitamine C : effet délétère significatif |
| Cho, Health Professionals' Study<br>(Cho, Seddon et al., 2004) | 118 428 | Prospective (au moins 12 ans) | Vitamines A, C, E, caroténoïdes | DMLA précoce et néovasculaire | Pas d'association significative |
| Van Leeuwen, Rotterdam Study<br>(van Leeuwen, Boekhoorn et al., 2005) | 4170 | Prospective (8 ans) | Vitamines C, E, caroténoïdes, zinc | DMLA précoce et sévère | Effet protecteur de vitamine E et zinc |
| Tan, Blue Mountains Eye Study<br>(Tan, Wang et al., 2007) | 2454 | Prospective (10 ans) | Vitamins A,C, E, caroténoïdes, zinc, fer | DMLA précoce et sévère | Effect protecteur de la L&Z et du zinc, effet délétère du béta-carotène et de la vitamine E |

## 1.7. Fruits et légumes, intérêt pour la santé osseuse

C. Demigné

### Généralités

L'ostéoporose est une maladie fréquente, caractérisée par une fragilité de l'os, aboutissant à des fractures, sources de douleurs et de handicap. La prise de conscience des relations possibles entre consommation des fruits et légumes et santé osseuse, au sens large c'est-à-dire en incluant les problèmes de rhumatologie et ceux plus spécifiquement liés à l'ostéoporose, est relativement récente. Si l'on prend simplement en compte les études épidémiologiques principales sur les relations fruits et légumes/santé osseuse, on observe qu'elles sont relativement rares (1 par an au mieux) jusqu'au tournant des années 2000, alors que leur fréquence se situe ensuite entre 2 et 4 par an. Ceci signifie que d'ores et déjà la majorité des études dans ce domaine ont paru au cours des années 2000, et on a donc dans ce domaine une littérature récente. A cette littérature basée sur des données épidémiologiques, se rajoute une littérature nettement plus abondante d'études mécanistiques visant à comprendre l'impact des divers nutriments apportés par les fruits et légumes sur le métabolisme osseux et les interactions éventuelles entre ces nutriments.

Il faut noter que les relations entre santé osseuse et nutrition ont certes été prises en compte de longue date, mais presque exclusivement sous l'angle de l'apport calcique et des facteurs qui peuvent y être rattachés (phosphore, vitamine D). S'il ne fait guère de doute qu'un apport calcique suffisant est une des clés d'un bon statut osseux, et ceci aux divers âges de la vie, diverses études épidémiologiques montrent que cette approche a ses limites.

Du point de vue des populations concernées par l'effet protecteur des fruits et légumes, on pense souvent en premier lieu aux populations âgées, chez qui les problèmes de santé osseuse s'expriment de façon très visible (troubles articulaires, ostéopénie voire ostéoporose) et avec une incidence très élevée, mais un nombre croissant de travaux met l'accent sur l'importance d'une bonne nutrition pour l'acquisition d'un capital osseux optimal chez l'adolescent(e) et le(la) jeune adulte.

Les impacts physiologiques pris en compte dans les études visant à établir un lien entre nutrition et statut osseux sont de divers types :

- les fractures ostéoporotiques : donc stade avancé du processus d'ostéoporose. Les fractures les plus caractéristiques sont les fractures du poignet, les fractures de la hanche et les fractures vertébrales. Certains épidémiologistes incluent aussi d'autres fractures d'origine accidentelle car ils considèrent que l'ostéoporose joue aussi un rôle primordial dans ce type de fracture.

- l'ostéopénie ou l'ostéoporose sans fracture : reposent essentiellement sur des examens en DEXA, le rôle de l'âge et du statut hormonal est évidemment primordial. Sur la base de ces examens, divers scores sont pris en compte : le T-score exprimé en prenant comme référence le pic maximum de masse osseuse entre 20 et 30 ans (en prenant de l'âge, tout le monde a un T-score physiologiquement modifié) et le Z-score exprimé avec comme valeur de référence une population de même âge que le sujet étudié. En pratique, un sujet non ostéoporotique aura au cours de sa vie un Z-score = 0, mais son T-score diminuera progressivement.

- le pic de masse osseuse, qui concerne alors les jeunes adultes.

- la densité osseuse chez l'enfant ou l'adolescent, qui peut être prédictive du pic de masse osseuse ou du moins alerter sur des problèmes (physiologiques et/ou nutritionnels) susceptibles de l'affecter défavorablement.

## 1.7.1. Nutriments susceptibles d'être impliqués dans l'impact des fruits et légumes sur le métabolisme osseux

### *1.7.1.1. Facteurs liés au potentiel minéralisant*

***. Calcium***

Les fruits et légumes sont des sources relativement mineures de calcium avec des régimes de types occidentaux, qui comportent des apports en produits laitiers réguliers. Néanmoins, des concentrations notables de calcium (Ca) sont présentes dans les légumineuses (haricots, lentilles), les graines (amandes, noisettes, graines de tournesol…), les choux, certains légumes foliaires (cresson, épinards) ou des fruits tels que oranges ou figues. Globalement, l'apport en Ca par les fruits et légumes (sans compter les pommes de terre) est de 50-100 mg/j dans les pays occidentaux, mais il peut dépasser 200 mg/j dans certaines régions d'Asie ou d'Afrique. L'apport de Ca par ces aliments peut être artificiellement augmenté par des supplémentations, par exemple les jus d'orange enrichis en Ca. La biodisponibilité du Ca peut être relativement élevée dans les fruits, même lorsqu'ils sont riches en citrate, par contre elle peut être limitée par la présence de phytates (cas des légumineuses) ou d'oxalate (certains légumes foliaires).

***. Magnésium***

Plus de la moitié du pool magnésique de l'organisme est localisé dans les os et cet élément est partie intégrante de la structure osseuse. Le magnésium (Mg) est apporté en quantités notables par les fruits et légumes (banane, avocat, graines) avec des taux compris entre 30 et 50 mg/100 g, voire davantage dans certains cas.

Compte tenu des valeurs recommandées chez l'adulte (300-400 mg/j), on voit que certains fruits et légumes peuvent contribuer pour une part notable du Mg de la ration, surtout si on prend en compte les légumineuses, sachant toutefois qu'un certain nombre de fruits sont assez pauvres en Mg (pommes, poires, ananas).

***. Potassium***

L'apport minéral le plus important des fruits et légumes est celui de potassium, sur un plan quantitatif et qualitatif. D'un point de vue quantitatif, il existe une différence sensible entre fruits et légumes : en moyenne, les légumes renferment environ 300 mg/100 g alors que les fruits contiennent 150-200 mg/100 g en moyenne, avec des disparités importantes (légumes : 150-600 mg/100 g ; fruits : 60-350 mg/100 g). Globalement, sur la base des consommations moyennes observées en fruits et légumes, ceux-ci apportent souvent moins de 50% des apports journaliers de potassium, qui est également présent dans les produits céréaliers et les produits animaux peu transformés (viandes, poissons, laitages). Toutefois, l'apport de potassium dans les fruits et légumes se fait essentiellement sous forme d'anions organiques (citrate, malate, voire oxalate ou tartrate).

Les sels organiques de potassium sont pratiquement les seuls composés de la ration susceptibles (après conversion en potassium/bicarbonate) de permettre la neutralisation au niveau rénal de l'acidité fixe, correspondant principalement aux ions $SO_4$ provenant du catabolisme protéique. Cette fonctionnalité alcalinisante est portée de façon quasi-exclusive par les fruits et légumes, elle permet d'épargner le calcium osseux et l'azote des protéines musculaires. Il faut noter que cette fonctionnalité peut être altérée par certains traitements des aliments, notamment en ce qui concerne les légumes cuits à grande eau ce qui entraîne un lessivage partiel des cations. Par ailleurs, l'addition de sel (appertisation par exemple) détériore aussi l'impact alcalinisant des légumes, vraisemblablement par des mécanismes rénaux affectant la réabsorption du calcium et/ou celle des bicarbonates.

***. Fibres***

Les fibres solubles sont susceptibles d'affecter l'absorption du calcium et du magnésium. Il faut d'abord noter que des effets néfastes sur cette absorption ont parfois été attribués aux fibres alors qu'en fait l'effet observé correspondait à la présence de phytate(s), ce problème concernant assez peu

les fruits et légumes mais plutôt les céréales peu raffinées et les légumineuses. Les pectines, dont les résidus galacturonate ou des propiétés chélatrices faibles, ont également été soupçonnées de gêner l'absorption des cations divalents ; toutefois diverses expériences ont montré que l'effet des pectines sur la balance de calcium était limité mais qu'il pouvait exister un déplacement du site principal d'absorption, vers le gros intestin. En fait, les fibres très fermentescibles sont susceptibles d'augmenter l'absorption de calcium et magnésium dans le gros intestin par des mécanismes complexes (acidification du milieu, effets trophiques sur la muqueuse colique, induction de la CaBP…).

#### *1.7.1.2. Facteurs antioxydants/anti-inflammatoires et vitamines*

***. Vitamine C***

Cette vitamine est impliquée dans les réactions d'hydroxylation nécessaires à la synthèse de la matrice de collagène (type I) de l'os (hydroxylation des résidus lysine et proline du procollagène), et elle pourrait aussi promouvoir la différenciation des ostéoprogéniteurs (cellules stromales ST2) alors que les données sur les cellules impliquées dans la résorption osseuse sont plus conflictuelles.

La vitamine C intervient bien entendu sur le statut anti-oxydant (piégeage de radicaux libres ou, *a contrario*, production de OH° en présence de fer (dans le cadre de la réaction inflammatoire). Toutefois, les effets protecteurs de la vitamine C sont souvent conditionnels (efficace que chez les fumeuses, ou dans certaines tranches d'âge) même si des taux faibles de vitamine C plasmatique sont généralement retrouvés chez les sujets ostéoporotiques, sachant que la vitamine C pourrait alors être un marqueur autant qu'un agent causal. A côté de la vitamine C, les fruits et légumes renferment de faibles quantités de vitamine E qui peuvent participer de façon non négligeable à l'apport quotidien (fruits secs, fenouil, kiwi, salsifis…). L'impact des apports en vitamine E a généralement été pris en compte dans le cadre plus général de l'apport en principes antioxydants, c'est-à-dire en association avec la vitamine C et éventuellement d'autres composés.

***. Polyphénols***

Si l'on écarte les isoflavones, très étudiées pour leurs propriétés pseudoestrogéniques mais absentes des fruits et légumes courants, les effets des autres polyphénols ont pour l'instant été essentiellement étudiés sur modèle animal. Des effets de prévention de l'ostéopénie par la rutine (quercétine glycosylée) ont été montrés chez la ratte OVX, impliquant probablement le puissant effet antioxydant de la quercétine ou de ses métabolites. Des effets notables ont été obtenus également avec des dérivés de la naringénine, faiblement antioxydante ainsi qu'avec l'oleuropéine, le resveratrol ou la phloridzine. La mise en évidence d'effets des flavonoïdes natifs des fruits et légumes chez l'homme reste très difficile du fait de la complexité du profil des flavonoïdes dans un produit donné et de la diversité de composition entre les divers fruits et légumes.

***. Vitamine K***

Les légumes foliaires (épinards, salade, brocolis) sont les principales sources de vitamine K1, mais les légumes racines (carottes, pomme de terre) sont relativement pauvres en cette vitamine. Les données actuelles suggèrent que les besoins en vitamine K sont en général bien couverts pour ce qui est du contrôle de l'hémostase et de la coagulation ; par contre il semble que la carboxylation optimale de l'ostéocalcine et de la protéine GLA matricielle (impliquées dans le contrôle du processus de minéralisation) requiert des apports plus élevés en vitamine K. En pratique, on observe que les patients ostéoporotiques présentent des faibles concentrations circulantes en phylloquinones et menaquinones et les patients sous warfarine présentent un risque ostéoporotique accru. Les premiers essais de supplémentation en vitamine K augmentent la carboxylation de l'ostéocalcine et améliorent le statut osseux.

***. Vitamines du groupe B***

Une corrélation entre homocystéinémie élevée et risque de fracture ostéoporotique a été rapportée chez les individus atteints d'homocystéinurie (qui présentent des hyperhomocystéinémies), et dans

l'étude NHANES III entre les sujets présentant des homocystéinémies >20 µmol/L et ceux avec des homocystéinémies <10 µmol/L. Il s'agit donc de situations relativement extrêmes. Parmi les nombreuses vitamines impliquées dans le contrôle du métabolisme de l'homocystéine, la vitamine B6 (dérivée de la pyridoxine) et surtout la vitamine B9 (acide folique, dans les légumes foliaires en particulier) peuvent être apportées en quantités notables par les fruits et légumes. Par ailleurs, la sensibilité aux apports en vitamine B9 peut être modulée par le polymorphisme de la méthylène tetrahydrofolate réductase, qui pourrait retentir sur le métabolisme osseux indépendamment de l'homocystéine par "linkage desequilibrium" avec des gènes voisins, tels que celui de la lysine hydroxylase I impliquée dans le métabolisme du collagène.

#### *1.7.1.3. Autres nutriments potentiellement protecteurs*

Les acides gras n-3 sont désormais identifiés comme des composés susceptibles d'avoir un rôle protecteur vis-à-vis des problèmes d'ostéoporose, mais les fruits et légumes sont des sources très limitées en ces composés, hormis certains produits riches en lipides (avocats par exemple, graines diverses).

Les composés pseudo-oestrogéniques (en général par l'intermédiaire de métabolites bactériens) tels que isoflavones ou lignanes sont peu importants dans les fruits ainsi que dans la plupart des légumes.

#### *1.7.1.4. Nutriments des fruits et légumes susceptibles d'avoir un impact négatif*

Les phytates sont peu abondants dans les fruits et seules les légumineuses peuvent en contenir des quantités non négligeables, mais qui ne posent pas de problèmes dans le contexte d'une alimentation omnivore. Par contre, les fruits et légumes sont une source majeure d'oxalate alimentaire, mais la richesse en oxalate est confinée à quelques produits (rhubarde, épinards, oseille). L'oxalate n'est que partiellement absorbé et cette absorption est fortement réduite par la présence simultanée de calcium dans l'alimentation ; par ailleurs il existerait des différences individuelles dans la capacité d'absorption de l'oxalate liées à la composition de la microflore bactérienne.

### 1.7.2. Etudes épidémiologiques sur les relations possibles entre consommation de fruits et légumes et statut osseux

Il faut tout d'abord noter que les études d'intervention sont pour l'instant très peu nombreuses et portent sur de faibles effectifs (Tableau 1.7-1). Leur durée étant limitée, les critères d'efficacité sont des marqueurs intermédiaires du statut osseux. A côté de ces études, il en existe plusieurs autres montrant l'efficacité du K citrate ou K bicarbonate sur le métabolisme calcique.

La fréquence de parution des études d'observation n'est importante que depuis 2004, ce qui laisse peu de recul.

Les populations étudiées sont très différentes du point de vue de l'âge : sur les moins de 20 ans, sur des groupes d'âge moyen (45-60 ans). Il existe aussi des études comportant des populations d'âges très différents (Michaelsson et al., 1995, Prynne et al., 2006, Welch et al., 2007) ; par contre on n'identifie pas vraiment d'étude portant spécifiquement sur des groupes relativement âgés (75 ans et plus).

Dans l'ensemble, les études trouvent des effets sensibles des fruits et légumes sur certains paramètres du métabolisme osseux et calcique, généralement plus significatifs chez la femme. Si on considère les études portant sur plus de 1000 sujets, celle de Welch et al (2007) qui a corrélé la densité osseuse (calcaneum) et le PRAL de la ration (lié à l'apport en fruits et légumes) semble particulièrement pertinente. Elle trouve effectivement un impact favorable des rations à PRAL négatif (alcalinisantes) sur la densité osseuse, mais seulement chez les femmes. L'étude ne trouve pas de relation significative entre PRAL de la ration et risque de fracture. Il faut noter que cette étude n'a pas segmenté la population étudiée en fonction de l'âge et ne prend donc pas en compte des différences de réponses rénales au PRAL de la ration en fonction de l'âge.

Donc, à l'heure actuelle, on ne dispose que de très peu de données sur l'impact des fruits et légumes sur le risque fracturaire lui-même (et ce type de donnée sera très long à obtenir), alors que des effets favorables sur les marqueurs du statut osseux tendent à s'accumuler au fil des années.

### 1.7.3. Conclusions

**.** Même si le risque de développer une ostéoporose est pour une part notable dépendant de facteurs non nutritionnels (origine ethnique, facteurs héréditaires...), les facteurs nutritionnels ont néanmoins un poids important et il existe des possibilités d'action préventive dans ce domaine . Même si le rôle des facteurs calciques (calcium, vitamine D…) est reconnu, il est clair que les facteurs extracalciques jouent aussi un rôle critique et souvent synergique avec le calcium.

**.** Les études sont actuellement relativement peu nombreuses, même si leur nombre augmente rapidement. Le rapprochement entre les diverses études est rendu difficile par le fait que les paramètres de la santé osseuse étudiés sont variés : densité osseuse à différents âges, niveau de calciurie ou incidence des fractures ostéoporotiques.

**.** A l'heure actuelle, il est difficile d'identifier des aliments de la catégorie fruits et légumes plus spécifiquement protecteurs. Par contre, certains nutriments sont régulièrement identifiés comme protecteurs : sels organiques de potassium (et de magnésium), vitamine C, polyphénols, voire vitamine K...

**.** Les populations concernées par les questions de prévention nutritionnelle de l'ostéoporose ne se limitent pas aux sujets âgés ostéopéniques ou aux femmes pendant la période péri-ménopausale. La prévention nutritionnelle de l'ostéopénie concerne aussi (peut être même avant tout) les sujets jeunes, en particulier la transition adolescents/jeunes adultes qui correspond au pic de masse osseuse au cours de la vie, chez qui la sous-consommation de fruits et légumes est un problème récurrent.

**.** D'un point de vue communication nutritionnelle sur les fruits et légumes, les chiffres préconisés pour un apport optimal de potassium/anions organiques apportent des arguments forts aux recommandations de type '5-10 par jour'.

**Tableau 1.7-1.** Etudes épidémiologiques sur les relations possibles entre consommation de fruits et légumes et statut osseux

| Etude (titre publication) | Année parution | Auteurs | Journal | Type | Nombre de sujets | Age | Conclusions | Commentaires |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| More acidic dietary acid-base load is associated with reduced calcaneal broadband ultrasound attenuation in women but not in men: results from the EPIC-Norfolk cohort study | 2007 | (Welch *et al.*, 2007) | Am J Clin Nutr (2007) , 85(4): 1134-1141 | Trans-versal | 14563 (hommes & femmes) | 42-82 | Une ingestion élevée de précurseurs acidifiants (PRAL élevé) était significativement associé à un plus faible BUA calcanéal chez les femmes, mais pas chez les hommes. Pas de relation notée entre PRAL et historique de fractures ou incidence de fractures. Les sujets présentant un PRAL élevé consommaient plus de viande, poisson, œufs et produits céréaliers, et avaient une moindre consommation de fruits et légumes. | . |
| Impact of seafood and fruit consumption on bone mineral density | 2007 | (Zalloua *et al.*, 2006) | Maturitas (2007), 56: 1--11 | Trans-versal | 5848 hommes & 6207 femmes | 25-54 | Une plus forte consommation de fruits était associée à une BMD plus élevée pour les deux sexes, alors qu'aucun impact positif des légumes n'a été mis en évidence | . |
| Fruit and vegetable intakes and bone mineral status: a cross sectional study in 5 age and sex cohorts | 2006 | (Prynne *et al.*, 2006) | Am J Clin Nutr (2006) 83: 1420-1428 | Trans-versal | adolescents (filles 125 & garçons 132), jeunes femmes 120 et des sujets âgés (femmes 73 et hommes 70). | 16-18, 23-37 et 60-83 | chez les adolescents (quel que soit le sexe) et les femmes âgées, une relation positive peut être trouvée entre densité minérale osseuse et consommation de fruits. Chez les garçons uniquement, la DMO du col du fémur était positivement associée avec la consommation de fruits et de vitamine C. Aucune association n'a pu être montrée chez les jeunes adultes entre DMO et la consommation de légumes. | . |
| Greater fruit and vegetable intake is associated with increased bone mass among postmenopausal Chinese women | 2006 | (Chen *et al.*, 2006) | Br J Nutr (2006) 96: 754-751 | Trans-versal | 670 femmes chinoises post-ménopausées | 48-63 | Association positive indépendante entre consommation de fruits et légumes et DMO (toutes localisations) après ajustement par rapport à l'âge, le temps post-ménopause, la taille et la poids, l'ingestion d'énergie/protéines/Ca et l'activité physique. Une élévation de la consommation journalière de fruits et légumes de 100 g/j conduit à une élévation de la DMO de 0,0060 à 0,0098 g/cm2 selon la localisation | Quintiles extrêmes très différents, min 222 g/j et max 749 g/j, effet protecteur surtout sur le quintile le plus élevé. Mode de consommation des fruits et légumes assez particulier: prédominance des agrumes pour les fruits, et forte prédominance des légumes foliaires pour les légumes. |
| Positive effects of vegetable and fruit consumption and calcium intake on bone mineral accrual in boys during growth from childhood to adolescence: the University of Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Study. | 2005 | (Vatanparast *et al.*, 2005) | Am J Clin Nutr (2005) 82: 700-706 | Longitu-dinal (7 ans) | 85 garçons et 67 filles | 8 à 20 | la majorité des garçons (88%) avaient des apports adéquats en Ca (Canada: 1300 mg/j). Seule une minorité de sujets (<30%) consommaient des F & L à raison de 5-10 parts/j.Une analyse (multivariée) montre que l'ingestion de fruits et légumes, celle de Ca et le niveau d'activité physique sont des prédicteurs indépendants de la masse osseuse minérale chez les garçons (mais pas chez les filles) | L'absence d'effet des fruits et légumes chez les filles pourrait être dû à une sous-déclaration (underreporting) des consommations alimentaires dans ce groupe |
| Low dietary potassium intake and high dietary estimates on net endogenous acid production are associated with low bone mineral density in premenopausal women and increased markers on bone resorption in postmenopausal women | 2005 | (Macdonald *et al.*, 2005) | Am J Clin Nutr (2005) 81: 923-933 | Longitu-dinal (4 ans) | 5119 femmes | 45 à 54 | La comparaison des quintiles de consommation de K les plus hauts avec les plus bas (ou des NEAP les plus bas avec les plus hauts) montre une augmentation de 6-8% des ratios fPYD/creatinine et fDPD/creatinine. Une différence de 8% de la BMD a été observée entre les quartiles de consommation de K les plus hauts et les plus bas | Le K de la ration, un indicateur de NEAP et d'ingestion de F & L, peut exercer un effet modeste sur les marqueurs de santé osseuse et à long-terme sur le risque d'ostéoporose |
| Potassium intake and the calcium economy | 2005 | (Rafferty *et al.*, 2005) | J Am Coll Nutr (2005) 24: 99-106 | Longitu-dinal (5 ans) | 191 femmes étudiées 1 à 5 fois à environ 5 ans d'intervale (644 études au total). 301 études ont été menées après ménopause, sans hormonothérapie substitutive, 343 études ont été effectuées avant ménopause ou après ménopause mais avec une thérapie de substitution aux oestrogènes | 50 à 55 | Le K alimentaire était fortement associé (négativement) avec le niveau de calciurie. Cependant, le K alimentaire était négativement corrélé avec l'absorption de Ca marqué et n'était pas associé avec le Ca urinaire après ajustement sur l'absorption de Ca. | Les régimes riches en K diminuent la calciurie, mais ceci ne semble pas affecter notablement la Ca economy, sans doute parce que la moindre calciurie s'accompagne d'une réduction de l'absorption intestinale. Cependant, il faut noter que les consommations élevées de Ca dans |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | cette étude étaient surtout dûes aux produit laitiers et à la viande..."cannot exclude a possible balance effect for different food sources of K". |
| Fruit and vegetable consumption and bone mineral density: the Northern Ireland Young Hearts Project | 2004 | (McGartland *et al.*, 2004) | Am J Clin Nutr (2004) 80: 1019-1023 | Trans-versal | Cross-sectional epidemiologic study 'Young Hearts 2000' : garçons (324) et filles (378) de 12 ans et garçons (274) et filles (369) de 15 ans. | 12 à 15 | En utilisant des régressions multiples pour tenir compte des facteurs confondants possibles, il a été observé que les filles de 12 ans fortes consommatrices de F&L avaient une BMD du talon plus élevée que chez les faibles consommatrices | Les pommes de terre sont exclues des légumes |
| Dietary acid-base balance and intake of bone-related nutrients in Cambridge teenagers | 2004 | (Prynne *et al.*, 2004) | Eur J Clin Nutr (2004) 58: 1462-1471 | Longitu-dinal (3 jours) | 111 garçons et 101 filles | 16 à 18 | Les valeurs moyennes de consommation de Ca et P étaient au dessus des ANR UK. 39% des garçons et 36% des filles avaient des apports en vitamine K inférieurs à 1 mg/kg BW/j. La consommation de Ca était corrélée positivement à tous les autres nutriments excepté les vitamines C et K. Les garçons avaient une NAEind plus élevée que les filles. Une corrélation positive a été observée entre NAE et la consommation journalière de lait, fromage, viande et céréales et une corrélation négative avec la consommation de pommes de terre et de fruits. | Avec le type de consommation des adolescents, une moindre NAE était accompagnée d'une moindre ingestion de Ca. |
| Fruit and vegetable intakes are an independent predictor of bone size in early pubertal children. | 2004 | (Tylavsky *et al.*, 2004) | Am J Clin Nutr (2004) 79: 311-317. | Trans-versal | 56 filles (Tanner stage 2) dont la consommation était enregistrée indépendemment sur 3 jours. Les sujets sont répartis selon deux typologies de consommation de F&L : faible (<3 parts/j), élevée (>3 parts/j). | | Après ajustement pour l'âge, le BMI et l'activité physique, les filles qui consommaient plus de 3 parts/j avait une surface osseuse dans le corps entier et le radius plus élevée (6,0 et 8,3%), une plus faible excrétion de Ca et une moindre secrétion de pTH | Une consommation élevée de F&L a des effets bénéfiques sur la bone area du radius et du corps entier chez des filles pré-pubères. La plus faible calciurie associée avec une ingestion élevée de F&L peut être un facteur important |
| Diet and hip fracture risk: a case-control study. Study Group of the Multiple Risk Survey on Swedish Women for Eating Assessment. | 1995 | (Michaelsson *et al.*, 1995) | Int J Epidemiol (1995) 24: 771-782 | Transversal | 65000 femmes | 47 à 81 | Quand on compare le quartile le plus élevé au quartile le plus faible, pour l'ingestion d'un nutriment donné, le Fe (OR 3,3), le Mg (OR 2,7) et la vitamine C (OR 1,9) ont été retrouvés comme facteurs indépendants de risque de fracture de la hanche. Une ingestion élevée de Ca n'était pas protectrice. Identification de divers facteurs défavorables liés au mode de vie (tabagisme, manque d'activité physique, faible BMI, diabète) et un rôle protecteur de l'hormonothérapie substitutive. | difficile à interpréter, de l'aveu des auteurs eux-mêmes. Qualité du questionnaire ? |
| Dietary acid-base balance, bone resorption, and calcium excretion | 2006 | (Jajoo *et al.*, 2006) | J Am Coll Nutr (2006) 25: 224-230 | Interventi on (60 j) | 40 hommes & femmes | 64 | Chez tous les sujets, les changements de NAE rénale(RNAE) étaient corrélés avec ceux de pTH, N-télopeptide urinaire (NTX) et calciurie | . |
| Effect of fruit on net acid and urinary calcium excretion in an acute feeding trial of women | 2004 | (Bell et Whiting, 2004) | Nutrition (2004) 20: 492-493 | Interventi on | 15 sujets Comparaison de l'effet de pommes fraîches ou d'applesauce' chez des sujets recevant un repas expérimental de base à base de protéine et de sucre. La taille des portions d'applesauce était 2,5 fois plus grande que celle de pommes fraîches et étaient équivalente à 7 portions de fruits (1,6 mM de K), contre 2 parts environ pour les pommes fraîches (7,4 mM de K). | ? | Comparé aux conditions normales, le repas expérimental élève la RNAE et la calciurie. Les deux présentations de pommes diminuent la RNAE en dessous de la valeur témoin, et réduisent (sans l'abolir entièrement) l'hypercalciurie. | Dans ce modèle, les fruits frais ou transformés sont efficaces, mais les seconds doivent être donnés en plus forte quantité |

# 1.8. Les intolérances aux fruits et légumes

## 1.8.1. Allergies aux fruits et légumes

Christophe Dupont

La réaction allergique décrit une réactivité immunologique aux protéines présentes dans les aliments. Cette réactivité est en général médiée par des immunoglobulines spécifiques, les IgE, et plus rarement par des mécanismes immunologiques non IgE médiés. Les protéines responsables sont propres à chaque aliment, et responsables de symptômes variables, dont le plus sévère est le choc anaphylactique.

Il existe aussi, pur les fruits et légumes, une réactivité croisée avec les pollens : un sujet allergique à un pollen pourra manifester une réaction clinique lors de l'ingestion d'un fruit ou légume dont les protéines comportent des similitudes.

Il semble exister une forte progression du nombre des allergies aux fruits et légumes, qui représentent maintenant près de 60% des cas d'allergies alimentaires tous âges confondus (Deviller and Pauli, 1997).

### *1.8.1.1. Les allergènes des fruits et légumes*

Le séquençage du génome du modèle d'espèce *Arabidopsis* montre qu'il existe un codage d'environ 25 000 protéines qui, sur la base de leurs fonctions, peuvent se classifier en protéines structurelles et métaboliques, en protéines de protection, qui défendent la plante contre l'invasion des pathogènes ou des parasites et les protéines de stockage, qui fournissent un support nutritionnel à la germination dans les graines. Les protéines qui déclenchent le développement des réponses allergiques au travers du tractus digestif appartiennent essentiellement à deux grandes super familles (Breiteneder and Radauer, 2004; Mills, Jenkins et al., 2004).

La super famille des prolamines comprend les trois groupes majeurs d'allergène végétaux, les albumines, les protéines de transfert lipidique et les inhibiteurs d'alpha amylase et de trypsine de céréales, qui ont des structures liées et sont stables lors des processus thermiques et de la protéolyse. Ce dernier groupe inclut des allergènes majeurs de la noix du Brésil, de l'arachide, des fruits comme les pêches et des céréales comme le riz et le blé.

La super famille des cupines comprend la majorité des globulines, protéines de stockage d'un grand nombre de végétaux. Les globulines sont également des allergènes retrouvés dans les aliments végétaux comme l'arachide, le soja, et la noisette.

La famille des cystines protéases C1 comprend les protéases de type papaye venant des microbes, des plantes ou des animaux. Cette famille contient deux allergènes notables qui sensibilisent au travers du tractus digestif, notamment l'actinidine du kiwi et l'allergène du soja Gly m Bd 30k/P3.

Il est actuellement possible de définir les protéines de structure et la relation au cours de l'évolution de ces familles de protéines de l'allergène qui leur appartient, et de discuter le rôle de la structure protéine dans la détermination de l'allergénicité protéique.

### *1.8.1.2. Le choc anaphylactique*

#### *. Le choc anaphylactique*

Le choc anaphylactique est l'une des trois manifestations potentiellement létales de l'allergie, à côté de l'angio-œdème laryngé asphyxique et de l'asthme aigu grave (Moneret-Vautrin, 2007). Le choc

correspond à une hypotension systolique majeure (collapsus). Si le terme français souligne le collapsus, élément majeur de la gravité de l'anaphylaxie, les auteurs anglo-saxons l'englobent plus volontiers sous le terme général d'anaphylaxie sévère, définie par l'atteinte d'au moins deux organes et pouvant être dominée par l'asthme aigu grave ou par l'angio-œdème laryngé.

### . *La fréquence de l'anaphylaxie sévère*

L'anaphylaxie sévère touche 1 à 3 personnes sur 10 000, le chiffre paraissant plus élevé aux Etats-Unis, avec une létalité de 0,6 à 2%, soit une mort par million d'habitants (Moneret-Vautrin, 2007). Il existe, depuis une dizaine d'années, une importante augmentation de fréquence de l'anaphylaxie de toute origine, d'un facteur 2 à 5, d'après les études anglaise, australienne et française. Aux Etats-Unis, l'anaphylaxie alimentaire motive 29 000 passages annuels dans les services d'urgence et rend compte de 125 à 150 décès par an. (Moneret-Vautrin, 2007).

La part de l'allergie alimentaire au sein de l'anaphylaxie sévère est très variable selon les études : de 9 à 38% selon les grandes séries publiées. Si l'allergie alimentaire est trois fois plus fréquente dans la population pédiatrique que dans la population adulte, le choc anaphylactique est plus rare que dans cette population que chez l'adulte : 4,9% des allergies alimentaires de l'enfant contre 30% chez l'adulte. La fréquence dépend de l'âge : les données du Centre d'investigations cliniques et biologiques en allergologie alimentaire (Moneret-Vautrin, 2007) portant sur 974 enfants allergiques alimentaires montrent une incidence du choc anaphylactique de 3,4% entre 1 et 3 ans, de 6,4% entre 3 et 6 ans et de 17,8% entre 6 et 15 ans.

### . *Les aliments en cause*

La place de l'arachide et des fruits à coque est universellement reconnue. Le tableau 1.8-1 communique la situation en France, où l'arachide, la noix de cajou, les laits de vache et de brebis, la farine de lupin attirent plus particulièrement l'attention.

**Tableau 1.8-1.** Etiologie de 110 cas d'anaphylaxies sévères de l'enfant déclarées par le Réseau d'Allergo-Vigilance (2002-2005)

| *Allergènes identifiés* | *n* | *%* |
|---|---|---|
| Arachide | 27 | 24,5 |
| Fruits secs à coque | 29 | 26,4 |
| Noix du Brésil | 2 | |
| Noix de cajou | 14 | |
| Noix | 5 | |
| Noisette | 2 | |
| Pistache | 2 | |
| Pignon de pin | 3 | |
| Châtaigne | 0 | |
| Amande | 1 | |
| Lait de vache | 18 | 16,3 |
| Lait de chèvre | 12 | |
| Lait de brebis | 3 | |
| Crustacés (crevette) | 6 | |
| Légumineuses | 5 | 4,5 |
| Soja | 2 | |
| Farine de lupin | 2 | |
| Lentilles | 3 | |
| Mollusques (escargot) | 5 | 4,5 |
| Viandes | 3 | 2,7 |
| Volaille (dinde, pintade) | 1 | |
| Porc | 1 | |
| Bœuf | 1 | |
| Sarrasin (croisant avec le latex) | 2 | 1,8 |
| Céleri | 3 | 2,7 |
| Farine de blé | 1 | 0,9 |
| Œuf | 1 | 0,9 |
| Choc idiopathique | 1 | 0,9 |

Les habitudes régionales de consommation ont des répercussions sur le rang des aliments : par exemple, moutarde et kiwi sont plus fréquemment incriminés dans le Sud-Ouest. La place des allergènes masqués, non étiquetés, échappant à la vigilance parentale, qui était de 12% en 2002 et qui est actuellement chiffrée à 19% des cas, est préoccupante. Les oléosines sont des allergènes majeurs récemment identifiés. Elles ont été responsables d'un choc anaphylactique sévère chez une enfant induit par un arôme dont le support était l'huile de sésame.

### *1.8.1.3. Le syndrome d'allergie orale*

***. Le syndrome d'allergie orale (OAS)***

Le syndrome d'allergie orale (OAS) est une réaction immunologique à certaines protéines dans une variété de fruits, légumes et noix, qui se développe chez certains sujets présentant une allergie au pollen et touche préférentiellement la bouche et la gorge. Ces réactions ne sont pas liées aux pesticides ou aux métaux lourds.

***. Les personnes touchées et les pollens impliqués***

L'OAS est presque toujours précédé par le rhume des foins et tend à survenir chez l'enfant comme chez l'adulte. Il est habituellement associé aux allergies au pollen de bouleau mais peut aussi toucher les sujets allergiques aux pollens de graminées, à l'ambroisie (plus fréquent en Amérique du Nord) et à l'armoise (plus fréquent en Europe). Ces réactions peuvent survenir à toute époque de l'année mais sont souvent plus fréquentes au cours de la saison pollinique.

A titre d'exemple, 50 à 70% des allergiques au pollen de bouleau sont sensibilisés aux fruits et aux légumes de la famille des Rosacées (pommes, cerises, pêches, abricots) et des Bétulacées (noisettes), et 50% des allergiques aux Composées (armoise et ambroisie) ont une sensibilisation au céleri.

***. Les aliments impliqués***

Les aliments impliqués dans l'allergie croisée au bouleau, l'armoise, l'ambroisie et les graminées sont listés dans le tableau 1.8-2. La plupart des réactions sont déclenchées par les aliments crus, puisque les protéines allergéniques sont habituellement détruites par la cuisson (elles sont labiles à la chaleur). Les principales exceptions sont le céleri et les fruits à coque, qui peuvent déclencher des réactions même après cuisson. Certaines parties de la plante, comme la peau, sont plus allergéniques que d'autres, mais les caractéristiques allergiques de certains fruits semblent diminuer pendant la conservation. Les aliments associés à l'OAS qui peuvent aussi déclencher des réactions anaphylactiques sont le kiwi, la noisette, la pomme de terre, le céleri, le persil, les haricots, et le cumin.

On décrit aussi les syndromes identifiés : "bouleau-armoise-céleri", "pollens de graminées-tomate", "ambroisie-melon-banane", "céleri-épices", "ambroisie-kiwi", "pollens de graminées-pollens de céréales", et les allergies croisées entre les différentes légumineuses : "arachide-pois-soja", "arachide-lentilles", "arachide-lupin".

***. Les bases de la réactivité pollens-aliments***

Ces associations d'allergies alimentaires et polliniques sont expliquées par des communautés antigéniques : les profilines, protéines du cytosquelette végétal communes à ces différents végétaux ainsi qu'au latex, lui-même d'origine végétale (Radauer and Breiteneder, 2007).

On invoque aussi le rôle de diverses protéines communes à différents végétaux : protéine PR, protéines de transfert lipidique, protéines de stress (mises en jeu lors d'agressions infectieuses ou parasitaires), panallergène de 60 kDa commun à de nombreux végétaux susceptible d'expliquer l'apparition d'allergies inattendues à des aliments nouvellement introduits. Les chitinases de classe I sont des allergènes (30 à 45 kDa) impliqués dans les réactions croisées entre le latex et les fruits (avocat), mais pas dans les allergies isolées au latex ou aux fruits.

***. Les symptômes et leur apparition***

Les symptômes comprennent le prurit et le gonflement des lèvres, de la bouche et de la gorge, la conjonctivite, le nez qui coule et les éternuements. Pour certains sujets, le simple fait de toucher le fruit ou de le peler peut entraîner une éruption (rash), un prurit ou un gonflement lorsque le jus touche la peau.

Des réactions plus sérieuses peuvent prendre la forme de papules d'urticaire ou de gonflement du pharynx et des voies respiratoires. Dans de rares cas, des réactions allergiques sévères ont été rapportées sous la forme de vomissement, de diarrhée, d'asthme, d'urticaires généralisées et de choc anaphylactique. Les symptômes se développent dans les minutes qui suivent la consommation ou l'approche de l'aliment, beaucoup plus rarement plus d'une heure plus tard.

**Tableau 1.8-2.** Aliments les plus fréquemment associés aux allergies aux pollens de bouleau, d'ambroisie, de graminées et d'armoise

| Allergie au type de pollen | Peut aussi déclencher une réaction allergique à ces aliments : |
|---|---|
| Bouleau | Fruits : kiwi, pomme, poire, prune, pruneau, pêche, nectarine, abricot, cerise<br>Légumes : céleri, carotte, panais, persil, aneth, anis, cumin, coriandre, fenouil, pomme de terre, tomate, poivron vert, lentilles, pois, haricot, cacahuète<br>Noix : noisette, noix, amande<br>Graines : tournesol |
| Ambroisie | Fruits : banane, pastèque, cantaloup, honeydew<br>Légumes : courgette, concombre |
| Graminées | Fruits : melon, pastèque, tomate, orange, kiwi |
| Armoise | Fruits : pomme, pastèque, melon<br>Légumes : céleri, carotte |

### *1.8.1.4. Les réactions allergiques non IgE-médiées*

Certains enfants présentent au cours des premières années de la vie un état de poly-allergie alimentaire, au cours duquel une alimentation extrêmement restrictive est seule tolérée. Ces poly-allergies alimentaires peuvent toucher tous les aliments, notamment les céréales, fruits et légumes. Elles ne s'associent pas obligatoirement à un mécanisme IgE-médié et le seul moyen diagnostic est la réalisation de patch tests, au cours desquels l'application sur la peau de l'aliment pendant 48 heures permet de déclencher une réaction locale retardée, à l'image de la réaction retardée induite par l'ingestion de l'aliment chez l'enfant.

Les symptômes de ces poly-allergies alimentaires chroniques associent la survenue d'un malaise général au cours de l'ingestion de l'aliment, des vomissements et de la diarrhée à répétition.

Le traitement de cette poly-allergie alimentaire est l'utilisation pendant une période parfois relativement longue de formules à base d'acides aminés, dont la consommation par l'enfant est prolongée jusqu'à l'apparition d'une tolérance qui survient généralement au-delà de l'âge de 3 à 4 ans.

## 1.8.2. Troubles fonctionnels digestifs

Parmi différents constituants, les fruits et légumes contiennent des fibres en proportions variables. Celles-ci sont constituées d'éléments à faible (fibres solubles : pectines ou gommes) ou très faible (fibres insolubles) digestibilité. L'effet des fibres sur la fermentation intestinale et le volume des selles est bien établi. Ainsi la présence de fibres végétales représente un élément important de la physiologie intestinale et du contenu intraluminal. Par contre, la présence de fibres, notamment crues, est souvent tenue pour responsable de nombreuses manifestations d'intolérance intestinale ("Irritable Bowel Syndrome - IBS" ou syndrome du côlon irritable). Le rôle des fibres végétales dans la pathogénie et le

traitement des troubles intestinaux fonctionnels reste très controversé. L'analyse de la littérature montre que les études ne sont pas très nombreuses et que leurs résultats ne permettent pas de conclusions définitives.

Une méta-analyse récente (Bijkerk et al., 2004) résumant différentes études concernant les fibres et les pathologies fonctionnelles coliques a conclu que si les fibres peuvent améliorer la constipation [risque relatif 1,56 ; 95% d'intervalle de confiance, (1,21-2,02)], rien ne permet de retenir un effet sur les douleurs abdominales. Les fibres solubles semblent plutôt avoir un effet bénéfique [RR 1,55 ; 95% IC, (1,35-1,78)], tandis que les fibres insolubles aggraveraient plutôt les troubles, cet effet n'étant toutefois pas significatif [RR 0,89 ; 95% CI, (0,72-1,11)]. Cette étude conclut que l'effet global des fibres sur les troubles fonctionnels digestifs est marginal. Ainsi il semble raisonnable d'attirer l'attention de tous les prescripteurs ou consommateurs concernant l'enrichissement ou au contraire l'exclusion des régimes en constituants végétaux ou en fibres ajoutées (Tan and Seow-Choen, 2007). Les croyances concernant ces éléments contenus dans l'alimentation reposent davantage sur des opinions basées sur l'expérience individuelle que sur des travaux réellement convaincants. Cependant, il s'agit plutôt d'incertitudes nécessitant la réalisation d'études cliniques plus probantes.

## 1.9. Exposition aux pesticides liée à la consommation de fruits et légumes

Claudie Roy

### 1.9.1. Contexte

Le système intensif de la production agricole à haut rendement, développé jusqu'à nos jours, est lié à l'utilisation massive de produits phytopharmaceutiques (pesticides) très efficaces dans la protection des végétaux. La France est ainsi le troisième consommateur mondial de pesticides et tient le premier rang au niveau européen (78 268 t vendues en 2005, source : UIPP). Compte tenu de leur présence importante dans l'environnement, notamment dans l'eau (IFEN, 2006), de leur toxicité, de leur impact négatif sur l'environnement et des effets potentiels nocifs sur la santé humaine, ces produits font l'objet d'une réglementation qui se renforce progressivement et de mesures visant à réduire leur utilisation ou leur impact (INRA and Cemagref, 2005). Cette prise de conscience du risque lié à l'utilisation des pesticides concerne la population générale et ces inquiétudes sont régulièrement relayées dans la presse, notamment la presse consumériste, ainsi qu'à travers les réseaux d'ONG, d'associations, ou de citoyens[3].

C'est dans ce contexte que se situent, en France, un certain nombre d'actions :

- Alerte du Comité de la prévention et de la précaution (CPP, 2002) sur la nécessité de tenir compte des risques liés aux pesticides,
- Plan national santé-environnement 2004-2008 dont un des objectifs est de prévenir les pathologies d'origine environnementale et notamment les cancers,
- Création de l'Observatoire des résidus de pesticides (ORP),
- Expertise scientifique collective INRA-Cemagref à la demande des ministères chargés de l'agriculture et de l'écologie, sur les moyens de réduire l'emploi des pesticides et de limiter les impacts environnementaux (INRA and Cemagref, 2005),
- Plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides 2006-2009 (juin 2006).

Ces actions s'inscrivent dans les politiques (*stratégies*) communautaires :

- ***Stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides*** COM(2002)349 et COM(2006)372, inscrite dans le 6e programme d'action pour l'environnement [COM(2001)31] *en vue de réduire les impacts des pesticides sur la santé humaine et sur l'environnement, et, plus généralement, de parvenir à une utilisation plus sûre des pesticides et à une réduction globale sensible des risques, tout en assurant la protection nécessaire aux cultures.*
- ***Stratégie européenne en matière de santé/environnement*** "SCALE initiative" COM(2003)338 et plan d'action 2004-2010 en faveur de l'environnement et de la santé COM(2004)416 *(pour améliorer les informations et les connaissances et renforcer la coordination entre le secteur de la santé, de l'environnement et de la recherche tant au niveau UE que national). Le but de cette stratégie est de réduire les maladies liées à des facteurs environnementaux y compris les produits chimiques et les pesticides. Elle se focalise sur les groupes les plus vulnérables de la société, notamment les enfants, et doit contribuer à une utilisation plus sûre des pesticides.*

[3] Par exemple: Pesticide Action Network International http://www.pan-international.org/panint/?q=node/33 et France Nature Environnement : http://www.fne.asso.fr

## Glossaire

**Biocide** : Produit destiné à détruire, repousser ou à rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière, par des moyens chimiques ou biologiques *(selon la directive 98/8/CE concernant les biocides)*

**Pesticide** : Terme général utilisé pour désigner à la fois les produits phytopharmaceutiques (PPP) et les biocides. Les PPP constituent le groupe le plus important des pesticides dont l'historique législatif est le plus ancien. Le terme est utilisé ici pour désigner à la fois les substances actives et les préparations commerciales des PPP.

**Produit phytopharmaceutique** : Produit servant à protéger les plantes contre les organismes nuisibles : insectes et champignons (insecticide et fongicide), qui détruit les plantes indésirables (herbicide) ou qui agit comme régulateur de croissance.

**Substance active** : produit chimique (molécule) utilisé dans les produits phytopharmaceutiques qui constitue le composant essentiel qui permet aux produits phytopharmaceutiques de protéger la plante

**Perturbateur endocrinien** : "Un perturbateur endocrinien est une substance ou un mélange exogène altérant les fonctions du système endocrinien et induisant des effets nocifs sur la santé d'un organisme intact, de ses descendants ou (sous-)populations" (*programme international sur la sécurité des substances chimiques [PISC])* L'altération de la fonction endocrine engendrée par un perturbateur endocrinien peut survenir par interférence, dans l'organisme, avec la synthèse, la sécrétion, le transport, la liaison (aux récepteurs des cellules) ou l'élimination des hormones naturelles qui sont responsables de la maintenance de l'homéostasie, de la reproduction, du développement et du comportement. Ces substances peuvent agir en mimant, activant (agoniste) ou inhibant (antagoniste) l'action des hormones. La dose, la charge corporelle, la fréquence et la durée de l'exposition à des périodes critiques de la vie sont des facteurs importants pour évaluer les effets d'un perturbateur endocrinien (*stratégie communautaire concernant les perturbateurs endocriniens : COM (1999) 706 final*).

### *Contexte réglementaire (cadre législatif)*

Depuis plusieurs années, l'Union européenne s'est dotée d'une législation phytosanitaire, en constante évolution, dont l'objectif est notamment de garantir la sécurité des denrées alimentaires produites à partir des végétaux, afin de protéger la santé du consommateur et de garantir la protection des cultures dans tous les Etats membres. L'Union européenne contrôle la vente et l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (PPP) et fixe les normes permettant d'assurer la surveillance et le contrôle de leurs résidus.

L'encadrement de l'usage des pesticides s'appuie sur la Directive 91/414/CEE relative à l'autorisation de mise sur le marché des PPP. Entrée en application en 1993, elle concerne notamment l'évaluation du risque *a priori* des substances actives (molécules) nouvelles et la réévaluation des substances actives "existantes" (*i.e.* commercialisée en 1993)[4] selon des critères toxicologiques et écotoxicologiques qui se renforcent. Les substances actives sont évaluées au niveau communautaire en vue de leur inclusion sur une liste positive (connue sous le nom d'Annexe 1). L'évaluation des préparations commerciales contenant ces substances est effectuée par les Etats membres au niveau national. En Juillet 2006, la Commission a proposé de nouvelles règles harmonisées au niveau communautaire pour la mise sur le marché des PPP (COM(2006)388). Ce nouveau règlement, destiné à remplacer la Directive 91/414/CEE, devrait prendre effet en 2008. Par ailleurs, la Commission a également proposé une directive cadre sur les pesticides (COM(2006)373) concernant les aspects de la phase d'utilisation et de distribution, non abordés dans le nouveau règlement. Ces propositions, qui visent à renforcer la protection de la santé publique et de l'environnement, s'inscrivent dans la stratégie globale européenne concernant l'utilisation durable des pesticides (COM(2006)372).

[4] Fin 2003, suite à cette évaluation ou parce que certaines substances ont été abandonnées par les industriels, 450 substances actives étaient retirées du marché, ce qui représente plus de 50% des substances actives présentes sur le marché en 1993. En fin d'année 2006, l'EFSA a achevé la deuxième étape de la procédure d'évaluation concernant 50 substances actives. La troisième étape de l'examen, qui concerne 137 substances, devrait être achevée en 2008.
http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/index_fr.htm http://www.efsa.europa.eu/fr/science/praper.html

La surveillance des résidus de pesticides dans les denrées alimentaires, dont les fruits et légumes (F&L), s'appuie notamment sur le règlement CE N° 396/2005 (Cf. Annexe) concernant les limites maximales applicables aux résidus (LMR) de pesticides présents dans ou sur les denrées alimentaires. Ce règlement, en cours de mise en œuvre, vise à harmoniser les LMR des pesticides au niveau européen et à remplacer les anciennes directives (fixant les LMR) par un acte unique.

***Les programmes de surveillance et de contrôle des résidus de pesticides dans les produits alimentaires d'origine végétale***

La Commission européenne a mis en place depuis 1996, au niveau des Etats membres, un programme de surveillance annuel des résidus de pesticides dans les produits alimentaires d'origine végétale qui fournit des données supplémentaires en vue de l'évaluation du risque. Les données de ce plan de surveillance complètent celles issues d'autres programmes de surveillance ou de contrôle nationaux qui sont également communiqués à la Commission et font l'objet d'un rapport annuel de synthèse de la situation européenne concernant les résidus de pesticides dans les produits alimentaires d'origine végétale[5]. Le programme de surveillance coordonné communautaire est un programme glissant, portant chaque année sur un ensemble restreint de produits dont les contrôles sont reconduits à intervalles réguliers (de 3 ans depuis 2000). Le nombre de pesticides recherchés s'accroît d'année en année : 9 en 1996, 20 de 1998 à 2000, 36 en 2001, 42 en 2003, 47 en 2004 et 55 en 2005. En France, le service de la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) du ministère chargé de la consommation est le responsable du plan communautaire et des plans de surveillance et de contrôle nationaux des pesticides dans les produits alimentaires d'origine végétale issus de la production nationale ou importés, au stade de leur commercialisation, et transmet l'ensemble de ces résultats au niveau européen.

## 1.9.2. Eléments de méthodologie sur l'évaluation du risque

Il existe un paradigme pour l'évaluation du risque des substances chimiques pour la santé humaine. Il peut être divisé en 4 étapes principales présentées ci-après dans le cas des pesticides (Renwick, 2002).

- **Identification du danger :** *Quel est l'effet toxique du pesticide ?*
- **Caractérisation du danger :** *Quelle est la relation dose-effet ? Quelle peut être la dose de sécurité pour l'homme ?*
- **Evaluation de l'exposition :** *Quelle est la dose de pesticide ingérée par l'homme ?*
- **Caractérisation du risque :** *Quel est le risque associé à l'ingestion de cette dose ?*

### *1.9.2.1. Identification et caractérisation du danger*

Les pesticides représentent un nombre important de molécules (environ 400 dont l'usage est actuellement autorisé), classées dans plusieurs familles chimiques et dont les effets toxiques sont spécifiques et peuvent être multiples. Ces substances actives sont utilisées dans plusieurs centaines de préparations commerciales.

Aucun pesticide utilisé pour la production agricole ne peut être mis sur le marché sans avoir fait l'objet d'une **évaluation de risque *a priori*** (Cf. ci-avant, Directive 91/414/CEE). L'identification du danger pour l'homme passe par une série de tests *in vitro* et *in vivo*, sur modèle animal, selon des lignes directrices bien définies. Ces tests de toxicité explorent notamment les effets génotoxiques, immunotoxiques, neurotoxiques, sur la reproduction, la toxicité aiguë (effet d'une dose) ou de court terme (répétition des doses sur plusieurs jours), la toxicité de long terme (chronique) et les effets cancérogènes. On distingue deux types d'effets, les effets avec seuil, pour lesquels le mécanisme d'action nécessite la présence d'une concentration suffisante de substance pour obtenir un effet, et les effets sans seuil, comme peuvent l'être les effets génotoxiques et cancérogènes, pour lesquels il

[5] http://ec.europa.eu/food/fvo/specialreports/pesticides_index_en.htm

n'existe pas de seuil dans la relation dose-réponse. Dans le cas des effets avec seuil, ces tests associés à l'exploration de la relation dose-réponse et à l'utilisation de facteurs de sécurité, permettant l'extrapolation des résultats de l'animal à l'homme et prenant en compte la variabilité interindividuelle, aboutissent à l'établissement de valeurs toxicologiques de références (VTR). Les VTR sont des niveaux d'exposition de sécurité pour la santé humaine. Pour les effets sans seuils, il est admis qu'aucun niveau d'exposition n'est exempt de risque. Les substances qui présentent ce type d'effets ne devraient pas se trouver dans les aliments ou du moins à des concentrations les plus faibles possibles. Cependant, il existe des méthodes d'extrapolation des effets aux faibles doses qui permettent de quantifier le risque et qui sont notamment utilisées par l'Union européenne (Feinberg et al., 2006).

On distingue deux sortes de VTR pour l'exposition alimentaire aux pesticides (effets à seuil) :

- La dose journalière admissible (DJA, ou ADI en anglais) qui est la dose toxicologique de référence utilisée pour mesurer le risque chronique de long terme. C'est la quantité estimée de substance présente dans l'aliment exprimée sur la base du poids corporel qui peut être ingérée chaque jour, pendant toute la durée de la vie, sans risque appréciable pour la santé.
- La dose de référence aiguë (ARfD, en anglais) qui est la dose toxicologique de référence utilisée pour mesurer le risque à court terme. C'est la quantité estimée de substance présente dans l'aliment exprimée sur la base du poids corporel qui peut être ingérée pendant une courte période (un repas ou un jour) sans risque appréciable pour la santé.

Les tests et les méthodes permettant l'identification et la caractérisation du danger évoluent. Des effets tels que les effets de type perturbateur endocrinien font l'objet de recherches et du développement de nouveaux tests, notamment au niveau de l'OCDE qui développe ou révise les lignes directrices d'essais pour la détection des perturbateurs endocriniens. Mais beaucoup d'**incertitude** existe sur les effets des faibles doses, les effets à long terme (différés) et les effets des mélanges de substances auxquelles l'homme est exposé *via* son alimentation ou d'autres sources et voies d'exposition.

**Le danger peut être identifié *a posteriori***, après que les pesticides aient été mis sur le marché. Un cas historique, dans le domaine de l'écotoxicologie, est celui du DDT, un insecticide organochloré, dont le métabolite, le DDE, par son action sur la reproduction des oiseaux - *via* la diminution de l'épaisseur des coquilles d'œufs - sa persistance et ses propriétés de bioaccumulation, a été responsable dans les années 1950/60 de la chute de populations de rapaces, espèces placées en sommet de chaîne alimentaire. Cet insecticide, interdit depuis les années 70 (1972, pour la France), s'est avéré, depuis, être un perturbateur endocrinien ayant notamment une action anti-androgène (Kelce et al., 1995).

Des études expérimentales sur animaux ont ainsi mis en évidence de nouveaux effets neurotoxiques, de type perturbateur endocrinien ou cancérogènes de certains pesticides. Parallèlement, des risques pour l'homme semblent se dessiner, notamment dans les populations d'utilisateurs professionnels de ces produits. Des études épidémiologiques sont en cours au niveau national pour identifier le danger (par exemple, certains projets du programme de recherche Environnement et Santé de l'AFSSET et du programme de recherche du MEDD sur les perturbateurs endocriniens). Citons le cas du chlordécone, un insecticide organochloré, identifié comme perturbateur endocrinien et dont les effets sur la reproduction ont été mis en évidence dans des études expérimentales sur animaux de laboratoire. Cet insecticide persistant, potentiellement bioaccumulable, a été employé en culture bananière aux Antilles jusqu'en 1993. Ses résidus peuvent contaminer les denrées alimentaires et la population locale (AFSSA, 2005). Une étude épidémiologique est en cours pour étudier les conséquences d'une exposition prénatale à ce perturbateur endocrinien (Multigner L., INSERM, colloque de lancement du Programme national sur les perturbateurs endocriniens (PNRPE), 2006)[6].

Il est à noter que les effets éventuels des pesticides sur la survenue de cancers font actuellement l'objet d'une expertise collective à l'INSERM dans le cadre plus global d'une approche "cancers et environnement".

[6] http://www.ecrin.asso.fr/?q=node/4212&highlight=colloque%2CPNRPE

### *1.9.2.2. Evaluation de l'exposition alimentaire et caractérisation du risque*

***. Schéma classique***

L'évaluation de l'exposition s'effectue à partir des données de contamination et des données de consommation des aliments. La plupart du temps par pesticide et par produit, ou pour plusieurs produits alimentaires si le pesticide est utilisé pour le traitement de (ou se trouve dans) plusieurs produits.

**.** *Cas de la construction des LMR et du processus d'autorisation des pesticides*
L'exposition est évaluée dans le processus d'édification des limites maximales de résidus autorisées (LMR) en utilisant les concentrations de résidus de pesticide issues d'essais en plein champ réalisés selon les bonnes pratiques agricoles et servant à définir les LMR (Cf. Annexe) afin de confronter les valeurs issues de ces calculs aux VTR (DJA et, plus récemment, ARfD). Le pesticide ne peut être admis à l'utilisation que dans les conditions d'usage pour lesquelles les concentrations de ses résidus dans les produits végétaux ne conduisent pas à dépasser les VTR qui lui sont spécifiques. *La LMR n'est pas un seuil toxicologique et la plupart du temps le produit de la LMR par la consommation potentielle du produit végétal conduit à une exposition bien en dessous de la DJA.*

**.** *Cas des programmes de surveillance*
Les aliments préparés à partir de produits végétaux ne dépassant pas les LMR sont considérés comme acceptables du point de vue toxicologique. De manière générale, les évaluations d'exposition sont réalisées à partir des données issues des programmes de surveillance lorsque la LMR est dépassée sur un produit et les doses d'exposition sont confrontées aux VTR.

***. Approche déterministe de l'évaluation de l'exposition***

L'approche déterministe est largement reconnue et généralement utilisée par les instances réglementaires et l'industrie pour évaluer l'exposition des consommateurs aux pesticides. La méthode déterministe usuelle utilise une valeur fixe d'estimation par variable (consommation, contamination) conduisant à une seule valeur d'estimation de l'exposition, selon généralement des scénarios de "pire cas" afin de protéger la santé du consommateur. Cette approche est ci-après illustrée dans le cas de l'évaluation de l'exposition à partir des données de surveillance communautaires pour un produit d'origine végétale.

**.** *Exposition chronique*
Cette évaluation est basée sur un scénario de "pire cas" qui correspond à la concentration en résidus du 90$^{e}$ percentile de la distribution des concentrations en résidus pour le pesticide et le produit considérés, y compris les échantillons sans résidus détectables. La consommation de produit considérée est la consommation moyenne, définie par l'OMS pour la "zone Europe", et l'évaluation est réalisée pour un individu adulte de 60 kg. La valeur obtenue est comparée à la DJA afin de caractériser le risque.

**.** *Exposition aiguë*
Cette évaluation nécessite des données de consommation sur un jour. Elle est effectuée selon le modèle utilisé au Royaume-Uni[7] dans lequel l'évaluation de l'exposition est réalisée à partir du 97,5$^{e}$ percentile de la consommation afin d'inclure les forts consommateurs d'un produit (protocole OMS). Le modèle permet de considérer plusieurs catégories de consommateurs en fonction de leur âge ou de leurs habitudes alimentaires (ex : végétariens). L'évaluation a été faite sur la base d'un adulte (16-64+ ans) de 70 kg et d'un jeune enfant (1,5 à 4,5 ans) de 14,5 kg jusqu'en 2003. En 2004, les groupes petits enfants (6-12 mois) et enfants de 4-6 ans ont notamment été différenciés. Les données de consommation et les poids corporels utilisés sont ceux du Royaume-Uni, qui possède une base de données très complète. Le scénario de "pire cas" considéré est le cas de la concentration maximale de résidu trouvée dans un échantillon de produit. Il faut signaler qu'un échantillon est un échantillon composite, c'est-à-dire constitué de plusieurs unités (exemple : 10 pommes pour l'échantillon de pomme), un facteur de variabilité multiplicateur, qui est fonction de la taille des unités, est donc appliqué pour tenir compte de la répartition non homogène des résidus dans les éléments constitutifs de l'échantillon. La valeur obtenue est confrontée à l'ARfD afin de caractériser le risque**.** L'exposition

[7] http://www.pesticides.gov.uk/approvals.asp?id=1687

aiguë ne concerne pas tous les pesticides et, par ailleurs, les valeurs de référence ne sont pas toutes disponibles (en 2004 : 18 pesticides sur 47 recherchés).

Il est à noter que les résidus de pesticides sont dosés dans l'échantillon de produit tel qu'il est récolté. Des facteurs de correction peuvent donc être introduits dans les calculs d'exposition (chronique ou aiguë) afin, par exemple, de ne tenir compte que de la partie comestible du produit ou bien de prendre en compte des traitements (lavage, cuisson…) pouvant conduire à une modification de la teneur en résidus (cf. § 1.9.3.2). Cet affinage de l'évaluation de l'exposition peut être effectué dans un deuxième temps si l'évaluation conduite selon le scénario le plus défavorable conduit à dépasser les VTR.

***. Exposition à plusieurs pesticides. Comment cumuler ?***

En réalité, il est possible, d'une part que certains produits contiennent plusieurs pesticides et d'autre part que le consommateur soit exposé au cours d'un repas ou d'une journée à plusieurs types de résidus de pesticides provenant des différents produits qu'il a consommés. L'identification du danger et sa caractérisation sont effectués par pesticide et peu de choses sont connues sur les effets des mélanges de substances qui pourraient avoir notamment des interactions synergiques (ou antagonistes). Cependant, des approches sont entreprises, au niveau européen et international, pour évaluer le risque lié à l'exposition à plusieurs pesticides.

Aux Etats-Unis, en 1996, la loi sur la protection de la qualité de l'alimentation (Food Quality Protection Act) conduisit l'agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA) à considérer l'effet cumulatif pour la santé humaine qui pourrait résulter de l'exposition à des substances qui auraient un mécanisme commun de toxicité[8]. L'effet de tels mélanges de substances est considéré comme additif (addition des doses). La caractérisation du risque repose sur le pouvoir toxique relatif de chaque substance du groupe par rapport à l'une d'entre elles retenue comme référence. Les insecticides organophosphorés, affectant le système nerveux, constituent le premier groupe étudié et retenu pour agir par un même mécanisme de toxicité, l'inhibition de l'acétylcholinestérase (*via* sa phosphorylation) dans le système nerveux central et périphérique (Mileson et al., 1998). L'EPA a identifié trois autres groupes de pesticides agissant par un mécanisme commun de toxicité : les insecticides N-méthyl carbamates (affectant le système nerveux), des herbicides de la famille des triazines (effets sur le développement et la reproduction) et des herbicides de la famille des chloroacétanilides (pouvant provoquer des tumeurs nasales).

D'autres approches sur le risque cumulatif aigu de pesticides présentant un même mécanisme d'action ont été entreprises en Europe (cf. § 1.9.3.4).

L'évaluation de l'exposition cumulative aux pesticides à travers plusieurs produits est réalisée selon une **approche probabiliste** qui nécessite d'utiliser des logiciels appropriés. Cette approche, plus réaliste que l'approche déterministe, permet de prendre en compte tous les niveaux de consommation et tous les niveaux de contamination et génère une distribution de l'exposition. L'approche probabiliste permet de quantifier l'incertitude et la variabilité et d'estimer la probabilité de dépasser une VTR.

L'évaluation de l'exposition cumulative aux pesticides est une préoccupation de l'Union européenne (UE). Dans le nouveau règlement CE N° 396/2005, concernant les limites maximales applicables aux résidus de pesticides présents dans ou sur les denrées alimentaires, il est demandé d'œuvrer à l'élaboration d'une méthodologie permettant de tenir compte des effets cumulatifs et synergiques possibles des pesticides sur la santé humaine. A l'heure actuelle, il n'y a pas d'approche commune consensuelle au niveau européen ou international pour évaluer ces risques. C'est pourquoi l'Autorité européenne de sécurité alimentaire (AESA ou EFSA, en anglais) a organisé, en novembre 2006, un colloque[9] visant à faire le point sur les méthodologies existantes et, si nécessaire, à identifier de nouvelles approches.

---

[8] http://www.epa.gov/pesticides/cumulative/index.htm
[9] http://www.efsa.europa.eu/fr/science/colloquium_series/colloquium_7.html

## 1.9.3. Evaluation de l'exposition aux pesticides *via* la consommation de fruits et légumes

### *1.9.3.1. Contamination en résidus de pesticides des fruits et légumes*

***. Résultats des programmes de surveillance et de contrôle nationaux des Etats membres de l'Union européenne en 2004[3]***

*. Fréquence des résidus de pesticides détectés*

En 2004, dans le cadre de leurs programmes de surveillance, 23 Etats membres de l'UE (les 15, plus 8 nouveaux Etats membres) et les 3 Etats de l'AELE signataires de l'accord sur l'espace économique européen (Norvège, Islande et Liechtenstein) ont procédé au contrôle des résidus de pesticides sur 50428 échantillons (2891 pour la France) de F&L pour rechercher jusqu'à 677 pesticides différents (222, en France). Sur l'ensemble des échantillons, 42% (44%, en France) présentaient des teneurs égales ou inférieures aux LMR nationales ou communautaires et dans 5% (3,9%, en France) des échantillons les teneurs en résidus dépassaient les LMR. En France, 69,5% des échantillons de F&L étaient d'origine nationale, 16,4% provenaient de l'Union européenne et 14,1% étaient importés des pays tiers. Les fruits ont présenté plus de résidus détectés (66% des échantillons) que les légumes (34%) avec respectivement 3,8% et 4% d'échantillons non conformes. Il est à noter que plus de 50% (34/63) des couples "produit végétal - pesticide" d'origine nationale dépassant la LMR correspondait à des usages interdits en France[10]. La France a procédé en outre à 1245 contrôles ciblés (c'est-à-dire orientés sur des productions ou des expéditions soupçonnées de pouvoir présenter des dépassements de LMR) dont 48% des échantillons avaient des teneurs égales ou inférieures aux LMR et 11% avaient des teneurs en résidus dépassant les LMR.

*Concernant les aliments à base de produits végétaux destinés aux jeunes enfants*, pour lesquels la réglementation est plus stricte (LMR ≤ 0,01 mg/kg), 1334 échantillons furent analysés (pour 18 pays) : 6% des échantillons avaient des teneurs en résidus égales ou inférieures aux LMR et 2,7% des échantillons avaient des teneurs supérieures aux LMR.

*. Plusieurs résidus de pesticides sur un même échantillon*

Sur l'ensemble des échantillons de produits végétaux analysés, c'est-à-dire y compris les céréales (4,9% des échantillons; 7% en France) et en considérant les plans de surveillance et de contrôle ciblés, 23,4% (25,5%, soit 1139/4466, en France) des échantillons contenait plus d'un pesticide, 10,3% (12,2%, en France) en contenait deux, 5,8% (7,2%, en France) en contenait 3, et 7,3% (6,1%, en France) en contenait 4 et plus.

*. Quels pesticides ?*

Les insecticides et les fongicides sont les pesticides qui sont toujours les plus détectés dans les F&L, avec une prédominance des fongicides. Comme en 2003, les fongicides du groupe manèbe (famille des dithiocarbamates) sont les pesticides qui ont été les plus détectés sur les F&L dans l'ensemble des pays, suivis d'un insecticide organophosphoré, le chlorpyrifos, puis, d'un fongicide de la famille des imidazoles, l'imazalil (utilisé en traitement après récolte), de la procymidone (fongicide de la famille des dicarboximides), du groupe bénomyl[11] (famille des benzimidazoles), de l'iprodione (fongicide de la famille des dicarboximides) et du thiabendazole (fongicide utilisé en traitement après récolte). En France, en 2004, ces pesticides ont été détectés selon l'ordre décroissant suivant : thiabendazole, groupe bénomyl, chlorpyrifos, imazalil, groupe manèbe, iprodione et procymidone. La substance

[10] http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/237848756776583622332804672716/DGCCRF_2004_rapport.pdf

[11] Le groupe bénomyl comprend deux substance actives inscrite à l'annexe1, le carbendazime et le thiophanate-méthyl, et le bénomyl qui n'est plus autorisé dans l'Union européenne (Décision 2002/928/CE). Le bénomyl et le thtiophanate-méthyl se transforment en carbendazime. Il est à noter que l'inscription du carbendazime à l'annexe 1 s'accompagne de restrictions d'usage, il ne sera plus autorisé sur les F&L (Directive 2006/135/CE)

occupant la première place, avant le thiabendazole, fut l'hydrazide maléique, une substance limitant la croissance, recherchée uniquement dans les bulbes et pommes de terre sur lesquels il est utilisé pour inhiber ou supprimer les germes (20/76 échantillons).

. *Derniers résultats pour la France (2005)*

En France, selon les plans de surveillance nationaux de 2005[12], 93,4% des échantillons de F&L étaient conformes, 38% avaient des teneurs en résidus inférieures ou égales aux LMR et 6,7% (*vs* 3,9% en 2004) présentaient une teneur en résidus dépassant les LMR nationales ou communautaires. Au titre des contrôles ciblés, orientés principalement sur les salades d'hiver sous abris et les plantes racines tropicales, 9,5% des échantillons ont dépassé les LMR. Par ailleurs, aucune non-conformité n'a été décelée en ce qui concerne les produits à base de fruits ou de légumes destinés à l'alimentation infantile.

***. Résultats du programme de surveillance communautaire entre 1999 et 2004 en France***

Les tableaux 1.9-1 et 1.9-2 (en fin de section) montrent la proportion des échantillons présentant des résidus de certains pesticides détectés sur 17 F&L couramment consommés. Les substances détectées varient selon les produits végétaux en liaison notamment avec les autorisations d'usage des pesticides et les habitudes culturales des utilisateurs. On notera les fréquences relativement élevées concernant (par ordre décroissant à l'intérieur de chaque famille de pesticides) :

- les résidus d'insecticides organophosphorés, notamment du chlorpyrifos, sur orange/mandarine, raisin de table, pomme, pêche/nectarine, poire, poivron et l'augmentation des résidus de chlorpyrifos sur pomme et raisin de table entre 2001 et 2004 (de 5,5% à 19,3% et de 9,8% à 20,4% des échantillons, respectivement) ;
- les résidus de fongicides de la famille des dithiocarbamates sur les choux, les salades, les épinards et leur augmentation sur fraise et sur tomate entre 2001 et 2004 ;
- les résidus de fongicides dicarboximides (iprodione et/ou procymidone) sur salade, pêche/ nectarine, fraise, tomate, raisin de table et carotte ;
- les résidus de fongicides phtalimides (captane et/ou folpel) sur pomme, poire, pêche/nectarine, salade, raisin de table et fraise (en diminution, respectivement entre 2001-2003 et 2001-2004 pour ces deux derniers produits) et enfin, sur les choux-fleurs.

**Les insecticides organophosphorés** (OP) agissent sur le système nerveux central et périphérique. Les substances de cette famille ont une toxicité aiguë élevée et sont suspectées d'être impliquées dans des maladies neurodégénératives (Abou-Donia, 2003). Elles sont considérées comme préoccupantes depuis plusieurs années. Nous avons vu précédemment (§ 1.9.2.2) qu'elles avaient un mécanisme d'action commun et que des approches avaient été entreprises pour évaluer leurs effets cumulatifs, notamment aigus. Ces substances relativement anciennes sont très bon marché et ont été abondamment utilisées. Suite à la procédure de réévaluation des substances actives (Cf. Directive 91/414/CEE) de nombreux OP ont déjà été retirés du marché et le processus se poursuit. Le **chlorpyrifos** et le chlorpyrifos-méthyl (moins utilisé) (Directive 2005/72/CE), ont été inscrits sur la liste positive (annexe 1 de la directive 91/414/CEE) des substances actives autorisées, ainsi que le diméthoate et le phosmet (Directive 2007/25 CE). A ce jour, les autres OP inclus à l'annexe 1 ont des usages autorisés très limités. Ce sont le méthamidophos (Directive 2006/131/CE ; usage autorisé limité à la pomme de terre), l'éthoprophos et le pyrimiphos-méthyl (Directive 2007/52/CE ; usages autorisés ne concernant pas le traitement des F&L). Il est à noter que la diminution du nombre de substances de la famille des OP ne signifie pas forcément que de moins grandes quantités seront utilisées dans cette famille. Il peut se produire un phénomène de substitution et la substance autorisée verra sa consommation augmenter si son efficacité est reconnue et que son prix est attractif par rapport à d'autres substances présentes sur le marché. L'augmentation des résidus de chlorpyrifos sur pomme et sur raisin entre 2001 et 2004

12 http://www.minefi.gouv.fr/directions_services/dgccrf/securite/produits_alimentaires/controles_alimentaires/2007/pesticides_vegetaux.htm

peut relever en partie de ce type de processus, suite au retrait du marché de plusieurs insecticides OP fin 2003 et notamment du parathion-méthyl. Cet insecticide OP était autorisé d'usage en France sur pommier et vigne et n'a pas été recherché lors du programme de surveillance communautaire de 2001. Par ailleurs, compte tenu des résistances aux insecticides développées par le carpocapse du pommier, le chlorpyrifos reste, avec l'azinphos-méthyl (dont l'autorisation de mise sur le marché est retirée depuis le 01/01/07), un des rares insecticides encore efficace pour lutter contre ce ravageur (depuis l'exclusion du parathion-méthyl) (source : Sauphanor B, INRA-Avignon). Il est à noter que les résidus d'azinphos-méthyl ont également augmenté sur la pomme entre 2001 et 2004 sur les échantillons nationaux du programme communautaire (de 1% à 5,7%). On ne peut totalement exclure dans cette augmentation la possibilité d'une amélioration des techniques de détection, mais les laboratoires impliqués dans les contrôles en 2001 et 2004 étaient les mêmes, ainsi que les limites de détection indiquées.

Le problème des résidus de **fongicides de la famille des dithiocarbamates** sur salade et légumes feuilles est récurrent. Les dithiocarbamates sont très utilisés et représentent des volumes importants. Ils comprennent plusieurs substances, notamment le manèbe et le **mancozèbe.** Cette dernière molécule est la plus utilisée en France dans cette famille (5$^{e}$ substance active la plus consommée dans l'Union européenne des 15, en 1999 (Eurostat, 2002). Des expérimentations sur animaux ont montré que ces deux substances, ainsi que le métiram, qui fait partie de la même sous-famille des éthylène-bis-dithiocarbamates (EBDC), pouvaient avoir des effets toxiques sur la thyroïde et induire des cancers de la thyroide *via* un métabolite commun l'éthylènethiourée (ETU) (EPA Office of Pesticide Programs (OPP), 2001). Ces trois substances actives ont été inscrites à l'annexe 1 (Directive 2005/72/CE). Dans cette directive, il est demandé aux Etats membres d'accorder une attention particulière aux résidus de ces substances présents dans les denrées alimentaires et d'évaluer l'exposition alimentaire des consommateurs.

**L'iprodione et la procymidone** appartiennent à la famille des dicarboximides (imides cycliques) comme la vinclozoline. La vinclozoline est reconnue, *via* ses métabolites, comme un perturbateur endocrinien à activité anti-androgène. Son métabolite ultime, la 3, 5-dichloroaniline serait carcinogène. La procymidone et l'iprodione auraient également une activité anti-androgène mais ne semblent pas agir par le même mécanisme de toxicité (EPA, 2000). L'iprodione est inscrite à l'annexe 1 depuis 2003 (Directive 2003/31/CE), la procymidone est inscrite avec un usage très limité (Directive 2006/132/CE) et les autorisations de mise sur le marché des produits contenant de la vinclozoline sont supprimées depuis le 01/01/07.

**Le captane**, fongicide dont les résidus sont particulièrement présents sur la pomme et la poire, est inscrit à l'annexe 1, ainsi que le **folpel** (Directive 2007/5/CE).

Le type de molécule et les teneurs en résidus de pesticides dans les produits végétaux dépendent des autorisations d'usage selon le type de culture et sont notamment liés au mode de production, à la sensibilité des produits cultivés aux agresseurs et maladies et enfin aux conditions climatiques. Il est à noter que la culture du pommier, très développée en France est aussi celle qui nécessite le plus de traitements, soit en moyenne, en 1997, 17,6 traitements fongicides et 10,5 traitements insecticides/acaricides par an, avec des disparités régionales liées notamment au climat (INRA and Cemagref, 2005).

#### *1.9.3.2. Impact des traitements sur les résidus de pesticides*

Afin de protéger les consommateurs, les évaluations de risque de première étape considèrent les produits végétaux bruts, tels que récoltés ou mis à disposition sur le marché, c'est-à-dire avec leur peau et sans aucun traitement domestique ou industriel. Les F&L peuvent être lavés, épluchés, cuits, et subir différents traitements technologiques industriels. Tous ces traitements peuvent influencer leurs teneurs en pesticides. Par ailleurs la teneur des produits en résidus de pesticide peut évoluer au cours du stockage.

La répartition des pesticides dans un produit végétal dépend à la fois de la nature du pesticide (systémique ou pas), de ses propriétés physicochimiques et du support végétal sur lequel il se trouve. Cette répartition va conditionner notamment l'effet de l'épluchage et du lavage. Leurs propriétés physicochimiques, comme la solubilité dans l'eau, influencent également la redistribution des pesticides lors d'une préparation comme l'extraction d'un jus (Burchat et al., 1998). De nombreuses molécules sont disponibles sur le marché et les combinaisons "pesticide - produit végétal" sont multiples. Les effets des traitements selon toutes ces combinaisons sont difficiles à réaliser. Cependant, de nombreuses expérimentations ont été effectuées sur le devenir de plusieurs pesticides ou famille de pesticides, dans des produits végétaux modèles, sous l'effet du stockage ou de divers traitements. Par ailleurs, ce type d'essais est demandé par les instances réglementaires de nombreux pays pour les dossiers d'autorisation des pesticides. Il est à noter que les études disponibles dans la littérature concernent souvent des substances qui ne sont plus autorisées ou sont en voie d'exclusion dans l'Union européenne.

Une revue de la littérature et des rapports annuels sur l'évaluation des pesticides du comité conjoint d'experts FAO/OMS sur les résidus de pesticides dans les aliments (JMPR) a été réalisée par Holland et al. en 1994. Elle montre que d'une manière générale le stockage et les différents traitements que peuvent subir les F&L entre leur récolte et leur consommation conduisent à une réduction nette de leur teneur en résidus de pesticides, notamment à travers les opérations d'épluchage, de lavage, de blanchiment et de cuisson. Les procédés de transformation industriels de la conserverie combinent plusieurs traitements, dont ceux cités précédemment, qui aboutissent à des réductions importantes des teneurs en résidus de pesticides des produits de départ. Ces résultats sont confirmés par des études récentes réalisées avec divers produits végétaux et pesticides (Chavarri, Herrera, and Arino, 2004; Chavarri, Herrera, and Arino, 2005; Christensen, Granby, and Rabolle, 2003; Zabik et al., 2000). Cependant, elles font également apparaître des disparités dans l'efficacité des traitements, comme l'inefficacité du lavage pour éliminer les résidus de chlorpyrifos de la pomme ou d'autres végétaux (Krol et al., 2000; Rasmusssen, Poulsen, and Hansen, 2003) et des augmentations possibles des teneurs en résidus suite à certaines transformations, comme l'augmentation de la concentration des résidus de procymidone et de vinclozoline dans la compote de pêche (Balinova, Mladenova, and Shtereva, 2006).

Par ailleurs, l'efficacité de ces traitements varie selon les conditions dans lesquelles ils sont réalisés. Ainsi, le lavage à température élevée peut être plus efficace que celui à basse température et le lavage domestique s'avère souvent moins efficace que le lavage commercial, qui est plus performant et utilise des produits d'addition. L'impact sur la teneur en résidus de pesticides peut également être modulé selon le mode de cuisson. Ainsi, les résidus de chlorothalonil (fongicide) sont réduits de 85 à 98% par vaporisation lors d'une cuisson dans un récipient ouvert alors qu'une cuisson en condition fermée conduit à l'hydrolyse avec 50% du chlorothalonil se retrouvant inchangé sur le produit alimentaire et le produit de l'hydrolyse se retrouvant dans le jus de cuisson (Holland et al., 1994).

Enfin, certains procédés de transformation peuvent conduire à la formation de produits de dégradation ou métabolites plus toxiques que la molécule parente (Holland et al., 1994; Petersen, Tomerlin, and Barraj, 1996). La présence possible de ces produits de dégradation pose le problème de la pertinence des substances recherchées lors des contrôles réglementaires ou industriels. L'exemple le plus connu est celui de la formation d'éthylènethiourée (ETU), un carcinogène potentiel, formé à partir des EBDC (Cf. § 1.9.3.1). Les conditions qui favorisent cette conversion sont la chaleur et un pH élevé. L'ETU se retrouve notamment dans les conserves (Holland et al., 1994; Kontou, Tsipi, and Tzia, 2004; Petersen, Tomerlin, and Barraj, 1996). Ce métabolite peut se trouver également sur les produits végétaux bruts. Les techniques de lavage sont assez efficaces pour l'élimination des EBDC et de l'ETU.

Les résultats des programmes de surveillance et de contrôle nationaux des Etats membres de l'Union européenne sur les produits transformés montrent également une nette diminution de la présence de résidus de pesticides par rapport aux produits végétaux frais. Ainsi, en 2004, sur 3678 échantillons analysés, 24% présentaient des concentrations en résidus de pesticides inférieures ou égales aux LMR nationales ou communautaires (*vs* 42% pour les F&L frais) et 1,2% des échantillons avaient des teneurs supérieures aux LMR (*vs* 5% pour les F&L frais).

***. Facteurs de transformation***

Afin d'affiner l'évaluation de l'exposition de la population aux pesticides, *via* la consommation des produits alimentaires, des facteurs de transformation peuvent être appliqués. Ces facteurs prennent en compte différents traitements que peut subir le produit et ont été établis notamment à partir des tests inclus dans les dossiers d'autorisation des pesticides. Cependant, ces facteurs ne sont pas toujours disponibles et, dans la mesure où ils le sont, des lacunes peuvent être à combler compte tenu du nombre de combinaisons possibles pesticide-produit et procédés de transformation.

Le règlement CE/396/2005 mis en place par l'Union européenne prévoit une annexe VI dédiée aux facteurs de transformation. Actuellement, dans le processus d'inscription des substances actives à l'annexe 1 de la directive 91/414/CEE (autorisation européenne des substances actives, Cf. § 1.9.1), des études sont réalisées sur le devenir des substances actives en fonction de différents traitements, dans différentes conditions (température, pH, durée) et les métabolites qui pourraient se former suite à ces traitements sont recherchés. Par ailleurs, l'impact des procédés usuels (lavage, chauffage, procédé de fabrication…) sur les niveaux de résidus sont évalués. Ces études ne concernent pas toutes les substances actives. Elles ne concernent que celles qui peuvent être présentes à des niveaux quantifiables sur le produit végétal avant sa transformation. Chaque étude de transformation (ex : préparation d'un jus de fruit) est effectuée selon sa propre méthodologie, il n'existe pas de lignes directrices harmonisées. Par conséquent, les facteurs de transformation découlant de ces études peuvent être très variables pour un même processus. Ces facteurs de transformation sont actuellement disponibles au niveau des monographies et devraient à plus ou moins long terme figurer dans les données rendues publiques au moment de l'inscription des substances actives à l'Annexe I de la directive 91/414 CEE (source: Vergnet C., Afssa-DiVE).

### *1.9.3.3. Evaluation de l'exposition à partir des données du plan de surveillance communautaire*

Sur la base des données et informations transmises par les Etats membres, concernant le programme communautaire, une analyse de risques sanitaires aigus ou chroniques encourus par les consommateurs du fait de ces résidus de pesticides est effectuée et consignée dans le rapport annuel européen.

***. Risque chronique***

Selon la méthodologie d'évaluation de l'exposition présentée précédemment (§ 1.9.2.2), aucun des pesticides recherchés (de 36 à 47 selon l'année) dans aucun des produits végétaux suivis dans les plans de surveillance communautaires n'ont dépassé la valeur toxicologique de référence utilisée pour évaluer le risque chronique (DJA) de 2001 à 2004. L'ingestion maximale de pesticide par produit a été respectivement de 11%, 10%, 0,2% et 5,4% de la DJA.

***. Risque aigu***

Selon la méthodologie d'évaluation de l'exposition présentée précédemment (§ 1.9.2.2), la dose de référence a été dépassée pour un certain nombre de pesticides, notamment chez les enfants. En 2003, par exemple, dans le raisin de table, cette dose a été dépassée pour 4 pesticides. Il s'agit de 2 insecticides organophosphorés, le chlorpyrifos et le diméthoate (pour les enfants) d'un insecticide pyréthrinoïde, la lambda-cyhalothrine (pour les enfants) et enfin d'un insecticide carbamate, le méthomyl (pour les adultes et les enfants). Tous ces pesticides agissent sur le système nerveux.

Le tableau 1.9-3 présente les pesticides et les produits dans lesquels la dose de référence aiguë (ARfD), de l'OMS ou de l'UE, a été dépassée en 2004 pour l'ensemble du programme[13]. Pour les 8 pesticides pour lesquels l'ARfD a été dépassée, des évaluations d'exposition ont été réalisées pour les concentrations en dessous du maximum détecté afin d'identifier d'autres échantillons pouvant conduire au dépassement de l'ARfD. L'ARfD a été dépassée pour 6 pesticides dans la laitue et pour 3 dans la

[13] Le programme communautaire de 2004 portait sur pomme, tomate, salade, fraise, poireau, chou pommé ainsi que sur jus d'orange et seigle/avoine. http://ec.europa.eu/food/fvo/specialreports/pesticide_residues/report_2004_en.pdf

pomme, et cela a concerné uniquement les petits enfants (6-12 mois) ou enfants de 4-6 ans pour 6 pesticides, les adultes n'étant concernés que pour 2 insecticides organophosphorés. Il est à noter que l'ARfD a été dépassée pour l'oxydéméthon-méthyl pour 0,5% (5/997) et 1% (15/1554) des échantillons respectifs de laitues et de pommes dans lesquels cet insecticide organophosphoré a été recherché.

Le rapport souligne que ces résultats proviennent d'une évaluation qui doit être considérée à titre indicatif, effectuée pour des scénarios de "pire cas" basés sur les concentrations maximales de résidus de pesticide détectées, combinées avec des consommations élevées (comme 180 g de pomme chez l'enfant de 6-12 mois ou 73 g de salade chez l'enfant de 4-6 ans, selon le modèle du Royaume-Uni utilisé dans cette évaluation) et des poids corporels bas. Il est à noter, comme le reconnaît le Panel de l'EFSA sur les produits phytopharmaceutiques et leurs résidus (PPR panel), que le dépassement de l'ARfD ne conduit pas forcément à un effet toxique, compte tenu des facteurs de sécurité appliqués pour construire les VTR, et que ce mode de calcul déterministe ponctuel d'estimation de l'exposition ne permet pas d'évaluer l'ingestion de pesticides par la population générale ou les sous-groupes de population (EFSA and PPR, 2007).

Par ailleurs, il faut tenir compte du statut légal des substances actives qui font l'objet de la directive 91/414 CEE dont le processus en cours conduit à l'exclusion de certaines substances ou à des restrictions d'usage. Ainsi, l'oxydéméthon-méthyl n'a pas été inclus à l'annexe 1, suite à sa réévaluation (Décision 2007/392/CE) et le méthidathion est exclu depuis fin 2004 avec quelques usages limités, notamment en France, qui s'achèveront en décembre 2007.

**Tableau 1.9-3.** Combinaisons pesticide-produit pour lesquelles l'ARfD a été dépassée dans l'évaluation de l'exposition réalisée à partir des données du programme de surveillance communautaire 2004[a]

| Pesticide | Produit | % ARfD | % d'échantillons >ARfD |
|---|---|---|---|
| Deltaméthrine<br>In PYR | laitue | 157 (enfant 4-6 ans) | 0,05% |
| Diméthoate<br>In OP | chou | 106[b] (petit enfant)[c] | 0,1% |
| Lambda-cyhalothrine<br>In PYR | laitue | 157 (enfant 4-6 ans) | 0,05% |
| Groupe manèbe<br>Fn DTC | laitue | 107-160<br>Probinèbe[d]<br>(enfant 4-6 ans) | ≤ 0,7% |
| Groupe manèbe<br>Fn DTC | pomme | 235<br>Probinèbe[d]<br>118<br>Manèbe[d]<br>(petit enfant) | ≤ 0,07% |
| Méthamidophos<br>In OP | laitue | 60-456 (adulte)<br>108-823 (enfant 4-6 ans) | 0,2% |
| Méthidathion<br>In OP | pomme | 216 (petit enfant) | 0,03% |
| Méthomyl<br>In CB | laitue | 107 (enfant 4-6 ans) | 0,1% |
| Oxydéméthon-méthyl<br>In OP | laitue | 62-651 (adulte)<br>112-1175 (enfant 4-6 ans) | 0,5% |
| Oxydéméthon-méthyl<br>In OP | pomme | 22-718 (adulte)<br>147-4702 (petit enfant) | 1,0% |

In=insecticide, Fn=fongicide ; PYR=pyréthrinoïde ;
OP=organophosphoré ; DTC=dithiocarbamate ; CB=carbamate
[a]Les consommations et les poids corporels utilisés dans ces évaluations sont ceux du Royaume-Uni. Ces expositions doivent être considérées à titre indicatif [11]
[b]Un facteur a été appliqué pour tenir compte de la réduction des résidus au cours de la cuisson
[c]Enfants de 6-12 mois selon le modèle du Royaume-Uni
[d]Les pesticides du groupe manèbe (DTC) sont dosés ensemble *via* un résidu commun, le $CS_2$. Propinèbe et manèbe sont deux pesticides de la famille des DTC dont les ARfD sont différentes, le calcul diffère donc selon que l'on estime que le groupe dosé ne renferme que l'un ou l'autre de ces pesticides.

### *1.9.3.4. Etudes d'exposition*

***. En France***

**Les études d'évaluation de l'exposition aux pesticides via la consommation de F&L** disponibles en France sont plutôt anciennes. Elles ont été réalisées selon une approche déterministe, pour évaluer l'exposition chronique, selon un scénario pessimiste maximaliste. Cette **approche théorique** considère que tous les fruits ou légumes consommés ont été traités avec l'ensemble des pesticides autorisés pour leur culture et contiennent des concentrations de résidus égales aux LMR en vigueur. Elle n'introduit pas de facteurs de correction pour tenir compte de traitements comme le lavage, l'épluchage ou encore la cuisson, pouvant conduire à une diminution des teneurs en pesticides. Une estimation a été réalisée à partir des consommations françaises de l'ensemble des fruits et légumes et pour 167 pesticides (CREDOC and OCA, 1992; CREDOC and OCA, 1994). Les expositions potentielles journalières moyennes (exposition journalière maximale théorique) à chaque pesticide ont été comparées à leurs DJA spécifiques en se basant sur le poids corporel d'un adulte de 60 kg. Selon cette estimation, 22 pesticides présentaient une exposition potentielle moyenne supérieure à la DJA dont 15 entre 100% et 200% de la DJA et 7 >200% de la DJA. A l'heure actuelle, 16 de ces pesticides ne sont plus ou ne seront plus, à court terme, autorisés. Ces pesticides étaient majoritairement des insecticides organophosphorés (12), dont un seul à ce jour est encore autorisé mais sans usage sur les F&L (pyrimiphos- méthyl). Il est à noter que l'oxydéméthon-méthyl (Cf. tableau 1.9-3), dont l'exclusion est récente (Décision 2007/392/CE), figurait dans les pesticides dépassant les 200% de la DJA ainsi que le fongicide captane (Cf. § 1.9.3.1). Concernant le captane, comme sur les données de 2004, cette substance était très présente sur pomme puisque ce fruit était le produit qui contribuait le plus à l'exposition au captane, suivi de la tomate et, dans les mêmes proportions, de la poire, du poireau, de la laitue, du raisin et de la pêche.

En 1996, une autre étude a été réalisée sur l'exposition *via* la consommation de F&L à 20 de ces 22 pesticides, auxquels ont été ajoutés 4 pesticides (dont 3 insecticides OP), pour lesquels l'exposition journalière maximale théorique avait dépassé 100% de la DJA, dans une étude intermédiaire. L'estimation a été rendue plus "réaliste" en intégrant des données de teneurs réelles en pesticides issues des plans de surveillance de la DGCCRF pour 16 d'entre eux. La LMR a été utilisée pour estimer les teneurs en résidus des 8 autres pesticides. Ces estimations affinées restent encore surévaluées mais inférieures à celles des années précédentes pour les mêmes pesticides dans les mêmes produits alimentaires, notamment en raison de la diminution de certaines LMR autorisées. Les pesticides pour lesquels la DJA a été dépassée concernaient 8 pesticides dont 6 insecticides organophosphorés actuellement non autorisés, incluant toujours l'oxydéméthon- méthyl.

Plus récemment, une étude selon l'approche théorique maximaliste, utilisée dans l'étude CREDOC-OCA (1992/1994) a été entreprise, dans le cadre de l'étude de faisabilité concernant l'Observatoire des résidus de pesticide (ORP), afin de permettre l'identification des substances prioritaires à surveiller (AFSSA, AFSSE, and IFEN, 2004). Lors de cette étude, ont été utilisées les LMR en vigueur, pour les concentrations de résidus, et les données de consommation individuelles de l'enquête INCA (Volatier, 2000), plus complètes que les données de consommation utilisées dans l'étude CREDOC-OCA. A la différence de la précédente étude, qui ne les incluait pas, les aliments complexes ont été décomposés en leurs constituants respectifs pour lesquels existait une LMR. Le risque chronique à environ 300 substances actives a été estimé pour les adultes (>15 ans) et les enfants (<15 ans) **via la consommation des F&L mais aussi de céréales, d'aliments d'origine animale et de l'eau.** Ce dernier aliment s'est révélé être un très faible contributeur à l'exposition. Cette étude a mis en évidence une exposition supérieure à la DJA (>100% de la DJA) chez les enfants, pour 32 pesticides en usage, soit 10 pesticides de plus que chez les adultes. Sur ces 32 substances, 21 d'entre elles ont été exclues (retrait du marché au plus tard fin 2007 pour certaines molécules), 6 sont inscrites à l'annexe 1 et 5 sont en cours de révision. La majorité de ces substances était des insecticides organophosphorés (17). Parmi les 11 substances non exclues figurent: 2 pesticides dont les résidus sont fréquemment trouvés lors des programmes de surveillance, l'insecticide organophosphoré chlorpyrifos et le fongicide imazalil (Cf. § 1.9.3.1) ; 2 autres insecticides organophosphorés, le chlorpyrifos-méthyl (inscrit avec le chlorpyrifos à l'annexe 1) et le pyrimiphos-méthyl (sans usage sur F&L) ; 2 acaricides, dont le dicofol**,** molécule

chlorée de la famille des carbinols (2,3% des échantillons analysés (≈2500) en France en 2003 contenaient des résidus [source: DGCCRF]); un fongicide de la famille des dithiocarbamates, le thirame (inscrit à l'annexe1); et enfin 4 substances, 2 ayant peu de chance de se trouver dans les F&L (2 herbicides) et 2 non utilisées sur F&L.

Par ailleurs, dans le cadre de l'étude de faisabilité de l'ORP (AFSSA, AFSSE, and IFEN, 2004), une **tentative d'évaluation plus réaliste de l'exposition chronique alimentaire à 8 molécules tests** a été entreprise. Les données de consommation de l'étude INCA, représentatives de la population générale, et les données des plans de surveillance et de contrôle nationaux des **produits végétaux, animaux et de l'eau** ont été utilisés. Les hypothèses émises ont été protectrices, tendant à une surestimation de l'exposition. Ainsi, il a été admis que toutes les cultures disposant d'une LMR avaient effectivement été traitées par la substance active, que pour une culture traitée tous les produits végétaux présents sur le marché avaient été traités par la substance active, et enfin il n'a été tenu compte d'aucun facteur de transformation. Les résidus non détectés ont été considérés selon 3 hypothèses usuelles pour traiter ce type de données. Une hypothèse haute considérant que tout résidu de pesticide non détecté se trouve dans l'aliment à une teneur égale à la LOD ou à la LOQ indiquée par le laboratoire ; une hypothèse basse attribuant la valeur zéro aux résidus non détectés et une hypothèse intermédiaire (½ LOD ou ½ LOQ). Pour cette évaluation, des hypothèses (haute et basse) ont également été nécessaires pour estimer la teneur en résidus des cultures pour lesquelles aucune donnée de contamination n'était disponible. Il ressort de cette étude que, selon l'estimation la plus basse, la DJA n'a jamais été dépassée pour aucune des 8 molécules retenues, même aux fortes expositions (95$^{e}$ percentile), et que, pour l'estimation la plus haute, la DJA a été dépassée à la fois pour le 95$^{e}$ percentile et pour l'exposition médiane à l'aldicarbe, un insecticide de la famille des carbamates. Cette substance active n'est plus autorisée en agriculture dans l'Union européenne (Décision 2003/199/ CE). Il est à noter que sur les 8 molécules retenues, 4 ont été exclues depuis, suite à leur révision, et 4 sont inscrites à l'annexe 1 de la directive 91/414/CEE. Les quatre substances autorisées sont : le carbendazime (considéré dans l'étude au sens du groupe bénomyl, c'est-à-dire y compris le thiophanate-méthyl) insecticide(s) systémique(s) dont les résidus étaient fréquemment trouvés dans les F&L (Cf. § 1.9.3.1), l'iprodione (également fréquemment détecté) le folpel et le chlorothalonil (fongicide de la famille des chloronitriles). L'exposition à ces 4 pesticides a donc été, selon l'hypothèse la plus défavorable, respectivement de 11,7%, 10,8%, 3,5% et 4,4% de la DJA. Il est à noter que l'exposition à la vinclozoline, dont l'utilisation s'achèvera fin 2007, représentait 39,2% de la DJA. Selon ses auteurs, les résultats de cette étude de faisabilité sont à considérer avec précaution et ne peuvent exprimer l'exposition de la population française. Elle a permis de pointer les améliorations à mettre en place pour l'acquisition des données dans un but d'évaluation globale de l'exposition aux pesticides (Cf. § 1.9.4).

Une étude a été réalisée par l'AFSSA pour évaluer l'**exposition des nourrissons et des enfants en bas âge (3 à 18 mois)** aux résidus de pesticides apportés par l'alimentation (Even, Berta, and Volatier, 2002). Les nourrissons et jeunes enfants sont particulièrement sensibles aux substances toxiques et leurs niveaux d'exposition alimentaire sont plus élevés que ceux des adultes en raison des niveaux de consommation plus élevés par unité de poids corporel. En conséquence, les aliments infantiles sont soumis à une LMR ≤0,01 mg/kg (Directives 1999/39/CE et 1999/50/CE) (Cf. § 1.9.3.1). Cependant les jeunes enfants ne sont pas exclusivement nourris avec des préparations industrielles infantiles et consomment des aliments à base de F&L frais. Une évaluation de l'exposition aux pesticides *via* la consommation des F&L des aliments infantiles ou courants, a été réalisée en utilisant les données de concentration des F&L issues des plans de surveillance nationaux (1997-1998), la LMR de 0,01 pour les produits infantiles à base de végétaux, et des données spécifiques françaises de consommation journalières moyennes de ces aliments par les enfants de ces tranches d'âge. La limite de quantification (LOQ) ou ½ LOQ a été retenue pour les échantillons sans résidus détectables. Dans l'hypothèse la plus défavorable, l'exposition chronique journalière moyenne était supérieure à la DJA pour six pesticides. On retrouve, 4 pesticides déjà mentionnés dans l'étude CREDOC-OCA (1992/94) dont 3 insecticides organophosphorés (non autorisés actuellement) comprenant l'oxydéméthon-méthyl. Cette approche a été effectuée selon un scénario pessimiste et présente les mêmes limites que l'étude réalisée dans le contexte de l'ORP. Peu d'échantillons avaient des résidus détectables et le calcul d'exposition est largement influencé par les échantillons aux résidus non détectables. Par ailleurs, aucun facteur de transformation n'a été utilisé.

**En conclusion**, en France métropolitaine, les études d'évaluation de l'exposition aux pesticides *via* la consommation des F&L sont anciennes. Elles ont été réalisées selon l'approche déterministe, par pesticide, en utilisant une approche théorique maximaliste (concentration en résidus supposées égales aux LMR). Ces études avaient essentiellement pour but de sélectionner les substances actives prioritaires à surveiller. Elles ne prétendaient pas mesurer l'exposition réelle de la population française. Quelques études plus récentes, dont celle réalisée notamment dans le contexte de l'étude de faisabilité de l'ORP, se sont appuyées sur des données réelles de contamination issues des plans de surveillance nationaux. Ces études ont surtout révélé des points à améliorer pour évaluer l'exposition aux pesticides en France. Il est à noter que toutes ces études ne considèrent que l'exposition chronique, l'exposition aiguë, dont l'évaluation est plus récente, n'est pas abordée. Par ailleurs, la **législation est en constante évolution et la plupart des molécules qui ont pu être identifiées comme préoccupantes ont souvent été retirées du marché des PPP européen,** suite à leur révision, y compris dans le cas des molécules identifiées dans les études les plus récentes. Cependant, ces pesticides peuvent contaminer certains produits alimentaires en provenance de pays où ils sont encore utilisés. Par ailleurs, dans le cadre d'une exposition globale aux pesticides *via* les différentes sources de contamination, il faut considérer l'éventuelle persistance et présence de ces substances ou de leurs métabolites dans l'environnement. Par exemple, cela est le cas pour l'atrazine, herbicide abondamment utilisé, retiré du marché en France depuis 2003 et qui contamine encore les ressources en eau. Les pesticides persistants et/ou bioaccumulables ne sont plus autorisés à l'usage et certains d'entre eux font partie des polluants organiques persistants (POP) faisant l'objet de la convention de Stockolm (2001)[14] des Nations unies. Les molécules qui sont retirées actuellement du marché ne présentent donc pas ces caractéristiques. En ce qui concerne les insecticides organophosphorés, ces substances sont vite dégradées, notamment par rapport aux insecticides organochlorés qui les ont précédés. Les pesticides organochlorés, en raison de leur grande persistance et de leurs propriétés de bioaccumulation, sont toujours recherchés dans les programmes de surveillance des produits alimentaires d'origine animale et dans les programmes de biosurveillance chez l'homme (Cf. § 1.9.3.5). Le cas du chlordécone aux Antilles est une illustration du risque encouru avec les substances persistantes (Cf. § 1.9.2.1).

***. Cas spécifique de l'exposition alimentaire au chlordécone aux Antilles***

L'AFSSA a réalisé une première évaluation de l'exposition alimentaire au chlordécone de la population martiniquaise (AFSSA, 2005). Le chlordécone, substance chlorée très stable, se dégrade difficilement et imprègne les sols des anciennes bananeraies dans lesquelles il a été utilisé. Ces terres ont été reconverties à la culture vivrière. Le chlordécone peut contaminer certaines denrées végétales ou animales et les eaux de captage. L'évaluation de l'exposition conduite selon différents scénarios réalistes, se basant sur les données de consommation et de contaminations disponibles, a permis d'identifier les principaux aliments vecteurs contribuant à l'exposition de la population. Les aliments les plus contaminés identifiés sont des légumes racines/tubercules mais d'autres aliments, moins contaminés, peuvent être de forts contributeurs à l'exposition en raison de leur forte consommation (concombre, tomate, melon et chair de poulet). Par ailleurs, certains aliments d'origine animale, comme le tilapia et le crabe, peuvent être fortement contaminés mais ils sont consommés de façon occasionnelle. L'estimation de l'exposition chronique en zone contaminée, sous l'hypothèse d'absence de limite maximale de contamination, conduit à un dépassement de la VTR pour 30%, 20% et 15% des individus de l'échantillon, respectivement, des enfants de 3-5 ans, des enfants de 3-15 ans et des adultes, avec une exposition maximum représentant 350% de la VTR chez les enfants (3-15 ans) et 260% chez les adultes. Les auteurs soulignent l'incertitude sur les niveaux de contamination réels des aliments (nombre de données analytiques faible), compensée en partie par les hypothèses de travail définies de façon à surestimer plutôt qu'à sous-estimer l'exposition, ainsi que le manque de données de contamination et de consommation chez les plus jeunes enfants. L'AFSSA a proposé des limites maximales de contamination provisoires sur les huit aliments vecteurs qui contribuent le plus à l'exposition afin de réduire l'exposition chronique en dessous de la VTR. Elle a également fixé une limite maximale, pour les autres aliments, garantissant que le seuil d'exposition aiguë ne serait pas dépassé. L'AFSSA a, de plus, formulé des recommandations de consommation de certains légumes

[14] http://www.pops.int/

racines issus des jardins familiaux (sur sol contaminé), qui sont relayées au niveau local par une campagne d'information en cours. Les résultats de différentes enquêtes en cours sont attendus pour affiner ces évaluations et proposer éventuellement de nouvelles limites pour les résidus de contamination.

#### *1.9.3.4.2. Autres études*

Comme il a déjà été signalé, les consommateurs peuvent être exposés *via* leur alimentation à plusieurs pesticides à travers plusieurs produits et certaines approches ont été entreprises pour estimer cette exposition. Nous présenterons ici les résultats de ces expériences réalisées en Europe, en gardant à l'esprit que ces méthodologies font actuellement l'objet de discussions et ne sont pas consensuelles.

La première approche sur l'exposition cumulative aux pesticides, effectuée aux Etats-Unis, concernait les insecticides organophosphorés identifiés comme ayant un mécanisme commun de toxicité, l'inhibition de l'acétylcholinestérase au niveau des synapses, dans le système nerveux central et périphérique (Cf. § 1.9.2.2). Les insecticides carbamates qui agissent également sur le système nerveux par inhibition de l'acétylcholinestérase n'ont pas été considérés par l'EPA comme ayant un mécanisme commun de toxicité avec les insecticides organophosphorés, en raison de différences pharmacocinétiques et pharmacodynamiques dans leur processus d'action et d'élimination. Les approches réalisées en Europe, notamment aux Pays-Bas et au Danemark, se sont tout naturellement portées sur ces insecticides anticholinestérasiques. Cependant, au contraire des Etats-Unis, les insecticides organophosphorés et carbamates ont été considérés comme ayant un mécanisme commun de toxicité. Les évaluations ont été effectuées en combinant les éléments de la méthodologie de l'EPA et d'autres éléments permettant d'évaluer le pouvoir toxique relatif de chaque substance du groupe par rapport à l'une d'entre elles retenue comme référence. Différentes substances de référence furent retenues. Les données de contamination issues des plans de surveillance nationaux et les données de consommation nationales ont été utilisées. Les échantillons ne contenant pas de résidus détectés ont été traités selon 2 scénarios, optimiste ou pessimiste. Des facteurs de correction (épluchage, lavage, cuisson…) ont été appliqués pour affiner l'évaluation. Le Danemark a effectué une évaluation déterministe de l'exposition cumulative chronique et aiguë selon la méthodologie de l'OMS. Les Pays-Bas utilisent, pour déterminer l'exposition aiguë, une approche probabiliste prenant en compte l'ensemble des concentrations en résidus et l'ensemble des consommations de différents produits. Un logiciel a été mis au point à cet effet (Monte Carlo Risk Assessment (MCRA).

**Selon l'approche danoise** (Jensen, Petersen, and Granby, 2003), réalisée à partir des données des plans de surveillance 1996-2001, pour 35 pesticides, et en considérant les groupes adulte et enfant (1-14 ans) ni la DJA, ni l'ARfD de la molécule prise comme référence ne furent dépassées, donnant à penser que la population danoise n'était exposée ni au risque cumulatif chronique ni au risque aigu des pesticides organophosphorés et carbamates *via* la consommation de F&L et de céréales.

**Dans l'approche des Pays-Bas** (Boon and van Klaveren, 2003), réalisée à partir des données des plans de surveillance 2000-2001, pour 40 pesticides et en considérant la population générale et les enfants (1-6 ans), on constate que les résultats de la caractérisation du risque pouvaient différer selon la substance de référence (acéphate ou phosmet) utilisée pour calculer le pouvoir toxique relatif des pesticides impliqués dans l'évaluation. Selon les valeurs des ARfD de l'OMS en usage en 2002[15], les enfants de 1-6 ans étaient exposés à des doses pouvant dépasser l'ARfD du phosmet aux percentiles les plus élevés de la distribution de l'exposition (P99,5 et P99,9), ce qui n'était pas le cas lorsque l'acéphate était utilisé comme référence. Cependant, les seuils toxicologiques ne sont pas dépassés avec la nouvelle valeur de l'ARfD du phosmet, revue en 2003 par l'OMS[16]. Il est à noter que l'ARfD de l'acéphate a également été revue à la hausse en 2005 par l'OMS[17]. *Cela montre que les VTR évoluent à la lumière de nouveaux résultats expérimentaux et cela conditionne évidemment la caractérisation du risque***.** Dans cette étude, la contribution des produits qui participaient le plus à

[15] http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpeval/jmpr2002.htm
[16] http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/924166519X.pdf
[17] http://www.who.int/ipcs/publications/jmpr/pesticide_inventory.pdf

l'exposition dépendait également de la substance de référence utilisée. Plusieurs points sont discutés dans cet article et montrent la nécessité de l'action internationale entreprise par l'Union européenne visant à élaborer une méthodologie harmonisée pour l'évaluation du risque cumulatif des pesticides.

Par ailleurs, il est à noter que dans cette étude, 6% des échantillons présentaient au moins 2 résidus de pesticides différents avec une prédominance sur les échantillons d'agrumes (oranges et mandarines). Il faut toutefois garder à l'esprit que ces échantillons sont constitués de plusieurs unités. La multitude des résidus d'insecticides organophosphorés possibles sur oranges/mandarines ressort également sur les résultats des plans de surveillance communautaires en France (tableaux 1.9-1 et 1.9-2). Le raisin s'est révélé être le produit qui a le plus contribué à l'exposition alimentaire aux insecticides anticholinestérasiques et 2 insecticides organophosphorés (parathion et monocrotophos), à présent interdits d'usage, étaient les plus impliqués dans l'exposition à ce groupe d'insecticides. Une étude a récemment été réalisée par la même équipe[18] (communication) pour évaluer l'exposition alimentaire aiguë aux insecticides organophosphorés en utilisant les résultats des plans de surveillance 2003-2005 des Pays-Bas et l'acéphate comme pesticide de référence. Elle montre que, selon la méthodologie utilisée, l'exposition de la population de ce pays semble conforme, pour la période considérée, que les produits qui contribuent le plus à l'exposition aux organophosphorés sont les épinards et les agrumes et que les pesticides les plus impliqués dans cette exposition sont le méthamidophos, le méthidathion, le diméthoate et ométhoate. *On remarquera l'évolution des pesticides les plus déterminants dans l'exposition entre ces deux études, qui est notamment due à l'évolution de la législation et des usages* (le parathion et le monocrotophos ont été respectivement retirés du marché en 2002 et 2003).

**Une étude réalisée au Royaume-Uni** (Pennycook et al., $2004_a$) a évalué l'exposition aiguë des enfants de 1,5 à 4,5 ans à certains pesticides (dithiocarbamates, phosmet et carbendazime) *via* la consommation de pommes ou de poires. Les auteurs utilisèrent une approche probabiliste introduisant des facteurs de variabilité pour tenir compte de la distribution possible non homogène des résidus dans un échantillon composite (10 unités) et ont choisi un scénario de pire cas, *i.e.* celui dans lequel la concentration en résidu serait retrouvée dans un seul fruit, consommé par un enfant sur 10 dans la population d'enfants consommateurs du fruit. L'évaluation de l'exposition a été réalisée à partir des données des plans de surveillance du Royaume-Uni de 2000 à 2002, des données de consommation individuelles et des poids corporels des enfants de la tranche d'âge considérée. Selon ce modèle protecteur, le nombre d'enfants qui auraient pu être exposés à une dose excédant l'ARfD, *via* la consommation de pomme ou de poire, se situait entre 10 et 226,6 enfants par jour, selon le pesticide et l'année du plan de surveillance. Ces résultats sont donnés à titre indicatif. Certains points ont été controversés (Pennicook et al, $2004_b$), notamment le facteur de variabilité utilisé (trop élevé) et la validité ou la valeur des l'ARfD, dont celle du phosmet (trop basse et qui a été révisée à la hausse, Cf. ci-avant).

### *1.9.3.5. Les études de biosurveillance*

Les études de biosurveillance (qui s'appuient sur des marqueurs biologiques) donnent des informations sur l'exposition totale aux pesticides à partir de différentes sources et différentes voies (orale, dermique et par inhalation). Dans la population générale, il est reconnu que l'alimentation est la plus forte contributrice à cette exposition. Cependant l'exposition par l'usage des pesticides dans les activités de jardinage ou des biocides dans les habitations n'est probablement pas négligeable. De plus, la population résidant en zone agricole peut être exposée *via* le compartiment aérien. Cette source d'exposition apparaît comme non négligeable en zone viticole et arboricole (INVS, 2006). En milieu professionnel, les expositions par inhalation et voie cutanée peuvent être prépondérantes. Les marqueurs d'expositions utilisés sont généralement la molécule elle-même ou ses métabolites. Leur dosage, effectué dans les liquides biologiques (sang, urine), permet de connaître la dose interne d'exposition des individus.

[18] http://www.rikilt.wur.nl/UK/

Les principaux pesticides recherchés dans les études de biosurveillance sont les anciens pesticides organochlorés, les insecticides organophosphorés et, plus récemment, les insecticides pyréthrinoïdes. Les pesticides organochlorés marquent une contamination ancienne et sont dosés dans le sang. Les insecticides organophosphorés ou les pyréthrinoïdes de synthèse, rapidement métabolisés dans l'organisme, sont généralement dosés *via* leurs métabolites urinaires. Leur présence signe une contamination récente. L'exposition aux insecticides organophosphorés est évaluée *via* des métabolites communs urinaires (dialkylphosphates) qui ne permettent pas d'identifier la substance parente. Certains insecticides organophosphorés, notamment le chlorpyrifos (+ chlorpyrifos-méthyl) et le parathion (+ parathion-méthyl) ont été dosés *via* leurs métabolites spécifiques respectifs (Barr et Angerer, 2006; Angerer et al., 2007). Les métabolites des insecticides organophosphorés et pyréthrinoïdes, non toxiques, peuvent être présents dans l'environnement en tant que produits de dégradation de ces substances. En conséquence, leur présence dans l'organisme peut ne pas refléter uniquement une exposition à la molécule parente et une surestimation de l'exposition est possible (Needham et al., 2007).

Deux principaux programmes de biosurveillance, incluant des pesticides, et portant sur des échantillons représentatifs de la population générale, sont conduits aux Etats-Unis (Needham et al., 2007) et en Allemagne (Angerer et al., 2007) et ont permis de dégager certains résultats concernant l'exposition aux pesticides organophosphorés et pyréthrinoïdes de synthèse, largement employés en agriculture.

Aux Etats-Unis, les CDC (Centers for Disease Control and prevention) conduisent un programme de biosurveillance sur un échantillon représentatif de la population américaine dont les résultats ont fait l'objet d'un troisième rapport (CDC, 2005)[19] concernant la période 2001-2002 et la période précédente 1999-2000. En Allemagne, le "German Environmental Surveys" (GerES) est une étude de population reconduite périodiquement depuis le milieu des années 80 faisant partie d'un système de surveillance environnemental en relation avec la santé. Ce système de surveillance inclut des résultats sur l'air ambiant et recueille des informations complémentaires sous forme de questionnaires afin d'élucider les voies et sources de contamination (Schulz et al., 2007). A la différence des études précédentes, le GerES IV, qui est actuellement en cours, cible la surveillance sur les enfants. Cette étude a été précédée d'une étude pilote au cours de laquelle les métabolites urinaires des insecticides organophosphorés et pyréthrinoïdes ont été dosés chez 363-396 enfants de 2 à 17 ans. Afin d'évaluer les sources d'exposition, ces pesticides ont été recherchés sur les poussières de maison et des informations complémentaires ont été recueillies notamment sur les habitudes alimentaires (questionnaire de fréquence) et l'usage des biocides.

***.Insecticides organophosphorés***.

Il ressort que les niveaux moyens des dialkylphosphates urinaires trouvés pour la période 2001-2002 aux Etats-Unis sont généralement inférieurs à ceux trouvés dans les études réalisées en Allemagne (adultes et enfants) et en Italie, sur des échantillons de population plus petits, chez les enfants (Aprea et al. 2000) et chez les adultes (Aprea et al., 1996). Les résultats enregistrés chez les enfants en Italie sont légèrement supérieurs à ceux de l'Allemagne (Heudorf et al., 2004 ; Becker et al., 2006). L'exposition des enfants est supérieure à celle des adultes**,** (Aprea et al., 2000 ; CDC, 2005, Becker et al., 2006). Les niveaux urinaires du métabolite du chlorpyrifos trouvés aux Etats-Unis, pour la période 2001-2002, sont similaires à ceux trouvés dans un échantillon d'adultes en bonne santé en Allemagne (Koch et al., 2001) et en Italie (Aprea et al., 1999). Comme pour les dialkylphosphates, les concentrations de ce métabolite spécifique augmentent quand l'âge diminue (Adgate et al., 2001 ; Barr et al. 2004 ; CDC, 2005). L'étude pilote GerES IV montre que l'exposition des enfants en Allemagne est liée à la consommation de fruits frais et de jus de fruits (Becker et al., 2006). Par ailleurs, une étude réalisée aux Etats-Unis, dans l'Etat de Washington, sur 39 enfants de 2-5 ans a montré que les concentrations urinaires en dialkylphosphates (diméthyl alkylphosphates) étaient plus élevées chez les enfants consommant des produits (essentiellement des jus, des fruits et des légumes) issus de l'agriculture conventionnelle que chez ceux consommant les mêmes produits issus de l'agriculture

[19] http://www.cdc.gov/exposurereport/report.htm

biologique (Curl et al., 2003). De plus, une étude longitudinale, réalisée dans le même Etat, sur 23 enfants de 3-11 ans, a montré que la substitution dans le régime alimentaire, de produits (essentiellement des jus, des fruits et des légumes, mais aussi des céréales) issus de l'agriculture conventionnelle par les mêmes produits issus de l'agriculture biologique, conduisait à une diminution, immédiatement après le changement de régime, jusqu'à des niveaux de concentration non détectables, des métabolites urinaires du chlorpyrifos et du malathion (Lu et al., 2006a). Ces études, malgré leurs limites, soulignent le rôle déterminant de la consommation de F&L dans l'exposition aux pesticides organophosphorés. Certaines de ces études suggèrent que les VTR pourraient être dépassées chez les enfants (Curl et al., 2003, Becker et al., 2006)

***. Insecticides pyréthrinoïdes***

Ces insecticides à usage agricole sont aussi très utilisés pour des usages domestiques. Ce sont des neurotoxiques très puissants pour les insectes. Ils sont employés à des doses beaucoup plus faibles que les insecticides organophosphorés, ce qui diminue l'exposition générale. Leur toxicité aiguë orale chez le rat est équivalente ou inférieure à celle des organophosphorés. Les substances largement utilisées (citées ci-après) sont immédiatement hydrolysées, donc détoxiquées, dans l'organisme humain (Angerer et al., 2007).

L'acide 3-phénoxybenzoique (3-PBA) est un métabolite de trois insecticides pyréthrinoïdes (cyperméthrine et deltaméthrine [inscrits à l'annexe 1] et perméthrine [exclu]). Il est possible que ce métabolite puisse aussi provenir d'autres insecticides pyréthrinoïdes (CDC, 2005).

Ce métabolite est trouvé dans 90% des échantillons urinaires des enfants de l'étude pilote GerES IV et présente les concentrations les plus élevées des métabolites recherchés pour la période 2001-2002 aux Etats-Unis. L'étude pilote GerES IV montre que la cis-DCCA et la trans-DCCA (métabolites de 3 insecticides pyréthrinoïdes : cyfluthrine et cyperméthrine [inscrites à l'annexe 1] et permethrine), sont respectivement présentes dans 56% et 74% des échantillons urinaires des enfants et que la présence de perméthrine dans la poussière de maison et la consommation de légumes bouillis sont des déterminants significatifs de l'exposition aux pyréthrinoïdes. Dans cette étude, les facteurs influençant la présence de perméthrine dans les poussières de maison sont principalement la présence et la taille de tapis en fibres naturelles (souvent traités avec des pyréthrinoïdes), puis l'usage de biocides chez les animaux domestiques et l'usage de biocides contre les insectes à l'intérieur du domicile. Bien qu'il soit communément admis que l'exposition aux pyréthrinoïdes est principalement d'origine alimentaire, seuls les légumes bouillis, parmi tous les aliments, se sont avérés liés à cette exposition. Une étude, réalisée en Allemagne, laisse supposer que la voie orale est la principale voie de contamination (*vs* cutanée) aux insecticides pyréthrinoïdes et que la source la plus probable est l'alimentation (Shettgen et al., 2002). Cependant, le protocole de l'étude longitudinale américaine, citée précédemment pour les insecticides organophosphorés (Lu et al., 2006a), a eu moins d'effet sur le niveau des métabolites urinaires des insecticides pyréthrinoïdes (Lu et al., 2006b), largement utilisés dans les usages domestiques aux Etats-Unis depuis les restrictions concernant l'usage des organophosphorés comme biocides. Dans l'étude pilote GerES IV, l'exposition aux pyréthrinoïdes (liée notamment à leur usage comme biocides) est liée négativement à l'âge (les plus jeunes enfants sont les plus exposés). Une des raisons pourrait être leur comportement spécifique de porter les doigts à la bouche. Cependant, une autre étude réalisée en Allemagne ne trouve aucune influence de l'âge sur cette exposition (Heudorf et al., 2004).

***. Anciens pesticides organochlorés***

Ces pesticides, s'ils doivent être considérés dans le cas d'une exposition globale, ont moins de signification dans le cadre de l'exposition *via* la consommation de F&L, à l'exception de cas particuliers comme celui décrit pour le chlordécone (§ 1.P.3.4.1). Ces substances liposolubles, présentes dans l'environnement, contaminent plutôt les produits alimentaires d'origine animale.

La surveillance de l'exposition aux anciens pesticides organochlorés est effectuée par leur dosage dans le sang, mais leur dosage dans le lait maternel permet également de contrôler l'évolution du niveau de ces contaminants. L'exposition à ces pesticides, notamment au HCB et au DDE, le métabolite du DDT, a fortement diminué au cours des dernières décennies aux Etats-Unis (CDC, 2005) et en

Allemagne (Raab, 2007). Aux Etats-Unis, les niveaux de HCB sont inférieurs aux limites de détection depuis 1999. Les niveaux enregistrés en Allemagne en 1998 (Becker et al., 2002) sont également très bas (0,44µg/l sérum en moyenne). Les concentrations moyennes sériques de DDE, pour la période 2001-2002 sont équivalentes à celles enregistrées en Allemagne, en 1998, chez les adultes, et sont inférieurs aux niveaux trouvés dans certaines études en Nouvelle-Zélande ou en Slovaquie (CDC, 2005). Les niveaux de DDE des Allemands de l'Est étaient, en 1998, plus de 3 fois supérieurs à ceux des Allemands de l'Ouest (Becker et al.,2002). Les concentrations de ces pesticides s'accroissent avec l'âge du fait de leur propriété de bioaccumulation. Il est à noter que les concentrations d'aldrin, de dieldrin et d'endrin, anciens insecticides à usage agricole, sont à des niveaux inférieurs aux limites de détection ou très bas dans les derniers résultats américains (CDC, 2005). Tous les pesticides organochlorés recherchés ne sont pas ici passés en revue, mais la tendance est à une exposition en diminution aux Etats-Unis et dans un pays européen comme l'Allemagne.

*Les résultats des études de biosurveillance montrent une diminution de l'exposition de la population générale aux très anciens pesticides organochlorés, dans des pays industrialisés, comme les Etats-Unis et l'Allemagne, et confirment l'exposition aux familles d'insecticides utilisées en agriculture : insecticides organophosphorés et pyréthrinoïdes. Certaines études font apparaître le rôle déterminant de la consommation des F&L dans l'exposition aux insecticides organophosphorés en Allemagne et aux Etats-Unis. Concernant les pyréthrinoïdes, la part de l'exposition via les usages domestiques pourrait être un facteur important de l'exposition dans ces deux pays.*

Si les études de biosurveillance renseignent sur l'exposition réelle à des contaminants, elles présentent toutefois des limites. Il est ainsi difficile de relier les doses internes observées à des seuils toxicologiques, c'est-à-dire d'explorer la relation dose-effet, et de donner une signification à cette exposition en termes de santé publique. Par ailleurs, les dosages effectués *via* les métabolites urinaires ne sont pas toujours spécifiques de la molécule parente, qui n'est pas identifiée. De plus, la présence de ces métabolites (si non toxiques) préformés dans l'environnement peut conduire à une surestimation de l'exposition. Enfin, afin d'identifier les sources et voies de l'exposition mesurée, ces dosages doivent être complétés par des informations recueillies lors d'enquêtes menées parallèlement et par le dosage des substances surveillées, sur les compartiments environnementaux.

**En France**, aucune donnée de biosurveillance n'est à ce jour disponible pour les pesticides. L'InVS œuvre à la mise en place d'un système de biosurveillance environnemental, qui concerne en partie ces substances. La mise en place de ce système se fait notamment à travers l'Etude nationale nutrition santé (ENNS)[20]. Son dispositif scientifique s'appuie sur un examen clinique et des dosages biologiques en population générale adulte, complété d'un questionnaire sur les habitudes de vie. Les pesticides recherchés sont des organochlorés, des organophosphorés et des pyréthrinoïdes. Leur dosage est effectué sur un sous-échantillon de 500 individus extrait de l'échantillon d'environ 3700 adultes inclus dans l'étude. Les résultats sont attendus pour 2008 et permettront d'avoir une première estimation de l'exposition à ces substances en France (source : Fréry N., InVS).

## 1.9.4. Que manque-t-il, que faut-il améliorer pour répondre à la question ?

### *1.9.4.1. Le point en France*

La réponse à la question de l'exposition aux pesticides *via* la consommation de fruits et légumes et de la quantification du risque qui lui est lié passe par des évaluations s'appuyant sur des données de consommation, des données de contamination et les poids corporels des individus de la population concernée.

***. Données de contamination***

En France, les données de contamination concernant les produits d'origine végétale présents sur le marché, sont issues des plans de surveillance de la DGCCRF.

[20] http://www.invs.sante.fr/surveillance/nutrition/enns.htm

L'Observatoire des résidus de pesticides (ORP), comme cela est indiqué dans sa présentation[21], a notamment pour vocation de rassembler, en vue de leur valorisation, les résultats des plans de surveillance des résidus de pesticides dans différents milieux (eau, air) et produits consommés par l'homme afin d'estimer l'exposition globale de la population française aux pesticides. Dans son étude de faisabilité (AFSSA, AFSSE, IFEN, 2004), un certain nombre de points à améliorer, mis en évidence notamment à partir des études présentées § 1.9.3.4, sont soulignés. Les plans de surveillance ayant un objectif de contrôle de conformité par rapport aux LMR, il s'agit d'optimiser ces plans pour répondre à un objectif d'estimation des expositions. On citera :

- L'amélioration des critères de définition des plans aléatoires ou ciblés (objectif atteint).
- L'amélioration des performances analytiques afin de baisser certains seuils de détection des substances actives dans les denrées alimentaires.
- L'indication systématique dans les bases de données des seuils de détection (LOD) et de quantification (LOQ). A ce sujet, on notera que les définitions de la LOD et de la LOQ nécessiteraient d'être harmonisées selon une méthodologie commune au niveau des laboratoires.

Nous pouvons ajouter que pour réaliser l'évaluation de l'exposition cumulative à différents pesticides il est nécessaire que :

- Chaque échantillon analysé et chaque substance recherchée sur cet échantillon soient identifiés et que chaque résultat soit renseigné *i.e.* que la valeur de la concentration du résidu ou la mention "non-détecté" soit reportée. Ainsi est-il possible d'accéder aux résidus présents ou non sur un échantillon pour toutes les molécules qui auront été recherchées sur cet échantillon.

Par ailleurs, comme le souligne l'étude de faisabilité de l'ORP, des informations sur les usages, par les agriculteurs, des pesticides selon les cultures seraient nécessaires. Elles permettraient de pondérer la contribution de chaque pesticide autorisé sur une culture à son traitement. Il faut ajouter que ce type de renseignements, indispensable pour affiner l'évaluation du risque, devrait être actualisé régulièrement car les usages sont notamment liés à la législation et au développement des résistances aux pesticides.

Il serait également utile de connaître la distribution des concentrations en résidus des produits issus des activités de jardinage et autoconsommés, et les usages des jardiniers amateurs.

Comme cela avait été prévu dans l'étude de faisabilité de l'ORP, l'AFSSA et ses partenaires ont mis en œuvre une étude du dosage des résidus de pesticides dans les aliments tels que consommés. Ce type d'étude, "Total Diet Study" (TDS) ou "étude d'alimentation totale", a l'avantage de fournir des valeurs réelles de contamination ne nécessitant pas d'utiliser des facteurs de transformation pour affiner l'évaluation de l'exposition (Cf. § 1.P.3.2). L'étude est en cours de formalisation et débutera dans le courant de l'année 2007. Elle prend en compte les facteurs région et période, et les échantillons prélevés sont des échantillons composites. Cependant, ce type d'étude est lourd à mettre en œuvre et coûteux. Il devrait être reconduit périodiquement environ tous les quatre ans. Par ailleurs, comme le précise l'étude de faisabilité de l'ORP, les études TDS comportent certaines limites : cette approche globale ne permet pas de connaître de façon détaillée la contribution des différents produits végétaux (ou animaux) à l'exposition.

***. Données de consommation***

L'enquête individuelle nationale de consommation alimentaire (INCA), à visée de santé publique, fournit des données adaptées à l'évaluation du statut nutritionnel et à l'évaluation de l'exposition aux contaminants présents dans les aliments. Elle concerne la population adulte et les enfants à partir de 3 ans. Après l'enquête INCA1, réalisée en 1999 (Volatier, 2000), une seconde enquête, liée à l'ENNS[18], est en voie d'achèvement et ses résultats seront présentés fin 2007. Les données de cette enquête devraient être disponibles en 2008 selon certaines modalités. Dans le cadre de l'étude de faisabilité de l'ORP, un travail a été effectué afin de pouvoir utiliser cette base de données pour l'évaluation de l'exposition aux pesticides. Ainsi est-il possible d'obtenir la consommation de chacun des individus de la base pour chaque produit végétal (ou animal), y compris lorsqu'il est inclus dans une préparation.

[21] http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/

Ces données de consommation peuvent donc être croisées avec les données de contamination des plans de surveillance.

Par ailleurs, il existe les bases de données annuelles sur les achats des ménages du panel TNS-Secodip (ou TNS-Worlpanel) qui fournit des renseignements détaillés sur les achats de fruits et légumes frais ou transformés. Ces données peuvent être utiles dans l'évaluation du risque chronique. Cependant, elles ne permettent pas de connaître les consommations individuelles et ne comportent pas d'informations sur l'autoconsommation ni sur la consommation hors foyer. Des méthodes d'individualisation de ces données enregistrées par ménage sont en cours.

Il serait utile d'acquérir des données précises actualisées sur l'autoconsommation individuelle ou par ménage, en termes de quantité, des différents produits d'origine végétale. Toutefois, des données sur l'autoconsommation des fruits et légumes ont été acquises dans l'étude réalisée par l'InVS et l'AFSSA sur l'imprégnation par les dioxines des populations vivant à proximité d'usines d'incinération d'ordures ménagères[22].

Concernant les nourrissons et les enfants en bas âge, les données de consommation sont acquises dans le cadre de l'étude Alliance7 de Dijon dont la dernière enquête date de 2005.

### *1.9.4.2. Demande de recherche amont pour évaluer le risque*

***. Identification du danger et caractérisation du danger des pesticides***

La demande cognitive dans ces domaines est toujours forte. Elle s'effectue à travers les programmes de recherche nationaux ou internationaux. Elle concerne notamment :

- Les études épidémiologiques (relation effet/exposition, chez l'homme) ;
- L'étude, *via* l'expérimentation animale, des effets des faibles doses, de mélanges de substances, de mise au point de tests de dépistage d'effets perturbateurs endocriniens ;
- L'étude des mécanismes d'action des substances et l'identification des marqueurs d'effet, notamment pour grouper les substances agissant par un même mécanisme d'action (§ 1.9.2.2) ;
- L'exploration et la modélisation de la relation dose-réponse pour définir les VTR ;
- L'extrapolation des résultats des expérimentations animales à l'homme et les facteurs de sécurité.

***. Méthodologie d'évaluation de l'exposition à plusieurs pesticides***

Comme indiqué dans le § 1.9.2.2, dans le cadre du règlement CE N° 396/2005 concernant les LMR, l'Union européenne œuvre à l'élaboration d'une méthodologie harmonisée permettant de tenir compte des effets cumulatifs et synergiques possibles des pesticides sur la santé humaine. C'est-à-dire permettant de combiner les expositions à divers pesticides présentant un même mécanisme d'action, mais aussi à plusieurs pesticides ayant des mécanismes d'action différents et pouvant présenter des effets additifs, synergiques ou antagonistes. Les points discutés et les recommandations formulées lors du premier colloque organisé à cet effet, en novembre 2006, ont été publiés en avril 2007.

L'effet cumulatif signifie, dans ce contexte, la prise en compte de l'exposition simultanée à plusieurs pesticides à travers l'alimentation. Il ressort que la priorité est l'évaluation du risque cumulatif, notamment aigu, pour les pesticides qui présentent un mécanisme d'action commun. L'objectif est d'élaborer des lignes directrices pour évaluer cette exposition. Cela passe par l'exploration des données existantes et la possible mise en œuvre de recherches comme l'étude des mécanismes d'actions, cité précédemment, et le développement d'un logiciel informatique basé sur des modèles probabilistes existants, comme celui des Pays-Bas (1.9.3.4) ou ceux utilisés aux Etats-Unis. Il a été recommandé que cette méthodologie s'élabore en relation avec l'EPA pour prendre en compte l'expérience américaine et dans un contexte de coopération scientifique internationale dans le domaine. Les autres voies d'exposition, autres qu'alimentaire, devraient être envisagées à plus long terme.

[22] http://www.invs.sante.fr/surveillance/dioxines/default.htm

## Résumé

La prise de conscience du risque lié à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (ou pesticides) pour la protection des cultures, à la fois au niveau des instances gouvernementales et des citoyens, est un phénomène général dans les pays industrialisés et se traduit par des actions et des politiques visant à renforcer la réglementation concernant les pesticides et à réduire leur utilisation et leur impact.

Dans l'Union européenne, l'usage des pesticides et le contrôle de leurs résidus dans les denrées alimentaires est très encadré et la législation dans ce domaine est en constante évolution. Les pesticides (substances actives et préparations les contenant) sont soumis à une procédure très complète d'évaluation de risque *a priori* avant leur mise sur le marché, qui relève de la Directive 91/414/CEE. Cette évaluation concerne les substances actives "nouvelles" et les substances actives "existantes" au moment de la mise en application de cette directive en 1993. La surveillance des résidus de pesticides s'appuie notamment sur le règlement CE N°396/2005, en cours de mise en œuvre, concernant les limites maximales applicables aux résidus (LMR) de pesticides présents dans ou sur les produits alimentaires (et les aliments pour animaux) d'origine végétale et animale, qui vise à leur harmonisation au niveau européen et au renforcement de la sécurité du consommateur. *La Commission européenne a proposé un nouveau règlement concernant l'autorisation des pesticides, destiné à remplacer la Directive 91/414/CEE, ainsi qu'une Directive cadre sur les pesticides concernant les aspects de la phase d'utilisation et de distribution, non abordés dans le nouveau règlement. Ces propositions, qui visent à renforcer la protection de la santé publique et de l'environnement, s'inscrivent dans la stratégie globale concernant l'utilisation durable des pesticides.*

La Commission européenne a mis en place depuis 1996, au niveau des Etats membres, un programme de surveillance annuel des résidus de pesticides dans les produits alimentaires d'origine végétale qui fournit des données en vue de l'évaluation du risque. Les données de ce plan complètent celles issues d'autres programmes de surveillance ou de contrôle nationaux, qui font l'objet d'un rapport annuel de synthèse de la situation européenne. Le programme communautaire est un programme glissant, portant chaque année sur un ensemble restreint de produits dont les contrôles sont reconduits à intervalles réguliers.

Les plans de surveillance nationaux des Etats membres et de trois Etats de l'AELE montrent, qu'en 2004, 47% (48% en France) des échantillons de F&L présentaient des résidus de pesticides et 5% (3,9% en France) des échantillons avaient des teneurs supérieures aux LMR, c'est-à-dire non conformes. En France, ces chiffres sont respectivement de 44,6% et 6,7%, selon les derniers plans de surveillance de 2005. Les résidus les plus fréquemment détectés sur les F&L sont les fongicides et les insecticides. Près de 25% des échantillons de produits végétaux analysés en 2004 (y compris les céréales et en considérant les contrôles ciblés) contenaient 2 pesticides ou plus. Il faut cependant souligner qu'un échantillon est un échantillon composite, c'est-à-dire composé de plusieurs unités.

Le type de molécule et les teneurs en résidus de pesticides dans les produits végétaux dépendent des autorisations d'usage selon le type de culture et sont notamment liés au mode de production, à la sensibilité des produits cultivés aux agresseurs et maladies (notamment problème de résistances) et aux conditions climatiques. Tous les pesticides utilisés en agriculture ne conduisent pas à des niveaux de résidus quantifiables dans les produits végétaux.

Les traitements comme l'épluchage, le lavage, la cuisson ou les procédés de transformations industriels (ex : conserverie) conduisent généralement à des teneurs en résidus inférieures à celles des produits frais. Cependant l'efficacité de certains traitements, comme le lavage, dépend de la nature du pesticide (systémique ou pas), de ses propriétés physico-chimiques et du produit végétal sur ou dans lequel il se trouve. La diminution des résidus de pesticides peut être également conditionnée par les modalités du traitement de lavage ou de cuisson. Enfin certains procédés de transformation peuvent conduire à la formation de métabolites plus toxiques que la molécule parente. Les métabolites qui pourraient être générés par un procédé de transformation sont généralement recherchés lors des tests

fournis pour les dossiers d'autorisation des pesticides et l'impact sur les niveaux de résidus des traitements usuels cités précédemment est évalué. Des facteurs de correction issus de ces dossiers permettent de tenir compte des différents traitements et procédés de transformation sur les teneurs en pesticides pour l'évaluation de l'exposition. Cependant ces facteurs ne sont pas toujours disponibles.

L'évaluation de l'exposition aux pesticides s'effectue à partir des données de contamination et des données de consommation et les approches méthodologiques diffèrent selon les objectifs. Dans le cadre réglementaire, l'approche usuelle est déterministe, ponctuelle et protectrice. Elle utilise une valeur fixe d'estimation de la consommation et de la contamination conduisant à une valeur d'estimation de l'exposition et se base sur des scénarios de "pire cas" afin de protéger le consommateur. Des approches probabilistes, prenant en compte tous les niveaux de consommation et tous les niveaux de contamination et permettant de générer une distribution des expositions, sont utilisées par certains pays industrialisés, notamment pour évaluer l'exposition aiguë. Les doses d'exposition obtenues lors des évaluations sont confrontées aux doses toxicologiques de référence (valeur toxicologique de référence : VTR) afin de caractériser le risque. On distingue deux sortes de VTR pour l'exposition alimentaire aux pesticides : la dose journalière admissible (DJA) qui est la dose toxicologique de référence utilisée pour mesurer le risque chronique de long terme, et la dose de référence aiguë (ARfD), qui est la dose toxicologique de référence utilisée pour mesurer le risque de court terme (un repas, un jour). L'évaluation de l'exposition aiguë ne concerne pas tous les pesticides.

Les méthodologies d'évaluation usuelles, déterministes ou probabilistes, considèrent l'exposition par pesticide. Or, en réalité, le consommateur est exposé à plusieurs pesticides *via* son alimentation. Des approches sont en cours pour évaluer ce risque pour les pesticides présentant un mécanisme commun de toxicité. Les Etats-Unis ont une expérience de plusieurs années dans ce domaine. Dans le cadre du nouveau règlement CE N° 396/2005 concernant les LMR, l'Union européenne a engagé récemment une réflexion visant à l'élaboration de lignes directrices pour évaluer l'exposition cumulative aux pesticides *via* l'alimentation, dans un contexte de coopération scientifique internationale.

Dans l'Union européenne, l'évaluation usuelle de l'exposition, conduite par pesticide et par produit végétal, à partir des résultats des données de surveillance du programme communautaire (qui porte chaque année sur un nombre restreint de produits végétaux) montre que l'exposition chronique aux pesticides recherchés (de 36 à 47) n'a pas dépassé leur DJA de 2001 à 2004 pour l'ensemble des Etats membres participants. Cependant, des concentrations de certains résidus de pesticides (organophosphorés, pyréthrinoïdes, carbamates et dithiocarbamates) dans certains produits végétaux ont pu conduire à une exposition aiguë dépassant l'ARfD, notamment chez les enfants. Toutefois, cette évaluation à la fois pessimiste et simplifiée ne doit être considérée qu'à titre indicatif et ne permet pas d'évaluer les consommations de pesticides par la population générale ou les sous-groupes de population.

Les études de biosurveillance (qui s'appuient sur des marqueurs biologiques) réalisées sur de grands échantillons représentatifs de la population aux Etats-Unis et en Allemagne confirment l'exposition à des familles d'insecticides très utilisées en agriculture : les insecticides organophosphorés et les insecticides pyréthrinoïdes. Dans cette exposition il faut tenir compte de l'impact des autres sources et voies d'exposition comme celles liées aux usages domestiques de ces familles d'insecticides. Certaines études font apparaître le rôle déterminant de la consommation des F&L dans l'exposition aux insecticides organophosphorés aux Etats-Unis et en Allemagne.

En France, les études d'évaluation de l'exposition aux pesticides *via* la consommation de F&L (anciennes), ou à travers plusieurs sources alimentaires d'exposition (F&L, céréales, produits d'origine animale et eau), réalisées, ne prétendent pas rendre compte de l'exposition de la population française. Elles ont été effectuées par pesticide et ont utilisé soit une approche théorique maximaliste (concentration en résidus supposées égales aux LMR) soit des scénarios pessimistes à partir de données réelles de contamination, sur un nombre restreint de molécules. Leur objectif était essentiellement d'identifier des substances prioritaires à surveiller ou de tester, dans le cadre de la

création de l'Observatoire des Résidus de Pesticides (ORP), la faisabilité de l'évaluation de l'exposition globale aux pesticides à partir des données disponibles en France.

Plusieurs actions sont en cours, dans le cadre de l'ORP. Elles concernent le recueil des données de contamination au niveau des administrations et la mise en œuvre d'une étude d'alimentation totale pour recueillir des données de contamination sur les produits alimentaires tels que consommés. Concernant les données de consommation, la deuxième version de l'enquête individuelle nationale de consommation alimentaire (INCA2) est en voie d'achèvement. Par ailleurs, l'InVS met en place un système de biosurveillance qui concerne en partie les pesticides (organophosphorés, pyréthrinoïdes et organochlorés). La mise en place de ce système s'effectue à travers l'étude nationale nutrition santé (ENNS) à laquelle est liée l'étude INCA. L'ensemble de ces actions vise à estimer l'exposition globale de la population française aux différents pesticides à travers les différentes sources et voies d'exposition et doit permettre l'évaluation de l'exposition *via* la consommation de fruits et légumes.

Il est important de noter que de nombreuses substances identifiées dans les évaluations d'exposition comme préoccupantes ont été interdites d'usage dans l'Union européenne, suite à leur réévaluation au titre de la Directive 91/414/CEE. Ainsi, de nombreuses molécules de la famille des insecticides organophosphorés, toujours identifiés dans les substances préoccupantes, ont été retirées du marché. A ce jour, dans cette famille, seules quatre molécules sont incluses à l'annexe 1 de la directive 91/414/CEE (autorisation européenne des substances actives) sans restriction d'usage. Certaines substances, dans cette famille ou dans d'autres familles, ont été inscrites à l'annexe 1 avec des restrictions d'usage, comme le carbendazime, qui ne sera plus autorisé sur F&L, et la procymidone dont l'usage sera très limité. Ces substances ne devraient donc plus être préoccupantes dans le cadre de l'exposition alimentaire *via* la consommation de F&L, à l'exception du cas de produits végétaux en provenance des pays hors Union européenne sur lesquels elles seraient toujours utilisées, et des cas de fraudes. Il faut cependant noter que la diminution du nombre de substances dans la famille des organophosphorés ne garantit pas une diminution des quantités utilisées dans cette famille. Il peut se produire un phénomène de substitution et la substance autorisée verra sa consommation augmenter si son efficacité est reconnue et que son prix est attractif par rapport à d'autres substances présentes sur le marché. C'est ce qui semble se produire avec le chlorpyrifos.

Il faut aussi garder à l'esprit que l'évaluation de l'exposition aux pesticides est empreinte d'incertitude. Elle dépend des méthodologies mises en œuvre. Elle est soumise au type de données de consommation et de contamination disponibles et aux contraintes liées aux plans d'échantillonnage des produits alimentaires (ex : échantillons composites). La caractérisation du risque lié à cette exposition dépend des VTR qui sont disponibles. Ces VTR évoluent à la lumière de nouvelles données (issues de l'expérimentation animale ou de données sur l'homme) ou de nouvelles approches méthodologiques pour les construire. Par ailleurs, de nouveaux effets peuvent être identifiés. Le dépassement d'une VTR ne conduit pas forcément à un effet toxique compte tenu des facteurs de sécurité appliqués pour la construire. Mais l'inverse est aussi possible, c'est-à-dire qu'une exposition inférieure aux VTR pourrait un jour s'avérer nocive car beaucoup d'incertitude perdure sur l'effet des faibles doses, l'effet de mélanges de substances et les effets cumulés.

La demande cognitive est donc toujours forte. L'enjeu se situe dans le domaine de l'identification du danger et de sa caractérisation (cela passe par les études épidémiologiques et les expérimentations sur modèle animal), ainsi que sur les méthodologies d'évaluation du risque qui s'édifient dans un contexte international.

**Tableau 1.9-1.** Résidus d'insecticides organophosphorés et de fongicides DTC[1] détectés en France sur 17 produits végétaux[2]

| | | Insecticides organophosphorés | | | | | | | Fongicides DTC | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Fréquence des résidus détectés | | | | | | | |
| **Produit** | **Année** | Nombre d'échan-tillons | **Chlorpyrifos** | **Malathion** | **Dimethoate** | **Methamidophos** | **Pyrimiphos-méthyl** | **Methidathion** | Nombre d'échan-tillons | Fréquence des résidus détectés |
| Pomme | 2001 | 213-368 | **5,5%** | 0,0% | 1,6% | 0,0% | 0,0% | 0,3% | 121 | 2,5% |
| | 2004 | 295 | **19,3%** | 0,7% | 1,4% | 0,0% | 0,0% | 0,7% | 240 | 1,7% |
| Banane | 2002 | 84-94 | 2,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 31 | 0,0% |
| Haricot | 2002 | 80-110 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 70 | 2,9% |
| Carotte | 2002 | 166-246 | 0,8% | 0,0% | 0,8% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 166 | 0,0% |
| Chou-fleur | 1999 | 66 | 0,0% | nr | nr | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 66 | **6,1%** |
| | 2003 | 69 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 28 | **28,6%** |
| Concombre | 2000 | 96 | 0,0% | nr | nr | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 96 | 2,1% |
| | 2003 | 82-85 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 2,4% | 0,0% | 0,0% | 73 | 1,4% |
| Raisin | 2001 | 43-61 | **9,8%** | 0,0% | **8,2%** | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 61 | 1,6% |
| | 2003 | 93 | **20,4%** | 0,0% | 2,2% | 1,0% | 0,0% | 0,0% | 67 | 3,0% |
| Chou pommé | 2000 | 64 | 0,0% | nr | nr | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 64 | **15,6%** |
| | 2004 | 44-62 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 39 | **15,4%** |
| Laitue | 2001 | 294-379 | 0,3% | 0,0% | 0,3% | **5,1%** | 0,0% | 0,0% | 366 | **23,2%** |
| | 2004 | 206 | 0,5% | 0,0% | 1,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 202 | **16,8%** |
| Melon | 1999 | 57 | 0,0% | nr | nr | 1,8% | 0,0% | 0,0% | 57 | **12,3%** |
| Orange/Mandarine | 2002 | 135-195 | **43,1%** | **23,1%** | 1,5% | 0,0% | 2,1% | **26,2%** | 96 | 1,0% |
| Pêche/Nectarine | 2002 | 129-136 | 3,7% | 0,0% | 1,5% | **7,0%** | 0,7% | 0,0% | 129 | 0,8% |
| Poire | 2002 | 93-116 | **5,2%** | 3,4% | 1,9% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 103 | 2,9% |
| Poivron | 1999 | 54 | **7,4%** | nr | nr | **31,5%** | **13,0%** | 0,0% | 54 | 0,0% |
| | 2003 | 92 | 4,3% | 4,3% | 0,0% | 1,1% | **10,9%** | 0,0% | 64 | 0,0% |
| Epinard | 2002 | 52-64 | 1,6% | 1,6% | 0,0% | 1,9% | 0,0% | 0,0% | 64 | **9,4%** |
| Fraise | 2001 | 141 | 0,7% | 2,1% | 0,0% | 1,4% | 0,0% | 0,0% | 107 | 0,0% |
| | 2004 | 112 | 0,0% | 1,8% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 112 | **6,2%** |
| Tomate | 2001 | 272 | 1,5% | 0,0% | 0,0% | 3,3% | 0,0% | 0,0% | 272 | 1,5% |
| | 2004 | 200 | 1,5% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,5% | 0,0% | 154 | **7,8%** |

[1] Dithiocarbamates
[2] D'après les résultats du programme de surveillance communautaire
nr : Non recherché

**Tableau 1.9-2.** Résidus de Fongicides dicarboximides et phtalimides détectés en France sur 17 produits végétaux[1]

| | | Fongicides dicarboximides | | | Fongicides phtalimides | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nombre d'échan-tillons | Fréquence des résidus détectés | | Nombre d'échan-tillons | Fréquence des résidus détectés |
| **Produit** | **Année** | | **Iprodione** | **Procymidone** | | **Captane + folpel** |
| Pomme | 2001 | 308 | 0,6% | 0,0% | 308 | **13,3%** |
| | 2004 | 295 | 0,7% | 0,0% | 295 | **16,3%** |
| Banane | 2002 | 94 | 0,0% | 0,0% | 94 | 0,0% |
| Haricot | 2002 | 110 | 0,9% | **7,3%** | 110 | 1,8% |
| Carotte | 2002 | 246 | **14,2%** | 1,2% | 246 | 0,0% |
| Chou-fleur | 1999 | 66 | 0,0% | nr | | nr |
| | 2003 | 69 | 0,0% | 0,0% | 69 | 5,8% |
| Concombre | 2000 | 96 | 3,1% | nr | | nr |
| | 2003 | 85 | 3,5% | 4,7% | 85 | 1,2% |
| Raisin | 2001 | 61 | **11,5%** | **6,6%** | 61 | **27,9%** |
| | 2003 | 93 | **7,5%** | **15,0%** | 93 | **7,5%** |
| Chou pommé | 2000 | 64 | 1,6% | nr | | nr |
| | 2004 | 62 | 4,8% | 0,0% | 62 | 0,0% |
| Laitue | 2001 | 379 | **31,1%** | **16,9%** | 379 | 3,4% |
| | 2004 | 206 | **20,4%** | **20,4%** | 206 | **6,8%** |
| Melon | 1999 | 57 | 0,0% | nr | | nr |
| Orange/Mandarine | 2002 | 195 | 0,0% | 0,0% | 195 | 0,0% |
| Pêche/Nectarine | 2002 | 136 | **31,6%** | **5,1%** | 136 | **6,6%** |
| Poire | 2002 | 116 | 2,6% | 4,3% | 116 | **13,8%** |
| Poivron | 1999 | 54 | 0,0% | nr | | nr |
| | 2003 | 92 | 1,1% | **5,4%** | 92 | 0,0% |
| Epinard | 2002 | 64 | **6,3%** | 1,6% | 64 | 0,0% |
| Fraise | 2001 | 141 | **14,2%** | **12,1%** | 141 | **14,2%** |
| | 2004 | 112 | **14,3%** | **14,3%** | 112 | 4,5% |
| Tomate | 2001 | 272 | **4,8%** | **13,6%** | 272 | 0,4% |
| | 2004 | 200 | **5,5%** | **16,0%** | 200 | 0,5% |

[1] D'après les résultats du programme de surveillance communautaire
nr : Non recherché

## Annexe : Surveillance des résidus de pesticides dans les produits alimentaires

**Teneurs maximales en résidus de pesticides et renforcement de la protection des consommateurs : cadre harmonisé pour les limites maximales applicables aux résidus de pesticides (règlement CE N° 396/2005** *(en cours de mise en œuvre)*

Les quantités maximales autorisées de résidus (ou limites maximales de résidus : LMR) de pesticides pouvant se trouver dans un produit destiné à l'alimentation humaine et animale sont fixées, en ce qui concernent les pesticides autorisés en agriculture, au niveau du seuil de sécurité que l'on est en droit d'attendre si le pesticide est utilisé conformément aux règles et aux restrictions figurant sur son autorisation. *Il est important de noter que la LMR n'est pas un seuil toxicologique*. Néanmoins, pour établir les LMR, il est tenu compte que cette limite maximale (déclinée par pesticide et par produit) ne conduise pas à dépasser les valeurs toxicologiques de référence du pesticide considéré. Une LMR n'est fixée que lorsqu'elle est considérée comme sûre. A l'heure actuelle, les LMR sont fixées au niveau communautaire pour environ 250 substances actives de produits phytopharmaceutiques pour plusieurs milliers de produits alimentaires, les autres LMR (en l'absence de LMR communautaire) ayant été fixées au niveau de l'Etat membre.

**Le règlement CE N° 396/2005** du 23/02/05 vise à harmoniser les LMR des pesticides au niveau européen et à remplacer les anciennes directives (notamment pour ce qui concerne les F&L : directives 76/895/CEE et 90/642/CEE), modifiées à plusieurs reprises, par un acte unique. Il prévoit que les LMR des pesticides seront harmonisées à l'issue d'une période transitoire d'introduction progressive et ne seront établies qu'au niveau européen. Lorsqu'aucune LMR spécifique pour un produit n'aura été établie, une valeur par défaut de 0,01 mg/kg sera appliquée. L'Autorité européenne de sécurité des aliments (AESA, en anglais: EFSA) est en charge de l'évaluation des risques; la gestion des risques relève de la Commission européenne, qui fixe les LMR en tenant compte des avis émis par l'EFSA (*les LMR doivent être constamment réexaminées et modifiées afin de prendre en compte toute nouvelle information ou donnée*).

Dans le cadre du processus de mise en application du règlement CE N° 396/2005, l'EFSA a rendu publique l'évaluation de la sécurité des LMR provisoires (LMR nationales) proposées pour 236 substances actives, (EFSA, 15 mars 2007)*. L'évaluation de l'exposition des consommateurs européens, réalisée selon les lignes de la méthodologie OMS en vigueur, a pris en compte les schémas de consommation alimentaire en Europe ainsi que les groupes vulnérables de population, tels que les enfants et les nourrissons. Plus de 62000 LMR (combinaisons pesticide/produit) ont été évaluées selon des modèles maximalistes, protecteurs pour le consommateur**.** L'exposition chronique a été évaluée en cumulant l'exposition à travers tous les produits sur lesquels le pesticide était utilisé et en considérant les LMR nationales les plus élevées et les consommations nationales respectives. L'exposition aiguë a été évaluée en considérant la LMR européenne la plus élevée, par combinaison pesticide/produit, croisée avec la plus forte consommation européenne pour ce produit et la dose d'exposition a été comparée à la plus faible VTR disponible. D'après cette évaluation, 92 des 236 substances actives présentent des LMR qui ne sont pas susceptibles de conduire à un dépassement des VTR (DJA et ARfD), c'est-à-dire de présenter un risque chronique ou aigu pour le consommateur. Pour les 144 autres substances actives cette première évaluation

n'exclut pas un risque potentiel pour le consommateur. L'EFSA précise que compte tenu du manque de données et des hypothèses protectrices qui ont du être appliquées, cette évaluation doit être considérée comme un premier criblage afin d'identifier les substances dont les LMR pourraient conduire à un risque pour le consommateur européen ; que si les expositions calculées dépassaient les VTR cela ne signifiait pas que les LMR posaient nécessairement un problème de sécurité ; et qu'il était donc nécessaire d'affiner ces évaluations en se basant sur des scénarios plus réalistes.

*L'EFSA souligne que les résultats de cette évaluation ne reflètent pas l'exposition actuelle du consommateur européen, qui doit être effectuée à partir des résultats des programmes de surveillance. Il est à noter qu'au moment de cette analyse, parmi les 236 substances actives ayant fait l'objet de cette évaluation, 71 n'étaient plus autorisées dans l'Union européenne (dont 16 avec des LMR provisoires ne conduisant à aucun risque), 144 étaient en cours d'évaluation et 21 étaient inscrites à l'Annexe 1. Sur les 165 substances actives autorisées, 76 avaient des LMR provisoires ne conduisant à aucun risque.*

*http://www.efsa.europa.eu/en/science/praper/maximum_residue_levels/mrl_opinion.html

## 1.10. Exposition aux nitrates liée à la consommation de fruits et légumes

Philippe Verger

Les nitrates et les nitrites sont des substances faisant partie du cycle de l'azote et donc naturellement contenues dans l'environnement. Depuis le début du 20e siècle, l'utilisation intensive de nitrates en agriculture comme fertilisants ainsi que les rejets dans l'environnement des déjections des animaux d'élevage ont considérablement accru leur concentration aussi bien dans les sols que dans l'eau et les plantes notamment destinées à l'alimentation humaine.

Les légumes et en particulier les légumes feuillus sont la source principale d'exposition alimentaire aux nitrates, que ces végétaux captent et concentrent à des concentrations variables mais toujours importantes en fonction des pratiques agricoles et du climat. Les autres sources de l'exposition humaine sont l'eau de boisson, les fruits, les céréales et les charcuteries auxquelles les nitrates (mais aussi les nitrites) sont ajoutés comme additif (E249, E250, E251, E252) à des fins de conservation et de coloration.

Dans des conditions normales de stockage (durée limitée et obscurité) les fruits et les légumes ne sont pas un vecteur majeur des nitrites comparativement aux produits de charcuterie. On estime que 5% des nitrates ingérés sont convertis en nitrites par l'organisme : ce pourcentage en apparence faible peut constituer *in fine* une source non négligeable d'exposition aux nitrites en cas d'ingestion de quantités importantes de nitrates.

### 1.11.1. Effets nocifs des nitrates et nitrites

***. Effets non carcinogènes***

Le principal effet toxique des nitrates est la méthémoglobinémie, qui est un effet aigu correspondant à la capacité réduite du sang à transporter l'oxygène dans l'ensemble de l'organisme. Elle résulte le plus souvent de la consommation par de jeunes enfants d'eau très contaminée. La concentration naturelle des nitrates dans l'eau est habituellement de quelques milligrammes par litre alors que ce sont des concentrations supérieures à 50 mg/litre qui ont été associées à la méthémoglobinémie chez des nouveau-nés nourris au biberon (Fan and Steinberg, 1996).

Sur la base d'expérimentations de toxicologie étudiant l'exposition chronique de rongeurs, des Doses Journalières Acceptables ont été établies pour les nitrates et les nitrites à respectivement 3,7 et 0,06 mg/kg de poids corporel (WHO, 2002). Les effets retenus respectivement pour les nitrates et les nitrites sont la diminution de mobilité spermatique et l'hypertrophie des surrénales.

***. Effets carcinogènes***

En dépit de nombreuses études épidémiologiques, i.e. 7 études cas-témoin (Risch, Jain et al., 1985; Buiatti, Palli et al., 1990; Boeing, Frentzel-Beyme et al., 1991; Gonzalez, Riboli et al., 1994; Hansson, Nyren et al., 1994; La vecchia, Ferraroni et al., 1994; Pobel, Riboli et al., 1995) et 2 études de cohorte (van Loon, Botterweck et al., 1997; van Loon, Botterweck et al., 1998; Knekt, Jarvinen et al., 1999) ayant analysé l'association entre l'ingestion de **nitrates** par l'alimentation et les cancers gastriques et 1 étude cas-témoin ayant analysé l'association entre l'ingestion de nitrates par l'alimentation et les cancers œsophagiens (Rogers, Vaughan et al., 1995), aucune corrélation positive n'a été retrouvée. Une relation inverse retrouvée dans plusieurs des études cas-témoin est probablement attribuable à une forte consommation de légumes plutôt qu'à l'ingestion de nitrates eux-mêmes.
L'analyse de l'association entre exposition alimentaire aux **nitrites** et cancer de l'estomac est basée sur 7 études cas-témoin et 2 études de cohorte. Parmi ces travaux épidémiologiques, 6 études cas-témoin montrent une association positive alors que les études de cohorte ne montrent pas de

corrélation significative lorsqu'elles sont ajustées pour les facteurs confondants et en particulier la vitamine C (van Loon, Botterweck et al., 1997; van Loon, Botterweck et al., 1998; Knekt, Jarvinen et al., 1999). Enfin, 2 études cas-témoin ont montré une relation positive mais non significative entre ingestion de nitrites et cancer de l'œsophage (Rogers, Vaughan et al., 1995; Mayne, Risch et al., 2001).

Les études analysant la relation entre nitrates ou nitrites provenant des légumes et cancer du côlon et du rectum sont moins nombreuses et contradictoires : une étude cas-témoin conduite aux Etats-Unis (De Roos, Ward et al., 2003) montre une augmentation significative du risque de ces localisations de cancers associée à l'exposition aux nitrites par les aliments, alors qu'une étude de cohorte conduite en Finlande ne montrait pas d'association (Knekt, Jarvinen et al., 1999).

De même, 2 études cas-témoin ont analysé la relation entre l'exposition alimentaire aux nitrites et l'apparition de lymphome non-hodgkinien (LMNH) aux Etats-Unis : une étude montrait une élévation du risque (Ward, Cerhan et al., 2006) et l'autre pas (Ward, Mark et al., 1996).

De nombreuses études épidémiologiques ont étudié la relation entre nitrates ou nitrites provenant des légumes et différentes localisations cancéreuses dont le cerveau, le tractus urinaire, le pancréas, la bouche, le larynx, le poumon, l'utérus, le sein… et aucune n'a montré une relation positive claire. Cependant, s'agissant de l'association des nitrates et nitrites avec ces localisations de cancers, plusieurs études ont observé une relation positive entre plusieurs types de cancers et un apport élevé en nitrates et/ou nitrites provenant de l'eau de boisson combiné à un apport faible en vitamine C (cerveau (Lee, Wrensch et al., 1997); cerveau (Schwartzbaum, Fisher et al., 1999) ; LMNH (Ward, Mark et al., 1996) ; côlon (De Roos, Ward et al., 2003)). La plupart de ces études ont été conduites dans des régions où les nitrates dans l'eau de boisson sont élevés du fait de l'utilisation intensive de fertilisants azotés.

### 1.11.2. Exposition *via* la consommation de fruits et légumes

***. Concentration des nitrates dans les fruits et les légumes***

La concentration des nitrates dans les fruits et les légumes est très variable en fonction du type de légume, de la saison de récolte et des durées de stockage (Walker, 1990; Gangolli, Vandenbrandt et al., 1994; European Commission, 1997). Sur la base de la littérature disponible, les légumes peuvent être divisés en 3 catégories en fonction de leur teneur en nitrates : faible teneur (<100 mg/kg), teneur intermédiaire (100-1000 mg/kg) et forte teneur en nitrates (>1000 mg/kg) (Chilvers, Inskip et al., 1984).

Les légumes feuillus tels que les salades et les épinards par exemple ont les concentrations les plus élevées en nitrates (>1000 mg/kg). En Italie (De Martin and Restani, 2003), les concentrations en nitrates dans les légumes feuillus ont été analysées entre 80 et 6250 mg/kg, avec des concentrations plus fortes dans les légumes issus de l'agriculture biologique à la fois pour les salades vertes (1680 versus 3009 mg/kg) et les endives (3232 versus 4629 mg/kg). En France (Malmauret, Parent-Massin et al., 2002), la concentration médiane des nitrates plus nitrites obtenus par agriculture conventionnelle ou biologique a été mesurée à respectivement 1591 et 1135 mg/kg, pour les épinards, et à respectivement 804 et 1221 mg/kg, pour les laitues. En Pologne, la concentration en nitrates dans les laitues a été mesurée jusqu'à 3500 mg/kg (Nabrzyski and Gajewska, 1994). Enfin au Royaume Uni, entre 1996 et 1998 (Ysart, Miller et al., 1999), la teneur moyenne en nitrates des laitues produites sous serre était de 2382 et 3124 mg/kg respectivement en été et en hiver, alors que les concentrations en nitrates des laitues produites en extérieur étaient de 1085 mg/kg. Dans la même étude, la concentration en nitrates des épinards était de 1900 mg/kg. Dans une étude plus récente (Food Safety Inspection Service, 2004), la concentration moyenne en nitrates des laitues produites sous serre durant l'été était de 2999 mg/kg (intervalle : 676-4382 mg/kg; $n$ = 18) ; en hiver la concentration moyenne était de 3617 mg/kg (intervalle : 1945-5720 mg/kg; $n$ = 33). Pour les laitues produites à l'extérieur, les concentrations étaient plus basses aussi bien en été (moyenne : 1140 mg/kg; intervalle : 181-2656 mg/kg) qu'en hiver (moyenne : 1997 mg/kg; intervalle : 810-3100 mg/kg). En 2004 et dans la même

étude, la concentration moyenne en nitrates dans les épinards était de 1815 mg/kg (intervalle : 141-3909 mg/kg).

Une seconde catégorie de légumes inclut les pommes de terre, les choux et les haricots, dans lesquels la concentration en nitrate varie de 100 à 1000 mg/kg. En Pologne, des concentrations allant jusqu'à 800 mg/kg (Nabrzyski and Gajewska, 1994) ont été mesurées dans des haricots verts. En France, les concentrations en nitrates dans les carottes étaient de 113 et 394 mg/kg, respectivement, pour les produits issus de l'agriculture traditionnelle ou de l'agriculture biologique (Malmauret, Parent-Massin et al., 2002). Dans la même étude, des concentrations de 711 et 561 mg/kg de nitrate, ont été mesurées respectivement dans des haricots issus de l'agriculture conventionnelle ou biologique.

Les légumes comme les asperges, les oignons, les tomates et les autres fruits frais contiennent moins de nitrates que les catégories précédentes, avec des concentrations inférieures à 100 mg/kg. La concentration moyenne en nitrates dans les fruits frais a été mesurée à 27 mg/kg (intervalle : 12-46 mg/kg) (FSA, 1998). En France (Malmauret, Parent-Massin et al., 2002), la concentration des nitrates dans les tomates a été mesurée à 19 et 1 mg/kg respectivement dans les produits issus de l'agriculture conventionnelle et biologique. Enfin, en Pologne (Nabrzyski and Gajewska, 1994), les concentrations en nitrates des fruits était comprise entre 1,3 et 36 mg/kg et une concentration de 58,7 mg/kg de nitrates a été mesurée dans les fraises.

***. Concentration des nitrites dans les fruits et les légumes***

La concentration moyenne en nitrites des légumes est en général inférieure à 2 mg/kg. Une concentration moyenne de 0,5 mg/kg a été mesurée au Royaume-Uni dans une Etude de l'Alimentation Totale (FSA, 1998) pour tous les légumes.

***. Exposition alimentaire aux nitrates***

L'exposition moyenne aux nitrates pour un adulte est estimée entre 60 et 90 mg par jour, dont 90% proviennent de l'alimentation lorsque l'eau de boisson n'est pas fortement contaminée. Pour les forts consommateurs de légumes, cette exposition peut atteindre 200 mg par jour (Grosse, Baan et al., 2006). Pour un individu de 60 kg cette exposition correspond à 30 à 90% de la Dose Journalière Admissible.

***. Exposition alimentaire aux nitrites***

L'exposition alimentaire aux nitrites est estimée entre 0,75 et 2 mg par jour, correspondant à 20 à 55% de la Dose Journalière Admissible sachant que les sources majeures d'exposition à ces composés sont la consommation de produits de charcuterie contenant des nitrites utilisés comme additifs et la conversion endogène des nitrates.

## 1.11.3. Conclusions

L'évaluation du risque lié aux nitrates contenus dans les légumes est complexe. En effet, il est bien établi que la toxicité des nitrates en eux-mêmes est faible et que leurs effets toxiques sont liés en majeure partie à leur conversion en nitrites. En ce qui concerne les effets non cancérigènes des nitrites, leur Dose Journalière Admissible peut être atteinte ou même dépassée pour certains consommateurs, mais dans ce cas, les contributeurs majeurs à l'exposition humaine sont les produits de charcuterie et les nitrites issus de la consommation des nitrates et transformés par l'organisme. En ce qui concerne les effets carcinogènes des nitrites, il existe des indices significatifs en toxicologie expérimentale montrant que ceux-ci ne sont pas directement cancérigènes même si les études épidémiologiques ont produit des résultats contradictoires. Le lien de causalité entre nitrites et cancer retrouvé dans certaines études pourrait être lié à la transformation des nitrites en nitrosamines, qui sont quant à elles, des composés reconnus comme cancérogènes probables (Classe 2A) par le Centre International de Recherche sur le Cancer. A l'inverse, la relation négative entre nitrates et cancers pourrait être liée au fait que les nitrates ingérés *via* les fruits et les légumes se transforment moins en nitrites - par rapport à

ceux contenus dans l'eau - grâce à leur contenu en vitamine C et anti-oxydants pouvant inhiber cette transformation..

En tout état de cause ces conclusions, si elles ne permettent pas de quantifier de manière certaine les risques pour la santé liés aux nitrates contenus dans les légumes, ne doivent pas masquer le fait que le rejet massif de nitrates dans l'environnement depuis plus de 50 ans est à l'origine de l'augmentation de l'exposition humaine à des composés toxiques qui en dérivent et que l'on retrouve à des concentrations croissantes dans l'eau et dans les aliments.

## 1.11. Conclusions : bilan de l'intérêt de la consommation de F&L

L'observation des habitudes alimentaires dans des études épidémiologiques prospectives montre une association entre la consommation de F&L et la santé. Ces résultats doivent toutefois être nuancés car ces études compor-tent des facteurs de confusion liés au fait qu'il est très difficile de séparer les habitudes de consommation de F&L d'autres facteurs du mode de vie. Les essais de prévention les plus récents n'ont pas permis d'établir un lien de causalité entre cette consommation de F&L et la prévention des pathologies. Si on dispose de différents argu-ments épidémiologiques et mécanistiques en faveur d'un effet bénéfique des F&L dans la prévention de certaines pathologies, la démonstration formelle reste à faire. L'impact favorable mais discret de la consommation de F&L sur la pression artérielle pourrait induire un bénéfice sur le plan vasculaire à l'échelle d'une population.

Les F&L sont une source importante de fibres, vitamines et minéraux nécessaires au bon fonctionnement des principales fonctions physiologiques de l'organisme. Les données de consommation alimentaire montrent un déficit d'apports de certains de ces composés par rapport aux apports nutritionnels conseillés. Les F&L repré-sentent la source alimentaire quasi exclusive de certains de ces nutriments. A ce titre, la consommation de F&L ne peut être qu'encouragée.

Il faut noter que cette consommation s'accompagne d'une exposition aux pesticides et aux nitrates. Néanmoins, cette exposition varie considérablement selon les F&L et leurs traitements préalables. Le statut de fort consom-mateur de F&L, dès lors que ces F&L sont diversifiés, ne devrait pas conduire à une exposition aux pesticides et aux nitrates dépassant les doses toxicologiques.

Enfin, de par leur densité calorique réduite, les F&L contribuent à réduire la densité énergétique de l'alimentation. Envisager leur consommation en substitution d'aliments plus denses sur le plan calorique ou moins riches sur le plan des micro-nutriments apparaît donc comme une stratégie raisonnable pour rééquilibrer les apports éner-gétiques de l'alimentation. Il semble toutefois que cette stratégie soit plus efficace si elle est comprise par le consommateur et volontaire.

Au total, malgré l'absence de preuve expérimentale d'une causalité de la consommation de F&L sur les pathologies, les bénéfices nutritionnels potentiels observés dans les enquêtes de population conduisent à préconiser une augmentation de la consommation de F&L pour les faibles consommateurs. Plus globalement, le faible contenu énergétique des F&L facilite l'adoption et le maintien d'une alimentation équilibrée par leurs consommateurs, ce qui est cohérent avec les recommandations du PNNS. En l'état des connaissances, les principaux bénéfices attendus sont le rééquilibrage des apports vitaminiques, de fibres et de minéraux d'une partie de la population, et plus particulièrement de celle des faibles consommateurs.

# Références bibliographiques

## Couverture des besoins nutritionnels


(2006). Table de composition des aliments SU.VI.MAX. Economica Editions.

Agudo, A., Ibanez, R., Amiano, P., Ardanaz, E., Barricarte, A., Berenguer, A., Dolores Chirlaque, M., Dorronsoro, M., Jakszyn, P., Larranaga, N., Martinez, C., Navarro, C., Pera, G., Quiros, J. R., Sanchez, M. J., Tormo, M. J., and Gonzalez, C. A. (2007). Consumption of cruciferous vegetables and glucosinolates in a Spanish adult population. *European Journal of Clinical Nutrition*.

Agudo, A., Slimani, N., Ocke, M. C., Naska, A., Miller, A. B., Kroke, A., Bamia, C., Karalis, D., Vineis, P., Palli, D., Bueno-de-Mesquita, H. B., Peeters, P. H. M., Engeset, D., Hjartaker, A., Navarro, C., Garcia, C. M., Wallstrom, P., Zhang, J. X., Welch, A. A., Spencer, E., Stripp, C., Overvad, K., Clavel-Chapelon, F., Casagrande, C., and Riboli, E. (2002). Consumption of vegetables, fruit and other plant foods in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) cohorts from 10 European countries. *Public Health Nutrition* **5**(6B)**,** 1179-1196.

Amiot, M. J., Babot-Laurent, C., and Touniaire, F. (2007). Plant Pigments as bioactive substances. *In* Food colorants: chemical and functional properties (C. Socaciu, Ed.) CRC Press.

Arts, I. C. W., and Hollman, P. C. H. (2005). Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. *American Journal of Clinical Nutrition* **81**(1)**,** 317S-325S.

Azais-Braesco, V., and Grolier, P. (2001). Vitamine A et caroténoïdes provitaminiques. *In* Apports nutritionnels conseillés pour la population française (A. Martin, Ed.), pp. 221-228: 221-228. Tec et Doc Lavoisier.

Bazzano, L. A., Serdula, M. K., and Liu, S. (2003). Dietary intake of fruits and vegetables and risk of cardiovascular disease. *Current Atherosclerosis Reports* **5**(6)**,** 492-499.

Birlouez-Aragon, I., and Tessier, F. J. (2003). Antioxidant vitamins and degenerative pathologies: a review of vitamin C. *Journal of Nutrition, Health & Aging* **7**(2)**,** 103-109.

Booth, S. L., Pennington, J. A. T., and Sadowski, J. A. (1996). Food sources and dietary intakes of vitamin K-1 (phylloquinone) in the American diet: Data from the FDA Total Diet Study. *Journal of the American Dietetic Association* **96**(2)**,** 149-154.

Brat, P., George, S., Bellamy, A., Chaffaut, L. D., Scalbert, A., Mennen, L., Arnault, N., and Amiot, M. J. (2006). Daily polyphenol Intake in France from fruit and vegetables. *Journal of Nutrition* **136**(9)**,** 2368-2373.

Cambridge: Royal Society of Chemistry, and Food Standard Agency (2002). McCance and Widdowson's the composition of foods (6th Summary Edition). 538 p.

Chango, A., Boisson, F., Barbe, F., Quilliot, D., Droesch, S., Pfister, M., Fillon-Emery, N., Lambert, D., Fremont, S., Rosenblatt, D. S., and Nicolas, J. P. (2000). The effect of 677C -> T and 1298A -> C mutations on plasma homocysteine and 5,10-methylenetetrahydrofolate reductase activity in healthy subjects. *British Journal of Nutrition* **83**(6)**,** 593-596.

Dowd, P., Ham, S. W., Naganathan, S., and Hershline, R. (1995). The Mechanism of Action of Vitamin-K. *Annual Review of Nutrition* **15,** 419-440.

Drüeke, T. B., and Lacour, B. (2001). Potassium. *In* Apports nutritionnels conseillés pour la population française (A. Martin, Ed.), pp. 127-130: 127-130. Tec et Doc Lavoisier.

Favier, J., Ireland-Ripert, J., Toque, C., and Feinberg, M. (1995). CIQUAL. Répertoire Général des Aliments. Table de composition. Lavoisier, Tec&Doc.

Galan, P., Viteri, F. E., Bertrais, S., Czernichow, S., Faure, H., Arnaud, J., Ruffieux, D., Chenal, S., Arnault, N., Favier, A., Roussel, A. M., and Hercberg, S. (2005). Serum concentrations of beta-carotene, vitamins C and E, zinc and selenium are influenced by sex, age, diet, smoking status, alcohol consumption and corpulence in a general French adult population. *European Journal of Clinical Nutrition* **59**(10)**,** 1181-1190.

Godeau, P., Herson, S., and Piette, J. C. (2004). Traité de médecine (4°ed). 3300 p. Flammarion Médecine-Sciences.

Guillaumont, M. (2001). Vitamine K. *In* Apports nutritionnels conseillés pour la population française (A. Martin, Ed.), pp. 244-248: 244-248. Tec et Doc Lavoisier.

Halliwell, B., Rafter, J., and Jenner, A. (2005). Health promotion by flavonoids, tocopherols, tocotrienols, and other phenols: direct or indirect effects? Antioxidant or not? *American Journal of Clinical Nutrition* **81**(1)**,** 268S-276S.

He, J., and Whelton, P. K. (1997). Epidemiology and prevention of hypertension. *Medical Clinics of North America* **81**(5)**,** 1077-1097.

Hercberg, S., Preziosi, P., Briancon, S., Galan, P., Triol, I., Malvy, D., Roussel, A. M., and Favier, A. (1998). A primary prevention trial using nutritional doses of antioxidant vitamins and minerals in cardiovascular diseases and cancers in a general population: The SU.VI.MAX study - Design, methods, and participant characteristics. *Controlled Clinical Trials* **19**(4)**,** 336-351.

Hercberg, S., Preziosi, P., Galan, P., Devanlay, M., Keller, H., Bourgeois, C., Decourcy, G. P., and Cherouvrier, F. (1994). Vitamin Status of a Healthy French Population - Dietary Intakes and Biochemical Markers. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* **64**(3)**,** 220-232.

Huerta, M. G., Roemmich, J. N., Kington, M. L., Bovbjerg, V. E., Weltman, A. L., Holmes, V. F., Patrie, J. T., Rogol, A. D., and Nadler, J. L. (2005). Magnesium deficiency is associated with insulin resistance in obese children. *Diabetes Care* **28**(5)**,** 1175-1181.

Jacob, R. A., and Sotoudeh, G. (2002). Vitamin C function and status in chronic disease. *Nutrition in clinical care* **5**(2).

James, S. L., Muir, J. G., Curtis, S. L., and Gibson, P. R. (2003). Dietary fibre: a roughage guide. *Internal Medicine Journal* **33**(7)**,** 291-296.

Katan, M. B., Grundy, S. M., Jones, P., Law, M., Miettinen, T., and Paoletti, R. (2003). Efficacy and safety of plant stanols and sterols in the management of blood cholesterol levels. *Mayo Clinic Proceedings* **78**(8)**,** 965-978.

Keum, Y. S., Jeong, W. S., and Kong, A. N. T. (2005). Chemopreventive functions of isothiocyanates. *Drug News & Perspectives* **18**(7)**,** 445-451.

Krinsky, N. I., and Johnson, E. J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular aspects of medicine* **26**(6).

Krishnaswamy, K., and Nair, K. M. (2001). Importance of folate in human nutrition. *British Journal of Nutrition* **85,** S115-S124.

Kromhout, D., Bosschieter, E. B., and de Lezenne Coulander, C. (1982). Dietary fibre and 10-year mortality from coronary heart disease, cancer, and all causes. The Zutphen study. *Lancet* **2**(8297).

Lairon, D. (2001). Dietary Fibers and Dietary Lipids. *In* Advanced dietary fibre technology (B. V. McCleary, and L. Prosky, Eds.), pp. 177-185: 177-185. Blackwell Science Ltd.

Lairon, D., Arnault, N., Bertrais, S., Planells, R., Clero, E., Hercberg, S., and Boutron-Ruault, M. C. (2005). Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults. *American Journal of Clinical Nutrition* **82**(6)**,** 1185-94.

Lairon, D., and Chanussot, F. (2001). Modulations nutritionnelles du métabolisme du cholestérol et des lipoprotéines. *In* Aliments Fonctionnels (M. Roberfroid, Ed.), pp. 167-192: 167-192. Tec et Doc Lavoisier.

Lamand, M., Tressol, J., Ireland-Ripert, J., Favier, J., and Feinberg, M. (1996). CIQUAL. Répertoire Général des Aliments. Tome 4. Table de composition minérale. Lavoisier, Tec&Doc,.

Le Grusse, J., and Watier, B. (1993). Les Vitamines. Données Biochimiques, Nutritionnelles et Cliniques. Centre d'Etude et d'Information sur les Vitamines.

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., and Jimenez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition* **79**(5)**,** 727-747.

Marlett, J. A., McBurney, M. I., and Slavin, J. L. (2002). Position of the American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber. *Journal of the American Dietetic Association* **102**(7)**,** 993-1000.

Martin, A. (2001). Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 650 p. Tec et Doc Lavoisier.

Miettinen, T. A., and Gylling, H. (2003). Non-nutritive bioactive constituents of plants: Phytosterols. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* **73**(2)**,** 127-134.

Miettinen, T. A., and Gylling, H. (2006). Plant stanol and sterol esters in prevention of cardiovascular diseases: a review. *International Journal of Clinical Pharmacology and Therapeutics* **44**(6)**,** 247-250.

Moreno, D. A., Carvajal, M., Lopez-Berenguer, C., and Garcia-Viguera, C. (2006). Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* **41**(5)**,** 1508-1522.

Nieves, J. W. (2005). Osteoporosis: the role of micronutrients. *American Journal of Clinical Nutrition* **81**(5)**,** 1232S-1239S.

Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J. H., Chen, S., Corpe, C., Dutta, A., Dutta, S. K., and Levine, M. (2003). Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *Journal of the American College of Cardiology* **22**(1)**,** 18-35.

Pietinen, P., Rimm, E. B., Korhonen, P., Hartman, A. M., Willett, W. C., Albanes, D., and Virtamo, J. (1996). Intake of dietary fiber and risk of coronary heart disease in a cohort of Finnish men. The Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study. *Circulation* **94**(11)**,** 2720-2727.

Potier de Courcy, G., Chritidès, J. P., and Hercberg, S. (2001). Vitamine B9 (acide folique). *In* Apports nutritionnels conseillés pour la population française (A. Martin, Ed.), pp. 205-211: 205-211. Tec et Doc Lavoisier.

Rampersaud, G. C., Kauwell, G. P. A., and Bailey, L. B. (2003). Folate: A key to optimizing health and reducing disease risk in the elderly. *Journal of the American College of Nutrition* **22**(1)**,** 1-8.

Rao, A. V. (2002). Lycopene, tomatoes, and the prevention of coronary heart disease. *Experimental Biology and Medicine* **227**(10)**,** 908-913.

Rayssiguier, Y., Boirie, Y., and Durlach, J. (2001). Magnésium. *In* Apports nutritionnels conseillés pour la population française (A. Martin, Ed.), pp. 205-211: 205-211. Tec et Doc Lavoisier.

Riboli, E., Hunt, K. J., Slimani, N., Ferrari, P., Norat, T., Fahey, M., Charrondiere, U. R., Hemon, B., Casagrande, C., Vignat, J., Overvad, K., Tjonneland, A., Clavel-Chapelon, F., Thiebaut, A., Wahrendorf, J., Boeing, H., Trichopoulos, D., Trichopoulou, A., Vineis, P., Palli, D., Bueno-de-Mesquita, H. B., Peeters, P. H. M., Lund, E., Engeset, D., Gonzalez, C. A., Barricarte, A., Berglund, G., Hallmans, G., Day, N. E., Key, T. J., Kaaks, R., and Saracci, R. (2002). European prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC): study populations and data collection. *Public Health Nutrition* **5**(6B)**,** 1113-1124.

Rimm, E. B., Ascherio, A., Giovannucci, E., Spiegelman, D., Stampfer, M. J., and Willett, W. C. (1996). Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men. *Jama - Journal of the American Medical Association* **275**(6)**,** 447-451.

Ross, J. A., and Kasum, C. M. (2002). Dietary flavonoids: Bioavailability, metabolic effects, and safety. *Annual Review of Nutrition* **22,** 19-34.
Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Remesy, C., and Jimenez, L. (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **45**(4)**,** 287-306.
Slimani, N., Kaaks, R., Ferrari, P., Casagrande, C., Clavel-Chapelon, F., Lotze, G., Kroke, A., Trichopoulos, D., Trichopoulou, A., Lauria, C., Bellegotti, M., Ocke, M. C., Peeters, P. H. M., Engeset, D., Lund, E., Agudo, A., Larranaga, N., Mattisson, I., Andren, C., Johansson, I., Davey, G., Welch, A. A., Overvad, K., Tjonneland, A., van Staveren, W. A., Saracci, R., and Riboli, E. (2002). European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) calibration study: rationale, design and population characteristics. *Public Health Nutrition* **5**(6B)**,** 1125-1145.
Sontia, B., and Touyz, R. M. (2007). Role of magnesium in hypertension. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **458**(1)**,** 33-39.
Souci, S. W., Fachmann, W., and Kraut, H. (2000). Food composition and nutrition tables (6th revised edition). CRC Press. Medpharm, Scientific Publishers, Stuttgart.
Stanger, O. (2002). Physiology of folic acid in health and disease. *Current Drug Metabolism* **3**(2)**,** 211-223.
Stoewsand, G. S. (1995). Bioactive Organosulfur Phytochemicals in Brassica-Oleracea Vegetables - a Review. *Food and Chemical Toxicology* **33**(6)**,** 537-543.
USDA, and Agricultural Research Service (2006). USDA National Nutrient Database for Standard Reference http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/ .
Whelton, P. K., He, J., Cutler, J. A., Brancati, F. L., Appel, L. J., Follmann, D., and Klag, M. J. (1997). Effects of oral potassium on blood pressure - Meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Jama-Journal of the American Medical Association* **277**(20)**,** 1624-1632.
Wolk, A., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Colditz, G. A., Hu, F. B., Speizer, F. E., Hennekens, C. H., and Willett, W. C. (1999). Long-term intake of dietary fiber and decreased risk of coronary heart disease among women. *Jama-Journal of the American Medical Association* **281**(21)**,** 1998-2004.

## Maladies cardiovasculaires

(1990). The Hypertension Prevention Trial: three-year effects of dietary changes on blood pressure. Hypertension Prevention Trial Research Group. *Archives of Internal Medicine* **150**(1)**,** 153-162.
(2001). Apports Nutritionnels Conseillés AFSSA.
Appel, L. J., Champagne, C. M., Harsha, D. W., Cooper, L. S., Obarzanek, E., Elmer, P. J., Stevens, V. J., Vollmer, W. M., Lin, P. H., Svetkey, L. P., Stedman, S. W., and Young, D. R. (2003). Effects of comprehensive lifestyle modification on blood pressure control: main results of the PREMIER clinical trial. *Jama - Journal of the American Medical Association* **289**(16)**,** 2083-2093.
Appel, L. J., Moore, T. J., Obarzanek, E., Vollmer, W. M., Svetkey, L. P., Sacks, F. M., Bray, G. A., Vogt, T. M., Cutler, J. A., Windhauser, M. M., Lin, P. H., and Karanja, N. (1997). A clinical trial of the effects of dietary patterns on blood pressure. DASH Collaborative Research Group. *New England journal of medicine* **336**(16)**,** 1117-1124.
Ascherio, A., Rimm, E., Giovannucci, E., Colditz, G., Rosner, B., Willett, W., Sacks, F., and Stampfer, M. (1992). A prospective study of nutritional factors and hypertension among US men. *Circulation* **86**(5)**,** 1475-1484.
Barzi, F., Woodward, M., Marfisi, R. M., Tavazzi, L., Valagussa, F., and Marchioli, R. (2003). Mediterranean diet and all-causes mortality after myocardial infarction: results from the GISSI-Prevenzione trial. *European Journal of Clinical Nutrition* **57**(4)**,** 604-611.
Bautista, L. E., Arenas, I. A., Penuela, A., and Martinez, L. X. (2002). Total plasma homocysteine level and risk of cardiovascular disease: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Journal of clinical epidemiology* **55**(9)**,** 882-887.
Bazzano, L. A. (2005). *Joint FAO/WHO WorkShop on Fruit and Vegetables for Health, 1-3 sept. 2004, Kobe, Japan* 66 p.
Bazzano, L. A., He, J., Ogden, L. G., Loria, C., Vupputuri, S., Myers, L., and Whelton, P. K. (2001). Legume consumption and risk of coronary heart disease in US men and women: NHANES I Epidemiologic Follow-up Study. *Archives of internal medicine* **161**(21)**,** 2573-2578.
Bazzano, L. A., He, J., Ogden, L. G., Loria, C. M., Vupputuri, S., Myers, L., and Whelton, P. K. (2002). Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease in US adults: the first National Health and Nutrition Examination Survey Epidemiologic Follow-up Study. *American Journal of Clinical Nutrition* **76**(1)**,** 93-99.
Bazzano, L. A., Reynolds, K., Holder, K. N., and He, J. (2006). Effect of folic acid supplementation on risk of cardiovascular diseases: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Jama - Journal of the American Medical Association* **296**(22)**,** 2720-2726.
Bazzano, L. A., Serdula, M. K., and Liu, S. (2003). Dietary intake of fruits and vegetables and risk of cardiovascular disease. *Current Atherosclerosis Reports* **5**(6)**,** 492-499.
Bell, E. A., Castellanos, V. H., Pelkman, C. L., Thorwart, M. L., and Rolls, B. J. (1998). Energy density of foods affects energy intake in normal-weight women. *American Journal of Clinical Nutrition* **67**(3)**,** 412-420.
Beresford, S. A., Johnson, K. C., Ritenbaugh, C., Lasser, N. L., Snetselaar, L. G., Black, H. R., Anderson, G. L., Assaf, A. R., Bassford, T., Bowen, D., Brunner, R. L., Brzyski, R. G., Caan, B., Chlebowski, R. T., Gass, M., Harrigan, R. C., Hays, J., Heber, D., Heiss, G., Hendrix, S. L., Howard, B. V., Hsia, J., Hubbell, F. A.,

Jackson, R. D., Kotchen, J. M., Kuller, L. H., LaCroix, A. Z., Lane, D. S., Langer, R. D., Lewis, C. E., Manson, J. E., Margolis, K. L., Mossavar-Rahmani, Y., Ockene, J. K., Parker, L. M., Perri, M. G., Phillips, L., Prentice, R. L., Robbins, J., Rossouw, J. E., Sarto, G. E., Stefanick, M. L., Van Horn, L., Vitolins, M. Z., Wactawski-Wende, J., Wallace, R. B., and Whitlock, E. (2006). Low-fat dietary pattern and risk of colorectal cancer: the Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial. *Jama - Journal of the American Medical Association* **295**(6)**,** 643-654.

Bjelakovic, G., Nikolova, D., Gluud, L. L., Simonetti, R. G., and Gluud, C. (2007). Mortality in randomized trials of antioxidant supplements for primary and secondary prevention: systematic review and meta-analysis. *Jama - Journal of the American Medical Association* **297**(8)**,** 842-857.

Blomhoff, R. (2005). Dietary antioxidants and cardiovascular disease. *Current Opinion in Lipidology* **16**(1)**,** 47-54.

Brigelius-Flohe, R., Kelly, F. J., Salonen, J. T., Neuzil, J., Zingg, J. M., and Azzi, A. (2002). The European perspective on vitamin E: current knowledge and future research. *American Journal of Clinical Nutrition* **76**(4)**,** 703-716.

Brown, A. A., and Hu, F. B. (2001). Dietary modulation of endothelial function: implications for cardiovascular disease. *American Journal of Clinical Nutrition* **73**(4)**,** 673-686.

Brown, L., Rosner, B., Willett, W. W., and Sacks, F. M. (1999). Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition* **69**(1)**,** 30-42.

Brunner, E. J., Thorogood, M., Rees, K., and Hewitt, G. (2006). Dietary advice for reducing cardiovascular risk. *Cochrane database systematic review* **35,** 538-540.

Burr, M. L. (2007). Secondary prevention of CHD in UK men: the Diet and Reinfarction Trial and its sequel. *Proceedings of the Nutrition Society* **66**(1)**,** 9-15.

Burr, M. L., Ashfield-Watt, P. A., Dunstan, F. D., Fehily, A. M., Breay, P., Ashton, T., Zotos, P. C., Haboubi, N. A., and Elwood, P. C. (2003). Lack of benefit of dietary advice to men with angina: results of a controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition* **57**(2)**,** 193-200.

Chattopadhyay, A., and Bandyopadhyay, D. (2006). Vitamin E in the prevention of ischemic heart disease. *Pharmacological Reports* **58**(2)**,** 179-187.

Chisolm, G. M., and Steinberg, D. (2000). The oxidative modification hypothesis of atherogenesis: an overview. *Free radical biology & medicine* **28**(12)**,** 1815-1826.

Committee on Diet and Health, and National Research Council (1989). Diet and Health: Implications for Reducing Chronic Disease Risk. National Academy Press, Washington, D.C.

Cox, B. D., Whichelow, M. J., and Prevost, A. T. (2000). Seasonal consumption of salad vegetables and fresh fruit in relation to the development of cardiovascular disease and cancer. *Public Health Nutrition* **3**(1)**,** 19-29.

Dauchet, L., Amouyel, P., and Dallongeville, J. (2005). Fruit and vegetable consumption and risk of stroke: a meta-analysis of cohort studies. *Neurology* **65**(8)**,** 1193-1197.

Dauchet, L., Amouyel, P., Hercberg, S., and Dallongeville, J. (2006). Fruit and vegetable consumption and risk of coronary heart disease: a meta-analysis of cohort studies. *Journal of Nutrition* **136**(10)**,** 2588-2593.

Dauchet, L., Ferrieres, J., Arveiler, D., Yarnell, J. W., Gey, F., Ducimetiere, P., Ruidavets, J. B., Haas, B., Evans, A., Bingham, A., Amouyel, P., and Dallongeville, J. (2004). Frequency of fruit and vegetable consumption and coronary heart disease in France and Northern Ireland: the PRIME study. *British journal of nutrition* **92**(6)**,** 963-972.

Dauchet, L., Kesse-Guyot, E., Czernichow, S., Bertrais, S., Estaquio, C., Peneau, S., Vergnaud, A. C., Chat-Yung, S., Castetbon, K., Deschamps, V., Brindel, P., and Hercberg, S. (2007). Dietary patterns and blood pressure change over 5-y follow-up in the SU.VI.MAX cohort. *American Journal of Clinical Nutrition* **85**(6)**,** 1650-1656.

de Lorgeril, M., Renaud, S., Mamelle, N., Salen, P., Martin, J. L., Monjaud, I., Guidollet, J., Touboul, P., and Delaye, J. (1994). Mediterranean alpha-linolenic acid-rich diet in secondary prevention of coronary heart disease. *Lancet* **343**(8911)**,** 1454-1459.

de Lorgeril, M., Salen, P., Martin, J. L., Monjaud, I., Delaye, J., and Mamelle, N. (1999). Mediterranean diet, traditional risk factors, and the rate of cardiovascular complications after myocardial infarction: final report of the Lyon Diet Heart Study. *Circulation* **99**(6)**,** 779-785.

Devaraj, S., Adams-Huet, B., Fuller, C. J., and Jialal, I. (1997). Dose-response comparison of RRR-alpha-tocopherol and all-racemic alpha-tocopherol on LDL oxidation. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology* **17**(10)**,** 2273-2279.

Devaraj, S., and Jialal, I. (1996). Oxidized low-density lipoprotein and atherosclerosis. *International journal of clinical & laboratory research* **26**(3)**,** 178-184.

Djuric, Z., Poore, K. M., Depper, J. B., Uhley, V. E., Lababidi, S., Covington, C., Klurfeld, D. M., Simon, M. S., Kucuk, O., and Heilbrun, L. K. (2002). Methods to increase fruit and vegetable intake with and without a decrease in fat intake: compliance and effects on body weight in the nutrition and breast health study. *Nutrition and Cancer* **43**(2)**,** 141-151.

Drewnowski, A., Almiron-Roig, E., Marmonier, C., and Lluch, A. (2004). Dietary energy density and body weight: is there a relationship? *Nutrition Reviews* **62**(11)**,** 403-413.

Dyer, A. R., Elliott, P., and Shipley, M. (1994). Urinary electrolyte excretion in 24 hours and blood pressure in the INTERSALT Study. II. Estimates of electrolyte-blood pressure associations corrected for regression dilution bias. The INTERSALT Cooperative Research Group. *American journal of epidemiology* **139**(9)**,** 940-951.

Eidelman, R. S., Hollar, D., Hebert, P. R., Lamas, G. A., and Hennekens, C. H. (2004). Randomized trials of vitamin E in the treatment and prevention of cardiovascular disease. *Archives of Internal Medicine* **164**(14)**,** 1552-1556.

Elmer, P. J., Obarzanek, E., Vollmer, W. M., Simons-Morton, D., Stevens, V. J., Young, D. R., Lin, P. H., Champagne, C., Harsha, D. W., Svetkey, L. P., Ard, J., Brantley, P. J., Proschan, M. A., Erlinger, T. P., and Appel, L. J. (2006). Effects of comprehensive lifestyle modification on diet, weight, physical fitness, and blood pressure control: 18-month results of a randomized trial. *Annals of internal medicine* **144**(7)**,** 485-495.

Evans, R. W., Shaten, B. J., Day, B. W., and Kuller, L. H. (1998). Prospective association between lipid soluble antioxidants and coronary heart disease in men. The Multiple Risk Factor Intervention Trial. *American journal of epidemiology* **147**(2)**,** 180-186.

Fehily, A. M., Yarnell, J. W., Sweetnam, P. M., and Elwood, P. C. (1993). Diet and incident ischaemic heart disease: the Caerphilly Study. *British journal of nutrition* **69**(2)**,** 303-314.

Ford, E. S., Smith, S. J., Stroup, D. F., Steinberg, K. K., Mueller, P. W., and Thacker, S. B. (2002). Homocyst(e)ine and cardiovascular disease: a systematic review of the evidence with special emphasis on case-control studies and nested case-control studies. *International journal of epidemiology* **31**(1)**,** 59-70.

Fraser, G. E., Sabate, J., Beeson, W. L., and Strahan, T. M. (1992). A possible protective effect of nut consumption on risk of coronary heart disease. The Adventist Health Study. *Archives of Internal Medicine* **152**(7)**,** 1416-1424.

Frei, B. (2003). To C or not to C, that is the question! *Journal of the American College of Cardiology* **42**(2)**,** 253-255.

Fuller, C. J., Chandalia, M., Garg, A., Grundy, S. M., and Jialal, I. (1996). RRR-alpha-tocopheryl acetate supplementation at pharmacologic doses decreases low-density-lipoprotein oxidative susceptibility but not protein glycation in patients with diabetes mellitus. *American Journal of Clinical Nutrition* **63**(5)**,** 753-759.

Funk, K. L., Elmer, P. J., Stevens, V. J., Harsha, D. W., Craddick, S. R., Lin, P. H., Young, D. R., Champagne, C. M., Brantley, P. J., McCarron, P. B., Simons-Morton, D. G., and Appel, L. J. (2006). PREMIER--A Trial of Lifestyle Interventions for Blood Pressure Control: Intervention Design and Rationale. *Health promotion practice*.

Gaziano, J. M., Manson, J. E., Branch, L. G., Colditz, G. A., Willett, W. C., and Buring, J. E. (1995). A prospective study of consumption of carotenoids in fruits and vegetables and decreased cardiovascular mortality in the elderly. *Annals of epidemiology* **5**(4)**,** 255-260.

Genkinger, J. M., Platz, E. A., Hoffman, S. C., Comstock, G. W., and Helzlsouer, K. J. (2004). Fruit, vegetable, and antioxidant intake and all-cause, cancer, and cardiovascular disease mortality in a community-dwelling population in Washington County, Maryland. *American journal of epidemiology* **160**(12)**,** 1223-1233.

Gillman, M. W., Cupples, L. A., Gagnon, D., Posner, B. M., Ellison, R. C., Castelli, W. P., and Wolf, P. A. (1995). Protective effect of fruits and vegetables on development of stroke in men. *Jama - Journal of the American Medical Association* **273**(14)**,** 1113-1117.

He, F. J., Nowson, C. A., Lucas, M., and MacGregor, G. A. (2007). Increased consumption of fruit and vegetables is related to a reduced risk of coronary heart disease: meta-analysis of cohort studies. *Journal of human hypertension* **21**(9)**,** 717-728.

He, F. J., Nowson, C. A., and MacGregor, G. A. (2006). Fruit and vegetable consumption and stroke: meta-analysis of cohort studies. *Lancet* **367**(9507)**,** 320-326.

Heller, R., Unbehaun, A., Schellenberg, B., Mayer, B., Werner-Felmayer, G., and Werner, E. R. (2001). L-ascorbic acid potentiates endothelial nitric oxide synthesis via a chemical stabilization of tetrahydrobiopterin. *Journal of biological chemistry* **276**(1)**,** 40-47.

Hense, H. W., Stender, M., Bors, W., and Keil, U. (1993). Lack of an association between serum vitamin E and myocardial infarction in a population with high vitamin E levels. *Atherosclerosis* **103**(1)**,** 21-28.

Hirayama, T. (1986). Nutrition and cancer--a large scale cohort study. *Progress in clinical and biological research* **206:299-311.,** 299-311.

Hirvonen, T., Virtamo, J., Korhonen, P., Albanes, D., and Pietinen, P. (2000). Intake of flavonoids, carotenoids, vitamins C and E, and risk of stroke in male smokers. *Stroke* **31**(10)**,** 2301-2306.

Homocysteine Lowering Trialists' Collaboration (2005). Dose-dependent effects of folic acid on blood concentrations of homocysteine: a meta-analysis of the randomized trials. *American Journal of Clinical Nutrition* **82**(4)**,** 806-812.

Howard, B. V., Manson, J. E., Stefanick, M. L., Beresford, S. A., Frank, G., Jones, B., Rodabough, R. J., Snetselaar, L., Thomson, C., Tinker, L., Vitolins, M., and Prentice, R. (2006). Low-fat dietary pattern and weight change over 7 years: the Women's Health Initiative Dietary Modification Trial. *Jama - Journal of the American Medical Association* **295**(1)**,** 39-49.

Howard, B. V., Van Horn, L., Hsia, J., Manson, J. E., Stefanick, M. L., Wassertheil-Smoller, S., Kuller, L. H., LaCroix, A. Z., Langer, R. D., Lasser, N. L., Lewis, C. E., Limacher, M. C., Margolis, K. L., Mysiw, W. J., Ockene, J. K., Parker, L. M., Perri, M. G., Phillips, L., Prentice, R. L., Robbins, J., Rossouw, J. E., Sarto, G. E., Schatz, I. J., Snetselaar, L. G., Stevens, V. J., Tinker, L. F., Trevisan, M., Vitolins, M. Z., Anderson, G. L., Assaf, A. R., Bassford, T., Beresford, S. A., Black, H. R., Brunner, R. L., Brzyski, R. G., Caan, B., Chlebowski, R. T., Gass, M., Granek, I., Greenland, P., Hays, J., Heber, D., Heiss, G.,

Hendrix, S. L., Hubbell, F. A., Johnson, K. C., and Kotchen, J. M. (2006). Low-fat dietary pattern and risk of cardiovascular disease: the Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial. *Jama - Journal of the American Medical Association* **295**(6)**,** 655-666.

Hu, F. B. (2003). Plant-based foods and prevention of cardiovascular disease: an overview. *American Journal of Clinical Nutrition* **78**(3 Suppl)**,** 544S-551S.

Huang, A., Vita, J. A., Venema, R. C., and Keaney, J. F., Jr. (2000). Ascorbic acid enhances endothelial nitric-oxide synthase activity by increasing intracellular tetrahydrobiopterin. *Journal of biological chemistry* **275**(23)**,** 17399-17406.

Huang, H. Y., Caballero, B., Chang, S., Alberg, A. J., Semba, R. D., Schneyer, C. R., Wilson, R. F., Cheng, T. Y., Vassy, J., Prokopowicz, G., Barnes, G. J., and Bass, E. B. (2006). The efficacy and safety of multivitamin and mineral supplement use to prevent cancer and chronic disease in adults: a systematic review for a National Institutes of Health state-of-the-science conference. *Annals of internal medicine* **145**(5)**,** 372-385.

Hung, H. C., Joshipura, K. J., Jiang, R., Hu, F. B., Hunter, D., Smith-Warner, S. A., Colditz, G. A., Rosner, B., Spiegelman, D., and Willett, W. C. (2004). Fruit and vegetable intake and risk of major chronic disease. *Journal of the National Cancer Institute* **96**(21)**,** 1577-1584.

Irala-Estevez, J. D., Groth, M., Johansson, L., Oltersdorf, U., Prattala, R., and Martinez-Gonzalez, M. A. (2000). A systematic review of socio-economic differences in food habits in Europe: consumption of fruit and vegetables. *European Journal of Clinical Nutrition* **54**(9)**,** 706-714.

Jialal, I., Fuller, C. J., and Huet, B. A. (1995). The effect of alpha-tocopherol supplementation on LDL oxidation. A dose-response study. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology* **15**(2)**,** 190-198.

Jialal, I., and Grundy, S. M. (1991). Preservation of the endogenous antioxidants in low density lipoprotein by ascorbate but not probucol during oxidative modification. *Journal of Clinical Investigation* **87**(2)**,** 597-601.

Jialal, I., and Grundy, S. M. (1993). Effect of combined supplementation with alpha-tocopherol, ascorbate, and beta carotene on low-density lipoprotein oxidation. *Circulation* **88**(6)**,** 2780-2786.

John, J. H., Ziebland, S., Yudkin, P., Roe, L. S., and Neil, H. A. (2002). Effects of fruit and vegetable consumption on plasma antioxidant concentrations and blood pressure: a randomised controlled trial. *Lancet* **359**(9322)**,** 1969-1974.

Johnsen, S. P., Overvad, K., Stripp, C., Tjonneland, A., Husted, S. E., and Sorensen, H. T. (2003). Intake of fruit and vegetables and the risk of ischemic stroke in a cohort of Danish men and women. *American Journal of Clinical Nutrition* **78**(1)**,** 57-64.

Joshipura, K. J., Ascherio, A., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Rimm, E. B., Speizer, F. E., Hennekens, C. H., Spiegelman, D., and Willett, W. C. (1999). Fruit and vegetable intake in relation to risk of ischemic stroke. *Jama - Journal of the American Medical Association* **282**(13)**,** 1233-1239.

Joshipura, K. J., Hu, F. B., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Rimm, E. B., Speizer, F. E., Colditz, G., Ascherio, A., Rosner, B., Spiegelman, D., and Willett, W. C. (2001). The effect of fruit and vegetable intake on risk for coronary heart disease. *Annals of internal medicine* **134**(12)**,** 1106-1114.

Kamphuis, C. B., Giskes, K., de Bruijn, G. J., Wendel-Vos, W., Brug, J., and van Lenthe, F. J. (2006). Environmental determinants of fruit and vegetable consumption among adults: a systematic review. *British journal of nutrition* **96**(4)**,** 620-635.

Key, T. J., Thorogood, M., Appleby, P. N., and Burr, M. L. (1996). Dietary habits and mortality in 11,000 vegetarians and health conscious people: results of a 17 year follow up. *BMJ* **313**(7060)**,** 775-779.

Knekt, P., Jarvinen, R., Reunanen, A., and Maatela, J. (1996). Flavonoid intake and coronary mortality in Finland: a cohort study. *BMJ* **312**(7029)**,** 478-481.

Knekt, P., Reunanen, A., Jarvinen, R., Seppanen, R., Heliovaara, M., and Aromaa, A. (1994). Antioxidant vitamin intake and coronary mortality in a longitudinal population study. *American journal of epidemiology* **139**(12)**,** 1180-1189.

Knekt, P., Ritz, J., Pereira, M. A., O'Reilly, E. J., Augustsson, K., Fraser, G. E., Goldbourt, U., Heitmann, B. L., Hallmans, G., Liu, S., Pietinen, P., Spiegelman, D., Stevens, J., Virtamo, J., Willett, W. C., Rimm, E. B., and Ascherio, A. (2004). Antioxidant vitamins and coronary heart disease risk: a pooled analysis of 9 cohorts. *American Journal of Clinical Nutrition* **80**(6)**,** 1508-1520.

Kris-Etherton, P., Eckel, R. H., Howard, B. V., St Jeor, S., and Bazzarre, T. L. (2001). AHA Science Advisory: Lyon Diet Heart Study. Benefits of a Mediterranean-style, National Cholesterol Education Program/American Heart Association Step I Dietary Pattern on Cardiovascular Disease. *Circulation* **103**(13)**,** 1823-1825.

Kris-Etherton, P. M., Lichtenstein, A. H., Howard, B. V., Steinberg, D., and Witztum, J. L. (2004). Antioxidant vitamin supplements and cardiovascular disease. *Circulation* **110**(5)**,** 637-641.

Kushi, L. H., Lew, R. A., Stare, F. J., Ellison, C. R., el Lozy, M., Bourke, G., Daly, L., Graham, I., Hickey, N., and Mulcahy, R. (1985). Diet and 20-year mortality from coronary heart disease. The Ireland-Boston Diet-Heart Study. *New England journal of medicine* **312**(13)**,** 811-818.

Lampe, J. W. (1999). Health effects of vegetables and fruit: assessing mechanisms of action in human experimental studies. *American Journal of Clinical Nutrition* **70**(3 Suppl)**,** 475S-490S.

Lanza, E., Schatzkin, A., Daston, C., Corle, D., Freedman, L., Ballard-Barbash, R., Caan, B., Lance, P., Marshall, J., Iber, F., Shike, M., Weissfeld, J., Slattery, M., Paskett, E., Mateski, D., and Albert, P. (2001). Implementation of a 4-y, high-fiber, high-fruit-and-vegetable, low-fat dietary intervention: results of dietary changes in the Polyp Prevention Trial. *American Journal of Clinical Nutrition* **74**(3)**,** 387-401.

Law, M. R., and Morris, J. K. (1998). By how much does fruit and vegetable consumption reduce the risk of ischaemic heart disease? *European journal of clinical nutrition* **52**(8)**,** 549-556.
Law, M. R., and Morris, J. K. (1999). By how much does fruit and vegetable consumption reduce the risk of ischaemic heart disease: response to commentary. *European Journal of Clinical Nutrition* **53**(11)**,** 903-904.
Lawlor, D. A., Davey, S. G., Kundu, D., Bruckdorfer, K. R., and Ebrahim, S. (2004). Those confounded vitamins: what can we learn from the differences between observational versus randomised trial evidence? *Lancet* **363**(9422)**,** 1724-1727.
Ledikwe, J. H., Blanck, H. M., Kettel Khan, L., Serdula, M. K., Seymour, J. D., Tohill, B. C., and Rolls, B. J. (2006). Dietary energy density is associated with energy intake and weight status in US adults. *American Journal of Clinical Nutrition* **83**(6)**,** 1362-1368.
Ledikwe, J. H., Blanck, H. M., Khan, L. K., Serdula, M. K., Seymour, J. D., Tohill, B. C., and Rolls, B. J. (2006). Low-energy-density diets are associated with high diet quality in adults in the United States. *Journal of the American Dietetic Association* **106**(8)**,** 1172-1180.
Liu, S., Lee, I. M., Ajani, U., Cole, S. R., Buring, J. E., and Manson, J. E. (2001). Intake of vegetables rich in carotenoids and risk of coronary heart disease in men: The Physicians' Health Study. *International journal of epidemiology* **30**(1)**,** 130-135.
Liu, S., Manson, J. E., Lee, I. M., Cole, S. R., Hennekens, C. H., Willett, W. C., and Buring, J. E. (2000). Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease: the Women's Health Study. *American Journal of Clinical Nutrition* **72**(4)**,** 922-928.
Mann, J. I., Appleby, P. N., Key, T. J., and Thorogood, M. (1997). Dietary determinants of ischaemic heart disease in health conscious individuals. *Heart* **78**(5)**,** 450-455.
Marchioli, R., Schweiger, C., Levantesi, G., Tavazzi, L., and Valagussa, F. (2001). Antioxidant vitamins and prevention of cardiovascular disease: epidemiological and clinical trial data. *Lipids* **36 Suppl:S53-63.,** S53-S63.
Margetts, B. M., Beilin, L. J., Vandongen, R., and Armstrong, B. K. (1986). Vegetarian diet in mild hypertension: a randomised controlled trial. *British medical journal (Clinical research ed.)* **293**(6560)**,** 1468-1471.
Maskarinec, G., Chan, C. L., Meng, L., Franke, A. A., and Cooney, R. V. (1999). Exploring the feasibility and effects of a high-fruit and -vegetable diet in healthy women. *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention* **8**(10)**,** 919-924.
McCully, K. S. (1969). Vascular pathology of homocysteinemia: implications for the pathogenesis of arteriosclerosis. *American journal of pathology* **56**(1)**,** 111-128.
Miller, E. R., III, Pastor-Barriuso, R., Dalal, D., Riemersma, R. A., Appel, L. J., and Guallar, E. (2005). Meta-analysis: high-dosage vitamin E supplementation may increase all-cause mortality. *Annals of internal medicine* **142**(1)**,** 37-46.
Ministère de la Santé et des Solidarités (2006). Deuxième Programme National Nutrition Santé. 51 p. Ministère de la Santé et des Solidarités,.
Mozaffarian, D., Kumanyika, S. K., Lemaitre, R. N., Olson, J. L., Burke, G. L., and Siscovick, D. S. (2003). Cereal, fruit, and vegetable fiber intake and the risk of cardiovascular disease in elderly individuals. *Jama - Journal of the American Medical Association* **289**(13)**,** 1659-1666.
National Cancer Institute (2001). 5 a Day for Better Health Program. (G. Stables, and J. Heimendinger, Eds.) National Cancer Institute - National Institutes of Health 01-5019.
Ness, A. R., Ashfield-Watt, P. A., Whiting, J. M., Smith, G. D., Hughes, J., and Burr, M. L. (2004). The long-term effect of dietary advice on the diet of men with angina: the diet and angina randomized trial. *Journal of human nutrition and dietetics* **17**(2)**,** 117-119.
Ness, A. R., Egger, M., and Powles, J. (1999). Fruit and vegetables and ischaemic heart disease: systematic review or misleading meta-analysis? *European Journal of Clinical Nutrition* **53**(11)**,** 900-904.
Ness, A. R., Maynard, M., Frankel, S., Smith, G. D., Frobisher, C., Leary, S. D., Emmett, P. M., and Gunnell, D. (2005). Diet in childhood and adult cardiovascular and all cause mortality: the Boyd Orr cohort. *Heart* **91**(7)**,** 894-898.
Ness, A. R., and Powles, J. W. (1997). Fruit and vegetables, and cardiovascular disease: a review. *International journal of epidemiology* **26**(1)**,** 1-13.
Obarzanek, E., Sacks, F. M., Vollmer, W. M., Bray, G. A., Miller, E. R., Lin, P. H., Karanja, N. M., Most-Windhauser, M. M., Moore, T. J., Swain, J. F., Bales, C. W., and Proschan, M. A. (2001). Effects on blood lipids of a blood pressure-lowering diet: the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) Trial. *American Journal of Clinical Nutrition* **74**(1)**,** 80-89.
Ohrvall, M., Berglund, L., Salminen, I., Lithell, H., Aro, A., and Vessby, B. (1996). The serum cholesterol ester fatty acid composition but not the serum concentration of alpha tocopherol predicts the development of myocardial infarction in 50-year-old men: 19 years follow-up. *Atherosclerosis* **127**(1)**,** 65-71.
Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J. H., Chen, S., Corpe, C., Dutta, A., Dutta, S. K., and Levine, M. (2003). Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *Journal of the American College of Cardiology* **22**(1)**,** 18-35.
Pham, D. Q., and Plakogiannis, R. (2005). Vitamin E supplementation in cardiovascular disease and cancer prevention: Part 1. *Annals of Pharmacotherapy* **39**(11)**,** 1870-1878.
Pierce, J. P., Natarajan, L., Caan, B. J., Parker, B. A., Greenberg, E. R., Flatt, S. W., Rock, C. L., Kealey, S., Al Delaimy, W. K., Bardwell, W. A., Carlson, R. W., Emond, J. A., Faerber, S., Gold, E. B., Hajek, R. A., Hollenbach, K., Jones, L. A., Karanja, N., Madlensky, L., Marshall, J., Newman, V. A., Ritenbaugh, C.,

Thomson, C. A., Wasserman, L., and Stefanick, M. L. (2007). Influence of a diet very high in vegetables, fruit, and fiber and low in fat on prognosis following treatment for breast cancer: the Women's Healthy Eating and Living (WHEL) randomized trial. *Jama - Journal of the American Medical Association* **298**(3)**,** 289-298.

Pierce, J. P., Newman, V. A., Flatt, S. W., Faerber, S., Rock, C. L., Natarajan, L., Caan, B. J., Gold, E. B., Hollenbach, K. A., Wasserman, L., Jones, L., Ritenbaugh, C., Stefanick, M. L., Thomson, C. A., and Kealey, S. (2004). Telephone counseling intervention increases intakes of micronutrient- and phytochemical-rich vegetables, fruit and fiber in breast cancer survivors. *Journal of nutrition* **134**(2)**,** 452-458.

Pietinen, P., Rimm, E. B., Korhonen, P., Hartman, A. M., Willett, W. C., Albanes, D., and Virtamo, J. (1996). Intake of dietary fiber and risk of coronary heart disease in a cohort of Finnish men. The Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study. *Circulation* **94**(11)**,** 2720-2727.

Potischman, N., and Weed, D. L. (1999). Causal criteria in nutritional epidemiology. *American Journal of Clinical Nutrition* **69**(6)**,** 1309S-1314S.

Prentice, R. L., Caan, B., Chlebowski, R. T., Patterson, R., Kuller, L. H., Ockene, J. K., Margolis, K. L., Limacher, M. C., Manson, J. E., Parker, L. M., Paskett, E., Phillips, L., Robbins, J., Rossouw, J. E., Sarto, G. E., Shikany, J. M., Stefanick, M. L., Thomson, C. A., Van Horn, L., Vitolins, M. Z., Wactawski-Wende, J., Wallace, R. B., Wassertheil-Smoller, S., Whitlock, E., Yano, K., Adams-Campbell, L., Anderson, G. L., Assaf, A. R., Beresford, S. A., Black, H. R., Brunner, R. L., Brzyski, R. G., Ford, L., Gass, M., Hays, J., Heber, D., Heiss, G., Hendrix, S. L., Hsia, J., Hubbell, F. A., Jackson, R. D., Johnson, K. C., Kotchen, J. M., LaCroix, A. Z., Lane, D. S., Langer, R. D., Lasser, N. L., and Henderson, M. M. (2006). Low-fat dietary pattern and risk of invasive breast cancer: the Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial. *Jama - Journal of the American Medical Association* **295**(6)**,** 629-642.

Rimm, E. B., Ascherio, A., Giovannucci, E., Spiegelman, D., Stampfer, M. J., and Willett, W. C. (1996). Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men. *Jama - Journal of the American Medical Association* **275**(6)**,** 447-451.

Rissanen, T. H., Voutilainen, S., Virtanen, J. K., Venho, B., Vanharanta, M., Mursu, J., and Salonen, J. T. (2003). Low intake of fruits, berries and vegetables is associated with excess mortality in men: the Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor (KIHD) Study. *Journal of nutrition* **133**(1)**,** 199-204.

Rock, C. L., Flatt, S. W., Thomson, C. A., Stefanick, M. L., Newman, V. A., Jones, L., Natarajan, L., Pierce, J. P., Chang, R. J., and Witztum, J. L. (2004). Plasma triacylglycerol and HDL cholesterol concentrations confirm self-reported changes in carbohydrate and fat intakes in women in a diet intervention trial. *Journal of nutrition* **134**(2)**,** 342-347.

Rock, C. L., Thomson, C., Caan, B. J., Flatt, S. W., Newman, V., Ritenbaugh, C., Marshall, J. R., Hollenbach, K. A., Stefanick, M. L., and Pierce, J. P. (2001). Reduction in fat intake is not associated with weight loss in most women after breast cancer diagnosis: evidence from a randomized controlled trial. *Cancer* **91**(1)**,** 25-34.

Rolls, B. J., Bell, E. A., Castellanos, V. H., Chow, M., Pelkman, C. L., and Thorwart, M. L. (1999). Energy density but not fat content of foods affected energy intake in lean and obese women. *American Journal of Clinical Nutrition* **69**(5)**,** 863-871.

Rolls, B. J., Bell, E. A., and Thorwart, M. L. (1999). Water incorporated into a food but not served with a food decreases energy intake in lean women. *American Journal of Clinical Nutrition* **70**(4)**,** 448-455.

Rolls, B. J., Drewnowski, A., and Ledikwe, J. H. (2005). Changing the energy density of the diet as a strategy for weight management. *Journal of the American Dietetic Association* **105**(5 Suppl 1)**,** S98-S103.

Rolls, B. J., Ello-Martin, J. A., and Tohill, B. C. (2004). What can intervention studies tell us about the relationship between fruit and vegetable consumption and weight management? *Nutrition Reviews* **62**(1)**,** 1-17.

Roos, G., Johansson, L., Kasmel, A., Klumbiene, J., and Prattala, R. (2001). Disparities in vegetable and fruit consumption: European cases from the north to the south. *Public Health Nutrition* **4**(1)**,** 35-43.

Rose, G. (1985). Sick individuals and sick populations. *International journal of epidemiology* **14**(1)**,** 32-38.

Sacks, F. M., Rosner, B., and Kass, E. H. (1974). Blood pressure in vegetarians. *American journal of epidemiology* **100**(5)**,** 390-398.

Sacks, F. M., Svetkey, L. P., Vollmer, W. M., Appel, L. J., Bray, G. A., Harsha, D., Obarzanek, E., Conlin, P. R., Miller, E. R., III, Simons-Morton, D. G., Karanja, N., and Lin, P. H. (2001). Effects on blood pressure of reduced dietary sodium and the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) diet. DASH-Sodium Collaborative Research Group. *New England journal of medicine* **344**(1)**,** 3-10.

Sahyoun, N. R., Jacques, P. F., and Russell, R. M. (1996). Carotenoids, vitamins C and E, and mortality in an elderly population. *American journal of epidemiology* **144**(5)**,** 501-511.

Sauberlich, H. E. (1994). Pharmacology of vitamin C. *Annual review of nutrition* **14,** 371-391.

Sauvaget, C., Nagano, J., Allen, N., and Kodama, K. (2003). Vegetable and fruit intake and stroke mortality in the Hiroshima/Nagasaki Life Span Study. *Stroke* **34**(10)**,** 2355-2360.

Shah, M., Jeffery, R. W., Laing, B., Savre, S. G., Van Natta, M., and Strickland, D. (1990). Hypertension Prevention Trial (HPT): food pattern changes resulting from intervention on sodium, potassium, and energy intake. Hypertension Prevention Trial Research Group. *Journal of the American Dietetic Association* **90**(1)**,** 69-76.

Shekelle, P. G., Morton, S. C., Jungvig, L. K., Udani, J., Spar, M., Tu, W., Suttorp, J., Coulter, I., Newberry, S. J., and Hardy, M. (2004). Effect of supplemental vitamin E for the prevention and treatment of cardiovascular disease. *Journal of general internal medicine* **19**(4)**,** 380-389.

Smith-Warner, S. A., Elmer, P. J., Tharp, T. M., Fosdick, L., Randall, B., Gross, M., Wood, J., and Potter, J. D. (2000). Increasing vegetable and fruit intake: randomized intervention and monitoring in an at-risk population. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention* **9**(3)**,** 307-317.

Stamler, J., Caggiula, A., Grandits, G. A., Kjelsberg, M., and Cutler, J. A. (1996). Relationship to Blood Pressure of Combinations of Dietary Macronutrients: Findings of the Multiple Risk Factor Intervention Trial (MRFIT). *Circulation* **94**(10)**,** 2417-2423.

Steffen, L. M., Jacobs, D. R., Jr., Stevens, J., Shahar, E., Carithers, T., and Folsom, A. R. (2003). Associations of whole-grain, refined-grain, and fruit and vegetable consumption with risks of all-cause mortality and incident coronary artery disease and ischemic stroke: the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. *American Journal of Clinical Nutrition* **78**(3)**,** 383-390.

Strandhagen, E., Hansson, P. O., Bosaeus, I., Isaksson, B., and Eriksson, H. (2000). High fruit intake may reduce mortality among middle-aged and elderly men. The Study of Men Born in 1913. *European journal of clinical nutrition* **54**(4)**,** 337-341.

Svetkey, L. P., Harsha, D. W., Vollmer, W. M., Stevens, V. J., Obarzanek, E., Elmer, P. J., Lin, P. H., Champagne, C., Simons-Morton, D. G., Aickin, M., Proschan, M. A., and Appel, L. J. (2003). Premier: a clinical trial of comprehensive lifestyle modification for blood pressure control: rationale, design and baseline characteristics. *Annals of epidemiology* **13**(6)**,** 462-471.

the Homocysteine Studies Collaboration (2002). Homocysteine and risk of ischemic heart disease and stroke: a meta-analysis. *Jama - Journal of the American Medical Association* **288**(16)**,** 2015-2022.

Thompson, G. R., and Grundy, S. M. (2005). History and development of plant sterol and stanol esters for cholesterol-lowering purposes. *American journal of cardiology* **96**(1)**,** 3-9.

Thomson, C. A., Rock, C. L., Giuliano, A. R., Newton, T. R., Cui, H., Reid, P. M., Green, T. L., and Alberts, D. S. (2005). Longitudinal changes in body weight and body composition among women previously treated for breast cancer consuming a high-vegetable, fruit and fiber, low-fat diet. *European journal of nutrition* **44**(1)**,** 18-25.

Tohill, B. C. (2005). *Joint WHO/FAO Workshop on Fruit and Vegetables for Health, Kobe, Japan, 1-3 September 2004* 52 p.

Tohill, B. C., Seymour, J., Serdula, M., Kettel-Khan, L., and Rolls, B. J. (2004). What epidemiologic studies tell us about the relationship between fruit and vegetable consumption and body weight. *Nutrition Reviews* **62**(10)**,** 365-374.

Tokui, N., Yoshimura, T., Fujino, Y., Mizoue, T., Hoshiyama, Y., Yatsuya, H., Sakata, K., Kondo, T., Kikuchi, S., Toyoshima, H., Hayakawa, N., Kubo, T., and Tamakoshi, A. (2005). Dietary habits and stomach cancer risk in the JACC Study. *Journal of epidemiology / Japan Epidemiological Association* **15 Suppl 2,** S98-108.

Traber, M. G. (2001). Does vitamin E decrease heart attack risk? Summary and implications with respect to dietary recommendations. *Journal of Nutrition* **131**(2)**,** 395S-397S.

Tucker, K. L., Hallfrisch, J., Qiao, N., Muller, D., Andres, R., and Fleg, J. L. (2005). The combination of high fruit and vegetable and low saturated fat intakes is more protective against mortality in aging men than is either alone: the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Journal of nutrition* **135**(3)**,** 556-561.

Van Duyn, M. A., and Pivonka, E. (2000). Overview of the health benefits of fruit and vegetable consumption for the dietetics professional: selected literature. *Journal of the American Dietetic Association* **100**(12)**,** 1511-1521.

Vivekananthan, D. P., Penn, M. S., Sapp, S. K., Hsu, A., and Topol, E. J. (2003). Use of antioxidant vitamins for the prevention of cardiovascular disease: meta-analysis of randomised trials. *Lancet* **361**(9374)**,** 2017-2023.

Wald, D. S., Law, M., and Morris, J. K. (2002). Homocysteine and cardiovascular disease: evidence on causality from a meta-analysis. *BMJ* **325**(7374)**,** 1202.

Wang, X., Qin, X., Demirtas, H., Li, J., Mao, G., Huo, Y., Sun, N., Liu, L., and Xu, X. (2007). Efficacy of folic acid supplementation in stroke prevention: a meta-analysis. *Lancet* **369**(9576)**,** 1876-1882.

Welch, G. N., and Loscalzo, J. (1998). Homocysteine and atherothrombosis. *New England journal of medicine* **338**(15)**,** 1042-1050.

Witztum, J. L., and Steinberg, D. (2001). The oxidative modification hypothesis of atherosclerosis: does it hold for humans? *Trends in Cardiovascular Medicine* **11**(3-4)**,** 93-102.

Yao, M., and Roberts, S. B. (2001). Dietary energy density and weight regulation. *Nutrition Reviews* **59**(8 Pt 1)**,** 247-258.

Zino, S., Skeaff, M., Williams, S., and Mann, J. (1997). Randomised controlled trial of effect of fruit and vegetable consumption on plasma concentrations of lipids and antioxidants. *BMJ* **314**(7097)**,** 1787-1791.

## Diabète

Colditz, G., Manson, J., Stampfer, M., Rosner, B., Willett, W., and Speizer, F. (1992). Diet and risk of clinical diabetes in women. *American Journal of Clinical Nutrition* **55**(5)**,** 1018-1023.

Feskens, E., Bowles, C., and Kromhout, D. (1991). Carbohydrate intake and body mass index in relation to the risk of glucose intolerance in an elderly population. *American Journal of Clinical Nutrition* **54**(1)**,** 136-140.

Ford, E. S., and Mokdad, A. H. (2001). Fruit and vegetable consumption and diabetes mellitus incidence among US adults. *Preventive Medicine* **32**(1)**,** 33-39.

Ford, E. S., Mokdad, A. H., Giles, W. H., and Brown, D. W. (2003). The metabolic syndrome and antioxidant concentrations - Findings from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Diabetes* **52**(9)**,** 2346-2352.

Heidemann, C., Hoffmann, K., Spranger, J., Klipstein-Grobusch, K., Mohlig, M., Pfeiffer, A. F. H., and Boeing, H. (2005). A dietary pattern protective against type 2 diabetes in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) - Potsdam Study cohort. *Diabetologia* **48**(6)**,** 1126-1134.

Jimenez-Cruz, A., Bacardi-Gascon, M., Turnbull, W. H., Rosales-Garay, P., and Severino-Lugo, I. (2003). A flexible, low-glycemic index Mexican-style diet in overweight and obese subjects with type 2 diabetes improves metabolic parameters during a 6-week treatment period. *Diabetes Care* **26**(7)**,** 1967-1970.

Knowler, W. C., Barrett-Connor, E., Fowler, S. E., Hamman, R. F., Lachin, J. M., Walker, E. A., and Nathan, D. M. (2002). Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *New England Journal of Medicine* **346**(6)**,** 393-403.

Lau, C., Pedersen, O., Faerch, K., Carstensen, B., Glumer, C., Jorgensen, T., Tetens, I., and Borch-Johnsen, K. (2005). Dietary glycemic index, glycemic load, fiber, simple sugars, and insulin resistance - The Inter99 study. *Diabetes Care* **28**(6)**,** 1397-1403.

Lindstrom, J., Eriksson, J. G., Valle, T. T., Aunola, S., Cepaitis, Z., Hakumaki, M., Hamalainen, H., Ilanne-Parikka, P., Keinanen-Kiukaanniemi, S., Laakso, M., Louheranta, A., Mannelin, M., Martikkala, V., Moltchanov, V., Rastas, M., Salminen, V., Sundvall, J., Uusitupa, M., and Tuomilehto, J. (2003). Prevention of diabetes mellitus in subjects with impaired glucose tolerance in the Finnish Diabetes Prevention Study: Results from a randomized clinical trial. *Journal of the American Society of Nephrology* **14**(7)**,** S108-S113.

Lindstrom, J., Louheranta, A., Mannelin, M., Rastas, M., Salminen, V., Eriksson, J., Uusitupa, M., and Tuomilehto, J. (2003). The Finnish Diabetes Prevention Study (DPS): Lifestyle intervention and 3-year results on diet and physical activity. *Diabetes Care* **26**(12).

Lindstrom, J., Peltonen, M., Eriksson, J. G., Louheranta, A., Fogelholm, M., Uusitupa, M., and Tuomilehto, J. (2006). High-fibre, low-fat diet predicts long-term weight loss and decreased type 2 diabetes risk: the Finnish Diabetes Prevention Study. *Diabetologia* **49**(5)**,** 912-920.

Liu, S. M., Serdula, M., Janket, S. J., Cook, N. R., Sesso, H. D., Willett, W. C., Manson, J. E., and Buring, J. E. (2004). A prospective study of fruit and vegetable intake and the risk of type 2 diabetes in women. *Diabetes Care* **27**(12)**,** 2993-2996.

Lopez-Garcia, E., Schulze, M. B., Fung, T. T., Meigs, J. B., Rifai, N., Manson, J. E., and Hu, F. B. (2004). Major dietary patterns are related to plasma concentrations of markers of inflammation and endothelial dysfunction. *American Journal of Clinical Nutrition* **80**(4)**,** 1029-1035.

Lundgren, H., Bengtsson, C., Blohme, G., Isaksson, B., Lapidus, L., Lenner, R., Saaek, A., and Winther, E. (1989). Dietary habits and incidence of noninsulin-dependent diabetes mellitus in a population study of women in Gothenburg, Sweden. *American Journal of Clinical Nutrition* **49**(4)**,** 708-712.

Meyer, K. A., Kushi, L. H., Jacobs, D. R., Slavin, J., Sellers, T. A., and Folsom, A. R. (2000). Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women. *American Journal of Clinical Nutrition* **71**(4)**,** 921-930.

Montonen, J., Jarvinen, R., Heliovaara, M., Reunanen, A., Aromaa, A., and Knekt, P. (2005). Food consumption and the incidence of type II diabetes mellitus. *European Journal of Clinical Nutrition* **59**(3)**,** 441-448.

Schulze, M. B., Hoffmann, K., Manson, J. E., Willett, W. C., Meigs, J. B., Weikert, C., Heidemann, C., Colditz, G. A., and Hu, F. B. (2005). Dietary pattern, inflammation, and incidence of type 2 diabetes in women. *American Journal of Clinical Nutrition* **82**(3)**,** 675-684.

Tuomilehto, J., Lindstrom, J., Eriksson, J. G., Valle, T. T., Hamalainen, H., Ilanne-Parikka, P., Keinanen-Kiukaanniemi, S., Laakso, M., Louheranta, A., Rastas, M., Salminen, V., Uusitupa, M., Aunola, S., Cepaitis, Z., Moltchanov, V., Hakumaki, M., Mannelin, M., Martikkala, V., and Sundvall, J. (2001). Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *New England Journal of Medicine* **344**(18)**,** 1343-1350.

## Cancer

Aggarwal, B. B., and Shishodia, S. (2006). Molecular targets of dietary agents for prevention and therapy of cancer. *Biochemical pharmacology* **71**(10)**,** 1397-1421.

ATBC (1994). The effect of vitamin E and beta carotene on the incidence of lung cancer and other cancers in male smokers. The Alpha-Tocopherol, Beta Carotene Cancer Prevention Study Group. *New England Journal of Medicine* **330**(15)**,** 1029-1035.

Beresford, S. A., Johnson, K. C., Ritenbaugh, C., Lasser, N. L., Snetselaar, L. G., Black, H. R., Anderson, G. L., Assaf, A. R., Bassford, T., Bowen, D., Brunner, R. L., Brzyski, R. G., Caan, B., Chlebowski, R. T., Gass, M., Harrigan, R. C., Hays, J., Heber, D., Heiss, G., Hendrix, S. L., Howard, B. V., Hsia, J., Hubbell, F. A., Jackson, R. D., Kotchen, J. M., Kuller, L. H., LaCroix, A. Z., Lane, D. S., Langer, R. D., Lewis, C. E., Manson, J. E., Margolis, K. L., Mossavar-Rahmani, Y., Ockene, J. K., Parker, L. M., Perri, M. G., Phillips, L., Prentice, R. L., Robbins, J., Rossouw, J. E., Sarto, G. E., Stefanick, M. L., Van Horn, L., Vitolins, M.

Z., Wactawski-Wende, J., Wallace, R. B., and Whitlock, E. (2006). Low-fat dietary pattern and risk of colorectal cancer: the Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial. *Jama - Journal of the American Medical Association* **295**(6)**,** 643-654.

Bjelakovic, G., Nikolova, D., Gluud, L. L., Simonetti, R. G., and Gluud, C. (2007). Mortality in randomized trials of antioxidant supplements for primary and secondary prevention: systematic review and meta-analysis. *Jama - Journal of the American Medical Association* **297**(8)**,** 842-857.

Blot, W. J., Li, J. Y., Taylor, P. R., Guo, W., Dawsey, S., Wang, G. Q., Yang, C. S., Zheng, S. F., Gail, M., and Li, G. Y. (1993). Nutrition intervention trials in Linxian, China: supplementation with specific vitamin/mineral combinations, cancer incidence, and disease-specific mortality in the general population. *Journal of the National Cancer Institute* **85**(18)**,** 1483-1492.

Boeing, H., Dietrich, T., Hoffmann, K., Pischon, T., Ferrari, P., Lahmann, P. H., Boutron-Ruault, M. C., Clavel-Chapelon, F., Allen, N., Key, T., Skeie, G., Lund, E., Olsen, A., Tjonneland, A., Overvad, K., Jensen, M. K., Rohrmann, S., Linseisen, J., Trichopoulou, A., Bamia, C., Psaltopoulou, T., Weinehall, L., Johansson, I., Sanchez, M. J., Jakszyn, P., Ardanaz, E., Amiano, P., Chirlaque, M. D., Quiros, J. R., Wirfalt, E., Berglund, G., Peeters, P. H., van Gils, C. H., Bueno-de-Mesquita, H. B., Buchner, F. L., Berrino, F., Palli, D., Sacerdote, C., Tumino, R., Panico, S., Bingham, S., Khaw, K. T., Slimani, N., Norat, T., Jenab, M., and Riboli, E. (2006). Intake of fruits and vegetables and risk of cancer of the upper aero-digestive tract: the prospective EPIC-study. *Cancer Causes Control* **17**(7)**,** 957-969.

Bosetti, C., Negri, E., Kolonel, L., Ron, E., Franceschi, S., Preston-Martin, S., McTiernan, A., Dal Maso, L., Mark, S. D., Mabuchi, K., Land, C., Jin, F., Wingren, G., Galanti, M. R., Hallquist, A., Glattre, E., Lund, E., Levi, F., Linos, D., and La Vecchia, C. (2002). A pooled analysis of case-control studies of thyroid cancer. VII. Cruciferous and other vegetables (International). *Cancer Causes Control* **13**(8)**,** 765-775.

Calle, E. E., Rodriguez, C., Walker-Thurmond, K., and Thun, M. J. (2003). Overweight, obesity, and mortality from cancer in a prospectively studied cohort of US adults. *New England Journal of Medicine* **348**(17)**,** 1625-1638.

Chyou, P. H., Nomura, A. M., and Stemmermann, G. N. (1993). A prospective study of diet, smoking, and lower urinary tract cancer. *Annals of epidemiology* **3**(3)**,** 211-216.

Chyou, P. H., Nomura, A. M., and Stemmermann, G. N. (1995). Diet, alcohol, smoking and cancer of the upper aerodigestive tract: a prospective study among Hawaii Japanese men. *International journal of cancer* **60**(5)**,** 616-621.

CNERNA (1996). Alimentation et cancer. Evaluation des données scientifiques. (E. Riboli, F. Decloître, and C. Collet-Ribbing, Eds.) 534 p. Lavoisier Tec & Doc, Paris.

Cole, B. F., Baron, J. A., Sandler, R. S., Haile, R. W., Ahnen, D. J., Bresalier, R. S., McKeown-Eyssen, G., Summers, R. W., Rothstein, R. I., Burke, C. A., Snover, D. C., Church, T. R., Allen, J. I., Robertson, D. J., Beck, G. J., Bond, J. H., Byers, T., Mandel, J. S., Mott, L. A., Pearson, L. H., Barry, E. L., Rees, J. R., Marcon, N., Saibil, F., Ueland, P. M., and Greenberg, E. R. (2007). Folic acid for the prevention of colorectal adenomas - A randomized clinical trial. *Jama-Journal of the American Medical Association* **297**(21)**,** 2351-2359.

COMA (1998). Report of the working group on diet and cancer. Nutritional aspects of the development of cancer. 274 p. Stationery office, London.

Combs, G. F., Jr., and Gray, W. P. (1998). Chemopreventive agents: selenium. *Pharmacology & therapeutics* **79**(3)**,** 179-192.

Eberhardt, M. V., Lee, C. Y., and Liu, R. H. (2000). Antioxidant activity of fresh apples. *Nature* **405**(6789)**,** 903-904.

Etminan, M., Takkouche, B., and Caamano-Isorna, F. (2004). The role of tomato products and lycopene in the prevention of prostate cancer: a meta-analysis of observational studies. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **13**(3)**,** 340-345.

Faure, H., Preziosi, P., Roussel, A. M., Bertrais, S., Galan, P., Hercberg, S., and Favier, A. (2006). Factors influencing blood concentration of retinol, alpha-tocopherol, vitamin C, and beta-carotene in the French participants of the SU.VI.MAX trial. *European journal of clinical nutrition* **60**(6)**,** 706-717.

Flood, A., Velie, E. M., Chaterjee, N., Subar, A. F., Thompson, F. E., Lacey, J. V., Jr., Schairer, C., Troisi, R., and Schatzkin, A. (2002). Fruit and vegetable intakes and the risk of colorectal cancer in the Breast Cancer Detection Demonstration Project follow-up cohort. *American Journal of Clinical Nutrition* **75**(5)**,** 936-943.

Giovannucci, E., Rimm, E. B., Liu, Y., Stampfer, M. J., and Willett, W. C. (2003). A prospective study of cruciferous vegetables and prostate cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **12**(12)**,** 1403-1409.

Gonzalez, C. A., Pera, G., Agudo, A., Bueno-de-Mesquita, H. B., Ceroti, M., Boeing, H., Schulz, M., Del Giudice, G., Plebani, M., Carneiro, F., Berrino, F., Sacerdote, C., Tumino, R., Panico, S., Berglund, G., Siman, H., Hallmans, G., Stenling, R., Martinez, C., Dorronsoro, M., Barricarte, A., Navarro, C., Quiros, J. R., Allen, N., Key, T. J., Bingham, S., Day, N. E., Linseisen, J., Nagel, G., Overvad, K., Jensen, M. K., Olsen, A., Tjonneland, A., Buchner, F. L., Peeters, P. H., Numans, M. E., Clavel-Chapelon, F., Boutron-Ruault, M. C., Roukos, D., Trichopoulou, A., Psaltopoulou, T., Lund, E., Casagrande, C., Slimani, N., Jenab, M., and Riboli, E. (2006). Fruit and vegetable intake and the risk of stomach and oesophagus adenocarcinoma in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC-EURGAST). *International journal of cancer* **118**(10)**,** 2559-66.

Hartge, P., Brinton, L. A., Rosenthal, J. F., Cahill, J. I., Hoover, R. N., and Waksberg, J. (1984). Random digit dialing in selecting a population-based control group. *American journal of epidemiology* **120**(6)**,** 825-833.

Hennekens, C. H., Buring, J. E., Manson, J. E., Stampfer, M., Rosner, B., Cook, N. R., Belanger, C., LaMotte, F., Gaziano, J. M., Ridker, P. M., Willett, W., and Peto, R. (1996). Lack of effect of long-term supplementation with beta carotene on the incidence of malignant neoplasms and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine* **334**(18)**,** 1145-1149.

Hercberg, S., Galan, P., Preziosi, P., Bertrais, S., Mennen, L., Malvy, D., Roussel, A. M., Favier, A., and Briancon, S. (2004). The SU.VI.MAX Study: a randomized, placebo-controlled trial of the health effects of antioxidant vitamins and minerals. *Archives of internal medicine* **164**(21)**,** 2335-2342.

Hertog, M. G., Bueno-de-Mesquita, H. B., Fehily, A. M., Sweetnam, P. M., Elwood, P. C., and Kromhout, D. (1996). Fruit and vegetable consumption and cancer mortality in the Caerphilly Study. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **5**(9)**,** 673-677.

Holick, C. N., De Vivo, I., Feskanich, D., Giovannucci, E., Stampfer, M., and Michaud, D. S. (2005). Intake of fruits and vegetables, carotenoids, folate, and vitamins A, C, E and risk of bladder cancer among women (United States). *Cancer Causes Control* **16**(10)**,** 1135-1145.

Hursting, S. D., Forman, M. R., Umar, A., Nunez, N. P., and Barrett, J. C. (2006). Evidence-based cancer prevention research: a multidisciplinary perspective on cancer prevention trials. *In* Oncology. An evidence-based approach (A. E. Chang, P. A. Ganz, D. F. Hayes, T. J. KInsella, H. I. Pass, J. H. Schiller, R. M. Stone, and V. Strecher, Eds.), pp. 301-316: 301-316. Springer, USA.

IARC (2003). Fruit and vegetables. IARC Handbooks of cancer prevention. volume 8 376 p. IARC Press, Lyon.

IARC (2004). Cruciferous vegetables, isothiocyanates and indoles. IARC Handbooks of cancer prevention, volume 9 262 p. IARC Press, Lyon.

Jansen, M. C., Bueno-de-Mesquita, H. B., Rasanen, L., Fidanza, F., Nissinen, A. M., Menotti, A., Kok, F. J., and Kromhout, D. (2001). Cohort analysis of fruit and vegetable consumption and lung cancer mortality in European men. *International journal of cancer* **92**(6)**,** 913-918.

Jenab, M., Riboli, E., Ferrari, P., Sabate, J., Slimani, N., Norat, T., Friesen, M., Tjonneland, A., Olsen, A., Overvad, K., Boutron-Ruault, M. C., Clavel-Chapelon, F., Touvier, M., Boeing, H., Schulz, M., Linseisen, J., Nagel, G., Trichopoulou, A., Naska, A., Oikonomou, E., Krogh, V., Panico, S., Masala, G., Sacerdote, C., Tumino, R., Peeters, P. H., Numans, M. E., Bueno-de-Mesquita, H. B., Buchner, F. L., Lund, E., Pera, G., Sanchez, C. N., Sanchez, M. J., Arriola, L., Barricarte, A., Quiros, J. R., Hallmans, G., Stenling, R., Berglund, G., Bingham, S., Khaw, K. T., Key, T., Allen, N., Carneiro, F., Mahlke, U., Del Giudice, G., Palli, D., Kaaks, R., and Gonzalez, C. A. (2006). Plasma and dietary vitamin C levels and risk of gastric cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC-EURGAST). *Carcinogenesis* **27**(11)**,** 2250-2257.

Kim, Y. I. (2006). Does a high folate intake increase the risk of breast cancer? *Nutrition Reviews* **64**(10 Pt 1)**,** 468-475.

Kirsh, V. A., Mayne, S. T., Peters, U., Chatterjee, N., Leitzmann, M. F., Dixon, L. B., Urban, D. A., Crawford, E. D., and Hayes, R. B. (2006). A prospective study of lycopene and tomato product intake and risk of prostate cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **15**(1)**,** 92-98.

Kojima, M., Wakai, K., Tamakoshi, K., Tokudome, S., Toyoshima, H., Watanabe, Y., Hayakawa, N., Suzuki, K., Hashimoto, S., Ito, Y., and Tamakoshi, A. (2004). Diet and colorectal cancer mortality: results from the Japan Collaborative Cohort Study. *Nutrition and Cancer* **50**(1)**,** 23-32.

Koushik, A., Hunter, D. J., Spiegelman, D., Anderson, K. E., Arslan, A. A., Beeson, W. L., van den Brandt, P. A., Buring, J. E., Cerhan, J. R., Colditz, G. A., Fraser, G. E., Freudenheim, J. L., Genkinger, J. M., Goldbohm, R. A., Hankinson, S. E., Koenig, K. L., Larsson, S. C., Leitzmann, M., McCullough, M. L., Miller, A. B., Patel, A., Rohan, T. E., Schatzkin, A., Smit, E., Willett, W. C., Wolk, A., Zhang, S. M., and Smith-Warner, S. A. (2005). Fruits and vegetables and ovarian cancer risk in a pooled analysis of 12 cohort studies. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **14**(9)**,** 2160-2167.

Lacave, R., Larsen, C. J., and Robert, J. (2005). Cancérologie fondamentale. Société du cancer ED ed. 438p. John Libbey Eurotext.

Lanza, E., Hartman, T. J., Albert, P. S., Shields, R., Slattery, M., Caan, B., Paskett, E., Iber, F., Kikendall, J. W., Lance, P., Daston, C., and Schatzkin, A. (2006). High dry bean intake and reduced risk of advanced colorectal adenoma recurrence among participants in the polyp prevention trial. *Journal of Nutrition* **136**(7)**,** 1896-1903.

Lanza, E., Schatzkin, A., Daston, C., Corle, D., Freedman, L., Ballard-Barbash, R., Caan, B., Lance, P., Marshall, J., Iber, F., Shike, M., Weissfeld, J., Slattery, M., Paskett, E., Mateski, D., and Albert, P. (2001). Implementation of a 4-y, high-fiber, high-fruit-and-vegetable, low-fat dietary intervention: results of dietary changes in the Polyp Prevention Trial. *American Journal of Clinical Nutrition* **74**(3)**,** 387-401.

Lin, J., Zhang, S. M., Cook, N. R., Rexrode, K. M., Liu, S., Manson, J. E., Lee, I. M., and Buring, J. E. (2005). Dietary intakes of fruit, vegetables, and fiber, and risk of colorectal cancer in a prospective cohort of women (United States). *Cancer Causes Control* **16**(3)**,** 225-233.

Liu, R. H. (2003). Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *American Journal of Clinical Nutrition* **78**(3 Suppl)**,** 517S-520S.

Liu, R. H. (2004). Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *Journal of Nutrition* **134**(12 Suppl)**,** 3479S-3485S.

Liu, Y., Sobue, T., Otani, T., and Tsugane, S. (2004). Vegetables, fruit consumption and risk of lung cancer among middle-aged Japanese men and women: JPHC study. *Cancer Causes Control* **15**(4)**,** 349-357.

Lunet, N., Lacerda-Vieira, A., and Barros, H. (2005). Fruit and vegetables consumption and gastric cancer: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Nutrition and Cancer* **53**(1)**,** 1-10.

Maserejian, N. N., Giovannucci, E., Rosner, B., Zavras, A., and Joshipura, K. (2006). Prospective study of fruits and vegetables and risk of oral premalignant lesions in men. *American journal of epidemiology* **164**(6)**,** 556-566.

Mattisson, I., Wirfalt, E., Johansson, U., Gullberg, B., Olsson, H., and Berglund, G. (2004). Intakes of plant foods, fibre and fat and risk of breast cancer--a prospective study in the Malmo Diet and Cancer cohort. *British journal of cancer* **90**(1)**,** 122-127.

Maynard, M., Gunnell, D., Emmett, P., Frankel, S., and Davey Smith, G. (2003). Fruit, vegetables, and antioxidants in childhood and risk of adult cancer: the Boyd Orr cohort. *Journal of epidemiology and community health* **57**(3)**,** 218-225.

McCullough, M. L., Robertson, A. S., Chao, A., Jacobs, E. J., Stampfer, M. J., Jacobs, D. R., Diver, W. R., Calle, E. E., and Thun, M. J. (2003). A prospective study of whole grains, fruits, vegetables and colon cancer risk. *Cancer Causes Control* **14**(10)**,** 959-970.

Michaud, D. S., Spiegelman, D., Clinton, S. K., Rimm, E. B., Willett, W. C., and Giovannucci, E. L. (1999). Fruit and vegetable intake and incidence of bladder cancer in a male prospective cohort. *Journal of the National Cancer Institute* **91**(7)**,** 605-613.

Michels, K. B., Giovannucci, E., Chan, A. T., Singhania, R., Fuchs, C. S., and Willett, W. C. (2006). Fruit and vegetable consumption and colorectal adenomas in the Nurses' Health Study. *Cancer Research* **66**(7)**,** 3942-3953.

Miller, A. B., Altenburg, H. P., Bueno-de-Mesquita, B., Boshuizen, H. C., Agudo, A., Berrino, F., Gram, I. T., Janson, L., Linseisen, J., Overvad, K., Rasmuson, T., Vineis, P., Lukanova, A., Allen, N., Amiano, P., Barricarte, A., Berglund, G., Boeing, H., Clavel-Chapelon, F., Day, N. E., Hallmans, G., Lund, E., Martinez, C., Navarro, C., Palli, D., Panico, S., Peeters, P. H., Quiros, J. R., Tjonneland, A., Tumino, R., Trichopoulou, A., Trichopoulos, D., Slimani, N., and Riboli, E. (2004). Fruits and vegetables and lung cancer: Findings from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *International journal of cancer* **108**(2)**,** 269-276.

Miller, E. R., III, Pastor-Barriuso, R., Dalal, D., Riemersma, R. A., Appel, L. J., and Guallar, E. (2005). Meta-analysis: high-dosage vitamin E supplementation may increase all-cause mortality. *Annals of internal medicine* **142**(1)**,** 37-46.

Mills, P. K., Beeson, W. L., Phillips, R. L., and Fraser, G. E. (1991). Bladder cancer in a low risk population: results from the Adventist Health Study. *American journal of epidemiology* **133**(3)**,** 230-239.

Milner, J. A. (2004). Molecular targets for bioactive food components. *Journal of Nutrition* **134**(9)**,** 2492S-2498S.

Mommers, M., Schouten, L. J., Goldbohm, R. A., and van den Brandt, P. A. (2005). Consumption of vegetables and fruits and risk of ovarian carcinoma. *Cancer* **104**(7)**,** 1512-1519.

Neuhouser, M. L., Patterson, R. E., Thornquist, M. D., Omenn, G. S., King, I. B., and Goodman, G. E. (2003). Fruits and vegetables are associated with lower lung cancer risk only in the placebo arm of the beta-carotene and retinol efficacy trial (CARET). *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **12**(4)**,** 350-358.

Nouraie, M., Pietinen, P., Kamangar, F., Dawsey, S. M., Abnet, C. C., Albanes, D., Virtamo, J., and Taylor, P. R. (2005). Fruits, vegetables, and antioxidants and risk of gastric cancer among male smokers. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **14**(9)**,** 2087-2092.

Ocke, M. C., Bueno-de-Mesquita, H. B., Feskens, E. J., van Staveren, W. A., and Kromhout, D. (1997). Repeated measurements of vegetables, fruits, beta-carotene, and vitamins C and E in relation to lung cancer. The Zutphen Study. *American journal of epidemiology* **145**(4)**,** 358-365.

Omenn, G. S., Goodman, G. E., Thornquist, M. D., Balmes, J., Cullen, M. R., Glass, A., Keogh, J. P., Meyskens, F. L., Valanis, B., Williams, J. H., Barnhart, S., and Hammar, S. (1996). Effects of a combination of beta carotene and vitamin A on lung cancer and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine* **334**(18)**,** 1150-1155.

Pavia, M., Pileggi, C., Nobile, C. G., and Angelillo, I. F. (2006). Association between fruit and vegetable consumption and oral cancer: a meta-analysis of observational studies. *American Journal of Clinical Nutrition* **83**(5)**,** 1126-1134.

Pierce, J. P., Faerber, S., Wright, F. A., Rock, C. L., Newman, V., Flatt, S. W., Kealey, S., Jones, V. E., Caan, B. J., Gold, E. B., Haan, M., Hollenbach, K. A., Jones, L., Marshall, J. R., Ritenbaugh, C., Stefanick, M. L., Thomson, C., Wasserman, L., Natarajan, L., Thomas, R. G., and Gilpin, E. A. (2002). A randomized trial of the effect of a plant-based dietary pattern on additional breast cancer events and survival: the Women's Healthy Eating and Living (WHEL) Study. *Controlled clinical trials* **23**(6)**,** 728-756.

Prentice, R. L., Caan, B., Chlebowski, R. T., Patterson, R., Kuller, L. H., Ockene, J. K., Margolis, K. L., Limacher, M. C., Manson, J. E., Parker, L. M., Paskett, E., Phillips, L., Robbins, J., Rossouw, J. E., Sarto, G. E., Shikany, J. M., Stefanick, M. L., Thomson, C. A., Van Horn, L., Vitolins, M. Z., Wactawski-Wende, J., Wallace, R. B., Wassertheil-Smoller, S., Whitlock, E., Yano, K., Adams-Campbell, L., Anderson, G. L., Assaf, A. R., Beresford, S. A., Black, H. R., Brunner, R. L., Brzyski, R. G., Ford, L., Gass, M., Hays, J., Heber, D., Heiss, G., Hendrix, S. L., Hsia, J., Hubbell, F. A., Jackson, R. D., Johnson, K. C., Kotchen, J. M., LaCroix, A. Z., Lane, D. S., Langer, R. D., Lasser, N. L., and Henderson, M. M. (2006). Low-fat dietary pattern and risk of invasive breast cancer: the Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial. *Jama - Journal of the American Medical Association* **295**(6)**,** 629-642.

Rafter, J., Govers, M., Martel, P., Pannemans, D., Pool-Zobel, B., Rechkemmer, G., Rowland, I., Tuijtelaars, S., and van Loo, J. (2004). PASSCLAIM--diet-related cancer. *European journal of nutrition* **43 Suppl 2,** II47-II84.

Riboli, E., and Norat, T. (2003). Epidemiologic evidence of the protective effect of fruit and vegetables on cancer risk. *American Journal of Clinical Nutrition* **78**(3)**,** 559S-569S.

Sakauchi, F., Mori, M., Washio, M., Watanabe, Y., Ozasa, K., Hayashi, K., Miki, T., Nakao, M., Mikami, K., Ito, Y., Wakai, K., and Tamakoshi, A. (2004). Dietary habits and risk of urothelial cancer death in a large-scale cohort study (JACC Study) in Japan. *Nutrition and Cancer* **50**(1)**,** 33-39.

Sanjoaquin, M. A., Appleby, P. N., Thorogood, M., Mann, J. I., and Key, T. J. (2004). Nutrition, lifestyle and colorectal cancer incidence: a prospective investigation of 10998 vegetarians and non-vegetarians in the United Kingdom. *British journal of cancer* **90**(1)**,** 118-121.

Sato, Y., Tsubono, Y., Nakaya, N., Ogawa, K., Kurashima, K., Kuriyama, S., Hozawa, A., Nishino, Y., Shibuya, D., and Tsuji, I. (2005). Fruit and vegetable consumption and risk of colorectal cancer in Japan: The Miyagi Cohort Study. *Public Health Nutrition* **8**(3)**,** 309-314.

Sauvaget, C., Nagano, J., Hayashi, M., Spencer, E., Shimizu, Y., and Allen, N. (2003). Vegetables and fruit intake and cancer mortality in the Hiroshima/Nagasaki Life Span Study. *British journal of cancer* **88**(5)**,** 689-694.

Schulz, M., Lahmann, P. H., Boeing, H., Hoffmann, K., Allen, N., Key, T. J., Bingham, S., Wirfalt, E., Berglund, G., Lundin, E., Hallmans, G., Lukanova, A., Martinez Garcia, C., Gonzalez, C. A., Tormo, M. J., Quiros, J. R., Ardanaz, E., Larranaga, N., Lund, E., Gram, I. T., Skeie, G., Peeters, P. H., van Gils, C. H., Bueno-de-Mesquita, H. B., Buchner, F. L., Pasanisi, P., Galasso, R., Palli, D., Tumino, R., Vineis, P., Trichopoulou, A., Kalapothaki, V., Trichopoulos, D., Chang-Claude, J., Linseisen, J., Boutron-Ruault, M. C., Touillaud, M., Clavel-Chapelon, F., Olsen, A., Tjonneland, A., Overvad, K., Tetsche, M., Jenab, M., Norat, T., Kaaks, R., and Riboli, E. (2005). Fruit and vegetable consumption and risk of epithelial ovarian cancer: the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **14**(11 Pt 1)**,** 2531-2535.

Shibata, A., Paganini-Hill, A., Ross, R. K., and Henderson, B. E. (1992). Intake of vegetables, fruits, beta-carotene, vitamin C and vitamin supplements and cancer incidence among the elderly: a prospective study. *British journal of cancer* **66**(4)**,** 673-679.

Shike, M., Latkany, L., Riedel, E., Fleisher, M., Schatzkin, A., Lanza, E., Corle, D., and Begg, C. B. (2002). Lack of effect of a low-fat, high-fruit, -vegetable, and -fiber diet on serum prostate-specific antigen of men without prostate cancer: results from a randomized trial. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology* **20**(17)**,** 3592-3598.

Smith-Warner, S. A., Spiegelman, D., Ritz, J., Albanes, D., Beeson, W. L., Bernstein, L., Berrino, F., van den Brandt, P. A., Buring, J. E., Cho, E., Colditz, G. A., Folsom, A. R., Freudenheim, J. L., Giovannucci, E., Goldbohm, R. A., Graham, S., Harnack, L., Horn-Ross, P. L., Krogh, V., Leitzmann, M. F., McCullough, M. L., Miller, A. B., Rodriguez, C., Rohan, T. E., Schatzkin, A., Shore, R., Virtanen, M., Willett, W. C., Wolk, A., Zeleniuch-Jacquotte, A., Zhang, S. M., and Hunter, D. J. (2006). Methods for pooling results of epidemiologic studies: the Pooling Project of Prospective Studies of Diet and Cancer. *American journal of epidemiology* **163**(11)**,** 1053-1064.

Smith-Warner, S. A., Spiegelman, D., Yaun, S. S., Adami, H. O., Beeson, W. L., van den Brandt, P. A., Folsom, A. R., Fraser, G. E., Freudenheim, J. L., Goldbohm, R. A., Graham, S., Miller, A. B., Potter, J. D., Rohan, T. E., Speizer, F. E., Toniolo, P., Willett, W. C., Wolk, A., Zeleniuch-Jacquotte, A., and Hunter, D. J. (2001). Intake of fruits and vegetables and risk of breast cancer: a pooled analysis of cohort studies. *Jama - Journal of the American Medical Association* **285**(6)**,** 769-776.

Smith-Warner, S. A., Spiegelman, D., Yaun, S. S., Albanes, D., Beeson, W. L., van den Brandt, P. A., Feskanich, D., Folsom, A. R., Fraser, G. E., Freudenheim, J. L., Giovannucci, E., Goldbohm, R. A., Graham, S., Kushi, L. H., Miller, A. B., Pietinen, P., Rohan, T. E., Speizer, F. E., Willett, W. C., and Hunter, D. J. (2003). Fruits, vegetables and lung cancer: a pooled analysis of cohort studies. *International journal of cancer* **107**(6)**,** 1001-1011.

Tadjalli-Mehr, K., Becker, N., Rahu, M., Stengrevics, A., Kurtinaitis, J., and Hakama, M. (2003). Randomized trial with fruits and vegetables in prevention of cancer. *Acta Oncologica* **42**(4)**,** 287-293.

Tokui, N., Yoshimura, T., Fujino, Y., Mizoue, T., Hoshiyama, Y., Yatsuya, H., Sakata, K., Kondo, T., Kikuchi, S., Toyoshima, H., Hayakawa, N., Kubo, T., and Tamakoshi, A. (2005). Dietary habits and stomach cancer risk in the JACC Study. *Journal of epidemiology / Japan Epidemiological Association* **15 Suppl 2,** S98-108.

Touvier, M., Kesse, E., Clavel-Chapelon, F., and Boutron-Ruault, M. C. (2005). Dual Association of beta-carotene with risk of tobacco-related cancers in a cohort of French women. *Journal of the National Cancer Institute* **97**(18)**,** 1338-1344.

Tsubono, Y., Otani, T., Kobayashi, M., Yamamoto, S., Sobue, T., and Tsugane, S. (2005). No association between fruit or vegetable consumption and the risk of colorectal cancer in Japan. *British journal of cancer* **92**(9)**,** 1782-1784.

Vainio, H., and Weiderpass, E. (2006). Fruit and vegetables in cancer prevention. *Nutrition and Cancer* **54**(1)**,** 111-142.

van Gils, C. H., Peeters, P. H., Bueno-de-Mesquita, H. B., Boshuizen, H. C., Lahmann, P. H., Clavel-Chapelon, F., Thiebaut, A., Kesse, E., Sieri, S., Palli, D., Tumino, R., Panico, S., Vineis, P., Gonzalez, C. A., Ardanaz, E., Sanchez, M. J., Amiano, P., Navarro, C., Quiros, J. R., Key, T. J., Allen, N., Khaw, K. T., Bingham, S. A., Psaltopoulou, T., Koliva, M., Trichopoulou, A., Nagel, G., Linseisen, J., Boeing, H., Berglund, G., Wirfalt, E., Hallmans, G., Lenner, P., Overvad, K., Tjonneland, A., Olsen, A., Lund, E., Engeset, D., Alsaker, E., Norat, T., Kaaks, R., Slimani, N., and Riboli, E. (2005). Consumption of

vegetables and fruits and risk of breast cancer. *Jama - Journal of the American Medical Association* **293**(2)**,** 183-193.
Verhoeven, D. T., Assen, N., Goldbohm, R. A., Dorant, E., van 't Veer, P., Sturmans, F., Hermus, R. J., and van den Brandt, P. A. (1997). Vitamins C and E, retinol, beta-carotene and dietary fibre in relation to breast cancer risk: a prospective cohort study. *British journal of cancer* **75**(1)**,** 149-155.
Wark, P. A., Weijenberg, M. P., van 't Veer, P., van Wijhe, G., Luchtenborg, M., van Muijen, G. N., de Goeij, A. F., Goldbohm, R. A., and van den Brandt, P. A. (2005). Fruits, vegetables, and hMLH1 protein-deficient and -proficient colon cancer: The Netherlands cohort study. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **14**(7)**,** 1619-1625.
WCRF, and AICR (1997). Food, nutrition and the prevention of cancer: a global perspective. 670p., Washington DC.
WCRF, and AICR (2007). Food, nutrition physical activity and the prevention of cancer: a global perspective (+ CD-Rom des revues systématiques de la littérature : 14765p). Washington DC 517 p. http://www.dietandcancerreport.org/downloads/summary/english.pdf.
WCRF, and NACRe (2002). Alimentation, nutrition et prévention des cancers, une perspective mondiale : application au contexte français. 35 p.
Willett, W. C. (2005). Diet and cancer: an evolving picture. *Jama - Journal of the American Medical Association* **293**(2)**,** 233-234.
Yan, L., and Spitznagel, E. L. (2005). Meta-analysis of soy food and risk of prostate cancer in men. *International journal of cancer* **117**(4)**,** 667-669.
Zeegers, M. P., Goldbohm, R. A., and van den Brandt, P. A. (2001). Consumption of vegetables and fruits and urothelial cancer incidence: a prospective study. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* **10**(11)**,** 1121-1128.

## Maladies neuro-dégénératives et bien-être

Akbaraly, N. T., Faure, H., Gourlet, V., Favier, A., and Berr, C. (2007). Plasma carotenoid levels and cognitive performance in an elderly population: Results of the EVA Study. Journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences 62(3), 308-316.

Balk, E. M., Raman, G., Tatsioni, A., Chung, M., Lau, J., and Rosenberg, I. H. (2007). Vitamin B-6, B-12, and folic acid supplementation and cognitive function - A systematic review of randomized trials. Archives of Internal Medicine 167(1), 21-30.

Barberger-Gateau, P., Delcourt, C., and Berr, C. (2006). Peroxydation lipidique et vieillissement cérébral : apport des études épidémiologiques. OCL : Oléagineux Corps Gras Lipides 13(1), 54-58.

Barberger-Gateau, P., Raffaitin, C., Letenneur, L., Berr, C., Tzourio, C., Dartigues, J. F., and Alperovitch, A. (2007). Dietary patterns and risk of dementia: the Three-City cohort study. Neurology 69(20), 1921.

Berr, C., Balansard, B., Arnaud, J., Roussel, A. M., and Alperovitch, A. (2000). Cognitive decline is associated with systemic oxidative stress: the EVA study. Etude du Vieillissement Arteriel. Journal of the American Geriatrics Society 48(10), 1285-1291.

Biessels, G. J., Staekenborg, S., Brunner, E., Brayne, C., and Scheltens, P. (2006). Risk of dementia in diabetes mellitus: a systematic review. Lancet neurology 5(1), 64-74.

Blank, L., Grimsley, M., Goyder, E., Ellis, E., and Peters, J. (2007). Community-based lifestyle interventions: changing behaviour and improving health. Journal of public health 29(3), 236-245.

Blennow, K., de Leon, M. J., and Zetterberg, H. (2006). Alzheimer's disease. Lancet 368(9533), 387-403.

Bourre, J. M. (2005). Dietary Omega-3 fatty acids and psychiatry: mood, behaviour, stress, depression, dementia and aging. Journal of nutrition, health & aging 9(1), 31-38.

Casserly, I., and Topol, E. (2004). Convergence of atherosclerosis and Alzheimer's disease: inflammation, cholesterol, and misfolded proteins. Lancet 363(9415), 1139-1146.

Chandra, R. K. (2001). Effect of vitamin and trace-element supplementation on cognitive function in elderly subjects. Nutrition 17(9), 709-712.

Chauhan, N. B. (2005). Multiplicity of garlic health effects and Alzheimer's disease. Journal of nutrition, health & aging 9(6), 421-432.

Commenges, D., Scotet, V., Renaud, S., Jacqmin-Gadda, H., Barberger-Gateau, P., and Dartigues, J.-F. (2000). Intake of flavonoids and risk of dementia. European Journal of Epidemiology 16(4), 357-363.

Coyle, J. T., and Puttfarcken, P. (1993). Oxidative stress, glutamate, and neurodegenerative disorders. Science 262(5134), 689-695.

Dai, Q., Borenstein, A. R., Wu, Y., Jackson, J. C., and Larson, E. B. (2006). Fruit and vegetable juices and Alzheimer's disease: the Kame Project. The American Journal of Medicine 119(9), 751-759.

de Lau, L. M., Koudstaal, P. J., Witteman, J. C., Hofman, A., and Breteler, M. M. (2006). Dietary folate, vitamin B12, and vitamin B6 and the risk of Parkinson disease. Neurology 67(2), 315-318.

den Heijer, T., Launer, L. J., de Groot, J. C., de Leeuw, F. E., Oudkerk, M., van Gijn, J., Hofman, A., and Breteler, M. M. (2001). Serum carotenoids and cerebral white matter lesions: the Rotterdam scan study. Journal of the American Geriatrics Society 49(5), 642-646.

Durga, J., van Boxtel, M. P., Schouten, E. G., Kok, F. J., Jolles, J., Katan, M. B., and Verhoef, P. (2007). Effect of 3-year folic acid supplementation on cognitive function in older adults in the FACIT trial: a randomised, double blind, controlled trial. Lancet 369(9557), 208-216.

Engelhart, M. J., Geerlings, M. I., Ruitenberg, A., vanSwieten, J. C., Holman, A., Witteman, J. C. M., and Breteler, M. M. B. (2002). Dietary intake of antioxidants and risk of Alzheimer disease. Jama - Journal of the American Medical Association 287(24), 3223-3229.

Etminan, M., Gill, S. S., and Samii, A. (2005). Intake of vitamin E, vitamin C, and carotenoids and the risk of Parkinson's disease: a meta-analysis. Lancet Neurology 4(6), 362-365.

Fahn, S., and Sulzer, D. (2004). Neurodegeneration and neuroprotection in Parkinson disease. NeuroRx 1(1), 139-154.

Floyd, R. A., and Hensley, K. (2002). Oxidative stress in brain aging. Implications for therapeutics of neurodegenerative diseases. Neurobiology of Aging 23(5), 795-807.

Golbe, L. I., Farrell, T. M., and Davis, P. H. (1988). Case-control study of early life dietary factors in Parkinson's disease. Archives of Neurology 45(12), 1350-1353.

Grodstein, F., Chen, J., and Willett, W. C. (2003). High-dose antioxidant supplements and cognitive function in community-dwelling elderly women. American Journal of Clinical Nutrition 77(4), 975-984.

Helmer, C., Peuchant, E., Letenneur, L., Bourdel-Marchasson, I., Larrieu, S., Dartigues, J. F., Dubourg, L., Thomas, M. J., and Barberger-Gateau, P. (2003). Association between antioxidant nutritional indicators and the incidence of dementia: results from the PAQUID prospective cohort study. European Journal of Clinical Nutrition 57(12), 1555-1561.

Honig, L. S., Tang, M. X., Albert, S., Costa, R., Luchsinger, J., Manly, J., Stern, Y., and Mayeux, R. (2003). Stroke and the risk of Alzheimer disease. Archives of Neurology 60(12), 1707-1712.

Hu, P., Bretsky, P., Crimmins, E. M., Guralnik, J. M., Reuben, D. B., and Seeman, T. E. (2006). Association between serum beta-carotene levels and decline of cognitive function in high-functioning older persons with or without apolipoprotein E 4 alleles: MacArthur studies of successful aging. Journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences 61(6), 616-620.

Joseph, J. A., Shukitt-Hale, B., and Casadesus, G. (2005). Reversing the deleterious effects of aging on neuronal communication and behavior: beneficial properties of fruit polyphenolic compounds. American Journal of Clinical Nutrition 81(1), 313S-316S.

Kang, J. H., Ascherio, A., and Grodstein, F. (2005). Fruit and vegetable consumption and cognitive decline in aging women. Annals of Neurology 57(5), 713-720.

Kang, J. H., Cook, N., Manson, J., Buring, J. E., and Grodstein, F. (2006). A randomized trial of vitamin E supplementation and cognitive function in women. Archives of Internal Medicine 166(22), 2462-2468.

Kontush, A., Mann, U., Arlt, S., Ujeyl, A., Luhrs, C., MullerThomsen, T., and Beisiegel, U. (2001). Influence of vitamin E and C supplementation on lipoprotein oxidation in patients with Alzheimer's disease. Free radical biology & medicine 31(3), 345-354.

Lau, F. C., Shukitt-Hale, B., and Joseph, J. A. (2005). The beneficial effects of fruit polyphenols on brain aging. Neurobiology of Aging 26(1, Supplement 1), 128-132.

Laurin, D., Foley, D. J., Masaki, K. H., White, L. R., and Launer, L. J. (2002). Vitamin E and C supplements and risk of dementia. Jama - Journal of the American Medical Association 288(18), 2266-2268.

Laurin, D., Masaki, K. H., Foley, D. J., White, L. R., and Launer, L. J. (2004). Midlife dietary intake of antioxidants and risk of late-life incident dementia: The Honolulu-Asia Aging Study. American journal of epidemiology 159(10), 959-967.

Letenneur, L., Proust-Lima, C., Le Gouge, A., Dartigues, J., and Barberger-Gateau, P. (2007). Flavonoid intake and cognitive decline over a 10-Year Period. American journal of epidemiology 165(12), 1364-1371.

Lichtenstein, A. H., and Russell, R. M. (2005). Essential nutrients: Food or supplements? Where should the emphasis be? Jama - Journal of the American Medical Association 294(3), 351-358.

Luchsinger, J. A., and Mayeux, R. (2004). Dietary factors and Alzheimer's disease. Lancet neurology 3(10), 579-587.

Luchsinger, J. A., Tang, M. X., Shea, S., and Mayeux, R. (2003). Antioxidant vitamin intake and risk of Alzheimer disease. Archives of Neurology 60(2), 203-208.

Markesbery, W. R., Kryscio, R. J., Lovell, M. A., and Morrow, J. D. (2005). Lipid peroxidation is an early event in the brain in amnestic mild cognitive impairment. Annals of Neurology 58(5), 730-735.

Meguid, M. M. (2005). Retraction. Nutrition 21(2), 286.

Montine, T. J., Neely, M. D., Quinn, J. F., Beal, M. F., Markesbery, W. R., Roberts, L. J., and Morrow, J. D. (2002). Lipid peroxidation in aging brain and Alzheimer's disease. Free radical biology & medicine 33(5), 620-626.

Morris, M. C., Beckett, L. A., Scherr, P. A., Hebert, L. E., Bennett, D. A., Field, T. S., and Evans, D. A. (1998). Vitamin E and vitamin C supplement use and risk of incident Alzheimer disease. Alzheimer disease and associated disorders 12(3), 121-126.

Morris, M. C., Evans, D. A., Bienias, J. L., Tangney, C. C., Bennett, D. A., Aggarwal, N., Wilson, R. S., and Scherr, P. A. (2002). Dietary intake of antioxidant nutrients and the risk of incident Alzheimer disease on a biracial community study. Jama - Journal of the American Medical Association 287(24), 3230-3237.

Morris, M. C., Evans, D. A., Bienias, J. L., Tangney, C. C., and Wilson, R. S. (2002). Vitamin E and cognitive decline in older persons. Archives of Neurology 59(7), 1125-1132.

Morris, M. C., Evans, D. A., Tangney, C. C., Bienias, J. L., and Wilson, R. S. (2006). Associations of vegetable and fruit consumption with age-related cognitive change. Neurology 67(8), 1370-1376.

Myint, P. K., Welch, A. A., Bingham, S. A., Surtees, P. G., Wainwright, N. W., Luben, R. N., Wareham, N. J., Smith, R. D., Harvey, I. M., Day, N. E., and Khaw, K. T. (2007). Fruit and vegetable consumption and self-reported functional health in men and women in the European Prospective Investigation into Cancer-Norfolk (EPIC-Norfolk): a population-based cross-sectional study. Public Health Nutrition 10(1), 34-41.

Office parlementaire d'évaluation des politiques de santé (2005). Rapport sur la maladie d'Alzheimer et les maladies apparentées.

Petersen, R. C. (2004). Mild cognitive impairment as a diagnostic entity. Journal of internal medicine 256(3), 183-194.

Petersen, R. C., Thomas, R. G., Grundman, M., Bennett, D., Doody, R., Ferris, S., Galasko, D., Jin, S., Kaye, J., Levey, A., Pfeiffer, E., Sano, M., van Dyck, C. H., and Thal, L. J. (2005). Vitamin E and donepezil for the treatment of mild cognitive impairment. New England Journal of Medicine 352(23), 2379-2388.

Polidori, M. C., Mattioli, P., Aldred, S., Cecchetti, R., Stahl, W., Griffiths, H., Senin, U., Sies, H., and Mecocci, P. (2004). Plasma antioxidant status, immunoglobulin g oxidation and lipid peroxidation in demented patients: relevance to Alzheimer disease and vascular dementia. Dementia and geriatric cognitive disorders 18(3-4), 265-270.

Reynolds, E. (2006). Vitamin B12, folic acid, and the nervous system. Lancet neurology 5(11), 949-960.

Rinaldi, P., Polidori, M. C., Metastasio, A., Mariani, E., Mattioli, R., Cherubini, A., Catani, M., Cecchetti, R., Senin, U., and Mecocci, P. (2003). Plasma antioxidants are similarly depleted in mild cognitive impairment and in Alzheimer's disease. Neurobiology of Aging 24(7), 915-919.

Saxton, J. M., Daley, A., Woodroofe, N., Coleman, R., Powers, H., Mutrie, N., Siddall, V., and Crank, H. (2006). Study protocol to investigate the effect of a lifestyle intervention on body weight, psychological health status and risk factors associated with disease recurrence in women recovering from breast cancer treatment [ISRCTN08045231]. BMC Cancer 6, 35.

Scarmeas, N., Stern, Y., Tang, M. X., Mayeux, R., and Luchsinger, J. A. (2006). Mediterranean diet and risk for Alzheimer's disease. Annals of Neurology 59(6), 912-921.

Scheider, W. L., Hershey, L. A., Vena, J. E., Holmlund, T., Marshall, J. R., and Freudenheim (1997). Dietary antioxidants and other dietary factors in the etiology of Parkinson's disease. Movement disorders 12(2), 190-196.

Smith, A., Clark, R., Nutt, D., Haller, J., Hayward, S., and Perry, K. (1999). Anti-oxidant vitamins and mental performance of the elderly. Human Psychopharmacology Clinical and Experimental 14(7), 459-471.

Steptoe, A., Perkins-Porras, L., Hilton, S., Rink, E., and Cappuccio, F. P. (2004). Quality of life and self-rated health in relation to changes in fruit and vegetable intake and in plasma vitamins C and E in a randomised trial of behavioural and nutritional education counselling. British journal of nutrition 92(1), 177-184.

Taylor, M. J., Carney, S., Geddes, J., and Goodwin, G. (2003). Folate for depressive disorders. Cochrane database of systematic reviews(2), CD003390.

Three-City Study Group (2003). Vascular factors and risk of dementia: design of the Three-City Study and baseline characteristics of the study population. Neuroepidemiology 22(6), 316-325.

Tolmunen, T., Voutilainen, S., Hintikka, J., Rissanen, T., Tanskanen, A., Viinamaki, H., Kaplan, G. A., and Salonen, J. T. (2003). Dietary folate and depressive symptoms are associated in middle-aged Finnish men. Journal of Nutrition 133(10), 3233-3236.

Whitmer, R. A., Gunderson, E. P., Barrett-Connor, E., Quesenberry, C. P., Jr, and Yaffe, K. (2005). Obesity in middle age and future risk of dementia: a 27 year longitudinal population based study. BMJ 330(7504), 1360.

Woo, J., Lynn, H., Lau, W. Y., Leung, J., Lau, E., Wong, S. Y. S., and Kwok, T. (2006). Nutrient intake and psychological health in an elderly Chinese population. International Journal of Geriatric Psychiatry 21(11), 1036-1043.

Youdim, K. A., and Joseph, J. A. (2001). A possible emerging role of phytochemicals in improving age-related neurological dysfunctions: A multiplicity of effects. Free radical biology & medicine 30(6), 583-594.

Zandi, P. P., Anthony, J. C., Khachaturian, A. S., Stone, S. V., Gustafson, D., Tschanz, J. T., Norton, M. C., Welsh Bohmer, K. A., and Breitner, J. C. S. (2004). Reduced risk of Alzheimer disease in users of antioxidant vitamin supplements - The Cache County Study. Archives of Neurology 61(1), 82-88.

Zhang, S. M., Hernan, M. A., Chen, H., Spiegelman, D., Willett, W. C., and Ascherio, A. (2002). Intakes of vitamins E and C, carotenoids, vitamin supplements, and PD risk. Neurology 59(8), 1161-1169.

## Maladies oculaires

(1993). Antioxidant status and neovascular age-related macular degeneration. Eye Disease Case-Control Study Group. Archives of ophthalmology 111(1), 104-9.

Areds (2001). A randomized, placebo-controlled, clinical trial of high-dose supplementation with vitamins C and E and beta carotene for age-related cataract and vision loss: AREDS report no. 9. Archives of ophthalmology 119(10), 1439-1452.

Areds (2001). A randomized, placebo-controlled, clinical trial of high-dose supplementation with vitamins C and E, beta carotene, and zinc for age-related macular degeneration and vision loss: AREDS report no. 8. Archives of ophthalmology 119(10), 1417-1436.

Asbell, P. A., Dualan, I., Mindel, J., Brocks, D., Ahmad, M., and Epstein, S. (2005). Age-related cataract. Lancet 365(9459), 599-609.

Asbell, P. A., Dualan, L., Mindel, J., Brocks, D., Ahmad, M., and Epstein, S. (2005). Age-related cataract. Lancet 365(9459), 599-609.

Babizhayev, M. A. (1996). Failure to withstand oxidative stress induced by phospholipid hydroperoxides as a possible cause of the lens opacities in systemic diseases and ageing. Biochimica et biophysica acta 1315, 87-99.

Baubeau, D., Bousquet, F., and Joubert, M. (2001). Le traitement chirurgical de la cataracte en France : un développement encore limité de la chirurgie ambulatoire. Dress: étude et résultat 101, 8p.

Baubeau, D., Bousquet, F., and Joubert, M. (2001). Le traitement chirurgical de la cataracte en France. Un développement encore limité de la chirurgie ambulatoire. Ministère de l'Emploi et de la Solidarité 101.

Beatty, S., Koh, H., Phil, M., Henson, D., and Boulton, M. (2000). The role of oxidative stress in the pathogenesis of age-related macular degeneration. Survey of ophthalmology 45(2), 115-134.

Beatty, S., Murray, I. J., Henson, D. B., Carden, D., Koh, H., and Boulton, M. E. (2001). Macular pigment and risk for age-related macular degeneration in subjects from a Northern European population. Investigative ophthalmology & visual science 42(2), 439-446.

Bernstein, P. S., Khachik, F., Carvalho, L. S., Muir, G. J., Zhao, D. Y., and Katz, N. B. (2001). Identification and quantitation of carotenoids and their metabolites in the tissues of the human eye. Experimental eye research 72(3), 215-223.

Bernstein, P. S., Zhao, D. Y., Wintch, S. W., Ermakov, I. V., McClane, R. W., and Gellermann, W. (2002). Resonance Raman measurement of macular carotenoids in normal subjects and in age-related macular degeneration patients. Ophthalmology. 109(10), 1780-1787.

Bone, R. A., Landrum, J. T., Mayne, S. T., Gomez, C. M., Tibor, S. E., and Twaroska, E. E. (2001). Macular pigment in donor eyes with and without AMD: a case-control study. Investigative ophthalmology & visual science 42(1), 235-240.

Boscia, F., Grattagliano, I., Vendemiale, G., Micelli Ferrari, T., and Altomare, E. (2000). Protein oxidation and lens opacity in humans. Investigative ophthalmology & visual science 41(9), 2461-2465.

Brown, L., Rimm, E. B., Seddon, J. M., Giovannucci, E. L., Chasan Taber, L., Spiegelman, D., Willett, W. C., and Hankinson, S. E. (1999). A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in US men see comments. American Journal of Clinical Nutrition 70(4), 517-524.

Brown, L., Rimm, E. B., Seddon, J. M., Giovannucci, E. L., Chasan-Taber, L., Spiegelman, D., Willett, W. C., and Hankinson, S. E. (1999). A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in US men. American Journal of Clinical Nutrition 70(4), 517-524.

Chasan Taber, L., Willett, W. C., Seddon, J. M., Stampfer, M. J., Rosner, B., Colditz, G. A., Speizer, F. E., and Hankinson, S. E. (1999). A prospective study of carotenoid and vitamin A intakes and risk of cataract extraction in US women see comments. American Journal of Clinical Nutrition 70(4), 509-516.

Chasan-Taber, L., Willett, W. C., Seddon, J. M., Stampfer, M. J., Rosner, B., Colditz, G. A., Speizer, F. E., and Hankinson, S. E. (1999). A prospective study of carotenoid and vitamin A intakes and risk of cataract extraction in US women. American Journal of Clinical Nutrition 70(4), 509-516.

Cho, E., Seddon, J. M., Rosner, B., Willett, W. C., and Hankinson, S. E. (2004). Prospective study of intake of fruits, vegetables, vitamins, and carotenoids and risk of age-related maculopathy. Archives of ophthalmology 122(6), 883-892.

Chong, E. W., Wong, T. Y., Kreis, A. J., Simpson, J. A., and Guymer, R. H. (2007). Dietary antioxidants and primary prevention of age related macular degeneration: systematic review and meta-analysis. Bmj 335(7623), 755.

Christen, W. G., Manson, J. E., Glynn, R. J., Gaziano, J. M., Sperduto, R. D., Buring, J. E., and Hennekens, C. H. (2003). A randomized trial of beta carotene and age-related cataract in US physicians. Archives of ophthalmology 121(3), 372-378.

Chylack Lt, J. R., Brown, N. P., Bron, A., Hurst, M., Kopcke, W., Thien, U., and Schalch, W. (2002). The Roche European American Cataract Trial (REACT): a randomized clinical trial to investigate the efficacy of an oral antioxidant micronutrient mixture to slow progression of age-related cataract. Ophthalmic epidemiology 9(1), 49-80.

Cumming, R. G., Mitchell, P., and Smith, W. (2000). Diet and cataract: the Blue Mountains Eye Study. Ophthalmology 107(3), 450-456.

Cumming, R. G., Mitchell, P., and Smith, W. (2000). Dietary sodium intake and cataract: The Blue Mountains Eye Study. American Journal of Epidemiology 151(6), 624-626.

Delcourt, C. (2007). Application of nutrigenomics in eye health. Forum of nutrition 60, 168-75.

Delcourt, C. (2007). Epidémiologie de la DMLA dans la population française. In Les DMLAs (9ème édition). Rapport de la Société Française d'Ophtalmologie (G. Soubrane, G. Coscas, and E. H. Souied, Eds.), pp. 108-110: 108-110. Masson, Paris.

Delcourt, C., Carriere, I., Delage, M., Barberger-Gateau, P., and Schalch, W. (2006). Plasma lutein and zeaxanthin and other carotenoids as modifiable risk factors for age-related maculopathy and cataract: the POLA Study. Investigative ophthalmology & visual science 47(6), 2329-35.

Delcourt, C., Cristol, J. P., Tessier, F., Leger, C. L., Descomps, B., and Papoz, L. (1999). Age-related macular degeneration and antioxidant status in the POLA study. POLA Study Group. Pathologies Oculaires Liees a l'Age. Archives of ophthalmology 117(10), 1384-90.

Eye Disease Case-control Study, G. (1993). Antioxidant status and neovascular age-related macular degeneration. published errata appear in Arch Ophthalmol 1993 Sep;111(9):1228, 1993 Oct;111(10):1366 and 1993 Nov;111(11):1499. Archives of ophthalmology 111(1), 104-109.

Flood, V., Smith, W., Wang, J. J., Manzi, F., Webb, K., and Mitchell, P. (2002). Dietary antioxidant intake and incidence of early age-related maculopathy - The Blue Mountains Eye Study. Ophthalmology 109(12), 2272-2278.

Flood, V., Smith, W., Wang, J. J., Manzi, F., Webb, K., and Mitchell, P. (2002). Dietary antioxidant intake and incidence of early age-related maculopathy: the Blue Mountains Eye Study. Ophthalmology 109(12), 2272-2278.

Gale, C. R., Hall, N. F., Phillips, D. I., and Martyn, C. N. (2001). Plasma antioxidant vitamins and carotenoids and age-related cataract. Ophthalmology 108(11), 1992-1998.

Gale, C. R., Hall, N. F., Phillips, D. I., and Martyn, C. N. (2003). Lutein and zeaxanthin status and risk of age-related macular degeneration. Investigative ophthalmology & visual science 44(6), 2461-2465.

Gritz, D. C., Srinivasan, M., Smith, S. D., Kim, U., Lietman, T. M., Wilkins, J. H., Priyadharshini, B., John, R. K., Aravind, S., Prajna, N. V., Duraisami Thulasiraj, R., and Whitcher, J. P. (2006). The Antioxidants in Prevention of Cataracts Study: effects of antioxidant supplements on cataract progression in South India. British journal of ophthalmology 90(7), 847-51.

Haddad, S., Chen, C. A., Santangelo, S. L., and Seddon, J. M. (2006). The genetics of age-related macular degeneration: a review of progress to date. Survey of ophthalmology 51(4), 316-63.

Hankinson, S. E., Stampfer, M. J., Seddon, J. M., Colditz, G. A., Rosner, B., Speizer, F. E., and Willett, W. C. (1992). Nutrient intake and cataract extraction in women: a prospective study. Bmj 305(6849), 335-339.

Jacques, P. F., Chylack, L. T., Hankinson, S. E., Khu, P. M., Rogers, G., Friend, J., Tung, W., Wolfe, J. K., Padhye, N., Willett, W. C., and Taylor, A. (2001). Long-term nutrient intake and early age-related nuclear lens opacities. Archives of Ophthalmology 119(7), 1009-1019.

Jacques, P. F., Chylack Lt, J. R., Hankinson, S. E., Khu, P. M., Rogers, G., Friend, J., Tung, W., Wolfe, J. K., Padhye, N., Willett, W. C., and Taylor, A. (2001). Long-term nutrient intake and early age-related nuclear lens opacities. Archives of ophthalmology 119(7), 1009-1019.

Jacques, P. F., Taylor, A., Moeller, S., Hankinson, S. E., Rogers, G., Tung, W., Ludovico, J., Willett, W. C., and Chylack, L. T. (2005). Long-term nutrient intake and 5-year change in nuclear lens opacities. Archives of Ophthalmology 123(4), 517-526.

Jacques, P. F., Taylor, A., Moeller, S., Hankinson, S. E., Rogers, G., Tung, W., Ludovico, J., Willett, W. C., and Chylack Lt, J. R. (2005). Long-term nutrient intake and 5-year change in nuclear lens opacities. Archives of ophthalmology 123(4), 517-526.

Kassoff, A., Kassoff, J., Buehler, J., Eglow, M., Kaufman, F., Mehu, M., Kieval, S., Mairs, M., Graig, B., Quattrocchi, A., Jones, D., Locatelli, J., Ruby, A., Capone, A., Garretson, B., Hassan, T., Trese, M. T., Williams, G. A., Regan, V., Manatrey, P., Streasick, P., Szydlowski, L., McIver, F., Bridges, C., Stanely, C., Cumming, K., Lewis, B., Zajechowski, M., Margherio, R. R., Cox, M. S., Werner, J. C., Falk, R.,

Siedlak, P., Neubert, C., Klein, M. L., Stout, J. T., O'Malley, A., Lauer, A. K., Robertson, J. E., Wilson, D. J., Beardsley, C., Anderson, H., Wallace, P., Smith, G., Howard, S., Dreyer, R. F., Ma, C., Chenoweth, R. G., Zilis, J. D., Johnson, M., Rice, P., Daniel, H., Crider, H., Parker, S., Sherman, K., Martin, D. F., Aaberg, T. M., Sternberg, P., Curtis, L. T., Ju, B., Gilman, J., Myles, B., Strittman, S., Gentry, C., Yi, H., Lambert, M., Meredith, T., Saperstein, D., Lim, J. I., Stribling, B., Armiger, D., Swords, R., Orth, D. H., Flood, T. P., Civantos, J., deBustros, S., Packo, K. H., Merrill, P. T., Cohen, J. A., Figliulo, C., Morrison, C., Bryant, D. A., Doherty, D., McVicker, M., Drefcinski, T., Seddon, J. M., Pinnolis, M. K., Davis, N., Burton, I., Taitsel, T., Walsh, D., Snow, K. K., Jones-Devonish, D. A., Crouse, V. D., Rosenberg, J., Chew, E. Y., Csaky, K., Ferris, F. L., Shimel, K. H., Woods, M. A., Kuehl, E. M., Ciatto, P. F., Palmer, M., Babilonia-Ayukawa, G., Foster, G. E., Goodman, L., Kim, Y. J., Kivitz, I. J., Koutsandreas, D., LaReau, A., Mercer, R. F., Nashwinter, R., McCarthy, S. A., Ayres, L. M., Lopez, P., Randalls, A., Friberg, T. R., Eller, A. W., Gorin, M. B., Nixon, S., Mack, B., Curtin, D. Y., Ostroska, P. P., Fijewski, E., Alexander, J., Paine, M. K., Corbin, P. S., Warnicki, J., Bressler, S. B., Bressler, N. M., Cassel, G., Finkelstein, D., Goldberg, M., Haller, J. A., Ratner, L., Schachat, A. P., Sherman, S. H., Sunness, J. S., Schenning, S., Sackett, C., Cain, D., Emmert, D., Herring, M., McDonald, J., Wheeler, S., McMillan, M., George, T., Elman, M. J., Ballinger, R., Betancourt, A., Glasser, D., Herr, M., Hirsh, D., Kilingsworth, D., Kohlhepp, P., Lammlein, J., Raden, R. Z., Seff, R., Shuman, M., Starr, J., Carrigan, A., Sotirakos, P., Cain, T., Mathews, T., Ringrose, C., Chandra, S. R., Gottlieb, J. L., Ip, M. S., Klein, R., Nork, T. M., Stevens, T. S., Blodi, B. A., Altaweel, M., Klein, B. E. K., Olson, M., Soderling, B., Blatz, M., Perry-Raymond, J. R., Burke, K., Knutson, G., Peterson, J., Krolnik, D., Harrison, R., Somers, G., Myers, F. L., Wallow, I., Olsen, T. W., Bresnik, G., De Venecia, G., Perkins, T., Walker, W., Miller, J. L., Neider, M., Wabers, H. D., Weber, G., Myers, H. E. L., Davis, M. D., Hubbard, L., Magli, Y. L., Ansay, S., Armstrong, J., Lang, K., Badal, D., Geithman, P. L., Miner, K. D., Dohm, K. L., Esser, B., Hurtenbach, C., Craanen, S., Webster, M., Elledge, J., Reed, S., Benz, W., Reimers, J., Fisher, M. R., Gangnon, R., King, W., Gai, C. Y., Baliker, J., Carr, A., Osterby, K., Kastorff, L., Robinson, N., Onofrey, J., Glander, K. E., Brickbauer, J., Miller, D., Sowell, A., Gunter, E., Bowman, B., Lindblad, A. S., Milton, R. C., Clemons, T. E., Ederer, F., Gensler, G., Henning, A., Entler, G., McBee, W., Roberts, K., Stine, E., Berlin, S. H., Tomlin, K., Pallas, S., Scholl, P. R., Mengers, S. A., Anand, R., Sperduto, R. D., and Kurinij, N. (2001). A randomized, placebo-controlled, clinical trial of high-dose supplementation with vitamins C and E and beta carotene for age-related cataract and vision loss - AREDS Report No. 9. Archives of Ophthalmology 119(10), 1439-1452.

Korobelnik, J. F., Moore, N., Blin, P., Dharmani, C., and Berdeaux, G. (2006). Estimating the yearly number of eyes with treatable neovascular age-related macular degeneration using a direct standardization method and a markov model. Investigative ophthalmology & visual science 47(10), 4270-6.

Leske, M. C., Chylack Lt, J. R., and Wu, S. Y. (1991). The Lens Opacities Case-Control Study. Risk factors for cataract see comments. Archives of ophthalmology 109(2), 244-251.

Lyle, B. J., Maresperlman, J. A., Klein, B. E. K., Klein, R., and Greger, J. L. (1999). Antioxidant intake and risk of incident age-related nuclear cataracts in the Beaver Dam Eye Study. American journal of epidemiology 149(9), 801-809.

Lyle, B. J., Mares-Perlman, J. A., Klein, B. E. K., Klein, R., and Greger, J. L. (1999). Antioxidant intake and risk of incident age-related nuclear cataracts in the Beaver Dam Eye Study. American Journal of Epidemiology 149(9), 801-809.

Lyle, B. J., Maresperlman, J. A., Klein, B. E. K., Klein, R., Palta, M., Bowen, P. E., and Greger, J. L. (1999). Serum carotenoids and tocopherols and incidence of age-related nuclear cataract. American Journal of Clinical Nutrition 69(2), 272-277.

Mares Perlman, J. A., Brady, W. E., Klein, B. E., Klein, R., Haus, G. J., Palta, M., Ritter, L. L., and Shoff, S. M. (1995). Diet and nuclear lens opacities. American journal of epidemiology 141(4), 322-334.

Mares Perlman, J. A., Brady, W. E., Klein, B. E., Klein, R., Palta, M., Bowen, P., and Stacewicz Sapuntzakis, M. (1995). Serum carotenoids and tocopherols and severity of nuclear and cortical opacities. Investigative ophthalmology & visual science 36(2), 276-288.

Mares Perlman, J. A., Brady, W. E., Klein, R., Klein, B. E., Bowen, P., Stacewicz Sapuntzakis, M., and Palta, M. (1995). Serum antioxidants and age-related macular degeneration in a population-based case-control study. Archives of ophthalmology 113(12), 1518-1523.

Mares Perlman, J. A., Fisher, A. I., Klein, R., Palta, M., Block, G., Millen, A. E., and Wright, J. D. (2001). Lutein and zeaxanthin in the diet and serum and their relation to age-related maculopathy in the third national health and nutrition examination survey. American journal of epidemiology 153(5), 424-432.

Mares Perlman, J. A., Klein, R., Klein, B. E., Greger, J. L., Brady, W. E., Palta, M., and Ritter, L. L. (1996). Association of zinc and antioxidant nutrients with age-related maculopathy. Archives of ophthalmology 114(8), 991-997.

Maresperlman, J. A., Brady, W. E., Klein, R., Vandenlangenberg, G. M., Klein, B. E. K., and Palta, M. (1995). Dietary-Fat and Age-Related Maculopathy. Archives of Ophthalmology 113(6), 743-748.

McNeil, J. J., Robman, L., Tikellis, G., Sinclair, M. I., McCarty, C. A., and Taylor, H. R. (2004). Vitamin E supplementation and cataract: randomized controlled trial. Ophthalmology 111(1), 75-84.

Resnikoff, S., Pascolini, D., Etya'ale, D., Kocur, I., Pararajasegaram, R., Pokharel, G. P., and Mariotti, S. P. (2004). Global data on visual impairment in the year 2002. Bulletin of the World Health Organization 82(11), 844-51.

Richer, S., Stiles, W., Statkute, L., Pulido, J., Frankowski, J., Rudy, D., Pei, K., Tsipursky, M., and Nyland, J. (2004). Double-masked, placebo-controlled, randomized trial of lutein and antioxidant supplementation in the intervention of atrophic age-related macular degeneration: the Veterans LAST study (Lutein Antioxidant Supplementation Trial). Optometry 75(4), 216-230.

SanGiovanni, J. P., Chew, E. Y., Clemons, T. E., Ferris, F. L., 3rd, Gensler, G., Lindblad, A. S., Milton, R. C., Seddon, J. M., and Sperduto, R. D. (2007). The relationship of dietary carotenoid and vitamin A, E, and C intake with age-related macular degeneration in a case-control study: AREDS Report No. 22. Archives of ophthalmology 125(9), 1225-32.

Seddon, J. M., Ajani, U. A., Sperduto, R. D., Hiller, R., Blair, N., Burton, T. C., Farber, M. D., Gragoudas, E. S., Haller, J., Miller, D. T., and Et, A. L. (1994). Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. Eye Disease Case-Control Study Group see comments published erratum appears in JAMA 1995 Feb 22;273(8):622. Jama 272(18), 1413-1420.

Seddon, J. M., Ajani, U. A., Sperduto, R. D., Hiller, R., Blair, N., Burton, T. C., Farber, M. D., Gragoudas, E. S., Haller, J., Miller, D. T., Yannuzzi, L. A., and Willett, W. (1994). Dietary Carotenoids, Vitamin-a, Vitamin-C, and Vitamin-E, and Advanced Age-Related Macular Degeneration. Jama-Journal of the American Medical Association 272(18), 1413-1420.

Smith, W., Mitchell, P., Webb, K., and Leeder, S. R. (1999). Dietary antioxidants and age-related maculopathy - The Blue Mountains Eye Study. Ophthalmology 106(4), 761-767.

Snellen, E. L., Verbeek, A. L., Van Den Hoogen, G. W., Cruysberg, J. R., and Hoyng, C. B. (2002). Neovascular age-related macular degeneration and its relationship to antioxidant intake. Acta ophthalmologica Scandinavica 80(4), 368-371.

Snellen, E. L. M., Verbeek, A. L. M., van den Hoogen, G. W. P., Cruysberg, J. R. M., and Hoyng, C. B. (2002). Neovascular age-related macular degeneration and its relationship to antioxidant intake. Acta Ophthalmologica Scandinavica 80(4), 368-371.

Spector, A. (1995). Oxidative stress-induced cataract: mechanism of action. FASEB journal 9(12), 1173-1182.

Tan, J. S., Wang, J. J., Flood, V., Rochtchina, E., Smith, W., and Mitchell, P. (2007). Dietary Antioxidants and the Long-term Incidence of Age-Related Macular Degeneration The Blue Mountains Eye Study. Ophthalmology.

Tavani, A., Negri, E., and La Vecchia, C. (1996). Food and nutrient intake and risk of cataract. American journal of epidemiology 6(1), 41-46.

Tavani, A., Negri, E., and LaVecchia, C. (1996). Food and nutrient intake and risk of cataract. Annals of Epidemiology 6(1), 41-46.

Taylor, A., and Hobbs, M. (2001). 2001 assessment of nutritional influences on risk for cataract. Nutrition 17(10), 845-857.

Taylor, A., Jacques, P. F., Chylack, L. T., Hankinson, S. E., Khu, P. M., Rogers, G., Friend, J., Tung, W., Wolfe, J. K., Padhye, N., and Willett, L. C. (2002). Long-term intake of vitamins and carotenoids and odds of early age-related cortical and posterior subcapsular lens opacities. American Journal of Clinical Nutrition 75(3), 540-549.

Taylor, A., Jacques, P. F., Chylack Lt, J. R., Hankinson, S. E., Khu, P. M., Rogers, G., Friend, J., Tung, W., Wolfe, J. K., Padhye, N., and Willett, W. C. (2002). Long-term intake of vitamins and carotenoids and odds of early age-related cortical and posterior subcapsular lens opacities. American Journal of Clinical Nutrition 75(3), 540-549.

Taylor, H. R., Tikellis, G., Robman, L. D., McCarty, C. A., and McNeil, J. J. (2002). Vitamin E supplementation and macular degeneration: randomised controlled trial. Bmj 325(7354), 11.

Teikari, J. M., Laatikainen, L., Virtamo, J., Haukka, J., Rautalahti, M., Liesto, K., Albanes, D., Taylor, P., and Heinonen, O. P. (1998). Six-year supplementation with alpha-tocopherol and beta-carotene and age-related maculopathy. Acta ophthalmologica Scandinavica 76(2), 224-229.

Teikari, J. M., Virtamo, J., Rautalahti, M., Palmgren, J., Liesto, K., and Heinonen, O. P. (1997). Long-term supplementation with alpha-tocopherol and beta-carotene and age-related cataract. Acta ophthalmologica Scandinavica 75(6), 634-640.

Thornton, J., Edwards, R., Mitchell, P., Harrison, R. A., Buchan, I., and Kelly, S. P. (2005). Smoking and age-related macular degeneration: a review of association. Eye 19(9), 935-944.

Valero, M. P., Fletcher, A. E., De Stavola, B. L., Vioque, J., and Alepuz, V. C. (2002). Vitamin C is associated with reduced risk of cataract in a Mediterranean population. Journal of nutrition 132(6), 1299-1306.

van Leeuwen, R., Boekhoorn, S., Vingerling, J. R., Witteman, J. C., Klaver, C. C., Hofman, A., and de Jong, P. T. (2005). Dietary intake of antioxidants and risk of age-related macular degeneration. Jama 294(24), 3101-7.

Vandenlangenberg, G. M., Maresperlman, J. A., Klein, R., Klein, B. E. K., Brady, W. E., and Palta, M. (1998). Associations between antioxidant and zinc intake and the 5-year incidence of early age-related maculopathy in the Beaver Dam Eye Study. American journal of epidemiology 148(2), 204-214.

VandenLangenberg, G. M., Mares-Perlman, J. A., Klein, R., Klein, B. E. K., Brady, W. E., and Palta, M. (1998). Associations between antioxidant and zinc intake and the 5-year incidence of early age-related maculopathy in the Beaver Dam Eye Study. American Journal of Epidemiology 148(2), 204-214.

Vu, H. T., Robman, L., Hodge, A., McCarty, C. A., and Taylor, H. R. (2006). Lutein and zeaxanthin and the risk of cataract: the Melbourne visual impairment project. Investigative ophthalmology & visual science 47(9), 3783-6.

West, S., Vitale, S., Hallfrisch, J., Munoz, B., Muller, D., Bressler, S., and Bressler, N. M. (1994). Are antioxidants or supplements protective for age-related macular degeneration? Archives of ophthalmology 112(2), 222-7.

Whitehead, A. J., Mares, J. A., and Danis, R. P. (2006). Macular pigment: a review of current knowledge. Archives of ophthalmology 124(7), 1038-45.

Yoshida, M., Takashima, Y., Inoue, M., Iwasaki, M., Otani, T., Sasaki, S., and Tsugane, S. (2007). Prospective study showing that dietary vitamin C reduced the risk of age-related cataracts in a middle-aged Japanese population. European journal of nutrition.

## Santé osseuse

Bell, J. A., and Whiting, S. J. (2004). Effect of fruit on net acid and urinary calcium excretion in an acute feeding trial of women. *Nutrition* **20**(5)**,** 492-3.

Chen, Y. M., Ho, S. C., and Woo, J. L. (2006). Greater fruit and vegetable intake is associated with increased bone mass among postmenopausal Chinese women. *British journal of nutrition* **96**(4)**,** 745-51.

Jajoo, R., Song, L., Rasmussen, H., Harris, S. S., and Dawson-Hughes, B. (2006). Dietary acid-base balance, bone resorption, and calcium excretion. *Journal of the American College of Nutrition* **25**(3)**,** 224-30.

Macdonald, H. M., New, S. A., Fraser, W. D., Campbell, M. K., and Reid, D. M. (2005). Low dietary potassium intakes and high dietary estimates of net endogenous acid production are associated with low bone mineral density in premenopausal women and increased markers of bone resorption in postmenopausal women. *American Journal of Clinical Nutrition* **81**(4)**,** 923-33.

McGartland, C. P., Robson, P. J., Murray, L. J., Cran, G. W., Savage, M. J., Watkins, D. C., Rooney, M. M., and Boreham, C. A. (2004). Fruit and vegetable consumption and bone mineral density: the Northern Ireland Young Hearts Project. *American Journal of Clinical Nutrition* **80**(4)**,** 1019-23.

Michaelsson, K., Holmberg, L., Mallmin, H., Sorensen, S., Wolk, A., Bergstrom, R., and Ljunghall, S. (1995). Diet and hip fracture risk: a case-control study. Study Group of the Multiple Risk Survey on Swedish Women for Eating Assessment. *International journal of epidemiology* **24**(4)**,** 771-782.

Prynne, C. J., Ginty, F., Paul, A. A., Bolton-Smith, C., Stear, S. J., Jones, S. C., and Prentice, A. (2004). Dietary acid-base balance and intake of bone-related nutrients in Cambridge teenagers. *European Journal of Clinical Nutrition* **58**(11)**,** 1462-71.

Prynne, C. J., Mishra, G. D., O'Connell, M. A., Muniz, G., Laskey, M. A., Yan, L., Prentice, A., and Ginty, F. (2006). Fruit and vegetable intakes and bone mineral status: a cross sectional study in 5 age and sex cohorts. *American Journal of Clinical Nutrition* **83**(6)**,** 1420-8.

Rafferty, K., Davies, K. M., and Heaney, R. P. (2005). Potassium intake and the calcium economy. *Journal of the American College of Nutrition* **24**(2)**,** 99-106.

Tylavsky, F. A., Holliday, K., Danish, R., Womack, C., Norwood, J., and Carbone, L. (2004). Fruit and vegetable intakes are an independent predictor of bone size in early pubertal children. *American Journal of Clinical Nutrition* **79**(2)**,** 311-317.

Vatanparast, H., Baxter-Jones, A., Faulkner, R. A., Bailey, D. A., and Whiting, S. J. (2005). Positive effects of vegetable and fruit consumption and calcium intake on bone mineral accrual in boys during growth from childhood to adolescence: the University of Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Study. *American Journal of Clinical Nutrition* **82**(3)**,** 700-6.

Welch, A. A., Bingham, S. A., Reeve, J., and Khaw, K. (2007). More acidic dietary acid-base load is associated with reduced calcaneal broadband ultrasound attenuation in women but not in men: results from the EPIC-Norfolk cohort study. *American Journal of Clinical Nutrition* **85**(4)**,** 1134-1141.

Zalloua, P. A., Hsu, Y. H., Terwedow, H., Zang, T., Wu, D., Tang, G., Li, Z., Hong, X., Azar, S. T., Wang, B., Bouxsein, M. L., Brain, J., Cummings, S. R., Rosen, C. J., and Xu, X. (2006). Impact of seafood and fruit consumption on bone mineral density. *Maturitas* **56,** 1-11.

## Allergies


Breiteneder, H., and Radauer, C. (2004). A classification of plant food allergens. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* **113**(5)**,** 821-830.

Deviller, P., and Pauli, G. (1997). Crossreactions involving plant allergens. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology* **15**(4)**,** 405-413.

Mills, E. N. C., Jenkins, J. A., Alcocer, M. J. C., and Shewry, P. R. (2004). Structural, biological, and evolutionary relationships of plant food allergens sensitizing via the gastrointestinal tract. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **44**(5)**,** 379-407.

Moneret-Vautrin, D. A. (2007). Choc anaphylactique par allergie alimentaire. *In* Allergologie Pédiatrique (P. Scheinmann, and J. de Blic, Eds.), pp. 261-264: 261-264. Flammarion Médecine Sciences.

Radauer, C., and Breiteneder, H. (2007). Evolutionary biology of plant food allergens. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* **120**(3)**,** 518-525.


## Troubles fonctionnels digestifs


Aller, R., de Luis, D. A., Izaola, O., la Calle, F., del Olmo, L., Fernandez, L., Arranz, T., and Gonzalez Hernandez, J. M. (2004). Effects of a high-fiber diet on symptoms of irritable bowel syndrome: a randomized clinical trial. *Nutrition* **20**(9)**,** 735-737.

Aller, R., de Luis, D. A., Izaola, O., La Calle, F., del Olmo, L., Fernandez, L., Arranz, T., and Hernandez, J. M. (2004). Effect of soluble fiber intake in lipid and glucose levels in healthy subjects: a randomized clinical trial. *Diabetes research and clinical practice* **65**(1)**,** 7-11.

Bijkerk, C. J., de Wit, N. J., Muris, J. W., Jones, R. H., Knottnerus, J. A., and Hoes, A. W. (2003). Outcome measures in irritable bowel syndrome: comparison of psychometric and methodological characteristics. *American journal of gastroenterology* **98**(1)**,** 122-127.

Bijkerk, C. J., de Wit, N. J., Stalman, W. A., Knottnerus, J. A., Hoes, A. W., and Muris, J. W. (2003). Irritable bowel syndrome in primary care: the patients' and doctors' views on symptoms, etiology and management. *Canadian journal of gastroenterology* **17**(6)**,** 363-368.

Bijkerk, C. J., Muris, J. W., Knottnerus, J. A., Hoes, A. W., and de Wit, N. J. (2004). Systematic review: the role of different types of fibre in the treatment of irritable bowel syndrome. *Alimentary pharmacology & therapeutics* **19**(3)**,** 245-251.

Dapoigny, M., Stockbrugger, R. W., Azpiroz, F., Collins, S., Coremans, G., Muller-Lissner, S., Oberndorff, A., Pace, F., Smout, A., Vatn, M., and Whorwell, P. (2003). Role of alimentation in irritable bowel syndrome. *Digestion* **67**(4)**,** 225-233.

Mertz, H. R. (2003). Irritable bowel syndrome. *New England journal of medicine* **349**(22)**,** 2136-2146.

Miller, V., Lea, R., Agrawal, A., and Whorwell, P. J. (2006). Bran and irritable bowel syndrome: the primary-care perspective. *Digestive and liver disease* **38**(10)**,** 737-740.

Parisi, G. C., Zilli, M., Miani, M. P., Carrara, M., Bottona, E., Verdianelli, G., Battaglia, G., Desideri, S., Faedo, A., Marzolino, C., Tonon, A., Ermani, M., and Leandro, G. (2002). High-fiber diet supplementation in patients with irritable bowel syndrome (IBS): a multicenter, randomized, open trial comparison between wheat bran diet and partially hydrolyzed guar gum (PHGG). *Digestive diseases and sciences* **47**(8)**,** 1697-1704.

Tan, K. Y., and Seow-Choen, F. (2007). Fiber and colorectal diseases: separating fact from fiction. *World journal of gastroenterology* **13**(31)**,** 4161-4167.


## Exposition aux pesticides


(2006). Plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides 2006-2009 http://www.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=6005 .

Abou-Donia, M. B. (2003). Organophosphorus ester-induced chronic neurotoxicity. Archives of environmental health 58(8), 484-497.

Adgate, J. L., Barr, D. B., Clayton, C. A., Eberly, L. E., Freeman, N. C., Lioy, P. J., Needham, L. L., Pellizzari, E. D., Quackenboss, J. J., Roy, A., and Sexton, K. (2001). Measurement of children's exposure to pesticides: analysis of urinary metabolite levels in a probability-based sample. Environmental health perspectives 109(6), 583-590.

AFSSA (2005). Première évaluation de l'exposition alimentaire de la population martiniquaise au chlordécone. Propositions de limites maximales provisoires de contamination dans les principaux aliments vecteur. AFSSA http://www.afssa.fr/ftp/afssa/31965-32028.pdf .

AFSSA, AFSSE, and IFEN (2004). Observatoire des résidus de pesticides. Etude de faisabilité. Rapport final du 30 juin 2004 http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/index.php?pageid=373 .

Angerer, J., Ewers, U., and Wilhelm, M. (2007). Human biomonitoring: State of the art. International journal of hygiene and environmental health 210(3-4), 201-228.

Aprea, C., Betta, A., Catenacci, G., Lotti, A., Magnaghi, S., Barisano, A., Passini, V., Pavan, I., Sciarra, G., Vitalone, V., and Minoia, C. (1999). Reference values of urinary 3,5,6-trichloro-2-pyridinol in the Italian

population--validation of analytical method and preliminary results (multicentric study). Journal of AOAC International 82(2), 305-312.
Aprea, C., Sciarra, G., Orsi, D., Boccalon, P., Sartorelli, P., and Sartorelli, E. (1996). Urinary excretion of alkylphosphates in the general population (Italy). The Science of the total environment 177(1-3), 37-41.
Aprea, C., Strambi, M., Novelli, M. T., Lunghini, L., and Bozzi, N. (2000). Biologic monitoring of exposure to organophosphorus pesticides in 195 Italian children. Environmental health perspectives 108(6), 521-525.
Balinova, A. M., Mladenova, R. I., and Shtereva, D. D. (2006). Effects of processing on pesticide residues in peaches intended for baby food. Food additives and contaminants 23(9), 895-901.
Barr, D. B., and Angerer, J. (2006). Potential uses of biomonitoring data: a case study using the organophosphorus pesticides chlorpyrifos and malathion. Environmental health perspectives 114(11), 1763-1769.
Barr, D. B., Bravo, R., Weerasekera, G., Caltabiano, L. M., Whitehead, R. D., Jr., Olsson, A. O., Caudill, S. P., Schober, S. E., Pirkle, J. L., Sampson, E. J., Jackson, R. J., and Needham, L. L. (2004). Concentrations of dialkyl phosphate metabolites of organophosphorus pesticides in the U.S. population. Environmental health perspectives 112(2), 186-200.
Becker, K., Kaus, S., Krause, C., Lepom, P., Schulz, C., Seiwert, M., and Seifert, B. (2002). German Environmental Survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in blood of the German population. International journal of hygiene and environmental health 205(4), 297-308.
Becker, K., Seiwert, M., Angerer, J., Kolossa-Gehring, M., Hoppe, H. W., Ball, M., Schulz, C., Thumulla, J., and Seifert, B. (2006). GerES IV pilot study: assessment of the exposure of German children to organophosphorus and pyrethroid pesticides. International journal of hygiene and environmental health 209(3), 221-233.
Boon, P., and van Klaveren, J. (2003). Cumulative exposure to acethylcholinesterase inhibiting compounds in the Dutch population and young children. Rikilt-Institute of Food Safety, Report 2003.003 25 p.
Burchat, C. S., Ripley, B. D., Leishman, P. D., Ritcey, G. M., Kakuda, Y., and Stephenson, G. R. (1998). The distribution of nine pesticides between the juice and pulp of carrots and tomatoes after home processing. Food additives and contaminants 15(1), 61-71.
CDC (2005). Third national report on human exposure to environmental chemicals. http://www.cdc.gov/exposurereport/report.htm .
Chavarri, M., Herrera, A., and Arino, A. (2004). Pesticide residues in field-sprayed and processed fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture 84(10), 1253-1259.
Chavarri, M., Herrera, A., and Arino, A. (2005). The decrease in pesticides in fruit and vegetables during commercial processing. International Journal of Food Science and Technology 40, 205-211.
Christensen, H. B., Granby, K., and Rabolle, M. (2003). Processing factors and variability of pyrimethanil, fenhexamid and tolylfluanid in strawberries. Food additives and contaminants 20(8), 728-741.
CPP (2002). Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires. Rapport 52 p.
CREDOC, and OCA (1992). La consommation de pesticides dans les fruits et légumes en France en 1991, N° 127 135 p.
CREDOC, and OCA (1994). La surveillance des résidus de pesticides dans les fruits et légumes-Détermination des priorités à partir des données de consommation en France en 1991, N° C002 33 p.
CREDOC, and OCA (1996). Affinage des données de consommation de résidus de pesticides issus de fruits et légumes. In Etat d'avancement de la base de données de l'Observatoire des consommations alimentaires, N° C002.
Curl, C. L., Fenske, R. A., and Elgethun, K. (2003). Organophosphorus pesticide exposure of urban and suburban preschool children with organic and conventional diets. Environmental Health Perspectives 111, 377-382.
Ebrahim, S., Smith, G. D., McCabe, C., Payne, N., Pickin, M., Sheldon, T. A., Lampe, F., Sampson, F., Ward, S., and Wannamthee, G. (1998). Cholesterol and coronary heart disease: screening and treatment. Quality in health care : QHC 7(4), 232-239.
EFSA, and PPR (2007). Statement of the Scientific panel on plant protection products and their residues on a request from the commission on acute dietary exposure assessment of pesticide residues in fruit and vegetables. Question number EFSA-Q-2006-114 (adopted 8 march 2007) http://www.efsa.europa.eu/fr/science/ppr/ppr_statements/ppr_statement_iesti.html .
EPA (2000). Vinclozolin: Common mechanism of toxicity of dicarboximide fungicides. EPA, Washington.
EPA Office of Pesticide Programs (OPP) (2001). The determination of whether dithiocarbamate pesticides share a common mechanism of toxicity. EPA, Washington http://www.epa.gov/oppsrrd1/cumulative/dithiocarb.pdf .
European Commission (2006). Monitoring of pesticide residues in products of plant origin in the European Union, Norway, Iceland and Liechtenstein. 2004. Part I 39 p. http://ec.europa.eu/food/fvo/specialreports/pesticide_residues/report_2004_en.pdf .
Eurostat (2002). The use of plant protection products in the European Union. Data 1992-1999. Theme 8. Environment and energy. Eurostat, Luxembourg.
Even, I., Berta, J., and Volatier, J. (2002). Evaluation de l'exposition théorique des nourrissons et des enfants en bas âge aux résidus de pesticides apportés par les aliments courants et infantiles. AFSSA 116 p. http://www.bdsp.tm.fr/FullText/Show.asp?Ref=304110 .
Feinberg, M., Bertail, P., Tressou, J., and Verger, P. (2006). Analyse des risques alimentaires. 398 p. Lavoisier Tec & Doc, Paris.

Heudorf, U., Angerer, J., and Drexler, H. (2004). Current internal exposure to pesticides in children and adolescents in Germany: urinary levels of metabolites of pyrethroid and organophosphorus insecticides. International Archives of Occupational and Environmental Health 77(1), 67-72.
Holland, P., Hamilton, D., Ohlin, B., and Skidmore, M. (1994). Effects of Storage and Processing on Pesticide-Residues in Plant-Products. Pure and Applied Chemistry 66(2), 335-356.
IFEN (2006). Les pesticides dans les eaux : données 2003 et 2004, n°5 http://www.ifen.fr/publications/dossiers/PDF/dossier05.pdf.
INRA, and Cemagref (2005). Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. http://www.inra.fr/les_partenariats/expertise/expertises_realisees/pesticides_rapport_d_expertise .
InVS (2006). Exposition aérienne aux pesticides des populations à proximité des zones agricoles. Bilan et perspectives du programme régional intercire 64 p. http://www.invs.sante.fr/publications/2006/exposition_pesticides/index.html .
Jensen, A. F., Petersen, A., and Granby, K. (2003). Cumulative risk assessment of the intake of organophosphorus and carbamate pesticides in the Danish diet. Food additives and contaminants 20(8), 776-785.
Kelce, W. R., Stone, C. R., Laws, S. C., Gray, L. E., Kemppainen, J. A., and Wilson, E. M. (1995). Persistent DDT metabolite p,p'-DDE is a potent androgen receptor antagonist. Nature 375(6532), 581-585.
Koch, H. M., Hardt, J., and Angerer, J. (2001). Biological monitoring of exposure of the general population to the organophosphorus pesticides chlorpyrifos and chlorpyrifos-methyl by determination of their specific metabolite 3,5,6-trichloro-2-pyridinol. International journal of hygiene and environmental health 204(2-3), 175-180.
Kontou, S., Tsipi, D., and Tzia, C. (2004). Kinetics of maneb degradation during thermal treatment of tomatoes. Journal of agricultural and food chemistry 52(5), 1212-1219.
Krol, W. J., Arsenault, T. L., Pylypiw, H. M., Jr., and Incorvia Mattina, M. J. (2000). Reduction of pesticide residues on produce by rinsing. Journal of agricultural and food chemistry 48(10), 4666-4670.
Law, M. R., and Morris, J. K. (1998). By how much does fruit and vegetable consumption reduce the risk of ischaemic heart disease? European journal of clinical nutrition 52(8), 549-556.
Law, M. R., and Morris, J. K. (1999). By how much does fruit and vegetable consumption reduce the risk of ischaemic heart disease: response to commentary. European Journal of Clinical Nutrition 53(11), 903-904.
Lu, C., Toepel, K., Irish, R., Fenske, R. A., Barr, D. B., and Bravo, R. (2006). Organic diets significantly lower children's dietary exposure to organophosphorus pesticides. Environmental health perspectives 114(2), 260-263.
Lu, C. S., Barr, D. B., Pearson, M., Bartell, S., and Bravo, R. (2006). A longitudinal approach to assessing urban and suburban children's exposure to pyrethroid pesticides. Environmental health perspectives 114, 1419-1423.
Mileson, B. E., Chambers, J. E., Chen, W. L., Dettbarn, W., Ehrich, M., Eldefrawi, A. T., Gaylor, D. W., Hamernik, K., Hodgson, E., Karczmar, A. G., Padilla, S., Pope, C. N., Richardson, R. J., Saunders, D. R., Sheets, L. P., Sultatos, L. G., and Wallace, K. B. (1998). Common mechanism of toxicity: a case study of organophosphorus pesticides. Toxicological Science 41(1), 8-20.
Needham, L. L., Calafat, A. M., and Barr, D. B. (2007). Uses and issues of biomonitoring. International journal of hygiene and environmental health 210(3-4), 229-238.
Pennycook, F. R., Diamand, E. M., Watterson, A., and Howard, C. V. (2004). Modeling the dietary pesticide exposures of young children. International Journal of Occupational and Environmental Health 10, 304-309.
Pennycook, F. R., Diamand, E. M., Watterson, A., and Howard, C. V. (2004). Modelling the dietary pesticide exposures of young children - Reply. International Journal of Occupational and Environmental Health 10, 469-470.
Petersen, B., Tomerlin, J. R., and Barraj, L. (1996). Pesticide degradation: Exceptions to the rule. Food Technology 50, 221-223.
Raab, U., Schwegler, U., Preiss, U., Albrecht, M., and Fromme, H. (2007). Bavarian breast milk survey - Pilot study and future developments. International journal of hygiene and environmental health 210(3-4), 341-344.
Rasmusssen, R. R., Poulsen, M. E., and Hansen, H. C. (2003). Distribution of multiple pesticide residues in apple segments after home processing. Food additives and contaminants 20(11), 1044-1063.
Renwick, A. G. (2002). Pesticide residue analysis and its relationship to hazard characterisation (ADI/ARfD) and intake estimations (NEDI/NESTI). Pest management science 58(10), 1073-1082.
Schettgen, T., Heudorf, U., Drexler, H., and Angerer, J. (2002). Pyrethroid exposure of the general population-is this due to diet. Toxicology Letters 134(1-3), 141-145.
Schulz, C., Conrad, A., Becker, K., Kolossa-Gehring, M., Seiwert, M., and Seifert, B. (2007). Twenty years of the German Environmental Survey (GerES): Human biomonitoring - Temporal and spatial (West Germany/East Germany) differences in population exposure. International journal of hygiene and environmental health 210(3-4), 271-297.
Volatier, J. L. (2000). Enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires (INCA). Lavoisier Tec & Doc, Paris.
Zabik, M. J., El-Hadidi, M. F., Cash, J. N., Zabik, M. E., and Jones, A. L. (2000). Reduction of azinphos-methyl, chlorpyrifos, esfenvalerate, and methomyl residues in processed apples. Journal of agricultural and food chemistry 48(9), 4199-4203.

Plan National Santé-Environnement. Disponible à :
http://www.ecologie.gouv.fr/-Plan-national-sante-environnement-.html
Plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides 2006-2009. Disponible à :
http://www.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=6005
Expertise scientifique collective INRA CEMAGREF (2005) Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Disponible à :
http://www.inra.fr/les_partenariats/expertise/expertises_realisees/pesticides_rapport_d_expertise
Evaluation européenne des substances actives :
http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/index_fr.htm
http://www.efsa.europa.eu/fr/science/praper.html
Modèle d'évaluation de l'exposition alimentaire aux pesticides du Royaume-Uni :
http://www.pesticides.gov.uk/approvals.asp?id=1687
Exposition cumulative aux pesticides ayant un mécanisme commun de toxicité aux Etats-Unis (EPA) :
http://www.epa.gov/pesticides/cumulative/index.htm
Colloque EFSA Novembre 2006 : http://www.efsa.europa.eu/fr/science/colloquium_series/colloquium_7.html
Résultats des programmes de surveillance de la DGCCRF en France
2004 : http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/237848756776583622332804672716/DGCCRF_2004_rapport.pdf
2005 : http://www.minefi.gouv.fr/directions_services/dgccrf/securite/produits_alimentaires/controles_alimentaires/2007/pesticides_vegetaux.htm
Convention de Stockolm concernant les polluants organiques persistants (POP) : http://www.pops.int
Etude Nationale nutrition santé : http://www.invs.sante.fr/surveillance/nutrition/enns.htm

COM(2001)31 : Sixième programme communautaire d'action pour l'environnement
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fr/com/2001/com2001_0031fr01.pdf
COM(2002)349 : Vers une stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fr/com/2002/com2002_0349fr01.pdf
COM(2003)338 : Stratégie européenne en matière d'environnement et de santé
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fr/com/2003/com2003_0338fr01.pdf
COM(2004)416 : Plan d'action européen 2004-2010 en faveur de l'environnement et de la santé
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52004DC0416:FR:HTML
COM(2006)372 : Stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fr/com/2006/com2006_0372fr01.pdf
COM(2006)373 : Directive du Parlement européen et du Conseil instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation durable des pesticides (proposition de)
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fr/com/2006/com2006_0373fr01.pdf
COM(2006)388 : Règlement du Parlement européen et du Conseil concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutique (proposition de)
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fr/com/2006/com2006_0388fr01.pdf

**Personnes consultées**
Volatier Jean-Luc, AFSSA-DERNS
Fréry Nadine, InVS
Sauphanor Benoit, INRA-Avignon
Vergnet Claude, AFSSA-DiVE

## Exposition aux nitrates

Boeing, H., Frentzel-Beyme, R., Berger, M., Berndt, V., Gores, W., Korner, M., Lohmeier, R., Menarcher, A., Mannl, H. F., and Meinhardt, M. (1991). Case-control study on stomach cancer in Germany. *International journal of cancer* **47**(6).
Buiatti, E., Palli, D., Decarli, A., Amadori, D., Avellini, C., Bianchi, S., Bonaguri, C., Cipriani, F., Cocco, P., and Giacosa, A. (1990). A case-control study of gastric cancer and diet in Italy: II. Association with nutrients. *International journal of cancer* **45**(5)**,** 896-901.
Chilvers, C., Inskip, H., Caygill, C., Bartholomew, B., Fraser, P., and Hill, M. (1984). A survey of dietary nitrate in well-water users. *International journal of epidemiology* **13**(3)**,** 324-331.
De Martin, S., and Restani, P. (2003). Determination of nitrates by a novel ion chromatographic method: occurrence in leafy vegetables (organic and conventional) and exposure assessment for Italian consumers. *Food Additives and Contaminants* **20**(9)**,** 787-792.
De Roos, A. J., Ward, M. H., Lynch, C. F., and Cantor, K. P. (2003). Nitrate in public water supplies and the risk of colon and rectum cancers. *Epidemiology* **14**(6)**,** 640-649.
European Commission (1997). Assessment of dietary intake of nitrates by the population in the European Union as a consequence of consumption of vegetables.

Report on task for scientific cooperation: Report of experts participating in task 3.2.3. Office for Official Publications of the European Communities.

Fan, A. M., and Steinberg, V. E. (1996). Health implications of nitrate and nitrite in drinking water: An update on methemoglobinemia occurrence and reproductive and developmental toxicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* **23**(1)**,** 35-43.

Food Safety Inspection Service (2004). UK monitoring programme for nitrate in lettuce and spinach. *Food Survey Information Sheet* **74/05,** 1-12.

FSA (1998). Total diet study - Nitrate and nitrite. *Food Surveillance Information Sheet* **163,** 1-8.

Gangolli, S. D., Vandenbrandt, P. A., Feron, V. J., Janzowsky, C., Koeman, J. H., Speijers, G. J. A., Spiegelhalder, B., Walker, R., and Wishnok, J. S. (1994). Nitrate, Nitrite and N-Nitroso Compounds. *European Journal of Pharmacology-Environmental Toxicology and Pharmacology Section* **292**(1)**,** 1-38.

Gonzalez, C. A., Riboli, E., Badosa, J., Batiste, E., Cardona, T., Pita, S., Sanz, J. M., Torrent, M., and Agudo, A. (1994). Nutritional Factors and Gastric-Cancer in Spain. *American Journal of Epidemiology* **139**(5)**,** 466-473.

Grosse, Y., Baan, R., Straif, K., Secretan, B., El Ghissassi, F., and Cogliano, V. (2006). Carcinogenicity of nitrate, nitrite, and cyanobacterial peptide toxins. *Lancet Oncology* **7**(8)**,** 628-629.

Hansson, L. E., Nyren, O., Bergstrom, R., Wolk, A., Lindgren, A., Baron, J., and Adami, H. O. (1994). Nutrients and Gastric-Cancer Risk - a Population-Based Case-Control Study in Sweden. *International Journal of Cancer* **57**(5)**,** 638-644.

Knekt, P., Jarvinen, R., Dich, J., and Hakulinen, T. (1999). Risk of colorectal and other gastro-intestinal cancers after exposure to nitrate, nitrite and N-nitroso compounds: A follow-up study. *International Journal of Cancer* **80**(6)**,** 852-856.

La vecchia, C., Ferraroni, M., Davanzo, B., Decarli, A., and Franceschi, S. (1994). Selected Micronutrient Intake and the Risk of Gastric-Cancer. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention* **3**(5)**,** 393-398.

Lee, M., Wrensch, M., and Miike, R. (1997). Dietary and tobacco risk factors for adult onset glioma in the San Francisco Bay Area (California, USA). *Cancer Causes Control* **8**(1)**,** 13-24.

Malmauret, L., Parent-Massin, D., Hardy, J. L., and Verger, P. (2002). Contaminants in organic and conventional foodstuffs in France. *Food Additives and Contaminants* **19**(6)**,** 524-532.

Mayne, S. T., Risch, H. A., Dubrow, R., Chow, W. H., Gammon, M. D., Vaughan, T. L., Farrow, D. C., Schoenberg, J. B., Stanford, J. L., Ahsan, H., West, A. B., Rotterdam, H., Blot, W. J., and Fraumeni, J. F. (2001). Nutrient intake and risk of subtypes of esophageal and gastric cancer. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention* **10**(10)**,** 1055-1062.

Nabrzyski, M., and Gajewska, R. (1994). The content of nitrates and nitrites in fruits, vegetables and other foodstuffs. *Roczniki Pan'stwowego Zak?adu Higieny* **45**(3)**,** 167-180.

Pobel, D., Riboli, E., Cornee, J., Hemon, B., and Guyader, M. (1995). Nitrosamine, Nitrate and Nitrite in Relation to Gastric-Cancer - a Case-Control Study in Marseille, France. *European Journal of Epidemiology* **11**(1)**,** 67-73.

Risch, H. A., Jain, M., Choi, N. W., Fodor, J. G., Pfeiffer, C. J., Howe, G. R., Harrison, L. W., Craib, K. J., and Miller, A. B. (1985). Dietary factors and the incidence of cancer of the stomach. *American journal of epidemiology* **122**(6)**,** 947-959.

Rogers, M. A. M., Vaughan, T. L., Davis, S., and Thomas, D. B. (1995). Consumption of Nitrate, Nitrite, and Nitrosodimethylamine and the Risk of Upper Aerodigestive Tract Cancer. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention* **4**(1)**,** 29-36.

Schwartzbaum, J. A., Fisher, J. L., Goodman, J., Octaviano, D., and Cornwell, D. G. (1999). Hypotheses concerning roles of dietary energy, cured meat, and serum tocopherols in adult glioma development. *Neuroepidemiology* **18**(3)**,** 156-166.

van Loon, A. J. M., Botterweck, A. A. M., Goldbohm, R. A., Brants, H. A. M., van Klaveren, J. D., and van den Brandt, P. A. (1998). Intake of nitrate and nitrite and the risk of gastric cancer: a prospective cohort study. *British Journal of Cancer* **78**(1)**,** 129-135.

van Loon, A. J. M., Botterweck, A. A. M., Goldbohm, R. A., Brants, H. A. M., and vandenBrandt, P. A. (1997). Nitrate intake and gastric cancer risk: Results from the Netherlands Cohort Study. *Cancer Letters* **114**(1-2)**,** 259-261.

Walker, R. (1990). Nitrates, nitrites and N-nitrosocompounds: a review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications. *Food additives and contaminants* **7**(6)**,** 717-768.

Ward, M. H., Cerhan, J. R., Colt, J. S., and Hartge, P. (2006). Risk of non-Hodgkin lymphoma and nitrate and nitrite from drinking water and diet. *Epidemiology* **17**(4)**,** 375-382.

Ward, M. H., Mark, S. D., Cantor, K. P., Weisenburger, D. D., CorreaVillasenor, A., and Zahm, S. H. (1996). Drinking water nitrate and the risk of non-Hodgkin's lymphoma. *Epidemiology* **7**(5)**,** 465-471.

WHO (2002). Evaluation of Certain Food Additives: Fifty-ninth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, WHO Technical Report Series n° 913, 161 p.

Ysart, G., Miller, P., Barrett, G., Farrington, D., Lawrance, P., and Harrison, N. (1999). Dietary exposures to nitrate in the UK. *Food Additives and Contaminants* **16**(12)**,** 521-532.

# 2. Les sources de variabilité des qualités nutritionnelles des fruits et légumes

**Mathilde Causse** (coord.)
Christian Chervin
Jean-Claude Mauget
**Catherine Renard** (coord.)

Documentation :
Dominique Fournier

## Table des matières

**2.1. Les sources de variation biologiques d'ordre physiologique et génétique..... 176**
2.1.1. Variations physiologiques..... 176
2.1.2. Variabilité génétique de la qualité nutritionnelle des fruits et légumes ..... 178
2.1.3. Eléments de conclusions..... 185

**2.2. Les sources de variations biologiques d'ordre agronomique et environnemental ..... 188**
2.2.1. Effets des facteurs de l'environnement ..... 188
2.2.2. Effets des techniques culturales..... 189
2.2.3. Effets des modes de culture et des modes de production ..... 192
2.2.4. Résidus de pesticides..... 194
2.2.5. Eléments de conclusion ..... 195

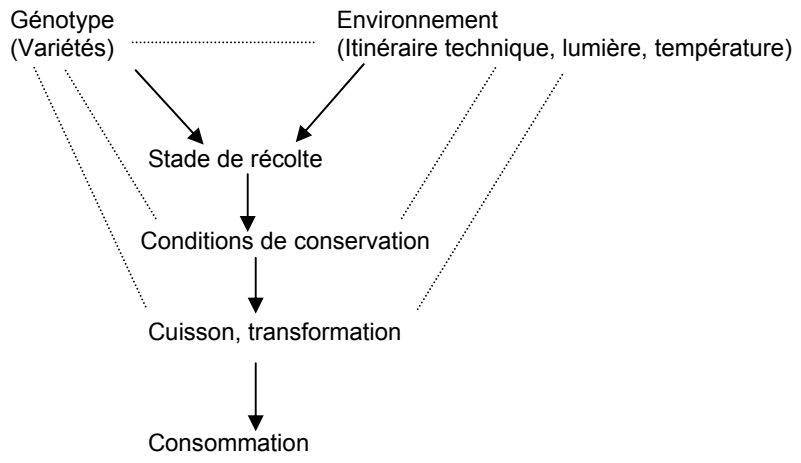
**2.3. Variations dues à la transformation et la conservation ..... 199**
2.3.1. La conservation du végétal vivant – Première et quatrième gammes ..... 200
2.3.2. Epluchage..... 205
2.3.3. Impact des traitements thermiques – Deuxième et cinquième gamme ..... 205
2.3.4. La conservation par le froid - Troisième gamme..... 209
2.3.5. Jus et produits liquides..... 211
2.3.6. Déshydratation ..... 212
2.3.7. Procédés innovants..... 213
2.3.8. Eléments de conclusion ..... 215

**Références bibliographiques ..... 222**

Les végétaux présentent une grande diversité de composition et de teneur en phytonutriments (cf. tables de composition).

Au-delà de la diversité entre espèces, de nombreuses sources de variations vont moduler ces teneurs au sein de chaque espèce. Les principales sources de variations sont inhérentes aux produits, d'ordre physiologique (liées au développement ou à la localisation dans le fruit ou le légume) ou génétique (lié au grand nombre de variétés disponibles), ou au contraire dépendantes des techniques culturales, des conditions environnementales, et enfin des conditions de conservation et de transformation après récolte.

L'objectif de ce chapitre est d'identifier les principales sources de variation en phytonutriments et les leviers de contrôle pouvant conduire à moduler leurs concentrations. Il s'agit également de hiérarchiser l'impact des différentes sources de variation, bien que des interactions entre les différentes sources de variation compliquent le contrôle des teneurs. C'est en effet le contrôle de l'optimisation et de la stabilité de la qualité tout au long de la filière qui est le véritable enjeu pour répondre aux besoins des consommateurs, une réduction à une étape quelconque de la filière pouvant entraîner des conséquences sur le produit final.




Le choix des variétés, les conditions de culture, puis les conditions de conservation et éventuellement de transformation influent sur la qualité nutritionnelle des fruits et légumes. Des interactions (----) entre les différents facteurs viennent moduler les effets individuels de chaque facteur.

Enfin, bien qu'indirectement liée à la qualité nutritionnelle des produits, leur qualité organoleptique (goût, saveur, texture) est également évoquée car elle représente sans doute un des facteurs limitant leur consommation et son amélioration est parfois liée à la qualité nutritionnelle, de façon positive ou antagoniste.

### Les sources bibliographiques

De nombreux travaux en horticulture ont étudié ces aspects. Néanmoins les données sont très hétérogènes suivant les espèces et les composés. Par exemple, on trouve une littérature très abondante sur la tomate et les métabolites secondaires qui la composent car, au delà de son impact économique, cette espèce est utilisée comme modèle pour les études du développement du fruit. Elle se transforme par ailleurs facilement. C'est donc sur cette espèce que de nombreux travaux de transgenèse ont été réalisés. Pour les fruits, une littérature scientifique abondante concerne la pomme. Les données sur les autres espèces sont beaucoup plus éparses.

Nous nous sommes limités aux principaux fruits et légumes consommés et aux données récentes (publiées depuis 1990), sauf pour obtenir quelques informations générales antérieures. La pomme de terre n'a pas été traitée.

## 2.1. Les sources de variation biologiques d'ordre physiologique et génétique

Mathilde Causse

### 2.1.1. Variations physiologiques

*La teneur de la plupart des composés évolue au cours du développement des organes. Certains s'accumulent précocement puis ont tendance à disparaître à la maturation, tandis que d'autres vont s'accumuler au cours du développement. De même suivant les organes, les compositions peuvent varier fortement. Ces variations ont généralement été étudiées dans les années 70-80 et sont présentées dans les monographies sur les différentes espèces.*

***. Variations au cours du développement***

Les caroténoïdes, associés à des pigments colorés (β-carotène, lycopène) ont tendance à s'accumuler au cours de la maturation des fruits, notamment chez la tomate, le melon ou l'abricot (une variété de riz modifiée pour produire des caroténoïdes, 2007), au détriment de pigments présents dans les chloroplastes dont les teneurs diminuent au cours de la maturation. Par exemple chez le piment, Hornero-Mendez et al. (2000) observent que les teneurs en lutéine et néoxanthine, élevées dans les fruits verts, diminuent avec la maturation tandis que les teneurs en β-carotène, violaxanthine, capsantine et capsorubine (responsables de la couleur rouge) augmentent. La teneur en carotène augmente également avec la maturité des carottes (Breene, 1994). Au contraire, la teneur en polyphénols a tendance à diminuer avec la maturation chez l'abricot (Dragovic-Uzelac et al., 2007). Chez la pomme, la teneur en caroténoïdes dans la peau diminue au cours du développement du fruit, puis augmente en fin de maturation (Reay et al., 1998). Ces auteurs notent également une augmentation de la teneur en anthocyanes en fin de développement du fruit, chez la variété Gala, sur la face rouge du fruit. Renard et al. (2007) notent chez la pomme que la concentration en flavonoïdes décroît fortement au cours du développement du fruit, parallèlement à des modifications du degré de polymérisation des procyanidines.

La teneur en vitamine C des agrumes est 2 fois plus importante dans les fruits immatures que dans les fruits matures. La même tendance est observée dans les fraises, la tomate, le piment et le haricot, au contraire du pois (Breene, 1994). Ces tendances peuvent néanmoins être contredites chez certains cultivars.

Chez les choux, la teneur en glucosinolates augmente avec l'âge des feuilles (Velasco et al., 2007). Dans les fruits de tomate, la teneur en folate diminue au cours de la maturation (Basset et al., 2004).

Des variations de teneur en lutéine au cours de la maturation sont observées (Calvo, 2005), avec une diminution des teneurs chez le poivron ou la vigne, tandis qu'elle augmente chez les légumes feuilles avec l'âge des feuilles.

***. Variations suivant les parties de l'organe consommé***

*Beaucoup de métabolites secondaires ont un rôle antioxydant protecteur pour les végétaux contre les agressions de l'environnement (température, lumière) ou celles de pathogènes. On les trouve donc souvent en plus grande concentration dans la peau des fruits ou dans les feuilles externes des légumes feuilles. Cela constitue un dilemme pour le consommateur. Faut il peler les fruits afin de limiter les risques d'absorption de résidus de pesticides, mais perdre les effets bénéfiques des composés présents dans la peau ?*

Gorinstein et al (2002) montrent que les teneurs en phénols totaux et en fibres sont systématiquement supérieures dans la peau que dans la chair des fruits de pomme, poire et pêche (Tableau 2-1).

| | Pêche | Poire | Pomme |
|---|---|---|---|
| Chair | 2,4 | 2,1 | 6,9 |
| Peau | 4,7 | 4,5 | 11,1 |

**Tableau 2-1.** Teneur en phénols totaux (g / kg FW) d'après Gorinstein et al (2002)

Chez la pomme, la teneur en vitamine C dans la peau est également 2 à 10 fois supérieure à celle de la chair et on note un gradient de concentration dans le fruit (Breene, 1994). Lata (2007) compare les teneurs de 19 cultivars et observe des ratios peau/fruit total variant de 2 à 3 pour les composés phénoliques, de 1,5 à 9 pour les flavonols et de 0,7 à 12 pour les anthocyanes.

Chez la tomate, vitamine C, lycopène et polyphénols s'accumulent majoritairement dans la peau et les couches cellulaires sous la peau (Davies et Hobson, 1981).

Chez la laitue, Hohl et al (2001) comparent les teneurs en quercétine de 15 variétés. Ils observent des teneurs dans les feuilles internes variant de 19 à 152 µg/g de matière fraîche, tandis que les teneurs des feuilles externes, plus exposées à la lumière, varient de 417 à 2482 µg/g. Néanmoins, si en moyenne on trouve 3% des teneurs dans les feuilles internes, ce taux peut atteindre 15-20% chez les variétés les plus riches en quercétine. Le même type de différence est observé pour la teneur en lutéine chez le chou (Calvo, 2005).

Chez le brocoli, on note une concentration supérieure en caroténoïdes dans les têtes par rapport aux tiges (Jeffery et al., 2003).

### *. Les relations physiologiques entre caractères*

Il n'y a pas de relation systématique entre les teneurs en métabolites secondaires. Vitamines, phénols et caroténoïdes ont en effet des voies métaboliques différentes et donc des régulations différentes. Néanmoins, on observe souvent une relation négative entre taille des fruits et composition en matière sèche, et par conséquent entre teneur en composés bioactifs et taille des fruits.

Par exemple chez la tomate, l'eau représente environ 95% de la composition des tomates pour les variétés à gros fruits, tandis que cette teneur est plus proche de 92% chez les tomates cerises. A quantité fraîche consommée identique, on consommera donc beaucoup plus de métabolites secondaires chez ces dernières.

En général, le pouvoir antioxydant est fortement corrélé à la concentration en composés phénoliques (Hanson et al., 2004 chez la tomate; Yang et al., 2004 chez l'oignon; Scalzo et al., 2005a chez la pêche), mais cette relation est trouvée non significative chez l'abricot et même négative chez la fraise par Scalzo et al (2005a). Cox et al (2003) ne trouvent pas de relation entre pouvoir antioxydant et teneur en phénols ou en lycopène chez des variétés de tomate de couleurs différentes.

### *. Quelle relation entre qualité nutritionnelle et organoleptique ?*

La qualité organoleptique est liée à l'aspect, aux saveurs, aux arômes et à la texture. Plusieurs programmes de sélection pour améliorer la qualité organoleptique sont menés. Quelles conséquences auront-ils sur la qualité nutritionnelle ?

L'aspect peut agir directement sur la composition en certains métabolites participant à la couleur, tels que les caroténoïdes et les anthocyanes.

Concernant les saveurs (sucré, acide, amer, salé), elles peuvent être liées à la qualité nutritionnelle. Une corrélation entre teneur en vitamine C et teneur en sucres dans la tomate est fréquemment observée (Causse et al., 2003), mais il semble possible de rompre cette liaison (Stevens et al., 2006). Par contre, plusieurs composés phénoliques aux vertus nutritionnelles potentielles participent à l'amertume et ont plutôt été contre sélectionnés (voir plus loin).

Enfin, plusieurs arômes dérivent de la dégradation des caroténoïdes (notamment l'ionone à odeur de violette) et la sélection de variétés plus aromatiques dépendra de leur composition en caroténoïdes, notamment chez la tomate (Tieman et al., 2006).

## 2.1.2. Variabilité génétique de la qualité nutritionnelle des fruits et légumes

### *La diversité génétique naturelle*

*La création de nouvelles variétés n'est possible que si il y a variabilité génétique et héritabilité. De nombreuses études comparent la composition pour un (ou quelques) composé(s) chez plusieurs variétés cultivées dans les mêmes conditions. Ces études sont destinées à connaître la gamme de variation offerte aux consommateurs pour une espèce, mais aussi à identifier des géniteurs potentiels pour la sélection. Une grande gamme de variation est observée.*

Le Tableau 2-2 (p. 14) présente les gammes de variation observées lors de comparaisons de plusieurs variétés cultivées dans des conditions identiques. On voit que la variabilité peut être importante, et qu'il faut donc relativiser les données de composition lorsqu'elles n'incluent pas la gamme de variation présente dans les variétés.

Des variations du simple au double sont fréquemment observées, mais on note également des variations beaucoup plus importantes dans certains cas. Par exemple, la comparaison de 50 variétés de brocoli révèle que la teneur en β-carotène peut varier jusqu'à 6 fois, tandis que la teneur en glucosinolates varie d'un facteur 20 entre les plus faibles et les plus fortes teneurs (Jeffery et al., 2003). Suivant que l'on s'intéresse aux teneurs relativement à la matière fraîche ou à la matière sèche, le classement des variétés peut être très différent (Mou, 2005).

Les variations sont encore plus marquées lorsqu'on s'intéresse précisément aux molécules et non aux familles de molécules. Par exemple, parmi les 12 composés phénoliques principaux identifiés chez le brocoli, Robbins et al (2005) notent une prépondérance de flavonoïdes dans une variété, et d'esters hydroxycinnamique chez une autre. Chez la laitue, certaines variétés sont pauvres en flavonoïdes, d'autres contiennent de grandes quantités de flavonols et d'anthocyanes (Dupont et al., 2000).

Les variation de composition en caroténoïdes sont directement liées aux différences de couleur de certains fruits : seules les tomates rouges accumulent du lycopène en liaison avec la couleur, tandis que les mutants à fruits orange ou jaunes ont des compositions différentes (Cox et al., 2003) ; les piments jaunes n'accumulent pas de capsantine ou de capsorubine, contrairement aux rouges (Hornero-Mendez et al., 2000).

Chez la tomate, l'analyse par HPLC des formes isoméres de lycopène montre une majorité de formes *trans* (moins biodisponibles que les *cis*), à l'exception d'une variété de tomate cerise (Gardener's Delight) qui contient autant de formes *cis* que de formes *trans* (Kuti et Konuru, 2005).

### *La sélection a t-elle réduit la valeur nutritionnelle des fruits et légumes ?*

*Contrairement à certaines idées reçues, la sélection pour la productivité n'a pas systématiquement réduit la valeur nutritionnelle des fruits et légumes. En effet, la comparaison de variétés anciennes et modernes ne donne pas de résultats généralisables. Notamment lorsque les composés sont liés à la couleur (comme c'est le cas de plusieurs caroténoïdes), la sélection n'a pas beaucoup modifié les compositions, la couleur étant parmi les principaux critères de choix des consommateurs.*

Chez la tomate, Granges et al (2006) trouvent des teneurs en vitamine C et en caroténoïdes identiques dans des variétés anciennes et des modernes. Causse et al (2003) observent pour d'autres échantillons des teneurs plus faibles en vitamine C chez les variétés modernes, mais des teneurs en caroténoïdes identiques.

*En revanche, lorsque les composés sont liés à des caractéristiques défavorables, ils ont été fortement contre sélectionnés.* De nombreux composés phénoliques, par exemple, sont responsables de l'amertume ou de l'astringence (Drewnowski et Gomez-Carneros, 2000). C'est le cas du concombre dont la teneur en cucurbitacines a été réduite par sélection dans les années 50, des glucosinolates des choux, de la capsaïcine responsable du caractère piquant des piments (Pitrat et Foury, 2003).

***Intérêt des collections de ressources génétiques pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle***

*Des milliers de variétés de fruits et légumes ont été sélectionnées dans le monde, pour répondre à des besoins d'adaptation spécifiques ou au fil de l'amélioration de la productivité et des caractéristiques des produits. Ces variétés sont fréquemment conservées dans des collections de ressources génétiques. Elles constituent des réservoirs de variabilité précieux pour les sélectionneurs.*

L'AVRDC à Taiwan conserve un grand nombre de variétés de légumes originaires du monde entier, de même que l'Institut Vavilov à St Petersbourg. Au niveau européen, les instituts nationaux s'organisent sous la tutelle de l'IPGRI pour assurer la caractérisation et la conservation des collections nationales. L'INRA possède, par exemple, des collections importantes de légumes (choux à Rennes, tomate, piment, aubergine, melon et laitue à Avignon) et de fruits (pomme à Angers, pêche et prune à Bordeaux, abricot et amande à Avignon, agrumes en Corse).

La caractérisation de ces collections se fait généralement pour des descripteurs visuels, mais seules des nombres limités d'accessions sont caractérisés pour leur composition en métabolites secondaires. C'est pourtant dans ces collections qu'on trouve les géniteurs potentiellement les plus intéressants.

Chez la pomme, le potentiel antioxydant des fruits de variétés préservées dans les collections de ressources génétiques est également très large (Scalzo et al., 2005a). De même, Lenucci et al (2006) observent des variétés de tomate cerise dont les fruits présentent un pouvoir antioxydant très supérieur à celui des variétés traditionnelles. Chez la carotte, on observe une gamme de variation très large, avec des variétés de couleurs très variables et des teneurs en carotènes pouvant être 2 à 3 fois plus élevées chez des variétés anciennes ou exotiques (Nicolle et al., 2004).

***Les espèces sauvages, des ressources inestimables***

*La caractérisation d'espèces sauvages apparentées aux espèces cultivées et pouvant se croiser avec elles offre une autre possibilité d'étendre la gamme de variation disponible. Le recours aux espèces sauvages a jusqu'à maintenant principalement été réalisé pour rechercher de nouvelles sources de résistances aux pathogènes, mais ces espèces sauvages peuvent se révéler des sources de variabilité inattendue pour des métabolites secondaires.*

Le tableau 2-3 résume quelques études de composition dans des espèces sauvages. Les travaux sur la tomate et la fraise visent la recherche de géniteurs pour la qualité organoleptique, tandis que ceux sur le pêcher et le pommier ont été réalisés car les accessions sauvages présentaient des résistances à des pathogènes intéressantes pour les agriculteurs.

**Tableau 2-3.**

| Espèce | Composé | Gamme de variation | Référence |
|---|---|---|---|
| Tomate sauvage *(Solanum pimpinellifolium)* | Vitamine C | 160-290 mg/kg FW | (Fernandez-Ruiz et al., 2004) |
| Tomate sauvage (plusieurs espèces) | Vitamine C | 11-570 mg/kg FW | (Galiana-Balaguer et al., 2006) |
| Choux ornementaux | Glucosinolates | Teneurs supérieures aux cultivés (x3) | (Kushad et al., 2004) |
| Haricots sauvages du Mexique | Phénols, tanins, anthocyanes | Large gamme de variation suivant les composés | (Espinosa-Alonso et al., 2006) |
| Fraise des bois *(Fragaria vesca)* | Pouvoir antioxydant | 3 x la teneur des fraises cultivées | (Scalzo et al., 2005a) |
| Pêcher sauvage *(Prunus davidiana)* | Composés phénoliques (jugés défavorables car amers) | Teneurs très élevées | (Moing et al., 2003) |
| Pommier sauvage d'Anatolie | Vitamine C | 4.88-7.44 mg /100 g | (Pirlak et al., 2003) |

Néanmoins, l'utilisation des espèces sauvages se heurte fréquemment à l'association aux gènes favorables de gènes entraînant des caractéristiques défavorables. Ces liaisons peuvent se révéler difficiles à rompre.

### *Les mutants, une autre source de variation*

*Les généticiens ont également collecté de nombreux mutants naturels (ou créé de nouveaux mutants par des traitements mutagènes) dont la composition peut être particulièrement modifiée et s'avérer utile soit directement en sélection, soit pour comprendre la régulation des compositions en métabolites.*

Chez la tomate, par exemple, la caractérisation de mutants altérés dans leur profil de caroténoïdes ont permis d'identifier plusieurs gènes participant à la synthèse du lycopène (Ronen et al., 1999; Ronen et al., 2000; Fraser et Bramley, 2004). Ces travaux ont également permis d'en élucider la régulation au cours de la maturation du fruit. Les mutants riches en pigments (*high-pigment hp1* et *hp2)* interviennent dans l'interaction entre la lumière et la synthèse de caroténoïdes (Liu et al., 2004). Long et al (2006) ont montré que ces mutants présentaient non seulement des teneurs élevées en caroténoïdes, mais aussi des teneurs accrues en rutine et en acide chlorogénique. Leur potentiel en sélection a été souligné par Lenucci et al (2006). En criblant plus d'une centaine de plantes issues d'un programme de mutagenèse aléatoire, Stevens et al (2006) ont identifié 6 nouveaux mutants présentant des teneurs accrues en vitamine C.

Ces mutations ont été parfois utilisées pour développer des variétés spécifiquement améliorées pour leur composition en métabolites secondaires. Les variétés de tomate Caro-Rich et Caro-Red, dix fois plus riches en β-carotène que les variétés classiques, ont cependant été mal acceptées car elles ont des fruits orange (Stommel, 2001).

## *La sélection pour la qualité nutritionnelle*

*La sélection des fruits et légumes est généralement multicaractère et doit prendre en compte des aspects de productivité, d'adaptation aux conditions pédoclimatiques, de résistances aux bioagresseurs et enfin de qualité. La qualité est avant tout la qualité commerciale (aspect des produits, tenue post récolte), mais la qualité organoleptique devient un nouvel enjeu pour les sélectionneurs. La qualité nutritionnelle des fruits et légumes n'a que rarement été un critère de sélection direct, sauf pour contre sélectionner des aspects défavorables, liés à des facteurs antinutritionnels ou à des caractéristiques gustatives défavorables. Cependant, la compétition pour les marchés nationaux ou internationaux peut rendre attractive la sélection pour de nouvelles propriétés.*

Parmi les premiers critères nutritionnels sélectionnés, on peut citer la réduction de l'amertume des endives ou des concombres (Drewnowski et Gomez-Carneros, 2000), la réduction de teneur en glucosinolates des crucifères ou celle du caractère piquant des piments lié à leur teneur en un composé caractéristique, la capsaïcine (Pitrat et Foury, 2003).

Radovich et al (2005) ont montré que l'amertume détectée dans différentes variétés de chou était directement liée à leur teneur en glucosinolates. L'impact négatif de plusieurs composés phénoliques sur le goût a été souligné par Drewnowski et al (2000).

### *La sélection indirecte via des caractéristiques organoleptiques*

La sélection s'est très tôt intéressée à la diversification des types par la couleur des fruits ou des légumes (chez les salades ou les oignons par exemple). En effet, il s'agit d'un critère visuel très facile à sélectionner, qui facilite la reconnaissance par le consommateur. Nous avons déjà signalé les différences de composition liées aux variations de couleurs.

### *La sélection contre des facteurs antinutritionnels*

Les tanins, présents dans les légumes secs, ont également des effets négatifs sur la digestibilité des protéines et sur celle des minéraux (Siegenberg et al., 1991). La plupart des tanins se trouvent dans les enveloppes des graines. Les haricots présentent une grande variabilité de teneur en tanins, qui peut être plus ou moins liée à la couleur des graines. Il a été montré qu'il était possible de réduire les teneurs en tanins sans modifier la couleur des graines (Graham et al., 1999).

Le phytate est également un facteur antinutritionnel majeur des légumes secs, pois et haricots, qui réduit l'absorption intestinale du fer et du zinc (Siegenberg et al., 1991). L'existence d'une variabilité pour la teneur en phytate des haricots a été reportée depuis longtemps, mais la part de variation génétique est limitée par rapport à l'impact des facteurs environnementaux, ce qui rend difficile la sélection de variétés pauvres en phytate. L'analyse physiologique des voies métaboliques conduisant à la synthèse ou la dégradation du phytate offre de nouvelles voies pour la sélection (Brinch-Pedersen et al., 2002).

### *Une hérédité souvent complexe*

*La facilité avec laquelle un caractère pourra être sélectionné dépend (1) du contrôle génétique de ce caractère (un caractère contrôlé par un gène unique sera plus aisément manipulé qu'un caractère régulé par un grand nombre de gènes), (2) de la part de variation contrôlée par la génétique par rapport à l'environnement. On parle alors d'héritabilité du caractère et enfin de l'accès à une méthode de mesure simple et peu coûteuse, car un grand nombre de plantes doivent être évaluées.*

Quelques études d'hérédité des teneurs en phytonutriments ont été réalisées :

- Farnham et al (2000) montrent par exemple que la teneur en glucosinolates d'hybrides de brocoli est intermédiaire entre celles des 2 parents, mais fréquemment plus proche du parent aux faibles teneurs, ce qui limite les possibilités d'amélioration.
- Causse et al (2003) étudient l'hérédité de composantes de qualité organoleptique et nutritionnelle de la tomate. Si la prédiction est difficile dans le cas de croisements entre variétés de gros calibres, les croisements plus distants entre tomate cerise et gros calibre donnent des teneurs de vitamine C et de caroténoïdes intermédiaires entre celles des lignées parentales.
- Chez la carotte, la teneur en caroténoïdes totaux ou individuels est très héritable, ce qui en facilite la sélection (Santos et Simon, 2006). Des variétés enrichies en carotènes ont été développées et recommandées pour la nourriture pour enfants et les jus (Gauciene, 1998).
- Navazio et Simon (2001) étudient de la même manière l'hérédité de la teneur en caroténoïdes du concombre. Ils montrent une dominance chez les hybrides des faibles teneurs, et une forte interaction entre génotype et environnement qui rendront délicate toute sélection.
- Chez le piment, des variétés enrichies en caroténoïdes sont développées pour la production industrielle de paprika (Hornero-Mendez et al., 2002).
- Chez les pêchers et les prunus, des études sur l'hérédité de composés phénoliques débutent dans le but de développer des variétés aux qualités nutritionnelles "supérieures" (Byrne, 2005; Cevallos-Casals et al., 2006).

Cette sélection reste limitée par l'accès à des mesures à haut débit, tout processus d'amélioration demandant de caractériser de grands nombres d'individus.

### *L'accès aux cartes du génome des plantes ouvre de nouvelles perspectives*

*Lorsque l'accès à des mutations simples n'est pas possible, la sélection porte sur des caractères contrôlés par plusieurs gènes, d'effets variables, que les généticiens ont nommés QTL (pour Quantitative Trait Loci). L'accès aux cartes génétiques de marqueurs moléculaires chez la plupart des espèces agronomiques permet de localiser ces QTL et d'en étudier l'effet, la stabilité suivant l'environnement ou le fonds génétique, et par la suite d'utiliser les marqueurs moléculaires pour faciliter la sélection.*

Plusieurs études de cartographie de QTL pour les teneurs en phytonutriments ont été réalisées chez les fruits et légumes.

La tomate a été une des premières plantes chez laquelle ce type d'approche a été envisagé, principalement pour des caractéristiques de rendement et de qualité commerciale ou organoleptique, mais les teneurs en caroténoïdes et en vitamine C ont également été étudiées. Plusieurs descendances issues de

croisements entre la tomate cultivée et des espèces sauvages ont été étudiées permettant d'identifier des régions influant sur les teneurs en carotène ou en lycopène (Causse et al., 2002; Liu et al., 2003; Rousseaux et al., 2005) ou la teneur en vitamine C (Rousseaux et al., 2005; Stevens et al., 2007). Ces travaux révèlent la dispersion des gènes impliqués dans le contrôle de ces caractères. La plupart de ces gènes se révèlent fortement influencés par l'environnement. Les QTL de teneur en lycopène sont fréquemment localisés à proximité de QTL de couleur du fruit, révélant le lien entre les deux aspects. Par contre, si les mutants de couleur correspondent souvent à des gènes codant pour les enzymes de la voie de synthèse des caroténoïdes, ce n'est plus le cas pour les QTL (Monforte et al., 2001; Liu et al., 2003). La confrontation des QTL localisés dans différentes descendances permet d'identifier certaines régions du génome plus généralement impliquées dans la variation et d'autres spécifiques d'une seule descendance (Stevens et al., 2007). Les régions communes à plusieurs descendances seront les premières cibles à sélectionner. Ce type d'approche a pu être étendu au piment et la proximité des génomes des différentes espèces de Solanacées (tomate - piment - pomme de terre) permet de comparer l'organisation génétique du contrôle de ces caractères et d'en extrapoler certains aspects (Thorup et al., 2000). Chez la tomate, les marqueurs moléculaires se sont révélés particulièrement utiles pour révéler le potentiel inattendu d'espèces sauvages (Liu et al., 2003). Willits et al (2005) ont par exemple trouvé une accession sauvage permettant d'augmenter la teneur en flavonoïdes sans avoir recours à la transgenèse.

Le même type d'approche a été utilisé pour cartographier des QTL de teneur en vitamine C chez la pomme (Davey et al., 2006), des QTL de teneur en caroténoïdes chez la carotte (Santos et Simon, 2002) ou le concombre (Navazio et Simon, 2001) et des QTL de teneur en vitamine C chez la fraise (Lerceteau-Kohler et al., 2004).

La détection de QTL, tout comme la sélection à grande échelle, n'est possible que s'il existe une méthode facile et rapide de quantification, ce qui reste une limite pour de nombreux composés. On sera alors tenté d'étudier des caractères plus globaux tels que le pouvoir antioxydant (Rousseaux et al., 2005), ou de développer des méthodes rapides de dosage (Stevens et al., 2006). Pour les teneurs en folate, plusieurs méthodes de dosage sont établies (revues par Storozhenko et al., 2005), mais de nouveaux développements sont nécessaires pour pouvoir analyser de grands effectifs.

### *L'utilisation des marqueurs moléculaires pour améliorer la qualité nutritionnelle*

*Les études de cartographie génétique de mutants ou de QTL permettent de développer des marqueurs utilisables en sélection. On peut donc ensuite éviter des tests de quantification lourds et coûteux à mettre en oeuvre et réaliser une sélection indirecte sur l'ADN extrait de plantules, ce qui permet des économies importantes tant d'espace que de temps (notamment chez les arbres fruitiers qui ne fructifient qu'au bout de plusieurs années).La sélection assistée par marqueurs ne demande aucune connaissance des gènes en jeu, mais seulement de disposer de marqueurs de l'ADN en grand nombre et révélant des différences entre variétés.*

Just et al (2007) ont ainsi développé des marqueurs pour augmenter la teneur en caroténoïdes des carotte. Des marqueurs facilitant le tri de variétés de piment suivant la couleur des fruits ou leur caractère piquant ont également été développés (Lang et al., 2004; Prasad et al., 2006). Chez la tomate, les marqueurs moléculaires se sont révélés particulièrement utiles pour révéler le potentiel inattendu d'espèces sauvages pour améliorer la couleur des fruits via la teneur en lycopène, alors que les fruits des espèces sauvages n'en produisent pas et restent verts à maturité (Liu et al., 2003). La sélection assistée par marqueurs s'est révélée efficace pour améliorer la productivité (Gur et Zamir, 2004) ou la composition en sucres (Levin et al., 2004), mais peut s'avérer difficile dès que des caractères antagonistes sont sélectionnés (Lecomte et al., 2004).

### *Faut il créer de nouvelles variétés de fruits et légumes enrichies en composés bioactifs ?*

*Puisque la modification des habitudes alimentaires et l'augmentation de la consommation de fruits et légumes n'est pas aisée, plusieurs articles suggèrent de créer de nouvelles variétés de fruits et légumes*

*spécifiquement enrichies dans leur composition en composés à valeur nutritionnelle reconnue* (Farnham et al., 1999; Caldwell, 2003; Cox et al., 2003; Scalzo et al., 2005b).

Si l'identification des cibles à sélectionner n'est pas si aisée (cf. chapitre 1), la valorisation de variétés potentiellement plus intéressantes sur le plan nutritionnel n'est pas facile. En effet, le choix des variétés offertes aux consommateurs jusqu'à présent est réalisé par les producteurs sur la base de critères de productivité et d'adaptation, et par le circuit de commercialisation sur la base de la qualité commerciale (aspect, tenue...). Pour la plupart des fruits et légumes frais, aucune information concernant la variété n'est donnée au consommateur, pour qui le prix reste un critère de choix primordial.

Par ailleurs, si une segmentation du marché est souhaitée sur la qualité nutritionnelle, il faudra trouver le moyen de commercialiser les variétés présentant des teneurs supérieures en phytonutriments. En effet *l'inscription de variétés présentant des compositions spécifiques pose un problème car l'inscription au catalogue officiel des variétés de fruits ou de légumes ne comprend que des critères de Distinction, d'Homogénéité et de Stabilité pour des critères notés visuellement ou des résistances aux bioagresseurs et aucun critère de valeur agronomique* (contrairement aux céréales par exemple). Par ailleurs, si une nouvelle variété dépasse la gamme de variation traditionnelle, elle devra être déclarée comme "Novel Food".

*Pour le marché de frais, de nouvelles variétés devront avant tout être attractives et de bonne qualité organoleptique, ces critères étant les plus importants dans le choix des consommateurs (cf chapitre 3). Pour l'industrie de transformation, on peut s'attendre à une sélection nouvelle pour des aliments fonctionnels, dont l'intérêt sera rapidement relayé par les médias (Premier, 2002). Il est donc essentiel d'identifier tant les cibles positives que négatives pour la sélection, mais aussi de valider l'absence de risque à fortes doses de ces composés, ou pour certaines populations (Premier, 2002).*

### *Les gènes en jeu et le recours aux OGM*

*Depuis longtemps physiologistes et généticiens essaient d'identifier les gènes responsables de caractéristiques végétales, mais c'est l'avènement de la génomique depuis une quinzaine d'années qui a permis d'accéder à la physiologie de la plupart des caractères qui nous intéressent.*

*Si la voie de synthèse des caroténoïdes est relativement bien connue, celle de la vitamine C pose encore débat, tandis que l'on est encore loin d'avoir identifier tous les enzymes conduisant à la synthèse des polyphénols.*

*Une fois un gène identifié, la transgenèse est utilisée pour en modifier l'expression (sous- ou sur-expression) de façon à en étudier la régulation. Dans ce domaine, la tomate est encore une espèce modèle. L'identification d'un gène et de son mode de régulation peut ensuite soit être utile en sélection en utilisant le gène directement en sélection assistée par marqueurs, ou pour étudier la diversité des allèles de ce gène dans les collections de ressources génétiques, soit être utilisée pour créer des variétés transgéniques (OGM), sous réserve d'acceptation par les consommateurs.*

#### *. Les allergènes des fruits et légumes*

Un grand nombre de fruits et légumes (pomme, fraise, melon, tomate, lentille...) induisent des réactions allergiques chez certains patients. Plusieurs protéines ont été identifiées comme responsables de ces allergies. Il s'agit fréquemment de gènes codés par des familles de gènes (thaumatine-like, profiline, lipid transfer protein…), mais on observe des différences d'intensité des réactions allergiques suivant les variétés. Il peut donc être intéressant d'identifier les variations dans les gènes responsables de ces allergies afin de réaliser une sélection directe en faveur des formes les moins allergisantes.

Chez la pomme par exemple, les principaux gènes ont été clonés et cartographiés sur le génome (Gao et al., 2005). Des marqueurs moléculaires spécifiques d'allergènes ont également été produits chez le kiwi (Taguchi et al., 2007) et le melon (López-Torrejón et al., 2005).

***Le recours aux OGM***

*Outre d'éventuels développements commerciaux, les plantes transgéniques qui sont modifiées au niveau d'un seul gène constituent un outil précieux d'étude de la régulation des gènes, des interactions entre voies métaboliques et notamment de l'impact du milieu. Les premières plantes transgéniques avaient été construites pour apporter des bénéfices principalement aux producteurs. Les généticiens s'intéressent désormais à la création de plantes transgéniques présentant un intérêt direct pour le consommateur, avec la qualité nutritionnelle comme cible de choix (Tucker, 2003).* Des approches globales de la composition en métabolites primaires ou secondaires permettent d'avoir une image exhaustive de ces modifications (Nunes-Nesi et al., 2005; Tikunov et al., 2005; Carrari et al., 2006).

La tomate est la principale espèce cible de ces travaux. L'amélioration de sa composition en caroténoïdes a été envisagée en modulant plusieurs gènes de la voie de synthèse, mais avec des résultats parfois inattendus, notamment au niveau de la croissance des plantes (revue par Botella-Pavia et Rodriguez-Concepcion, 2006). Plus récemment, c'est en modifiant la voie de perception de la lumière qu'une augmentation de la teneur en caroténoïdes a été obtenue, grâce à l'usage d'un promoteur ciblant spécifiquement l'expression du gène dans le fruit et non dans toute la plante (Davuluri et al., 2004; Liu et al., 2004). En plus d'une teneur accrue en caroténoïdes (jusqu'à 10 fois la teneur en caroténoïdes et le double de lycopène par rapport à la variété témoin non transformée), les fruits transgéniques accumulent plus de flavonoïdes. Néanmoins, le profil métabolique des fruits transgéniques montre qu'ils sont affectés à de nombreux niveaux, ce qui rend délicate leur utilisation (Giliberto et al., 2005).

Des chercheurs sont également parvenus à augmenter la teneur des tomates en flavonol en introduisant deux gènes de maïs déficients chez la tomate, l'un participant à la voie de synthèse de la quercétine, l'autre ciblant la concentration dans la chair du fruit et non seulement dans la peau (Bovy et al., 2002; Le Gall et al., 2003). Plus récemment, la voie de synthèse du folate a été élucidée et la biofortification en folate des tomates proposée (Diaz de la Garza et al., 2004).

Les travaux visant à moduler la teneur en ascorbate ont clairement montré que la régulation de l'ascorbate est complexe et finement modulée (Ishikawa et al., 2006). L'ensemble de ces résultats montre qu'il reste beaucoup à apprendre des mécanismes physiologiques de régulation des composés antioxydants dans les fruits avant de pouvoir en moduler les teneurs.

On peut également citer des travaux de transgenèse chez la pomme sur la synthèse du resveratrol (Ruhmann et al., 2006), mais il s'agit plus d'analyse physiologique que d'essais en vue de produire des variétés transgéniques. Chez la fraise, des plantes transgéniques pour un gène du métabolisme des cytokinines, une hormone impliquée dans le développement du fruit, ont montré une augmentation globale de leur teneur en antioxydants (Mezzetti et al., 2004).

Les OGM constituent une voie de sélection qui modifie la gamme des possibles comme le montre l'exemple du Golden Rice (une variété de riz modifiée pour produire des caroténoïdes, Datta et al., 2003) ou la fabrication de "vaccins végétaux" (Lauterslager et al., 2001). Le recours aux OGM pose, bien sûr, la question de l'acceptation par les consommateurs. Afin de réduire l'apport d'ADN exogène (Agrobacterium pour le transfert du gène, gène de résistance aux antibiotiques pour le tri des plantes transformées), des méthodes n'utilisant que des gènes végétaux sont recherchées (Vetten et al., 2003; Rommens et al., 2004).

La tomate a été la première espèce consommée pour laquelle une variété transgénique a été commercialisée aux USA, en 1994 (flavr Savr ®). Aujourd'hui, seulement 2 types de légumes OGM sont cultivés dans le monde : des tomates améliorées pour leur conservation et des pommes de terre résistantes aux insectes (Dalal et al., 2006). Néanmoins, si on regarde au niveau mondial, l'Inde et la Chine (qui ont 61% des surfaces cultivées en légumes et contribuent à 71% de la production mondiale) se sont engagées dans des programmes de recherche sur la transgenèse et n'ont pas les mêmes rejets pour les OGM qu'en Europe. On peut donc s'attendre à ce que ce nombre croisse dans le futur, que ce soit pour des aspects de qualité nutritionnelle, ou d'adaptation à des stress biotiques ou abiotiques.

### 2.1.3. Eléments de conclusions

De très nombreuses sources de variation contrôlent les teneurs en phytonutriments des fruits et légumes, qu'elles soient d'ordre physiologique, génétique, agronomique, environnementales ou liées à la conservation et la transformation des produits.

Il existe un potentiel d'amélioration pour la plupart des espèces et des composés, que ce soit par sélection traditionnelle ou avec l'aide de marqueurs moléculaires. Des travaux dans ce sens sont déjà engagés dans plusieurs laboratoires ou sociétés de semences. Il faut aujourd'hui s'interroger sur l'intérêt d'une telle amélioration. Les modifications possibles par transgenèse élargissent le champ des possibles. Si aucune variété améliorée pour la qualité nutritionnelle n'est commercialisée aujourd'hui, plusieurs laboratoires travaillent dans ce sens et des variétés OGM pourraient voir le jour dans le monde dans un futur proche, notamment chez la tomate.

Si l'augmentation d'un composé précis n'est pas forcément une finalité, l'amélioration de la qualité organoleptique est une des clés pour assurer le maintien, voire l'augmentation, de la consommation de fruits et légumes. De même, l'assurance d'une stabilité de la composition et de la qualité organoleptique est un enjeu pour l'avenir.

**Tableau 2-2.** Gamme de variation de teneurs en phytonutriments suivant les variétés

| Espèce | Composé | Variabilité | Nombre de cultivars | Référence |
|---|---|---|---|---|
| Tomate | Vitamine C | 83-326 mg/kg FW | 18 | (Galiana-Balaguer et al., 2006) |
| | Lycopène<br>β-carotène<br>Vitamine C<br>Phénols totaux | 0-10 mg/100g FW<br>0-3.7 mg/100g FW<br>56-134 mg/100g FW<br>11-28 mg/100g FW | 50 | (Hanson et al., 2004) |
| | Lycopène | 59-70 mg/ kg FW | 3 | (Brandt et al., 2003) |
| | Vitamine C<br>Lycopène<br>β-carotène | 11,5-27,8 mg/100g FW<br>3,1-4,7 mg/100g FW<br>0,8-1,6 mg/100g FW | 58 | (Causse et al., 2003) |
| | Vitamine C<br>Ferric reducing ability of plasma (FRAP) | 12,3-18,3 mg / 100 g FW<br>41-59 µmol/ g DW | 3 | (Wold et al., 2004) |
| | Vitamine C<br>Vitamine E | 153-195 mg / 100 g DW<br>8-31 mg / 100 g DW | 3 | (Ramandeep et al., 2002) |
| Brocoli | Vitamine C<br>β-carotène<br>Lutein<br>a-Tocopherol<br>Phénols totaux | 25.5-82.3 mg/100g FW<br>0.48-1.13 mg/100g FW<br>0.41-1.02 mg/100g FW<br>0.22-0.68 mg/100g FW<br>44.5-82.9 mg/100g FW | 6 | (Singh et al., 2007) |
| | Vitamine C<br>β-carotène<br>a-Tocopherol | 54,0-119,8 mg/100g FW<br>0,37-2,42 mg/100g FW<br>0,46-4,29 mg/100g FW | 50 | (Kurilich et al., 1999)<br>(Jeffery et al., 2003) |
| | Glucoraphanin<br>Aliphatic glucosinolates<br>Indolyl glucosinolates | 0,8-21,7 mg/100g FW<br>3,0-31,4 mg/100g FWv<br>0,4-6,2 mg/100g FW | 50 | (Kushad et al., 1999)<br>(Jeffery et al., 2003) |
| | Glucosinolate : glucoraphanine | 0,04-2,94 µmol/g FW | 75 | (Farnham et al., 2000) |
| Chou | Vitamine C<br>Caroténoïdes<br>Total phénols<br>Activité antioxydante totale | 142-164 mg/100g FW<br>40-55 mg/100g FW<br>145-284 mg/100g FW<br>450-840 µmole FRAP / g FW | 6 | (Murtaza et al., 2005) |
| | Glucosinolates | 19,7-29,5 mmol/kg DW | 6 | (Radovich et al., 2005) |
| | Total phénols<br>Pouv. antioxydant<br>Quercetin<br>Kaempferol | 110-153 mg eq. acide galliq / 100g<br>108-176 mg vitC eq / 100g<br>0-2,61 mg / 100g<br>1,3-7,0 mg/100 g | 10 | (Kim et al., 2004) |
| | Vitamine C<br>β-carotène<br>Lutein<br>a-Tocopherol<br>Phénoliques | 5.66-23.5 mg/100g FW<br>0.01-0.12<br>0.02-0.26<br>0.03-0.20<br>12.6-34.4 | 18 | (Singh et al., 2007) |
| Laitue | β-carotène<br>Lutéine | 161-4472 µg/100g FW<br>204-4316 µg/100g FW | 52 | (Mou, 2005) |
| | Quercétine | 417-2482 µg/g DW | 15 | (Hohl et al., 2001) |
| | β-carotène<br>Lutéine | 124-900 µg / 100g FW<br>387-2709 µg/100g FW | 17 | (Simonne et al., 2002) |
| Carotte | Caroténoïdes<br>Vitamine E<br>Vitamine C | 0,32-17 mg / 100 g FW<br>191-703µg / 100 g FW<br>1,4-5,8 mg / 100 g FW | 20 | (Nicolle et al., 2004) |

| Espèce | Composé | Variabilité | Nombre de cultivars | Référence |
|---|---|---|---|---|
| Oignon | Phénol totaux<br>Flavonoïdes | 19-115 mg/100g FW<br>6-69 mg/100g FW | 11 | (Yang et al., 2004) |
| Pois | Fibres<br>Tanins<br>Phénols totaux<br>Saponine<br>Phosphore phytique | 48-109 g/kg DW<br>0,04-0,14 mg catechin eq / g<br>1,6-6,0 mg catechin eq / g<br>258-968 mg/kg<br>30-70 % phosphore total | 36 | (Bastianelli et al., 1998) |
| Aubergine | Vitamine C | 56- 129 mg/100g FW | 33 | (Hanson et al., 2006) |
| Haricot | Tanins<br>Inhibiteurs de Trypsine<br>Lectines | 17-44 eq catechin / g<br><br>8-12 Trypsin unit / mg<br>0,9-2,5 HAU / g | 5 | (de Mejia et al., 2003) |
| Raisin | Flavonols | 84-328 nmole/g<br>4,8-10,4 nmole/g | 4 rouges<br>3 blancs | (Makris et al., 2006) |
| Fraise | Pouvoir antioxydant<br>Phénols totaux | 10,6-16,0 TMCA eq / g FW<br>1093-2128 gallic ac eq / L | 6 | (Scalzo et al., 2005a) |
| | Vitamine C | 32-85 mg / 100 g FW | 6 | (Hakala et al., 2003) |
| | Phénols totaux<br>Anthocyanes | 593-937 µg GAE/g<br>190-841 µg/g FW | 18 | (Rekika et al., 2005) |
| Banane | Caroténoïdes totaux | 15-85 nmole/g DW | 4 | (Davey et al., 2007) |
| Pomme | Polyphénols | 1-7 g / kg FW | 14 | (Sanoner et al., 1999) |
| | Vitamine C | 400-1448 mmol/g FW | 31 | (Davey et Keulemans, 2004) |
| | Pouvoir antioxydant<br>Vitamine C<br>Total phénols<br>Flavonols monomériques<br>Procyanidines<br>Acide hydroxycinnamique | 0.9-3.3 mg Trolox / gFW<br>10-83 g/l FW<br>3-168 mg/g DW<br><br>0.3-14 mg/g DW<br>0.5-92 mg/g DW<br><br>1-57 mg/g DW | 31 | (Schmitz-Eiberger et al., 2003) |
| | Pouvoir antioxydant total | 0,89 6 2,58 TMCA eq / g FW | 5 | (Scalzo et al., 2005a) |
| Clémentine | Vitamine C<br>Phénols<br>Flavonols<br>Anthocyanes | 2,5-8,2 µmole/g DW<br>1,6-4,6 mg/g DW<br>0,37-1,4 mg/g DW<br>0,07-0,62 mg/g DW | 19 | (Lata, 2007) |
| Orange | Caroténoïdes | 0,2-37 mg / L | 25<br>(8 espèces) | (Fanciullino et al., 2006) |
| Pomelo | Vitamine C | 34-51 mg / 100 ml | 4 | (Topuz et al., 2005) |
| Cerise | Caroténoïdes<br>Flavonoïdes<br>Vitamine C | 0,34-1,73 µg/mL<br>1,24-1,29 µg/mL<br>353-472 µg/mL | 2 | (Tsai et al., 2007) |
| Pêche | Total phénols<br>Antocyanes<br>Vitamine C | 115-147 mg / L<br>46-432 mg / L<br>2,4-3,8 mg / 100 ml | 3 | (Vursavus et al., 2006) |
| | Phénols totaux<br>Anthocyanes | 100-449 mg CGA / 100g<br>6-37 mg/100g | 8 | (Cevallos-Casals et al., 2006) |

## 2.2. Les sources de variations biologiques d'ordre agronomique et environnemental

Jean-Claude Mauget

La teneur de la plupart des composés présents dans les fruits et légumes peut varier de façon plus ou moins importante, en raison des conditions environnementales (température, rayonnement…), des modes de conduite (porte-greffe, taille, fertilisation, irrigation…) ou, plus largement, des modes de production (production plein champ / production hors sol, conventionnel / biologique). Il s'agit essentiellement d'évaluer si certaines techniques culturales sont susceptibles de faire varier la teneur des organes récoltés en molécules intéressantes, un des principaux objectifs étant d'éviter un appauvrissement et / ou une dégradation d'un potentiel lié au génotype.

Certaines pratiques ont clairement l'objectif d'enrichir en micronutriments les fruits et légumes par applications au sol ou foliaires. La question qui se pose alors au sujet de ces "super-plantes" est la biodisponibilité réelle de ce supplément de composés bioactifs après consommation des produits récoltés. Par ailleurs, quelles sont les interactions possibles de ces manipulations avec les métabolites présents naturellement dans la plante ?

Les effets des facteurs de l'environnement sont fréquemment étudiés au travers des effets des techniques culturales puisque nombre d'entre elles consistent en des manipulations de l'environnement physique de la culture. Les travaux dans ce domaine sont assez nombreux, la tomate étant l'espèce la plus étudiée. Globalement, les légumes font l'objet de davantage d'attention que les fruits. Les recherches s'appuient le plus souvent sur des démarches comparatives ou corrélatives, si bien que les résultats sont toujours très dépendants des conditions de l'expérience et qu'il n'est pas aisé d'établir des lois de portée générale ni de détecter les mécanismes en jeu. Quelques travaux s'intéressent aux effets de traitements culturaux sur la qualité du produit après transformation.

### 2.2.1. Effets des facteurs de l'environnement

La section précédente a montré le poids particulier des facteurs génétiques qui déterminent directement la teneur des composés présents chez les fruits et légumes. Cependant, plusieurs travaux ont mis en évidence une influence des facteurs de l'environnement (au sens large), qu'il s'agisse de l'effet de facteurs isolés (température, rayonnement) ou de combinaisons complexes de facteurs (effet de l'année, effet de la région de production) : dans ces derniers cas, le ou les facteurs pertinents en jeu ne sont pas identifiés. Une minorité de travaux s'intéresse aux conséquences du changement climatique sur la qualité des fruits.

#### *. Effets du rayonnement et de la température*

Chez certains légumes, le rayonnement et la température jouent un rôle plus marqué que l'eau ou les apports de fertilisants (Schreiner, 2005).

L'intensité du rayonnement a une influence prouvée sur le métabolisme des flavonoïdes. Par exemple, des légumes exposés à la lumière solaire contiennent davantage de flavonoïdes que des légumes cultivés sous ombrage (Watzl et Rechkemmer, 2001). Le contenu en glucosinolate des brocolis et choux-fleurs est fortement influencé par la température et, à un moindre degré, par le rayonnement reçu par la plante au cours de son développement. Par contre, le contenu en glucosinolate des cultivars violets de brocoli et de chou-fleur ne répond pratiquement pas à la température ou au rayonnement (Schonhof et al., 2004). Le contenu en quercétine de l'oignon est fortement corrélé au rayonnement global du mois d'août (Mogren et al., 2006).

Les effets de la température ont pu être interprétés au travers de son action sur l'activité de certaines enzymes. Une des difficultés inhérentes à ce genre d'étude est qu'il faut être attentif au climat réel que perçoivent les organes de la plante en fonction de leur position, mais il s'agit là d'un problème

classique d'écophysiologie (Rosa et Heaney, 1996). Par ailleurs, la grande diversité des voies de biosynthèse du glucosinolate peut rendre compte de la diversité des réponses observées à l'échelle macroscopique (Schreiner et al., 2002).

La biosynthèse des caroténoïdes est sous la dépendance de la température mais pas du rayonnement, la température la plus favorable à cette biosynthèse pouvant elle-même fortement varier avec l'espèce : par exemple, la température moyenne la plus favorable à la synthèse du β-carotène est inférieure à 16,5°C pour le brocoli, et de 18°C pour la carotte(Gross, 1991; Rosenfeld et al., 1999; Schreiner et al., 2000). Chez la tomate, les températures inférieures à 12°C ou supérieures à 32°C inhibent la synthèse de lycopène (Dumas et al., 2003).

***. Effets de l'année et du changement climatique, augmentation de la teneur en $CO_2$ atmosphérique***

Lata (2007) montre une variation interannuelle du contenu de composés à pouvoir antioxydant (phénols totaux, flavonols) chez la pomme. Très peu de travaux sont consacrés aux effets possibles du changement climatique (augmentation de la température et de la concentration en $CO_2$ de l'air) sur la qualité nutritionnelle des produits. Une expérience d'enrichissement de l'air en gaz carbonique (700 $\mu l.l^{-1}$) a été conduite pendant 12 ans avec de jeunes orangers. Les résultats de cet enrichissement considérés en terme de nombre de fruits produits, de calibre de ces fruits et de leur teneur en vitamine C, se révèlent très variables d'une année à l'autre et, *in fine*, l'enrichissement n'a qu'un effet très limité sur la teneur en vitamine C (Idso et al., 2002).

***. Effets attribués à la région de culture***

Il s'agit là d'approches très globales mettant en évidence les effets d'un complexe de facteurs environnementaux en interaction. Par exemple, des variétés d'abricotier cultivées dans deux zones géographiques contrastées de la Croatie, une région dite continentale et une qualifiée de méditerranéenne, présentent des différences importantes des teneurs en polyphénols et en caroténoïdes de leurs fruits. La teneur en β-carotène de fruits à maturité commerciale est de 585 $\mu g.100g^{-1}$ dans la région continentale et de 795 $\mu g.100g^{-1}$ en région méditerranéenne. En l'absence de caractérisation climatique des régions, il est difficile d'attribuer ces différences à tel ou tel facteur de l'environnement aérien ou édaphique (Dragovic-Uzelac et al., 2007).

## 2.2.2. Effets des techniques culturales

De nombreuses recherches s'intéressent aux effets des techniques culturales sur la qualité des fruits et légumes, les principales concernant la fertilisation et l'irrigation étudiées seules ou, le plus souvent, en interaction (surtout dans le cas des cultures sous serre). Les composantes de la qualité considérées sont de façon générale les produits issus du métabolisme primaire (sucres, acides), beaucoup moins fréquemment ceux du métabolisme secondaire auxquels appartiennent les composés bioactifs (phénols, vitamines…).

### *2.2.2.1. Fertilisation*

On considère ici soit la fertilisation classique de type N, P, K, soit des apports de minéraux (d'éléments) mis en œuvre dans un objectif d'enrichissement de la culture traitée - c'est le cas du sélénium. Jusqu'à récemment, les pratiques de fertilisation étaient essentiellement tournées vers l'obtention de rendements importants et ce n'est que depuis peu que l'on s'interroge sur les effets possibles des apports minéraux sur la qualité des produits, plus particulièrement dans le cas du phosphore et du potassium.

La diversité des conditions expérimentales mises en œuvre, les interactions avec des facteurs non contrôlés, rendent souvent difficile l'établissement de lois générales. Les modes d'action des techniques étudiées ne sont pas pris en considération.

Une fertilisation azotée importante tend à diminuer la concentration en vitamine C dans les fruits d'agrumes ou de tomate, ou chez la pomme de terre (une des sources majeures d'apport de vitamine dans l'alimentation humaine (Veit-Kohler et al., 1999). La voie de biosynthèse de la vitamine C est liée au métabolisme des glucides et l'on estime qu'il y aurait concurrence pour les assimilats entre la croissance de la plante et les processus de synthèse et stockage de métabolites secondaires. De ce fait, tout ce qui tendrait à ralentir la croissance serait bénéfique à la synthèse et l'accumulation de composés nutritionnels. Par exemple, une alimentation sub-optimale en azote a pour conséquence l'augmentation de l'accumulation de vitamine C chez les Citrus (Nagy, 1980). Cet antagonisme entre fertilisation azotée et contenu en vitamine C semble assez général, également chez les légumes (Weston et Barth, 1997).

Le contenu en quercétine de l'oignon n'est pas influencé par la fertilisation azotée tout en manifestant une forte variation interannuelle (Mogren et al., 2006).

Premuzic et al. (2002) appliquent à deux cultivars de laitue différentes fertilisations non organiques (nitrates) et organiques (composts) et les comparent à un témoin non fertilisé pour leurs teneurs en nitrates et en vitamine C : l'apport de compost entraîne une moindre accumulation de nitrate mais une plus grande accumulation de vitamine C. Là encore, l'effet de la variété est important comme le montre le tableau 2-4 (contenu en vitamine C, en mg.100gFW$^{-1}$) : l'amplitude de variation due au génotype est plus large que celle liée au traitement. Premuzic et al. (2001) avaient trouvé des résultats analogues sur la tomate cerise : la teneur en vitamine C était plus importante pour une fertilisation organique ou une fertilisation combinant apports minéraux et apports organiques que pour une fertilisation seulement minérale.

| Traitements | Var. Mantecosa | Var. Gallega |
|---|---|---|
| Composts | 22 | 18 |
| Témoin | 21,3 | 18 |
| Fertilisation minérale | 19 | 17,5 |

**Tableau 2-4.**

Des expériences combinant fertilisation azotée et irrigation ont été conduites sur brocolis cultivés en plein champ par Babik et Elkner (2002). Les doses d'azote appliquées variaient entre 100 et 600 kgN/ha. La fertilisation azotée la plus forte a eu pour conséquence une augmentation de la teneur en sucres et nitrates des têtes de brocoli tout en diminuant le contenu en acide ascorbique et en fibres. De son côté, l'irrigation conduisait à une diminution du contenu en nitrates mais sans avoir d'effet sur les autres nutriments.

Lester et al. (2005) ont montré qu'un apport supplémentaire de potassium par pulvérisation foliaire pouvait améliorer le contenu en acide ascorbique et β-carotène de muskmelon (Cucumis melo, reticulatus group) correctement alimenté en K par application au sol. On note alors une accumulation notable de potassium dans les tissus du fruit et des feuilles. Le mode d'action du potassium n'est pas clair ; on relève en particulier une accumulation supérieure de sucre sans augmentation du taux de photosynthèse.

L'apport de phosphore à des plants de tomate d'industrie cultivés en pot en serre n'a pas d'effet notable sur le contenu en lycopène ou en carotène (Oke et al., 2005). Pourtant, un apport supplémentaire de phosphore par pulvérisation foliaire modifie l'activité d'enzymes antioxydantes comme la SOD ou la POX chez la tomate (Ahn et al., 2005). La stimulation de ces enzymes dépend de l'état de développement de la plante et de la saison, donc des facteurs environnementaux. Les résultats de cette étude sont interprétés davantage en terme de conséquences sur l'aptitude à la conservation de la tomate que d'effet favorable sur la santé humaine.

### *. Enrichissement en éléments*

Certaines pratiques visent à augmenter la teneur en composés bioactifs du produit récolté en apportant à la plante des apports importants en certains éléments. C'est le cas, par exemple, du sélénium : il a été montré que cet élément était un agent protecteur contre diverses formes de cancer. Il s'accumule

naturellement dans les feuilles d'espèces du genre *Brassica*. Des essais d'enrichissement supplémentaire ont été réalisés avec succès en apportant une fertilisation en Se à des plantes cultivées sur solution nutritive ou sur sol en pot (Hartikainen et al., 1997; Charron et al., 2001; Finley, 2005a). Ainsi, la teneur en Se de brocolis cultivés en milieu liquide varie de traces indétectables à 750 $\mu g.g^{-1}$ en fonction d'une fertilisation au Se variant de 0 à 9 $mg.l^{-1}$-.

Dans le cas de l'enrichissement, se pose la question de la biodisponibilité des composés ainsi accumulés et des moyens d'apprécier cette biodisponibilité (Finley, 2005b; Finley, 2005a). Par ailleurs, le même auteur a montré que l'enrichissement en Sélénium avait l'inconvénient d'interférer avec le métabolisme dégradatif des glucosinolates dont les produits possèdent également des propriétés bioactives intéressantes. Ainsi, la fertilisation au Se de brocoli conduit à une diminution du sulforaphane, agent protecteur contre le stress oxydatif, qui peut atteindre 75%, et d'acides phénoliques spécifiques (jusqu'à 50%). Finley (2005a) conclut que la production de plantes enrichies, même si elle est techniquement possible, est encore prématurée.

#### *2.2.2.2. Irrigation*

L'état hydrique de la plante conditionne sa croissance et sa capacité photosynthétique. Une contrainte hydrique imposée à des plants de tomate cultivés en hors sol sur substrat solide entraîne une augmentation de la concentration en sucres des fruits tout en ralentissant la croissance de la plante et des fruits. Si la contrainte n'est pas trop intense, la synthèse de vitamine C serait stimulée, ainsi que celle d'autres métabolites secondaires. C'est ce qu'observent Veit-Köhler et al. (1999) en imposant des potentiels hydriques de sol de respectivement -0,045 et -0, 065 Mpa à des plants en pots : dans ces conditions on va mesurer sur des fruits à maturité des concentrations en vitamine C respectivement de 0,27 $mg.ml^{-1}$ et de 0,35 $mg.ml^{-1}$. De même, une réduction des apports d'eau chez le brocoli conduirait à une augmentation des teneurs en glucosinolate (Schreiner, 2005).

De nombreuses études s'intéressent aux effets d'une salinité plus ou moins importante de l'eau d'irrigation sur la qualité des produits. Ces travaux sont conduits dans les pays méditerranéens souvent contraints d'utiliser pour l'agriculture des eaux à fort taux de salinité. C'est souvent la tomate qui a fait l'objet de ces recherches (Dumas et al., 2003 pour revue). En augmentant la teneur en matière sèche des fruits, la teneur en métabolites secondaires sera souvent supérieure, lorsque la teneur est exprimée relativement au poids frais (ce qui correspond à ce qui est consommé). Néanmoins, rapportée à la matière sèche, l'augmentation n'est pas systématique.

#### *2.2.2.3. Autres éléments de l'itinéraire technique*

L'itinéraire technique est constitué par l'ensemble des techniques élémentaires mises en œuvre selon une chronologie et des combinaisons bien définies afin d'obtenir un objectif de production quantitatif et, de plus en plus, qualitatif. De nombreuses techniques, certaines innovantes (par exemple, films réfléchissants disposés sur le sol des vergers), ont ainsi fait l'objet d'études souvent très ponctuelles, pour mettre en évidence leurs éventuels effets sur la qualité des produits.

**Date de semis.** Un semis de tomate réalisé sous tunnel plastique à la fin de septembre permet d'obtenir un rendement au mètre carré plus important qu'un semis réalisé à la mi-octobre (7,85 $kg.m^{-2}$ contre 3,65 $kg.m^{-2}$). Par contre, la teneur en vitamine C du semis de septembre est plus faible que celle du semis d'octobre (19,4 $mg.100g^{-1}$ contre 35,5 $mg.100g^{-1}$). L'ampleur des écarts mesurés varie d'un génotype à l'autre, tout en restant dans le même sens (Peyvast, 2001).

**Utilisation de films réfléchissants en verger.** L'emploi de tels films a pour premier objectif d'améliorer la coloration de certaines variétés de pomme comme Fuji en augmentant la quantité de rayonnement au sein de la couronne de l'arbre. La coloration rouge est déterminée par l'accumulation d'anthocyanes dans l'épiderme du fruit mais d'autres pigments interviennent comme les flavonoïdes, la chlorophylle et les caroténoïdes.

En fonction des propriétés réfléchissantes des films, on peut obtenir une augmentation du rayonnement allant de 30 à 70%. Les films les plus réfléchissants entraînent une augmentation de l'accumulation des anthocyanes (0,176 mg.gFW$^{-1}$ pour des fruits à l'extérieur de la couronne sans film, 0,366 mg.gFW$^{-1}$ pour des fruits en position identique dans le cas du film le plus réfléchissant). Corrélativement, le contenu en chlorophylle diminue (0,091 mg.gFW$^{-1}$ pour le témoin, 0,056 mg.gFW$^{-1}$ pour le film le plus réfléchissant). La concentration en flavonoïdes reste stable en toute situation (position du fruit dans la couronne, présence ou absence de films) (Ju et al., 1999).

Il est difficile d'interpréter l'effet de l'augmentation de la lumière : soit effet indirect par l'accroissement de la photosynthèse donc une fourniture plus importante de substrat nécessaire à la synthèse des anthocyanes, soit effet direct de stimulation de la synthèse des anthocyanes du fait que la plupart des enzymes des voies de synthèse des anthocyanes sont inductibles par la lumière.

**Effets de la charge chez les arbres fruitiers.** La charge en fruits est connue comme pouvant moduler la qualité de ces derniers (teneur en sucre, acidité). Chez la variété de pommier Jonagold, il a été montré qu'une charge légère avait pour conséquence un plus grand contenu en polyphénols totaux (de 1300 mg.kgFW$^{-1}$ pour les témoins à 1680 mg.kgFW$^{-1}$ pour les arbres les moins chargés) associé à une apparence plus attractive et une meilleure qualité organoleptique. L'acide ascorbique ne varie pratiquement pas (Stopar et al., 2002). Là encore, la sensibilité à la charge peut varier de façon importante d'un cultivar à l'autre : Elstar répond moins bien que Jonagold à l'éclaircissage.

**Chauffage des serres.** Des expériences destinées à étudier l'effet d'un système de chauffage placé à proximité des fruits de tomates cultivées sous serre, montrent qu'un chauffage de +1°C par rapport à la température ambiante diminue significativement les contenus en vitamine C, lycopène et β-carotène des fruits en fonction de leur position sur la plante et de l'intensité des compétitions pour les photoassimilats obtenues en manipulant le rapport feuilles/fruits (approche de la charge) (Gautier et al., 2005).

**Type de tunnel (couverture).** Le type de couverture des tunnels plastiques conduit à une modification du rayonnement autour de la culture comparé aux conditions naturelles. En ce qui concerne la laitue, la réduction du PAR et du rayonnement UV ainsi obtenue diminue le contenu en phénols par rapport à la culture en plein champ (Zhao et al., 2007). Cependant, l'ampleur de cette diminution est susceptible de variation avec le cultivar et la saison de culture.

## 2.2.3. Effets des modes de culture et des modes de production

Derrière les vocables de modes de culture et de modes de production, on entend essentiellement la culture de plein champ opposée à la culture hors sol sous serre, et la production biologique confrontée à la production conventionnelle ou à la production intégrée, la production intégrée devenant un nouveau standard de culture (cf. charte PFI en production fruitière).

### *2.2.3.1. Culture plein champ vs culture hors sol*

La bibliographie analysée n'a pas révélé de véritables expérimentations mettant en comparaison plein champ et hors sol. Le hors sol a fait l'objet de nombreux travaux dont les principaux objectifs sont de tester différents supports de culture (laine de roche, silice, culture hydroponique) ou différentes stratégies de fertilisation et de gestion de l'alimentation hydro-minérale, les interactions entre ces facteurs étant souvent analysées et couplées aux réponses différentielles de plusieurs génotypes.

### *2.2.3.2. Production biologique vs production intégrée ou conventionnelle*

S'il existe de nombreuses publications visant à montrer que les fruits et légumes biologiques sont de qualité supérieure à celle de produits issus de production intégrée ou, *a fortiori,* conventionnelle, très peu développent une approche scientifique rigoureuse. Une autre difficulté dans l'exploitation des

travaux vient de ce que, si les techniques employées en culture biologique n'ont pas beaucoup évolué au cours des 20 dernières années, il n'en est pas de même pour la culture dite conventionnelle. Peu à peu le mode de production intégrée tend à devenir un nouveau standard, du moins dans le secteur des fruits et légumes.

En 2003, l'AFSSA a publié un rapport sur l'évaluation nutritionnelle et sanitaire des aliments, en particulier les fruits et légumes issus de l'agriculture biologique (AFSSA, 2003). Ce rapport s'appuie sur l'analyse d'un nombre important de publications et prend en compte une large gamme de critères de qualité des produits agricoles. Il est impossible de mettre en évidence des différences pour ces critères entre produits issus de l'agriculture biologique et ceux issus de l'agriculture conventionnelle. C'est le cas de la matière sèche ou de macronutriments comme les glucides. Il en est de même pour les minéraux ou les oligo-éléments : le bénéfice nutritionnel des légumes biologiques au regard de l'apport de minéraux et oligo-éléments est négligeable. En ce qui concerne les teneurs en vitamines, le rapport note que les données sont très limitées. Elles ne montrent aucune influence positive du mode de production biologique si ce n'est pour la vitamine C chez la pomme de terre. Le manque de données comparatives ne permet pas de conclure sur l'impact des pratiques culturales sur la teneur en phytomicroconstituants. Cependant, les teneurs en composés phénoliques apparaissent plus élevées dans les produits issus de l'agriculture biologique que dans ceux issus de l'agriculture conventionnelle. Par contre, du fait des restrictions d'usage des pesticides en agriculture biologique, les produis qui en sont issus sont pratiquement exempts de résidus de produits phytosanitaires et se démarquent ainsi de ceux provenant de l'agriculture conventionnelle. Enfin, les modes de production des légumes biologiques conduisent à des réductions des teneurs en nitrates. Le rapport conclut à la nécessité d'études complémentaires du fait de l'évolution des pratiques agricoles et des réévaluations en cours de la toxicité des nitrates.

Dans une revue bibliographique citée par le rapport de l'AFSSA, Woese et al. (1997) font le constat qu'un nombre finalement faible de travaux se révèle pertinent. La plupart s'appuie sur des comparaisons des modes de production biologique et conventionnel / intégré réalisées dans un secteur géographique restreint : un des problèmes est la généralisation des résultats dans une gamme plus large de conditions climatiques sachant, comme on l'a vu plus haut, que l'on est loin de comprendre les relations entre facteurs de l'environnement et teneur en composés nutritionnels.

L'analyse de 27 publications réalisée dans le cadre de la revue de Woese et al. (1997) montre qu'il n'y a pas de différences décelables dans les contenus en vitamines A, $B_1$ et $B_2$ dans des légumes cultivés avec une fertilisation organique ou minérale. La diversité des résultats obtenus pour la vitamine C ne permet pas d'en tirer des conclusions claires, si ce n'est pour les légumes feuilles. De même, on ne peut détecter de différence dans la teneur en lycopène de tomates produites en culture biologique ou conventionnelle.

Les publications concernant les fruits ne permettent pas davantage de conclure : la culture biologique n'entraîne pas une augmentation de la teneur en minéraux ou vitamines. Il en est de même d'ailleurs de la teneur en matière sèche ou des caractéristiques sensorielles, à l'exception peut-être de la texture.

Plus récemment, Brandt et Mölgaard (2001) font l'hypothèse que les plantes cultivées sans pesticides dans les systèmes biologiques verraient stimulées leurs défenses naturelles contre les bio-agresseurs, attribuées de façon générale à des métabolites secondaires. Ces métabolites secondaires auraient un effet bénéfique sur la santé humaine, ce qui reste à prouver. Ces auteurs font à leur tour le constat que peu de travaux ont été conduits de façon convaincante, en particulier les métabolites secondaires impliqués dans les défenses végétales n'ont jamais été dosés chez des plantes conduites en culture biologique. Un travail plus récent sur pêcher et poirier (Carbonaro et al., 2002) semble venir à l'appui de l'hypothèse de Brandt et Mölgaard (2001) : la culture biologique améliore le système de défense antioxydant, que l'on peut interpréter comme un moyen de protection contre les dégâts causés par les bio-agresseurs en l'absence de pesticides.

Par ailleurs, Brandt et Mölgaard (2001) font état d'expérimentations conduites au Danemark sur plusieurs espèces de fruits et légumes : il n'a pas été possible de détecter de différences des teneurs en

minéraux ou vitamines. Les seules différences portent sur les teneurs en protéines et nitrates, significativement plus faibles chez les produits issus de culture biologique. Une expérience conduite sur trois ans, mettant en comparaison des carottes et des choux cultivés biologiquement ou conventionnellement, ne met en évidence aucune différence dans les teneurs en vitamines C et E, et en α- et β-carotène (Warman et Havard, 1997).

Des publications postérieures au rapport de l'AFSSA débouchent sur les mêmes conclusions. Ainsi, une comparaison d'engrais organiques (fumier de ferme, de poulailler, fumier organique du commerce) appliqués à différentes doses à des plants de tomate cultivés en serre, ne conduit à aucune différence dans la teneur en vitamine C des fruits récoltés (Tuzel et al., 2004). Au contraire, Caris-Veyrat et al. (2004) trouvent une teneur en vitamine C et plus largement en divers composés secondaires, plus forte chez des tomates en culture biologique comparées à des plantes en culture conventionnelle. Cependant, les résultats trouvés ne sont pas homogènes entre les trois variétés étudiées, et l'une d'entre elles, 'Paola', bien adaptée à la culture biologique, montre une teneur en vitamine C plus grande lorsqu'elle est conduite en conventionnel. Une autre étude conduite sur *Brassica oleracea* L. var. *costata* DC, montre que la culture biologique a pour conséquence une teneur en composés phénoliques plus grande que les conditions de culture conventionnelle (Sousa et al., 2005).

En ce qui concerne les contaminations par les mycotoxines, essentiellement la patuline dans le cas des fruits (pomme), rien ne permet d'affirmer pour l'instant qu'elles sont plus importantes ou plus faibles que les contaminations des produits conventionnels (AFSSA, 2003). La représentativité des résultats disponibles reste discutable et justifie de poursuivre une surveillance attentive des contaminations par la mise en œuvre de nouveaux plans de surveillance.

***. Qualité organoleptique***

La plupart des travaux prennent simultanément en compte la teneur en composés bioactifs et des critères objectifs en relation avec la qualité organoleptique comme le taux de sucre, la fermeté, l'acidité. D'autres critères concernant l'apparence du produit comme la couleur ou la forme peuvent également être mesurés. La consommation de fruits et légumes frais doit en effet rester un plaisir et il est nécessaire de s'assurer qu'il n'existe pas de relation négative entre l'accumulation de composés à intérêt nutritionnel et la qualité organoleptique.

De nombreuses études ont été réalisées afin de déterminer l'influence éventuelle du mode de culture biologique ou conventionnel. Les résultats concernant les critères de qualité organoleptique des fruits et légumes biologiques sont également très variables si l'on fait exception de la texture qui semble améliorée chez les produits biologiques par rapport à ceux issus de la production conventionnelle.

### 2.2.4. Résidus de pesticides

Le mode de production biologique est bien évidemment le seul qui permette d'obtenir des produits végétaux ne contenant pas de résidus de pesticides autorisés en agriculture conventionnelle, puisque l'usage de ces pesticides est interdit en agriculture biologique (rapport AFSSA, 2003). Il est possible que quelques analyses soient positives en raison de l'historique de la parcelle, des pollutions environnementales, de pollutions technologiques accidentelles.

Cependant, il existe très peu d'études de contrôle de LMR de pesticides autorisés en agriculture biologique qui, par ailleurs, devraient faire l'objet d'une réévaluation toxicologique selon les exigences actuellement en vigueur. Les principaux pesticides autorisés, mentionnés dans le règlement européen, sont les pyréthrines, la roténone, les sels de cuivre, le soufre, le Neem et le Quassia, les deux derniers n'étant pas homologués en France. L'ensemble de ces produits fera l'objet d'une réévaluation conformément à la directive 91/414/CEE, le cuivre devant être le plus rapidement révisé. Plusieurs auteurs ont noté une tendance à une plus grande accumulation de cuivre dans des légumes biologiques (laitue, chou, pomme de terre).

***. Mode de production et résidus de pesticides***

Deux rapports de la Food Standards Agency (FSA, Royaume-Uni) (Caspell et al., 2006; Pennell, 2006) concernent la réduction des résidus de pesticides chez deux productions majeures, la pomme et la tomate. Ces rapports font le bilan de plans de surveillance d'où il ressort que les pommes et les tomates commercialisées au Royaume-Uni contiennent des quantités variables de résidus de pesticides, en fonction de l'origine des produits. Les deux rapports, après avoir fait le point sur les molécules les plus fréquemment rencontrées sur les deux types de cultures, proposent des préconisations visant à diminuer l'emploi des pesticides. La première des préconisations est, bien entendu, d'encourager la diffusion des pratiques de production intégrée (IMC = Integrated Crop Management) tout en reconnaissant que beaucoup reste à faire pour asseoir ces pratiques sur des connaissances fiables.

Un autre rapport commandité par la FSA et publié antérieurement (Atkinson et al., 2002) s'est appuyé sur une large analyse bibliographique (plus de 1500 références analysées) pour proposer des recommandations afin de diminuer les résidus de pesticides dans les produits alimentaires végétaux issus de l'agriculture. Dans ses conclusions, ce rapport souligne l'importance du mode de production : les produits issus de l'agriculture biologique contiennent moins de résidus que ceux issus de système de production intégrée, ces derniers en contenant eux-mêmes moins que les produits issus de l'agriculture conventionnelle. Des données américaines montrent qu'environ 70% des échantillons soumis à analyse contiennent des résidus de pesticide. Les systèmes de production intégrée permettent une diminution de 50% de la proportion d'échantillons contaminés. La présence dans le sol de résidus très rémanents rend difficile la production de fruits et légumes biologiques totalement exempts de résidus.

***. Réduction des résidus de pesticides et coûts de production***

Le rapport de la FSA (Atkinson et al., 2002) fait le constat que la réduction des résidus de pesticides n'est pas l'objectif unique du producteur. Ce dernier doit avant tout fournir des produits en quantité suffisante pour satisfaire ses clients et à un prix que le consommateur est prêt à payer tout en garantissant une qualité d'apparence (pas de meurtrissures ou de défauts externes) que le même consommateur est en droit d'attendre. La question des coûts de production pour atteindre ces différents objectifs se pose de façon cruciale.

Malheureusement, les données concernant les coûts de production comparés pour les différents modes de production sont très dispersées et il est difficile d'en avoir une vision claire. Des travaux de la SERFEL (Gallia et al., 2005a, b; Gallia, 2007) comparant des parcelles d'abricotiers et de pêchers conduites respectivement en biologique et en PFI (production fruitière intégrée), montrent que les coûts de production sont plus faibles en biologique qu'en PFI. La raison en est la moindre vigueur et la moindre charge des arbres menés en biologique : de ce fait, les postes comme la taille ou la récolte sont plus lourds pour la PFI que pour la production biologique. La protection phytosanitaire coûte davantage en PFI alors que le poste fertilisation est plus élevé en production biologique. Cependant, les chiffres peuvent être très variables d'une année à l'autre, de même que le niveau de production atteint, donc le produit brut à l'hectare.

Un rapport (Ancion, 2005) sur la filière des fruits et légumes biologiques en Belgique dégage des constatations plus nuancées tant pour les fruits que pour les légumes avec, pour ces derniers, des situations très diverses du fait de la diversité des légumes. Les coûts de production sont nettement plus élevés pour les productions biologiques que pour les productions conventionnelles, avec une productivité à l'hectare moindre pour la culture biologique. Dans ce cas, c'est grâce à des prix plus élevés que les producteurs biologiques parviennent à réaliser une marge bénéficiaire sur leur production.

## 2.2.5. Eléments de conclusion

**1-** La bibliographie dans le domaine considéré est souvent disparate et il est difficile d'en tirer des conclusions définitives. Les techniques culturales ou les modes de production entraînent des variations dans le contenu en composés bioactifs mais les résultats sont souvent contradictoires et n'autorisent pas à tirer des lois générales. En l'état actuel des connaissances, aucun mode de production,

biologique, intégré ou conventionnel, ne présente d'avantage ou de désavantage particulier en matière d'accumulation des composés bioactifs.

**2-** Les composés à valeur nutritionnelle sont des produits du métabolisme secondaire dont les interactions avec les facteurs de l'environnement (pris au sens large : facteurs physiques du milieu, interventions techniques sur la culture) sont complexes et encore mal connus contrairement à ce qu'il se passe pour le métabolisme primaire : ceci explique les résultats contradictoires trouvés dans la bibliographie.

**3-** Les expériences décrites dans la littérature ne sont pas conçues pour l'établissement de lois d'action de certains facteurs (température, lumière) sur la dynamique d'accumulation des composés nutritionnels. Ces expériences sont pour la plupart conduites en situation agronomique : de nombreux facteurs d'action potentiels peuvent agir simultanément, souvent en interaction (cas des facteurs climatiques). Il faudrait imaginer des protocoles expérimentaux susceptibles de décorréler ces facteurs.

**4-** Il est clair toutefois que, même si l'on arrivait à analyser de façon fine l'effet de tel ou tel facteur sur la synthèse de ces composés en situation très contrôlée, la transposition des résultats en condition de production serait extrêmement délicate en raison des fluctuations temporelles souvent importantes de ces facteurs.

**5-** Au stade actuel de l'analyse, la gamme de variation d'origine climatique ou agronomique apparaît de bien moindre amplitude que celle que l'on peut attribuer à la génétique (voir tableau 2-5). Par exemple, chez la tomate, la teneur en vitamine C de variétés cultivées dans les mêmes conditions peut varier de 8,3 à 32,6 $mg.100FW^{-1}$. Pour une même variété, la teneur en vitamine C de fruits placés dans des conditions de température différentes variera dans une gamme s'échelonnant de 26,2 à 32,2 $mg.100gFW^{-1}$. Concernant le lycopène ou le β-carotène, l'amplitude de variation est moins importante et du même ordre de grandeur, qu'elle soit d'origine agronomique ou d'origine génétique.

**6-** Comme le souligne l'auteur d'un des articles analysés, l'effet des facteurs du milieu et des apports minéraux sur la régulation des voies de synthèse des métabolites secondaires est très mal connu et il serait important d'augmenter l'effort de recherche dans ce domaine. C'est certainement une des voies vers laquelle devrait se tourner l'écophysiologie afin de proposer des modèles intégrant le fonctionnement du métabolisme secondaire et plus seulement celui du métabolisme primaire.

**7-** A cet égard, une hypothèse intéressante est proposée par quelques auteurs : la concurrence pour les photoassimilats des processus de croissance et du métabolisme secondaire et de l'accumulation de ses produits. Tout ce qui concourt à ralentir la croissance sans pénaliser la photosynthèse (fertilisation azotée limitée, contrainte hydrique ménagée, pratiques de l'agriculture biologique) favorise le métabolisme secondaire dans son ensemble, donc l'accumulation de certains composés bioactifs. Ceci donne un certain caractère de généralité au fait qu'une fertilisation azotée soutenue soit défavorable à l'accumulation de vitamine C ou que la salinité des solutions nutritives ait un effet favorable sur la teneur en lycopène de la tomate.

**8-** La qualité des fruits et légumes est déterminée à la fois par les facteurs de l'environnement et par le potentiel génétique. Bien souvent, les travaux conduits sur les effets des techniques culturales établissent des comparaisons des réponses de divers génotypes. Il est donc important de poursuivre et amplifier les recherches visant à expliciter et modéliser les interactions entre génotype et environnement pour les divers critères de qualité des produits.

**9-** Beaucoup de travaux analysés examinent la qualité des produits sous l'angle des propriétés sensorielles, très rarement sous celui du goût, et des propriétés nutritionnelles qui apparaissent maintenant comme une des composantes essentielles de la qualité. Il est clair que seuls des efforts pour l'amélioration simultanée de l'ensemble de ces propriétés pourront attirer les consommateurs vers les fruits et légumes.

**Tableau 2-5.** Gammes de variation observées lors de comparaison de traitements agronomiques sur une même variété

| ***Espèce*** | ***Composé*** | ***Variation*** | ***Facteur agronomique*** | ***Références*** |
|---|---|---|---|---|
| Tomate | β-carotène | 0,31-0,44 mg.100gFW$^{-1}$<br>0,11-0,24 mg.100gFW$^{-1}$<br>(1,14-2,44 µg.gFW$^{-1}$) | Salinité de l'eau d'irrigation | (de Pascale et al., 2001)<br>(Stamatakis et al., 2003) |
| | | 0,32-0,38 mg.100gFW$^{-1}$<br>0,92-1,93 mg.100g$^{-1}$ | Forme de fertilisation azotée | (Kobryn et Hallmann, 2005) |
| | | 15,1-19,3 mg.100gDW$^{-1}$<br>14,6-14,7 mg.100gDW$^{-1}$<br>14,1-20,4 mg.100gDW$^{-1}$ | Production biologique / conventionnelle | (Caris-Veyrat et al., 2004) |
| | | 0,92-1,31 mg.100gFW$^{-1}$<br>0,86-1,03 mg.100gFW$^{-1}$<br>0,83-1,35 mg.100gFW$^{-1}$ | Production biologique / conventionnelle | (Caris-Veyrat et al., 2004) |
| | | 1 08-1,47 mg.100gFW$^{-1}$ | Chauffage serre | (Gautier et al., 2005) |
| | lycopène | 5,89-10,22 mg.100gFW$^{-1}$<br>0,24-1,10 mg.100gFW$^{-1}$<br>(2,43-11,0 µg.gFW$^{-1}$) | Salinité de l'eau d'irrigation | (Stamatakis et al., 2003) |
| | | 6,84-8,35 mg.100gFW$^{-1}$<br>2,48-3,37 mg.100g$^{-1}$ | Forme de fertilisation azotée | (Kobryn et Hallmann, 2005) |
| | | 61,8-62,3 mg.100gDW$^{-1}$<br>54,2-54,4 mg.100gDW$^{-1}$<br>57,6-62,2 mg.100gDW$^{-1}$ | Production biologique / conventionnelle | (Caris-Veyrat et al., 2004) |
| | | 3,8-4,2 mg.100gFW$^{-1}$<br>3,2-3,6 mg.100gFW$^{-1}$<br>3,4-4,1 mg.100gFW$^{-1}$ | Production biologique / conventionnelle | (Caris-Veyrat et al., 2004) |
| | | 2,8-4,1 mg.100gFW$^{-1}$<br>3,8-5,5 mg.100gFW$^{-1}$ | Irrigation fertilisante (2cv) | (Elkner et al., 2004) |
| | | 2,96-3,86 mg.100gFW$^{-1}$ | Chauffage serre | (Gautier et al., 2005) |
| | Caroténoïdes totaux | 7,37-12,26 mg.100gFW$^{-1}$ | Salinité de l'eau d'irrigation | |
| | | 8,40-10,21 mg.100gFW$^{-1}$ | Forme de fertilisation azotée | |
| | Caroténoïdes totaux | 6-12 mg.100gFW$^{-1}$ | Effet des UV-B | (Giuntini et al., 2005) |
| | Vitamine C | 3,5-8,3 mg.100gFW$^{-1}$<br>(35-83 µg.gFW$^{-1}$) | Salinité de l'eau d'irrigation | (Stamatakis et al., 2003) |
| | | 16,36-16,75 mg.100g$^{-1}$ | Fréquence des irrigations | (Tuzel et al., 2001) |
| | | 15,77-17,24 mg.100g$^{-1}$ | Type de substrat | (Tuzel et al., 2001) |
| | | 17,19-25,06 mg.100ml$^{-1}$ | Engrais organiques | (Tuzel et al., 2004) |
| | | 35-38 mg.100ml$^{-1}$ | Conductivité électrique | (Conversa et al., 2003) |
| | | 35-38 mg.100ml$^{-1}$ | Date de récolte | (Conversa et al., 2003) |
| | | 216,4-257,3 mg.100gDW$^{-1}$<br>162,7-231,4 mg.100gDW$^{-1}$<br>189,4-232,2 mg.100gDW$^{-1}$ | Production biologique / conventionnelle | (Caris-Veyrat et al., 2004) |
| | | 13,2-17,5 mg.100gFW$^{-1}$<br>9,6-16,2 mg.100gFW$^{-1}$<br>12,5-13,7 mg.100gFW$^{-1}$ | Production biologique / conventionnelle | (Caris-Veyrat et al., 2004) |
| | | 10,3-14,5 mg.100gFW$^{-1}$ | Modes de production | (Auclair et al., 1995) |
| | | 26,2-32,2 mg.100gFW$^{-1}$ | Chauffage serre | (Gautier et al., 2005) |
| | Flavonoïdes | 4,46-5,07 mg.100g$^{-1}$ | Fertilisation azotée | (Kobryn et Hallmann, 2005) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Brocoli | β-carotène | 2,63-3,30 mg.100gFW$^{-1}$ | Fertilisation azotée | (Babik et Elkner, 2002) |
| | | 2,65-3,24 mg.100gFW$^{-1}$ | Irrigation | |
| Chou | Vitamine C | 498,7-583,5 µg.gFW$^{-1}$ | Culture conventionnelle<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| | | 412,4-539,2 µg.gFW$^{-1}$ | Culture biologique<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| | α-tocophérol | 0,32-0,44 µg.gFW$^{-1}$ | Culture conventionnelle<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| | | 0,31-0,43 µg.gFW$^{-1}$ | Culture biologique<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| Carotte | Vitamine C | 16,9-34,3 mg.kgFW$^{-1}$ | Culture conventionnelle<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| | | 21,5-28,7 mg.kgFW$^{-1}$ | Culture biologique<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| | α-tocophérol (vitamine E) | 7,5-15,5 mg.kgFW$^{-1}$ | Culture conventionnelle<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| | | 8,3-14,0 mg.kgFW$^{-1}$ | Culture biologique<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| | β-carotène | 89,1-124,5 mg.kgFW$^{-1}$ | Culture conventionnelle<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| | | 81,4-118,6 mg.kgFW$^{-1}$ | Culture biologique<br>Effet année | (Warman et Havard, 1997) |
| Laitue | Vitamine C | 18,9-23,3 mg.100gFW$^{-1}$ | Type de fertilisation N | (Premuzic et al., 2002) |
| | α-tocophérol | 2,1-9,5 mg.kgFW$^{-1}$ | Fertilisation au Se | (Hartikainen et al., 1997) |
| Melon | Acide ascorbique | 21,9-33,6 mg.100gFW$^{-1}$ | Fertilisation K | (Lester et al., 2005) |
| | β-carotène | 234,4-481,6 µg.gDW$^{-1}$ | | (Lester et al., 2005) |
| Pêche | Polyphénols totaux | 21,3-29,0 mg tannique.100gFW$^{-1}$ | Production biologique / conventionnelle | (Carbonaro et al., 2002) |
| | α-tocophérol | 0,57-0,65 µg.100gFW$^{-1}$ | | |
| | γ-tocophérol | 0,37-0,46 µg.100gFW$^{-1}$ | | |
| Poire | Polyphénols totaux | 58,4-64,5 mg tannique.100gFW$^{-1}$ | Production biologique / conventionnelle | (Carbonaro et al., 2002) |
| | α-tocophérol | 0,58-0,71 µg.100gFW$^{-1}$ | | |
| | γ-tocophérol | 0,68 µg.100gFW$^{-1}$ | | |
| Abricot | β-carotène | 585,4-795,5 µg.100g$^{-1}$<br>828,5-948,3 µg.100g$^{-1}$<br>1075-1374,9 µg.100g$^{-1}$ | Effet région (pour trois cultivars) | (Dragovic-Uzelac et al., 2007) |
| | lutéine | 131,3-188,1 µg.100g$^{-1}$<br>123,4-131,3 µg.100g$^{-1}$ | | |
| Pomme | Caroténoïdes | 0,003-0,005 mg.gFW$^{-1}$ | Films réfléchissants | (Ju et al., 1999) |
| | Flavonoïdes | 12,9-15,7 mg.gFW$^{-1}$ | | |
| | Acide ascorbique | 78,2-100,4 mg.kg$^{-1}$ | Effet de la charge | (Stopar et al., 2002) |
| Orange | Vitamine C | 30,98-44,68 mg.100ml$^{-1}$ | Enrichissement en $CO_2$ | (Idso et al., 2002) |

## 2.3. Variations dues à la transformation et la conservation

Catherine Renard, Christian Chervin

Les fruits et légumes arrivant sur le marché peuvent être répartis en différentes "gammes" suivant le procédé ou la famille de procédé. Dans tous les cas, le but est de s'affranchir de la saisonnalité et de la faible durée de vie des fruits et légumes frais.

Les différentes gammes sont :
- 1ère gamme et 1ère gamme améliorée : le frais, éventuellement avec des produits parés ("améliorée"),
- 2e gamme : les produits stérilisés,
- 3e gamme : les produits surgelés,
- 4e gamme : les produits frais prédécoupés ("fresh-cut"),
- 5e gamme : les produits cuits sous vide (pasteurisés puis conservés au froid).

A ces gammes répertoriées, on pourrait ajouter une sixième gamme recouvrant l'ensemble des produits déshydratés, qu'il s'agisse de procédés traditionnels ou des techniques de déshydratation osmotique ou imprégnation sous vide. Enfin restent à classer les procédés qui ont plus de mal à trouver leur marché, comme les hautes pressions (que l'on pourrait rattacher à l'appertisation "sans chauffage") ou les champs électriques pulsés.

Ces différents procédés sont de plus à coupler à des modes de stockage différenciés. Ainsi 1re et 4e gammes impliquent des végétaux vivants et un contrôle des températures basses mais positives, la 3e gamme le respect de la chaîne du froid négatif, la 2e gamme et les produits à faible activité de l'eau s'affranchissent de cette nécessité.

En ce qui concerne les molécules évoquées au Chapitre 1, les données disponibles sont nettement plus abondantes pour les molécules qui peuvent avoir un impact organoleptique au-delà de leurs aspects nutritionnels. Ainsi caroténoïdes et polyphénols sont souvent étudiés pour leurs répercussions sur la couleur des produits.

Globalement, deux groupes de nutriments peuvent être distingués : des molécules vulnérables (folates, vitamine C, glucosinolates, anthocyanes) et des molécules plutôt stables (fibres, caroténoïdes, autres polyphénols). La vitamine C peut être présente dans les végétaux, mais elle est aussi utilisée comme agent technologique pour limiter le brunissement, et ce à des doses souvent bien supérieures à celles qu'on peut trouver dans le fruit ou légume frais. C'est le cas notamment dans les produits à base de pomme, dans certaines compotes, des jus… Des évolutions caractéristiques des principaux composés d'intérêt nutritionnel (fibres, caroténoïdes, vitamine C, folates) sont résumées dans les tableaux regroupés en fin de section.

Les fibres alimentaires dans les aliments, et en particulier les fruits et légumes, sont très majoritairement constituées des parois végétales. En tant que telles, elles sont aussi un des facteurs majeurs de la texture de ces produits. Ceci a deux conséquences : 1) leur altération se traduit d'abord sur les qualités de texture et une évolution trop prononcée peut être un facteur de "non-qualité" et 2) les études portent souvent sur les aspects de texture. De plus, le gros de la littérature sur les fibres alimentaires date des années 80 – 95.

Un point important à noter ici, concernant les déterminants "primaires" du goût que sont entre autres les sucres, les acides et les minéraux (le sel), c'est qu'il pourra y avoir une intervention humaine dépendant des recettes appliquées. Ainsi dans une confiture, la quantité de sucre n'est pas une variable dépendant du fruit mais du procédé (et de la législation). Ces aspects ne seront donc pas décrits ici.

Enfin un facteur majeur mais très peu étudié en tant que tel de la variation des teneurs de nombreux composés est mécanique : il s'agit de l'épluchage. En effet de nombreux micronutriments sont plus concentrés dans les parties épidermiques des F&L (cf. 2.1.1). L'épluchage sera un facteur majeur par exemple pour les teneurs en flavonoïdes et anthocyanes, mais aussi en caroténoïdes, plus concentrés dans l'épiderme de tomate ou les feuilles externes des légumes feuilles, en vitamine C, en fibres...

D'un point de vue méthodologique, deux points sont à souligner. Les données bibliographiques sont pointillistes, avec de nombreux travaux par exemple sur tomate / caroténoïdes, épinard / vitamines mais presque rien sur pomme / vitamine, tomate /folate…, et ne sont pas conduits de façon intégrée : une étape est étudiée en détail alors qu'il serait primordial de pouvoir disposer du bilan de l'itinéraire complet. Une complication supplémentaire est que les bases sur lesquelles sont calculées les teneurs peuvent varier : en effet lors des procédés interviennent des changements de teneur en eau ou des pertes de solubles, ce qui fait varier mécaniquement les concentrations rapportées au poids frais ou à la matière sèche. Le texte ci-dessous est basé d'une part sur une série de revues bibliographiques récentes et d'autre part sur les travaux récents qui les complètent.

### 2.3.1. La conservation du végétal vivant – Première et quatrième gammes

*Les produits de première gamme (F&L "classiques") sont souvent cueillis précocement pour conserver une texture ferme. Ceci peut être au détriment des qualités organoleptiques et de certaines qualités nutritionnelles. Les traitements disponibles pour la conservation du végétal vivant sont limités : outre un contrôle des conditions de l'environnement (température, teneurs en oxygène et gaz carbonique pour diminuer la respiration, humidité), des traitements chimiques sont encore largement utilisés pour prolonger la durée de stockage (fongicides, insecticides, anti-germination…). Le stockage des produits frais (lié à la logistique) conduit à des pertes telles pour les nutriments et produits fragiles que les teneurs finales sont comparables à plus élevées dans des produits appertisés ou surgelés, qui sont eux récoltés à maturité optimale et stabilisés rapidement.*

Un des points importants en ce qui concerne le végétal vivant est la prise en compte de l'évolution des compositions aux alentours de la date de récolte. En effet, pour que les F&L puissent résister aux nombreuses manipulations et au transport, ainsi qu'à des conservations prolongées, les dates de récolte sont anticipées par rapport à la maturité physiologique. Si les composés d'intérêt font partie de ceux qui s'accumulent au cours du développement (cf. 2.1.1.), les teneurs seront plus faibles. C'est le cas en particulier des sucres et arômes dans de nombreux fruits, expliquant une diminution du potentiel gustatif. Si ce sont des composés qui s'accumulent précocement et ont tendance à diminuer à maturité, le phénomène contraire sera observé. De même, l'impact des conditions de croissance (même en serre) fait que les produits cultivés peuvent avoir des compositions significativement différentes en fonction des saisons de culture et récolte.

#### *Besoin de technologies post-récolte pour la qualité des fruits et légumes*

Les besoins en technologie post-récolte pour les produits frais sont importants, car les pertes de produits après récolte sont non négligeables : elles peuvent varier de 10 à 90% selon les régions du monde et la fragilité des produits (Wills et al., 1998). Un exemple plus détaillé décrit des pertes de 25% par an sur les carottes en cours de stockage (Desobry et al., 1998).

En règle générale, les efforts de recherche sont plutôt portés sur la production et peu sur la conservation (et les premières étapes post-récolte). Pourtant, la réduction des pertes post-récolte est critique dans le challenge auquel seront confrontées les générations futures avec l'explosion démographique (Gill et Poulter, 1998).

Une autre raison incitant à plus de recherche en technologies post-récolte est la relation qui existe entre hygiène et bonne conservation. Par exemple, Andersen et Frisvad (2004) ont montré que des tomates infectées par divers champignons contenaient plusieurs toxines fongiques. Il est donc important que l'hygiène des locaux de stockage et du matériel de transport soit excellente.

#### *Nouveautés en post-récolte et incidence sur la qualité*

- Un nouveau type de traitements étudié depuis une vingtaine d'années est la "bio-lutte" (en anglais "biocontrol"), par exemple l'ajout de levures qui colonisent les surfaces des fruits et limitent le

développement de champignons pathogènes (Fravel, 2005). Cette technologie limite les résidus chimiques sur fruits et légumes, mais l'influence des micro-organismes utilisés sur l'homme (exemple sur la microflore intestinale) est encore peu étudiée.

- Sont à l'étude des alternatives aux traitements en voie d'interdiction, comme la diphénylamine sur pommes et poires (Drzyzga, 2003). Ce composé a des propriétés anti-oxydantes et est ou était utilisé pour limiter le brunissement des pommes et poires en cours de stockage. La diphénylamine pourrait être remplacée par une nouvelle molécule retardant également la sénescence des fruits et légumes, qui est active à très faible concentration (de l'ordre du ppb = 0,0000001%), le risque de résidus est donc très faible. Il s'agit du 1-méthylcyclopropène, ou 1-MCP (Watkins, 2006).

- L'éthanol, qui a aussi des propriétés anti-oxydantes, a été testé avec succès en remplacement de la diphénylamine (Chervin et al., 2003), et il peut avoir d'autres actions intéressantes en post-récolte comme la limitation des pourritures sur raisin de table (Chervin et al., 2005), ainsi que d'autres effets positifs sur la conservation des fruits et légumes (Pesis, 2005). L'éthanol est classé GRAS (Generally Recognized As Safe) par la Food & Drug Administration (Etats-Unis), mais son développement se heurte à de nombreux problèmes : a) économiques et sanitaires, il ne faudrait pas surtaxer, ni dénaturer l'éthanol qui sera utilisé pour de tels traitements, b) de religion (interdiction de consommer des produits ayant été en contact avec de l'alcool, dans certains pays), c) enfin l'absence d'intérêt commercial due à la difficulté de breveter son utilisation (car c'est un produit dont les actions ont été décrites depuis très longtemps dans de nombreuses études rendues publiques) et besoin néanmoins de déposer des dossiers d'autorisation de traitement dont le coût est parfois dissuasif pour de petits producteurs.

- D'autres composés naturels sont actuellement étudiés comme alternatives aux traitement chimiques classiques, c'est le cas des "bio-fumigants" (ex : cinnamaldéhyde, hexénal, eugénol, anisaldéhyde…), qui sont souvent présents dans les huiles essentielles (Neri et al., 2006; Prange et al., 2006). Ces produits sont d'origine naturelle, ou du moins on les trouve dans la nature comme composés de défense, mais leur manipulation reste délicate (exemple des aldéhydes qui sont corrosifs) et ils peuvent donner des goûts plus ou moins désirés aux différents fruits et légumes traités (exemple de l'eugénol qui donne un goût de clou de girofle).

- De nouvelles méthodes de mesures non destructives de la qualité représentent une des avancées majeures en technologie post-récolte de ces vingt dernières années. Par exemple le proche infra-rouge (Clark et al., 2004), qui permet de vérifier la qualité sur tous les fruits, lorsque les procédures de tri sont installées sur les lignes de conditionnement, et la qualité globale des lots est augmentée. Le principe de détection est basé, dans le cas du proche infra-rouge, sur l'absorption spécifique de certains composés à une longueur d'onde donnée. Le signal est traité mathématiquement et des procédures de calibration avec des standards connus sont nécessaires. La méthode "proche infra-rouge" est rapide et non destructive (pas besoin de broyer un échantillon de fruit ou de légume, par exemple), donc chaque fruit peut être testé individuellement, mais attention aux dérives de calibration et aux analyses extrapolées sur des fruits et légumes avec lesquels les calibrations n'auraient pas été effectuées.

- L'utilisation de l'ionisation retrouve de l'intérêt, surtout avec des applications qui permettent d'éviter les traitements avec des produits dont la disponibilité va diminuer comme le bromure de méthyle (Follett, 2006). Cette technologie présente l'avantage de ne laisser aucun résidu, mais n'est pas encore bien acceptée par les consommateurs (Encadré 2-1). Les développements récents sont décrits dans un ouvrage de Komolprasert and Morehouse (2004).

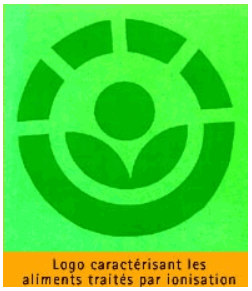
- Des traitements à la chaleur ont été développés au cours des deux dernières décennies, il s'agit de traitements ponctuels à l'eau chaude ou à la vapeur, souvent très rapidement après récolte (Fallik, 2004), qui ne s'apparentent pas à l'appertisation (voir "Deuxième gamme"). Ils ne laissent aucun résidu, mais sont à manipuler avec précaution pour limiter les échaudures sur fruits et légumes.

- Enfin des combinaisons des divers traitements ci-dessus ont également été étudiées, à la recherche de synergies (exemple : apporter un traitement chaud ponctuel en début de stockage, qui permet ensuite de raccourcir la durée de stockage au froid nécessaire à la désinsectisation d'un lot de fruits). Si on couple cela à un suivi des populations d'insectes au verger, et s'il y a eu très peu d'insectes observés sur la parcelle d'origine, on pourra éventuellement réduire encore plus ces deux traitements. On parle alors d'approche systémique, "systems approach" en anglais.

**Encadré 2-1. Ionisation des aliments**

C'est une technique étudiée depuis longtemps, des brevets français et américains datent de 1916 (Watkins, 2004). C'est une alternative intéressante aux traitements chimiques. Il s'agit d'apporter de l'énergie aux aliments sous forme de rayonnement (traitement physique), les composés cellulaires des pathogènes (bactéries, moisissures…) comme ceux des végétaux sont ionisés temporairement. A faible dose, cela peut entraîner des blocages de la division des cellules, donc empêcher les bactéries de se multiplier, c'est l'application qui est intéressante commercialement. Cela bloque aussi la croissance des fruits et légumes, mais elle est rarement recherchée après récolte. A forte dose, on cuit le produit : ce qui n'est pas intéressant d'un point de vue commercial, mais cela prouve que si un fruit ou un légume est déjà consommé cuit sans risque pour la santé, il y a de fortes chances pour que l'ionisation n'altère pas sa qualité de façon dangereuse pour l'homme. Des milliers de travaux ont été compilés par l'Organisation mondiale de la santé qui a statué sur l'innocuité du procédé en 1980 et en 1997 (FAO et al., 1997).

Malgré cela, le traitement ne s'est pas développé, car des recherches sont encore nécessaires pour le rendre moins cher et plus acceptable par les consommateurs. Ces derniers sont cependant de plus en plus favorables au traitement, par exemple aux Etats-Unis, où l'ionisation des aliments est utilisée pour les patients immuno-déprimés, dans certains procédés de préparation alimentaire et pour les spationautes (DeRuiter et Dwyer, 2002). De plus, le fait que l'ionisation puisse inactiver les spores d'anthrax dans les courriers terroristes lui a rendu une image positive. Elle pâtit néanmoins de l'image négative d'autres applications nucléaires.




L'ionisation des aliments peut être générée par de toutes petites quantités de cobalt émettant des rayons gamma, voire par des faisceaux d'électrons, mais ils ne sont pas très pénétrants (ils n'atteignent pas le centre de produits épais). L'ionisation pourrait même être réalisée à l'aide de rayons X, avec un peu plus de recherche et développement pour améliorer le rendement des générateurs de ces rayons, qui sont en général mieux acceptés par les consommateurs. Une des questions qui revient souvent est : "Les aliments deviennent-ils radioactifs après ionisation ?". Réponse : "Non, tout comme l'eau ne bout pas à 60°C", car la quantité d'énergie apportée est trop faible.

**Encadré 2-2. F&L de quatrième gamme**

La quatrième gamme, qui s'est développée récemment, est constituée par des fruits et légumes crus prêts à l'emploi, donc ayant subi une légère préparation (découpe, râpage…). Les termes anglais sont "minimally processed" ou "fresh-cut". Cette gamme s'est développée avec l'aide de l'INRA dans les années 80 : travaux de Patrick Varoquaux, sur ce qu'on appelle aujourd'hui les AM (atmosphères modifiées). En effet, la maîtrise de la composition de l'atmosphère à l'intérieur du sachet est un des facteurs de réussite de la 4$^{e}$ gamme. Cette atmosphère peut, entre autres, limiter les risques de brunissement du produit coupé (Castaner et al., 1999), et les propriétés du film d'emballage sont importantes (car les gaz de l'atmosphère diffusent plus ou moins bien au travers des différents films). Certains films ont aussi des propriétés anti-condensation qui peuvent faciliter la présentation du produit et limiter le risque des développements bactériens (de Ell et al., 2003) ; ces bactéries sont souvent des bactéries lactiques sans danger pour l'homme, mais qui rendent le produit inconsommable (Carlin et al., 1989). Les autres facteurs critiques sont la qualité des matières premières, l'hygiène des conditions de préparation et le respect de la chaîne du froid lors de la préparation et la distribution du produit (environ 4°C). Les études concernant de nouvelles technologies pour encore améliorer les fruits et légumes de 4$^{e}$ gamme sont nombreuses et montrent la belle dynamique autour de ces produits (Brecht et al., 2004). D'un point de vue nutritionnel, les produits de 4$^{e}$ gamme restent proches des légumes frais, bien que quelques sucres soient éliminés par les lavages après râpage, par exemple, ou bien que les vitamines soient dégradées lors de la conservation de ces produits.

## *Impacts sur les composés*

### *. Vitamine C*

Sous le vocable de vitamine C co-existent deux molécules : l'acide ascorbique et son produit d'oxydation, le DHA ou acide déhydroascorbique, qui a les mêmes propriétés biologiques. Il existe

peu de données différenciant ces deux molécules, par ailleurs susceptibles d'interconversion dans le végétal vivant.

La durée et la température de stockage des produits "frais" ont un impact majeur sur la teneur en vitamine C ; cet impact va cependant dépendre :
- du fruit ou légume lui-même : les agrumes ont en général des teneurs stables (3 mois, (Biolatto et al., 2005)), comme les framboises (-10% en 7 jours à 2°C ; (Haffner et al., 2002)), et les légumes feuilles des pertes rapides ; ainsi que du stade de maturité à la récolte ;
- des conditions de stockage : température, composition de l'atmosphère…

En gros, plus le stockage est long et effectué à une température élevée, moins il restera de vitamine C, avec des cinétiques différentes par produit. Cependant, même à froid, les pertes sont tout à fait significatives (épinard : à température ambiante perte de 90% de l'acide ascorbique en 3 jours, et de 80% à 4°C en 7 jours, (Gil et al., 1999)). Pour les oranges, les pertes sont de 20% et 8% après 15 j à 21° et 1°C, respectivement (Cortez et al., 2000) ; pour les tomates, de 50% en 8 jours à 25°C et 40% en 16 j à 4°C (Sablani et al., 2006).

La teneur en oxygène de l'atmosphère de stockage peut intervenir : à nouveau sur de l'épinard, les pertes en vitamine C étaient moins élevées en atmosphère modifiée ; cependant il y avait eu la même consommation d'acide ascorbique que dans l'air, et une conversion accrue en acide déhydroascorbique (Gil et al., 1999). Sur les poires destinées à un stockage prolongé, la perte en acide ascorbique 3 semaines après récolte est d'environ 30% et atteint, en 20 semaines (à 10°C), 45% sous atmosphère à 2,5% d'O2 et 70% sous atmosphère à 15% d'O2 (Franck et al., 2003).

De plus, le stade de maturité va lui aussi influencer les résultats. Les produits récoltés avant maturité physiologique peuvent montrer de façon transitoire une augmentation des teneurs. Ainsi pour des poivrons cueillis aux stades vert mature et "breaker", la concentration en vitamine C croît au début du stockage, atteignant des valeurs comparables à celles des poivrons cueillis rouges. Par contre ceux-ci montrent des pertes en vitamine C (-25% en 10 j à 20°C, -15% après 20 j à 4°C) (Martinez et al., 2005). De même dans des tomates-cerises, les valeurs atteintes à pleine maturité sont comparables que cette maturité ait été acquise sur la plante ou après récolte (Slimestad et Verheul, 2005).

Dans les produits de 4$^{e}$ gamme, on enregistre très généralement des pertes marquées en vitamine C pour les légumes verts. Ainsi des inflorescences de brocoli perdent plus de 50% de leur acide ascorbique en 21 jours à 4°C (environ 25% en 14 j) (Lemoine et al., 2007) ; des épinards entre 78 et 100% après 9 j à 10°C sous sachet polypropylène (Bergquist et al., 2006).

Les teneurs en vitamine C de différents fruits préparés en segments et cubes (Gil et al., 2006) ont des évolutions variables pendant la durée de vie du produit (6-9 j à 5°C) (stable pour mangue, fraise, pastèque, pertes de 10% pour ananas, 12% pour kiwi, 25% pour melon) ; par contre on observe très généralement une diminution des teneurs en ascorbate, qui peut être compensée ou surcompensée par de l'accumulation de déhydroascorbate (Gil et al., 2006). De même pour des agrumes, les teneurs en vitamine C apparaissent stables jusqu'à 8 j de stockage à 4°C (del Caro et al., 2004), puis diminuent entre 8 et 12 j de stockage. Par ailleurs, l'acide ascorbique peut être utilisé en auxiliaire technologique pour certains produits en 4$^{e}$ gamme (pommes : (Nicolas et al., 1994; Zuo et al., 2004; Zuo et Lee, 2004; Cocci et al., 2006)), ce qui conduit à des teneurs sans rapport avec celles du produit initial : Cocci et al. (Cocci et al., 2006) rapportent ainsi une multiplication par 20 des teneurs en acide ascorbique de tranches de pommes après trempage dans une solution à 10g/l.

***. Caroténoïdes***

Dans certains tissus, la synthèse de caroténoïdes continue après récolte. Les teneurs des tomates en lycopène et β-carotène augmentent pendant 3 semaines après récolte au stade orange-rouge, et ce d'autant plus que la température est élevée ; les teneurs maximales atteintes en lycopène sont alors supérieures à celles obtenues lors d'une maturation sur pied (Slimestad et Verheul, 2005). De même les teneurs en caroténoïdes augmentent lors du stockage d'épinard à 10°C (Bergquist et al., 2006), et ce d'autant plus que les feuilles ont été récoltées non matures. Cependant, la conservation après récolte entraîne généralement une perte en caroténoïdes, en liaison notamment avec leur sensibilité à l'oxydation.

Les caroténoïdes sont liposolubles : ainsi pour des tranches de tomates (fraîches), une friture ou une macération dans l'huile (mimant l'assaisonnement d'une salade) conduisent à des pertes en lycopène (-50% après friture, -30% après incubation dans un mélange huile/vinaigre ou huile seule) (Sahlin et al., 2004). Ceci s'accompagne de pertes significatives en vitamine C (-30% avec huile seule, -50% avec huile et vinaigre) et les polyphénols totaux (pertes également de 40 à 50%).

***. Folates***

Peu de données sont disponibles sur l'évolution des teneurs en folates, que ce soit avant ou après récolte. Les données existantes sur les épinards et les pois montrent des pertes de l'ordre de 25% au cours de la conservation à 4°C d'épinards après 7 jours, 20% après 15 jours pour les pois (en folates totaux), et à température ambiante des pertes de 50% après 6 jours pour les pois et après 5 jours pour les épinards (Scott et al., 2000). De même Pandrangi & Laborde (2004) montrent des pertes d'environ 50% après 8 jours à 4°C, 6 jours à 10°C et 4 jours à 20°C. Pour des betteraves (Jastrebova et al., 2003), une conservation de 3 mois n'entraîne la perte que de 5 à 18% des folates.

***. Glucosinolates***

Les actions physiologiques liées aux glucosinolates le sont en fait à leurs produits de dégradation, souvent volatiles et à odeur marquée. Le besoin d'une conversion enzymatique et la suite de réactions engagées induit une complexité supplémentaire quand il s'agit de mesurer le potentiel d'un végétal. En effet dans la plante, glucosinolates et myrosinase sont strictement séparés. Une déstructuration les met en contact, entraînant l'apparition des composés de dégradation : la myrosinase clive le glucose, et l'aglycone instable continue à réagir, les produits principaux étant les thiocyanates, nitriles et isothiocyanates. Les types exacts et les proportions de ces produits dépendent de la nature de la chaîne latérale et des conditions. Par contre si l'enzyme est inactivée, les glucosinolates ne seront pas convertis et pourront évoluer par des voies purement chimiques ou physiques lors des procédés.

L'étude des effets des transformations est compliquée pour les glucosinolates par la nécessité d'un passage par une phase d'activation enzymatique par la myrosinase. Or cette dernière est présente dans les mêmes tissus, et sa présence commence par imposer des contraintes particulières aux méthodes d'extraction des glucosinolates. Par ailleurs, la forte volatilité de certains produits de dégradation des glucosinolates complique leur dosage.

La synthèse de glucosinolates en réaction à des blessures rend les effets de la découpe et de l'épluchage particulièrement complexes : il se produit à la fois une biosynthèse, liée à la blessure, une conversion des glucosinolates par la myrosinase, puisqu'il y a déstructuration du tissu, et si il y a lavage ou trempage une perte par diffusion de ces molécules particulièrement hydrosolubles (Mithen et al., 2000). Ainsi Verkerk et al. (2002) enregistrent des augmentations de 2 à 4 fois des concentrations dans des brocolis hachés après 48h. Par contre sur des inflorescences emballées entières et stockées au froid, les teneurs en glucosinolates sont considérablement réduites après stockage au froid (Vallejos et al., 2003).

Une autre technologie qui a été étudiée est la préparation de choucroute. Elle semble aboutir assez rapidement à la présence de produits de dégradation. Les principaux produits de dégradation des glucosinolates aliphatiques étant les isothiocyanates, qui disparaissent eux-mêmes au cours du stockage.

***. Fibres alimentaires***

Si les produits supportent une longue conservation, celle-ci a alors peu d'impact sur leurs teneurs en fibres. Dans les pommes (Suni et al., 2000) et les choux (Wennberg et al., 2002) par exemple, on peut noter une augmentation modérée mais statistiquement significative (due à la perte d'eau et, si les résultats sont exprimés par rapport à la matière sèche, à une consommation de matière sèche par la respiration). Dans les carottes, Nyman et al. (2005) et Svanberg et al. (1997) ont noté une diminution des fibres solubles. Il en est autrement pour d'autres produits, mais les modifications de texture qui accompagnent ses modifications sont alors prédominantes et rédhibitoires pour la conservation.

***. Polyphénols***

Les polyphénols, à l'exception des anthocyanes, sont généralement stables en cours de conservation des fruits et légumes frais. C'est le cas en particulier pour les pommes, y compris pour des stockages prolongés (1 an (Van der Sluis et al., 2001) ; 120 jours (MacLean et al., 2006) ; 9 mois, épiderme, (Golding et al., 2001)).

Ils sont affectés de façon variable lors de la préparation de produits 4$^{e}$ gamme ; ainsi les concentrations en polyphénols augmentent dans les laitues découpées, diminuent légèrement dans des inflorescences de brocoli (-15% en 21 j à 4°C, (Lemoine et al., 2007)). La composition de l'atmosphère a aussi une influence marquée : dans des pommes de 4$^{e}$ gamme, le brunissement observé en présence d'oxygène accompagne la disparition des polyphénols natifs.

***. Limonoïdes***

L'impact de l'irradiation a été étudié sur les pamplemousses, pour lesquels cette technique est proposée en alternative à un traitement au bromure de méthyl. Les teneurs en glucoside de limonine étaient augmentées après 35 j de stockage, qu'il y ait eu ou non irradiation ; l'irradiation elle-même conduisait à une diminution des concentrations sensible dès les faibles intensités de traitement (Patil et al., 2004). Cette diminution faible se retrouve aussi après une lyophilisation (Vanamala et al., 2005).

### 2.3.2. Epluchage

*Les parties externes sont très généralement plus riches en acide ascorbique, en caroténoïdes, en polyphénols, en fibres, en glucosinolates... Leur élimination induit des pertes marquées de nombreuses molécules.*

Par exemple, la vitamine C est 3 fois plus concentrée dans l'épiderme que dans la chair de pomme (Davey et al., 2006). Ainsi pour les flavonols, particulièrement concentrés dans les épidermes, l'épluchage est une cause majeure de pertes (Ewald et al., 1999). De même Guyot et al. (2002) ont pu montrer que dans les pommes de table 50% des polyphénols sont concentrés dans les parties épidermique et sous-épidermiques, avec des teneurs de 3 à 6 fois celle de la chair. Dans des pêches "Ross", un épluchage manuel conduit à une diminution des polyphénols totaux de 537 à 347 mg/kg, et un épluchage chimique à 274 mg/kg (Asami et al., 2003a). Dans des tomates (culture hydroponique sous serre, trois variétés), la peau et les graines contribuaient en moyenne à 53% des polyphénols totaux dont 52% des flavonoïdes, à 48% du lycopène, à 43% de l'acide ascorbique (Toor et Savage, 2005). Les parties épidermiques sont généralement plus riches en parois donc en fibres ; dans des pommes (cv Judeline), l'épiderme représentait 4% du poids frais mais 11% des parois (Massiot et al., 1994).

### 2.3.3. Impact des traitements thermiques – Deuxième et cinquième gamme

*Les taux de rétention des différents composés sont éminemment variables selon la nature chimique du composé et le mode de cuisson utilisé. Schématiquement, quatre classes peuvent être identifiées :*
*- des composés sensibles à la température et à l'oxydation (caroténoïdes, vitamine C),*
*- des composés hydrosolubles susceptibles d'être perdus par diffusion dans les liquides de cuisson (lavage, blanchiment…) (folates, vitamine C, glucosinolates, certains polyphénols),*
*- des composés nécessitant une étape de conversion enzymatique (glucosinolates, capsaicines, alliicines),*
*- des composés finalement peu sensibles (fibres : réorganisation interne entre fibres solubles et insolubles).*
*Les études de réactivité suivent une / des molécules dans une matrice bien ciblée ; par contre dans le bilan d'un procédé, il ne faut pas négliger l'impact de l'étape de parage (cf. supra).*

*Etant donnés les nombreux croisements possibles (composé, espèce, mode de cuisson avec des couples temps-température variables plus l'interférence de la présence ou non de liquide), il est impossible de donner beaucoup plus que des tendances. Cependant globalement, parmi les différents modes de cuisson possibles, ceux mettant peu le fruit ou légume en contact avec de l'eau de cuisson ensuite jetée semblent préférables. En général, c'est la cuisson à la vapeur qui permet une meilleure rétention, en opposition à la cuisson dans un grand volume d'eau. En ce qui concerne les micro-ondes, les résultats sont contradictoires. Enfin la friture entraîne peu de pertes par diffusion mais utilise des températures généralement plus élevées.*

**Tableau 2-5.**

| Composé | Susceptible à la chaleur et oxydation | Soluble (perte par diffusion) | Nécessitant une conversion enzymatique | Concentrés dans les parties externes |
|---|---|---|---|---|
| Acide ascorbique | Oui | Oui | | |
| Caroténoïdes | Oui | | | Oui |
| Glucosinolates | | Oui | Oui | Oui |
| Folates | | Oui | | |
| Fibres alimentaires | | | | Oui |
| Polyphénols | | | | |
| Acides hydroxycinnamiques | Oui | | | Oui |
| Anthocyanes | Oui | | | Oui |
| Autres flavonoïdes | Variable | | | Oui |
| Capsaicines | | | Oui | |

***. Vitamine C***

Les teneurs en vitamine C sont très généralement diminuées lors des différentes opérations de parage, lavage, blanchissage, cuisson… Leskova et al. (2006) ont fait une très bonne revue récente (Tableau 2-5), utilement complétée par Puuponen-Pimia et al. (2003). Quand l'évolution des concentrations a été modélisée, elles suivent une cinétique de premier (ou pseudo-premier) ordre avec une activation par le chauffage conforme à la loi d'Arrhenius ; cependant les constantes sont variables selon les matrices (Puuponen-Pimia et al., 2003). Un des points les moins bien connus est celui du rôle de l'oxygène (ou son absence) sur les possibilités d'oxydation de la vitamine C.

Ainsi lors de la cuisson, pour une matrice végétale donnée, la dégradation semble dépendre du couple temps-température et non du mode de cuisson (Bineesh et al., 2005; Erenturk et al., 2005; Nisha et al., 2005) ; cependant ces travaux ne prennent pas en compte de façon individualisée les fractions liquide/solide. Pour des poivrons (Martinez et al., 2005), une perte de 12% de la vitamine C au blanchiment est rapportée, pour 20-25% pendant l'appertisation. De même Jiratanan & Liu (2004) rapportent des pertes très faibles lors de la cuisson proprement dite de haricots verts (non significatif) et betteraves (-8%, mais conversion en DHA) en enceintes fermées.

Par contre la vitamine C étant très hydrosoluble se répartit entre les morceaux résiduels et le liquide de cuisson ou d'appertisation. Ainsi dans des épinards, Gil et al. (1999) observent une répartition d'environ 60% de la vitamine C dans le liquide contre 40% dans les feuilles cuites, sans diminution de la quantité totale présente. Pour la pomme de terre, qui présente des rapports surface/volume très différents, cet impact de la diffusion dans l'eau de cuisson existe également (Arroqui et al., 2001). De même pour du brocoli, une cuisson avec peu d'eau ou à la vapeur permet des rétentions significativement plus élevées (100% et 70%) qu'avec beaucoup d'eau (40%) (Gliszczynska-Swiglo et al., 2006).

Parmi les produits traités thermiquement, les purées et compotes se différencient par l'existence d'une étape de raffinage. Celle-ci conduit à des pertes marquées en vitamine C pour les produits à base de tomate par exemple, probablement en lien avec la répartition tissulaire (Lin et Chen, 2005).

***. Caroténoïdes***

De nombreux travaux ont étudié l'impact de traitements thermiques sur les caroténoïdes avec des résultats contradictoires. Outre des questions méthodologiques (ne sont dosés que les caroténoïdes extractibles), deux facteurs contribuent à cette confusion. D'une part l'évolution des caroténoïdes eux-mêmes semble étroitement dépendante de la matrice : ainsi la présence d'huile augmente l'isomérisation aux temps de traitements courts (Mayer-Miebach et al., 2005). D'autre part, il est difficile de trouver deux études strictement comparables : en particulier l'expression des résultats en fonction de la matière totale ou sèche, la prise en compte ou non de pertes par diffusion, de concentrations par pertes d'eau… sont extrêmement variables.

Deux points d'impact ont été considérés : l'oxydation et la formation d'isomères cis. Le chauffage prolongé semble favoriser l'isomérisation. Quand à l'oxydation, elle est bien évidemment favorisée par le contact avec l'air et est sensible à l'activité de l'eau. Elle conduit à une rupture des chaînes hydrocarbonées et à des pertes des qualités organoleptiques (couleur notamment). En ce qui concerne la biodisponibilité, un facteur supplémentaire est la déstructuration de la matrice alimentaire permettant une meilleure diffusion. Il faut donc tenir compte d'un équilibre entre la rétention des caroténoïdes et leur stabilité. Il a ainsi été démontré que le lycopène et le β-carotène étaient plus biodisponibles après cuisson (Rock et al., 1998; Takeoka et al., 2001; Reboul et al., 2005), ceci étant lié à la fois à la conversion en isomères cis et à une déstructuration des complexes natifs.

De nombreuses publications rapportent une augmentation des teneurs en caroténoïdes ou leur stabilité au cours de procédés de fabrication de purées, pulpes et concentrés de tomate, carotte et autres végétaux (Abushira et al., 2000; Dewanto et al., 2002; Seybold et al., 2004). La dégradation du carotène (dans des purées de citrouille) suit une cinétique d'ordre 1, et les constantes de vitesse suivent la loi d'Arrhenius (Dutta et al., 2006), et ceci est fortement corrélé à la dégradation de la couleur. La teneur en β-carotène augmente après blanchiment, ce qui a été interprété comme dû à l'inactivation de la lipoxygénase. Elle est divisée par 3 en environ 2h de traitement à 100°C. Sharma & Le Maguer (1996) rapportent aussi une cinétique de pseudo-premier ordre pour la dégradation du lycopène dans des pulpes de tomate, avec peu de formation d'isomères cis. Sur des jus de tomate, Lin & Chen (2005) rapportent aussi une augmentation (d'environ 30%) des concentrations mesurées de trans-lycopène, lutéine et β-carotène, après le traitement thermique initial (ici chauffage à 82°C précédant le raffinage), puis une diminution au raffinage (d'environ 20%) et une diminution supplémentaire lors de la pasteurisation (90°C, 5 min ou 100°C, 30 min), tout en restant à des valeurs supérieures à celles mesurées dans la tomate fraîchement broyée pour la lutéine et le trans-lycopène. Un traitement 40 s à 121°C évite cette dernière diminution et conduit à des valeurs nettement supérieures ; il favorise par contre plus la formation d'isomères cis, notamment pour la lutéine. Dans du maïs (Scott et Eldridge, 2005), les teneurs en lutéine, zéaxanthine et caroténoïdes totaux après appertisation sont similaires à celles des maïs frais. Dans des carottes (Mayer-Miebach et al., 2005), la dégradation du trans-lycopène commence au dessus de 70°C ; la formation d'isomères cis est considérablement accrue pour des températures supérieures à 100°C (en conditions non oxydantes) ; l'addition d'huile conduit à une accélération de l'isomérisation.

Les caroténoïdes sont liposolubles : ainsi pour des tranches de tomates (fraîches) la friture conduit à des pertes en lycopène plus élevées qu'une cuisson dans l'eau ou au four (diminution des concentrations de 50% après friture, de 5 à 20% dans l'eau, de 5% au four, exprimé sur le poids total) (Sahlin et al., 2004).

***. Folates***

La réactivité et la solubilité des folates les rendent susceptibles à des pertes marquées en cours de préparation, mais là encore il y a peu de données. Un des impacts majeurs est, ici aussi, la perte par diffusion dans les liquides de lavage, blanchiment ou lavage. Les autres facteurs de perte seront la chaleur, l'exposition à l'oxygène et à la lumière.

Une cuisson "sous vide" de brocolis conduit à la rétention de 89% des folates totaux contre 74-60% après blanchiment à la vapeur pendant 20 min (Petersen, 1993). La préparation de coulis et confiture de fraises permet la rétention de plus de 80% des folates (Stralsjo et al., 2003). Par contre la perte de

folate dans des tranches de betterave appertisées sans liquide porteur est de 30%, alors qu'elle n'est pas significative pour des haricots verts (Jiratanan et Liu, 2004).

Dans différents légumes en conserves (pois, épinards, asperges…), les concentrations en folates dans le liquide et dans les parties solides étaient similaires, ce qui implique des pertes de l'ordre de 60% lors de l'égouttage du liquide porteur (Scott et al., 2000). De même, les cuissons domestiques "à l'eau" (rapport eau/légume de 10) conduisent à des pertes élevées par diffusion, reliées aux propriétés de forme (rapport surface/poids) des légumes (de 22% pour des asperges à 84% pour du chou-fleur) (Leitcher, 1980). Une diminution du rapport eau/légume (à 3), voire son élimination (cuissons au micro-onde) conduisent à des taux de rétention bien meilleurs, de 78-100% (épinards, pois et haricots verts) à environ 50-60% (brocolis) (Klein et al., 1979). Au blanchiment (100°C, 3 min), des pertes de l'ordre de 33% ont été rapportées pour des épinards (Cooper et al., 1983), contre seulement 14% pour un traitement micro-ondes sans ajout d'eau. De Souza et Eitenmiller (1986) rapportent même des pertes de 83 et 42% après blanchiment (eau et vapeur, respectivement), l'appertisation elle-même conduisant à la perte de 50% des folates résiduels. Pour des brocolis, les pertes bien que toujours élevées (60% après blanchiment à l'eau) étaient moins extrêmes.

La préparation de betteraves au vinaigre (faible pH, 40 mn, 90°C) permet la rétention dans les tranches d'environ 43-53% des folates, avec à nouveau des pertes dans le liquide (Jastrebova et al., 2003).

Une comparaison systématique des différentes formes de cuisson domestique montre toujours une perte lors de la cuisson dans l'eau (Scott et al., 2000).

***. Fibres alimentaires***

Les traitements thermiques ont peu d'impact sur les teneurs totales en fibres alimentaires ; ils entraînent par contre de façon très générale une augmentation de la teneur en fibres solubles, liée à la sensibilité des pectines (constitutives de ces fibres). Il y aura par contre des pertes en fibres totales si le traitement thermique s'accompagne d'une étape de raffinage, par exemple pour la préparation de purées ou soupes, bien qu'il soit possible de réincorporer des fractions épidermiques comminutées.

***. Polyphénols***

Les flavonols ont été les plus étudiés ; pour ces composés, généralement concentrés dans les épidermes, l'épluchage est la cause majeure des pertes (Ewald et al., 1999). Au-delà de cet effet mécanique, une cuisson par ébullition dans l'eau entraîne des pertes de flavonols de 20% et 40% respectivement pour les oignons et les asperges (Makris et Rossiter, 2001). Price et al. (1998) ont montré que l'appertisation n'entraîne pas de dégradation chimique des glycosides de flavonols mais des pertes ont lieu par diffusion dans les solutions de cuisson, qui sont variables selon le composé envisagé. La cuisson des oignons par ébullition ou friture entraîne une perte de 25% des glycosides de flavonols. Ewald et al. (1999) n'ont pas trouvé de différences significatives entre différents modes de cuisson pour les oignons, les haricots verts ou les pois, au contraire de Vallejos et al. (2003) pour les brocolis. Dans cette étude, une cuisson au micro-onde a conduit à la perte de 97% des flavonoïdes, 74% des dérivés de l'acide synapique et 87% des dérivés de l'acide caféique pour des inflorescences de brocoli, alors qu'une cuisson à la vapeur avait des effets moins marqués. Au cours des cuissons par ébullition à pression atmosphérique et sous pression, la diminution des concentrations dans les inflorescences était due à la fois à une diffusion dans l'eau de cuisson et à une dégradation thermique proprement dite. Andlauer et al. (2003) ont ainsi montré un effet du rapport eau de cuisson / quantité de tissu végétal sur la teneur finale en polyphénols de courgettes, haricots verts et carottes, à nouveau en liaison avec ces phénomènes de diffusion. Gil et al. (1999) pour des épinards rapportent également une répartition des flavonoïdes entre liquide de cuisson et fragments de feuilles (50% / 50%) sans perte globale, mais avec une extraction sélective des glucuronides, les glycosides et dérivés acylés restant plus retenus dans le tissu. Après traitement à 121°C, les teneurs en polyphénols des betteraves changent peu, avec même une augmentation des teneurs mesurées en flavonoïdes, tandis que les haricots verts montrent des pertes marquées (-30%) (Jiratanan et Liu, 2004).

Lors de la préparation de pêches au sirop, Asami et al. (2003a) ont enregistré des pertes en polyphénols totaux de 21%, suivies d'une perte supplémentaire de 30-43% pendant les 3 premiers mois de stockage.

Les proanthocyanidols sont reconnus pour former une partie importante des polyphénols alimentaires mais ils ont été peu étudiés, les méthodes de dosage étant moins répandues que celles disponibles pour les polyphénols monomères. Ces molécules semblent globalement stables au traitement thermique ; d'éventuelles pertes auront lieu surtout en tout début de cuisson avant l'inactivation des PPOs (Yamaguchi et al., 2003; Renard, 2005). Leur dégradation thermique en milieu acide, conduisant à des produits rouges, est une de leurs caractéristiques de base (Bate-Smith, 1954; Hamauzu et al., 2007). Mais entre la réaction de laboratoire et la transformation alimentaire, les acidités mises en jeu ne sont pas comparables. En effet, lors d'un traitement thermique de poires (Renard, 2005), les procyanidols, contrairement aux dérivés hydroxycinnamiques, diffusent peu dans l'eau de cuisson. Ils sont retrouvés quasi intacts et concentrés dans les morceaux de tissu pour des temps de traitement de l'ordre de 1h (perte de 20% après 20 min et 35% après 1h). Lors de la préparation de pêches au sirop (Hong et al., 2004), le traitement thermique (10 min, 104°C) conduit à une perte de 11% des monomères, 9% des dimères, 12% des trimères, 5% des tétramères et pentamères. Au cours du stockage (3 mois), une dégradation lente est enregistrée à la fois dans les morceaux et le sirop, pour aboutir à la disparition de 10% des monomères, 16% des dimères, 45% des trimères, et 80% des tétramères au bout de 3 mois, qui est expliquée en partie par la diffusion de ces molécules dans le sirop. Ils pourraient donc persister aussi dans les compotes de pomme.

***. Glucosinolates***

La cuisson, en inhibant la myrosinase, empêche la conversion des glucosinolates. Ils ne sont dégradés thermiquement avec production d'isothiocyanates que pour des températures >125°C, soit au dessus des températures de cuisson classiques. Jiao et al. (1998) n'ont pas pu mettre en évidence d'isothiocyanates dans divers crucifères cuits. Ils retrouvent par contre de très larges plages de variabilité pour une même espèce.

La conversion semble aussi avoir lieu dans le tube digestif humain, puisque des consommateurs de crucifères cuites excrètent des isothiocyanates dans leurs urines.

Les différentes méthodes de cuisson conduisent à une perte de glucosinolates par les deux mécanismes de dégradation thermique et diffusion dans les liquides de cuisson (Mithen et al., 2000). La conformation du produit végétal semble intervenir, avec des pertes nettement moindres pour les choux de Bruxelles que pour les brocolis (diffusion). Les différents glucosinolates ont des cinétiques différentes de dégradation thermique : Oerlemans et al. (2006) ont calculé que (dans des choux rouges) la cuisson causerait la disparition de 38% des glucosinolates indoliques et 8% des glucosinolates aliphatiques. Une cuisson au micro-onde semble avoir peu d'effet sur les teneurs en glucosinolates de chou rouge (Verkerk et al., 2002) ; aux faibles barèmes de cuisson, la myrosinase persiste aussi. Par contre cette même méthode de cuisson induit des pertes marquées (74%) dans des inflorescences de brocoli (Vallejos et al., 2002).

***. Capsaicines***

Après irradiation, Topuz & Ozdemir constatent une augmentation d'environ 10% des teneurs en capsinoïdes.

## 2.3.4. La conservation par le froid - Troisième gamme

*La surgélation permet de conserver fruits et légumes à des températures négatives. Il faut distinguer les trois étapes du procédé : en général la congélation est précédée d'une étape préparatoire d'épluchage et blanchiment, dont les conséquences ont été traitées ci-dessus. Le cœur de la congélation est une conservation de longue durée à des températures négatives. Bien que les réactions chimiques soient fortement ralenties par les basses températures, certains composés peuvent s'altérer au cours des temps de conservation longs qui peuvent être alors subis, et ce d'autant plus que les emballages utilisés ne sont pas barrière à l'oxygène. De plus, la valeur absolue des températures et leurs fluctuations peuvent avoir un impact. Enfin, la décongélation peut avoir un effet majeur, selon la façon dont elle est conduite et la présence ou non d'activités enzymatiques résiduelles.*

***. Vitamine C***

La teneur en vitamine C d'un produit surgelé va dépendre, outre du produit initial, de l'étape initiale de blanchiment et des conditions exactes de conservation (température, afflux d'oxygène…).

Le blanchiment permet l'inactivation des enzymes responsables de la dégradation, mais peut entraîner des pertes par diffusion ou effet thermique. Martinez et al. (2005) montrent pour des poivrons une perte de 40% à la congélation, mais seulement de 13% si il y a d'abord blanchiment. Ceci corrobore les résultats de Oruna-Concha et al. (1998), qui ont observé une perte de vitamine C de plus de 97% dans des haricots verts et poivrons congelés sans blanchiment préalable. Le blanchiment lui-même entraîne une perte de 28% de la vitamine C des haricots verts, mais limite les pertes subies au stockage à 3% (scellé sous vide) ou 10% (pas de vide) au bout de 12 mois de stockage. Dans des framboises, la congélation elle-même a peu d'effet, cependant des pertes de 33-55% après stockage (1an) sont rapportées (de Ancos et al., 2000). Puuponen-Pimiä et al. (2003) observent une diminution des teneurs en vitamine C de 20-30% pour de nombreux légumes pendant des durées de stockage allant jusqu'à 1 an.

L'impact de la température de stockage a aussi été étudié (Giannakourou et Taoukis, 2003) : au cours du stockage en froid négatif, les concentrations en vitamine C diminuent, selon une cinétique de premier ordre et de façon d'autant plus rapide que la température de conservation est élevée, toujours avec un fort impact de la matrice végétale. Ainsi des épinards surgelés conservés à -20°C ont perdu la moitié de leur teneur initiale en 153 jours (en 8 j à -5°C), mais les petits pois en 325 j et les haricots verts en 311 j.

***. Caroténoïdes***

Une fois le produit végétal stabilisé, les caroténoïdes semblent assez stables dans les conditions de conservation. Cependant lors de la conservation au froid, on enregistre également des pertes en caroténoïdes, comme l'ont montré Fish et Davis (2003) sur des cubes et purées de pastèque congelées, avec des pertes atteignant 30-40% pour le lycopène après 1 an à -20°C ou Lee et Coates (2002) sur des concentrés de jus de pamplemousse (perte jusqu'à 20% après 1 an à -23°C). La nature du contenant (sa perméabilité à l'oxygène) intervient, et Lee & Coates (2002) observent sur des jus concentrés congelés une perte plus élevée dans du plastique que dans des boîtes métalliques.

***. Folates***

De même les folates semblent stables au cours de la congélation, surtout si l'échantillon a été préalablement blanchi (activités enzymatiques résiduelles ?) (Malin, 1977; Speiss, 1984; Vahteristo et al., 1998; Melse-Boonstra et al., 2002; Puuponen-Pimia et al., 2003). Par contre, le blanchiment préalable a un impact : entre le champ et la congélation, dans des conditions industrielles "standard", les épinards ont perdu entre 10 et 30% de leurs folates, et les pois entre 5 et 15% (Scott et al., 2000), les poireaux, les choux fleurs et les haricots verts 28, 10 et 21% (Melse-Boonstra et al., 2002). Si la congélation est précédée d'un blanchiment, les pertes sont de 28, 16 et 35%, et si le blanchiment suit la congélation/décongélation, de 85, 65 et 79%, toujours pour poireaux, choux-fleurs et haricots verts (Melse-Boonstra et al., 2002).

***. Fibres alimentaires***

Puupponen-Pimiä et al. (2003) n'ont pas observé d'effet du stockage prolongé sur les fibres alimentaires.

***. Polyphénols***

Les polyphénols sont stables à la congélation : ainsi il n'y a pas de pertes à la congélation / stockage des polyphénols totaux dans des jus de framboise (de Ancos et al., 2000) ; Puuponen-Pimia et al. (2003) observent peu de diminution des teneurs en polyphénols totaux de nombreux légumes pendant des durées de stockage allant jusqu'à 1 an.

***. Glucosinolates***

La congélation en l'absence d'inactivation de la myrosinase conduit à la disparition quasi totale des glucosinolates lors de la décongélation. Un blanchiment est donc une étape indispensable pour la rétention de ces molécules.

## 2.3.5. Jus et produits liquides

*Les traitements thermiques appliqués aux jus ont des barèmes très bas et interviennent très tôt ; ceci permet donc une très bonne préservation des vitamines et nutriments (sauf s'il y a explicitement un procédé visant une modification de composition, par exemple pour la désamérisation des jus d'agrumes). Par contre, presque par définition, la préparation de jus conduit à l élimination des fibres alimentaires. Ici aussi on peut retrouver des implications de la vitamine C en tant que constituant du végétal mais aussi en tant qu'auxiliaire de fabrication (agent anti-brunissement).*

Les principaux résultats dans ces procédés portent sur les transferts et la stabilité des polyphénols, et plus particulièrement les anthocyanes, plus quelques résultats sur les caroténoïdes (traités dans le § "procédés innovants"). Dans les deux cas, de nombreux travaux sont liés à l'impact sur l'évolution de la couleur.

***. Vitamine C***

La vitamine C est utilisée comme auxiliaire de fabrication pour les jus de pomme troubles afin d'en limiter le brunissement ; les teneurs y sont donc relativement élevées, d'autant plus que ces jus ne subissent que des traitements thermiques modérés (FernandezGarcia et al., 2001; Gil-Izquierdo et al., 2002; Hodgins et al., 2002; Sanchez-Moreno et al., 2005; Elez-Martinez et Martin-Belloso, 2007). Il y a peu de pertes en vitamine C dans des jus d'orange en traitement thermique classique (9%), mais encore moins avec des températures plus faibles (FernandezGarcia et al., 2001; Gil-Izquierdo et al., 2002; Hodgins et al., 2002; Sanchez-Moreno et al., 2005; Elez-Martinez et Martin-Belloso, 2007). Les concentrations en vitamine C sont plus élevées dans les jus d'orange obtenus par expression industrielle (FMC) que pressés à la main (22-25% en plus) (Gil-Izquierdo et al., 2002).

***. Polyphénols***

Pour les pommes, l'obtention des jus se fait par un simple pressage et l'essentiel des polyphénols est contenu dans la chair. Cette étape de pressage est le point clef pour les teneurs en polyphénols des jus, avec à la fois oxydation enzymatique (favorisée par le fractionnement des fruits) et adsorption sur les parois. Globalement, les rendements de transfert des polyphénols de la pomme au jus sont faibles : Spanos et Wrolstad (1992) ont rapporté des pertes de >95%, van der Sluis et al (2002) des rendements d'extraction de 3% à 50% selon les classes de molécules, et Guyot et al. (2003) un rendement d'extraction moyen de 30% pour des rendements par classe de 3 à 80%. Ces rendements sont très différents selon les polyphénols concernés (Van der Sluis et al., 2002; Guyot et al., 2003; Le Bourvellec, 2003; Bernillon, 2005). Ainsi l'acid *p*-coumaroylquinique, qui n'est pas substrat de la polyphénoloxydase ni susceptible d'interagir avec les parois, est transféré presque quantitativement. Par contre les rendements diminuent pour l'acide chlorogénique, substrat direct de la PPO, et surtout pour les flavanols, qui sont eux impliqués dans la cascade d'oxydations secondaires qui régénèrent partiellement l'acide chlorogénique. Des rendements plus faibles encore sont obtenus pour les procyanidines, flavanols oligomères ou polymères, et d'autant plus faibles que leur degré de polymérisaton est élevé. Ceci est dû à leur capacité de se fixer sur les parois végétales, formant le marc. Les dihydrochalcones, initialement particulièrement concentrées dans les pépins, ont des taux de transfert variables selon leur répartition tissulaire exacte et la possibilité ou non de diffuser à partir des pépins. Enfin les flavonols, présents quasi uniquement dans la peau de pomme, ne sont pas extraits par les méthodes de pressage classique. Les rendements d'extraction des différents phénols (acide chlorogénique et flavanols) sont influencés par la température de pressage (Will et al., 2002) : ils augmentent avec l'augmentation de la température jusqu'à 60°C.

Les procédés de clarification peuvent conduire à des pertes supplémentaires, variables selon le procédé exact utilisé (par adsorption des polyphénols sur les protéines de collage utilisées). Enfin, en ce qui concerne les concentrés de jus (et donc les jus à base de concentrés), l'étape de concentration intensifie la précipitation des polyphénols et leurs produits d'oxydation, résultant en des jus commerciaux quasiment dépourvus de polyphénols par rapport à la pomme de départ (elle-même parfois peu riche, car beaucoup de jus sont produits à partir des écarts de tri de pommes de table).

Pour les fruits "rouges" ou plus exactement à épiderme rouge, depuis le raisin jusqu'aux myrtilles, la problématique est différente : la chair n'est pas colorée et tout l'enjeu est d'extraire la couleur à partir des épidermes colorés. Cette extraction est favorisée par une déstructuration des cellules épidermiques, qu'elle ait lieu par macération (macération carbonique de certains vins), par un traitement thermique ou par une combinaison traitement thermique et enzymatique (myrtilles (Rossi et al., 2003) ; prunes (Will et Dietrich, 2006); cerises et cassis (Czyzowska et Pogorzelski, 2002); cerises (Bonerz et al., 2007)). Au cours des stockages ultérieurs, ces anthocyanes apparaissent particulièrement peu stables.

***. Limonoïdes***

Lors du pressage des fruits, les aglycones des limonoïdes restent dans les marcs (Schoch et al., 2002), ce qui est logique puisque leurs concentrations les plus élevées sont rencontrées dans les graines puis le flavedo et l'albédo, et qu'elles sont le plus faible dans la chair.

L'aglycone est libéré partiellement du glucoside à la pasteurisation, puis plus lentement lors du stockage (Noomhorm et Kasemsuksakul, 1992; Ladaniya et al., 2004). Différentes méthodes de désamérisation ont été mises au point, qui diminuent voire éliminent totalement les limonoïdes (Ribeiro et al., 2002; Lee et Kim, 2003).

## 2.3.6. Déshydratation

Elle peut mettre en oeuvre soit des procédés de séchage classique, soit des méthodes d'échange de solutés (confisage, séchage osmotique). Les conséquences seront différentes : dans un cas il peut y avoir action des enzymes endogènes ou *de facto* traitement thermique, mais aucune perte par diffusion, alors que les méthodes par imprégnation peuvent conduire à des pertes de nutriments par diffusion dans le liquide.

***. Vitamine C***

La vitamine C se révèle à nouveau comme vulnérable lors d'un séchage à l'air. Les facteurs de sa diminution de teneur sont la vitesse de séchage (notamment le temps passé à des teneurs en eau de 60-70%), et la présence d'oxygène dans l'air de séchage. Le séchage par lyophilisation préserve mieux la vitamine C (Asami et al., 2003b, concentrations 3 fois plus élevées). Lors d'un séchage à l'air de tomates, il y a des pertes marquées de vitamine C (Zanoni et al., 1998) : la vitesse de dégradation de la vitamine C est fonction de la teneur en matière sèche, avec des vitesses les plus élevées à 60-70% d'eau. Pour des poivrons, le bilan du séchage est une perte de 90% de la vitamine C. Pour les pruneaux, Piga et al. (2003) rapportent des pertes d'environ 75%. Dans un travail sur des fruits d'églantier, Erenturk et al (2005) ont pu modéliser les pertes selon un modèle temps-température (avec des cinétiques du 1$^{er}$ ordre, et une augmentation de la réaction avec la température. Ils ont observé moins de pertes avec des fruits préalablement coupés (séchage plus rapide) et si la teneur en oxygène est plus faible. De même Ramesh et al (1999) montrent des pertes moins élevées lors du séchage de poivrons et pommes de terre sous $N_2$ que sous air (Ramesh et al., 1999).

En séchage osmotique ou par imprégnation, il est possible d'apporter de la vitamine C dans la solution de séchage, avec un impact sur la couleur (Plocharski et Konopacka, 2002) et une bonne rétention dans le produit final (environ 80%) (Konopacka et Markowsky, 2004). Lors du séchage par imprégnation de mangues (Jiokap Nono et al., 2001), il y a des pertes en vitamine C (endogène cette fois) liées à sa diffusion vers le liquide externe, et qui augmentent donc avec la température et la teneur en sucre de la solution (qui favorise la diffusion du liquide intracellulaire).

***. Caroténoïdes***

L'oxydation semble le mode d'évolution privilégié dans ces procédés. Elle semble un mécanisme particulièrement impliqué dans l'évolution de produits séchés (Toor et Savage, 2006), bien que Lavelli et al. (1999) trouvent des concentrations en caroténoïdes identiques (par rapport à la matière sèche) avant et après séchage de tomates, et Zanoni et al. (1998) une perte de 10% en lycopène après séchage à 110°C. Par contre, le lycopène n'est pas stable au stockage du produit séché.

***. Polyphénols***

A nouveau on retrouve des différences marquées de stabilité, avec l'échelle : acides OH-cinnamiques > flavonoïdes > anthocyanes.

Les acides OH-cinnamiques sont généralement relativement stables lors des séchages, sauf lorsque ces derniers ont lieu lentement ou au soleil (Ferreira et al., 2002), laissant aux enzymes endogènes et aux UV un temps d'action prolongé. La préparation des pruneaux conduit ainsi à une perte de la moitié des polyphénols et à la disparition des catéchines présentes dans les prunes (Donovan et al., 1998), à la disparition totale des anthocyanes, à une forte diminution des flavonols (-50 à -75%), avec selon les conditions pas ou peu d'effet sur les acides OH-cinnamiques (Piga et al., 2003; del Caro et al., 2004).

Si le séchage est conduit de façon rapide, les conséquences sur les polyphénols sont faibles. Ainsi Park et al. (2006) enregistrent une augmentation des teneurs en polyphénols totaux de kakis séchés, il est vrai exprimées en poids "frais" et non en poids sec. Rababah et al. (2005), cette fois en rapportant les données au poids sec, n'obtiennent pas de différences significatives entre purée et produit séché (fraise, pomme, pèche). De même Asami et al. (2003b) donnent des teneurs en polyphénols totaux nettement diminuées après séchage pour les fraises (-1/3) mais pas pour les "marionberries", et très légèrement plus faibles après séchage à l'air qu'après lyophilisation.

***. Capsaicinoïdes***

Piments et paprika sont souvent utilisés sous forme de poudre. Un séchage au soleil conduit à des pertes plus élevées qu'en séchoir (Singh Oberoi et al., 2005). Après séchage, environ 20-25% de la capsaicine avait disparu ; la diminution des concentrations continue au cours du stockage : en 10 mois la concentration en capsaicine passe de 244 à 176 mg/kg ms (Topuz et Ozdemir, 2004).

## 2.3.7. Procédés innovants

***. Vitamine C***

Bien que les hautes pressions soient généralement un procédé conservant les qualités du produit frais, il peut y avoir des pertes en vitamine C. Ceci a été noté dans des pousses de soja, des jus (en fonction du temps de séjour à hautes pressions), des purées de tomate (Sanchez-Moreno et al., 2006). Dede et al. (2007) n'ont pas observé de pertes en acide ascorbique pour des jus de carotte et tomate traités à 250 MPa. Le traitement HP conduit à des teneurs en acide ascorbique plus faibles que les traitements classiques pour des jus de pomme (acide ascorbique exogène) (Kostrzewa et al., 2002). Les HP ne permettant pas toujours une inactivation enzymatique totale, la stabilité du produit au stockage peut être moindre, surtout si l'emballage n'est pas étanche aux gaz (FernandezGarcia et al., 2001; Sanchez-Moreno et al., 2003).

Par contre les traitements par champs électriques pulsés permettent une rétention quasi-totale de la vitamine C (jus d'orange (Hodgins et al., 2002); jus d'orange/carotte (Torregrosa et al., 2006) ; jus de tomate et gazpacho (Elez-Martinez et Martin-Belloso, 2007)).

***. Caroténoïdes***

Il y a eu ces dernières années un certain nombre d'études sur l'impact de ces technologies, essentiellement les hautes pressions (de Ancos et al., 2000; Sanchez-Moreno et al., 2003; Sanchez-Moreno et al., 2004; Polydera et al., 2005; Qiu et al., 2006; Sanchez-Moreno et al., 2006), sur les

caroténoïdes. L'effet des hautes pressions diffère selon que l'on considère du lycopène extrait ou dans une purée de tomate (Qiu et al., 2006), l'isomérisation et surtout la perte nette étant plus marquées pour du lycopène en solution dans l'hexane. Il varie aussi avec l'intensité des pressions exercées. Avec des pressions inférieures à 200 MPa, Sanchez-Moreno et al. (2004) rapportent une diminution de la quantité de lycopène extrait à partir de purée de tomate, mais une augmentation pour le β-carotène, tandis qu'à 400 MPa tous deux augmentent. Pour eux, ceci serait lié aux différences de déstructuration des parois et membranes du tissu. Dans des jus de carotte, les hautes pressions permettent une augmentation de la teneur en caroténoïdes (de Ancos et al., 2000) avec un optimum à 350 KPa. Les HP ne permettant pas toujours une inactivation enzymatique totale, la stabilité du produit au stockage peut être moindre, comme observé par Yen et Lin (1996) sur de la purée de goyave.

Les champs électriques pulsés ont été comparés avec un traitement thermique de pasteurisation classique (Min et al., 2003), les deux donnant les mêmes résultats en ce qui concerne la concentration en lycopène, et ou avec les hautes pressions (Sanchez-Moreno et al., 2006).

***. Polyphénols***

Les hautes pressions ne sont pas un procédé satisfaisant pour les jus de pomme car elles ne permettent pas une inactivation totale ni de la pectineméthytlestérase, ni de la PPO pour les traitements les plus doux. Le produit obtenu brunit et est légèrement appauvri en polyphénols (essentiellement en catéchines) (Baron et al., 2006).

**Encadré 3-3. Trois exemples contrastés de réponse à la conservation et à la transformation : du produit fragile (épinard) au produit résistant (pomme).**

Les feuilles d'**épinard** sont un tissu végétal récolté alors que leur métabolisme est dans une phase active. Ceci se manifeste par des évolutions marquées de leur composition selon l'âge de la récolte. Elles sont riches en acide ascorbique et folates, ainsi qu'en caroténoïdes. Après cueillette, ces feuilles évoluent rapidement : leur durée de vie commerciale est de l'ordre de 10 à 15 jours. Pendant cette conservation, même au froid et en atmosphère contrôlée, elles vont perdre la quasi-totalité de leur acide ascorbique et la majorité des folates. Il y aura aussi des pertes en caroténoïdes, bien que les résultats semblent plus variables. Lors de leur transformation, le principal mécanisme de modification des teneurs en composés nutritionnels est le lessivage, aboutissant à des pertes marquées en folates et en acide ascorbique. De très bonnes rétentions sont donc obtenues quand les étapes de blanchiment et de cuisson ne se font pas en présence d'un grand volume d'eau. Les teneurs en caroténoïdes restent stables, avec une légère conversion en isomères *cis*, plus biodisponibles.

Le composé caractéristique de la **tomate** est le lycopène. Ses teneurs augmentent avec la couleur rouge, et les valeurs atteintes sont similaires que le produit ait été récolté rouge, orange ou vert mature, à condition que la conservation n'ait pas lieu à des températures trop froides. A partir de ce stade rouge, les teneurs décroissent lentement. La vitamine C évolue de façon assez similaire : augmentation pendant la phase de maturation tant cueillie que sur la plante, puis diminution. Les quantités de lycopène détectées augmentent, de même que sa biodisponibilité, après des traitements thermiques modérés tels ceux utilisés industriellement. Des traitements thermiques poussés, le contact avec de l'huile, causent une diminution des teneurs en lycopène. La vitamine C est nettement plus vulnérable, mais plus de la moitié persiste après des traitements poussés (concentré, cuisson au four). Par contre toutes les étapes éliminant la peau induisent des pertes très nettes des deux composés.

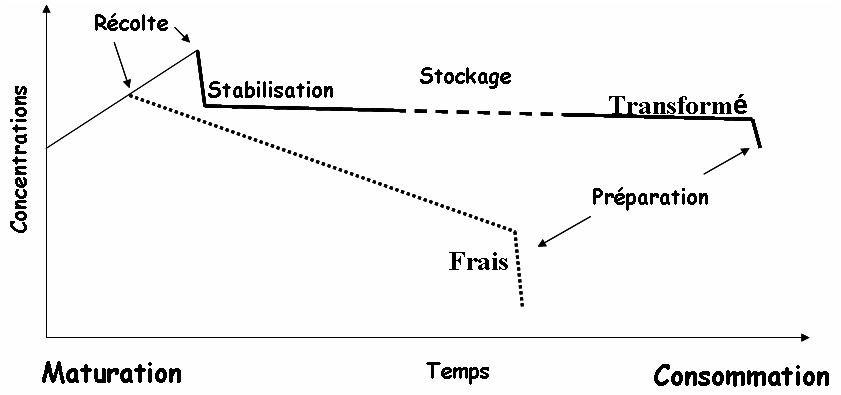
La **pomme** est caractérisée par des teneurs élevées en polyphénols, même si les pommes de table en contiennent relativement peu : ceci est dû au caractère amer et astringent de certaines de ces molécules. Les différentes variétés de pommes contiennent des quantités variables mais faibles d'acide ascorbique. Celui-ci diminue lentement lors de la conservation (jusqu'à 6 mois au froid, 10 mois en atmosphère contrôlée) tandis que les polyphénols apparaissent remarquablement stables. Lors de la transformation, certains procédés incluent l'addition de doses massives d'acide ascorbique, pour préserver une couleur claire. Celui-ci est alors largement consommé au cours du traitement ou de la conservation, même si les teneurs finales restent supérieures à celles du fruit. Les teneurs en polyphénols changent s'il y a élimination de la peau ou des parties solides (jus), les jus contenant typiquement moins du tiers des polyphénols du fruit.

## 2.3.8. Eléments de conclusion

Les fruits et légumes qui arrivent sur le marché peuvent être répartis en différentes "gammes" suivant le procédé appliqué. Ces différents procédés sont à coupler à des modes de stockage différenciés. Ainsi les produits frais (1re gamme) et la 4e gamme concernent des végétaux vivants et impliquent un contrôle de la température (basse mais positive). La 3e gamme (produits surgelés) nécessite le respect de la chaîne du froid négatif. La 2e gamme (l'appertisé) et les produits à faible activité de l'eau s'affranchissent de cette nécessité.

Deux étapes qui sont souvent négligées alors qu'elles ont un impact majeur sont l'épluchage et le stockage - l'épluchage car nombre des constituants ont des répartitions spécifiques, avec des concentrations accrues dans les parties externes en lien avec leurs fonctions de protection (contre les UV, les ravageurs…).

L'étape de stockage et conservation n'est absolument pas neutre, et ce notamment pour la première et quatrième gamme. En règle générale dans les tissus végétaux sensibles, l'exemple type étant l'épinard, et pour un produit transformé (2e et 3e gamme, les plus classiques), la stabilisation effectuée dans les heures suivant la récolte permet d'apporter au consommateur des teneurs en micronutriments plus élevées que celles qu'il pourra trouver dans un produit certes "frais" mais ayant subi une chaîne logistique d'environ une semaine, plus des transports ultérieurs avec ruptures de chaîne du froid.




Cependant les données existantes ne permettent pas de faire ce bilan intégré de façon systématique.

Les teneurs en nutriments d'intérêt à la récolte et leur évolution en cours de stockage et transformation vont différer selon les molécules concernées. On peut considérer deux classes de molécules.

La première concerne les molécules solubles et très réactives telles que la vitamine C, la vitamine B1 et les folates. Ces métabolites sont susceptibles de subir des pertes importantes lors des étapes de stockage et de transformation, en particulier lors des étapes de lavage ou en présence de liquides porteurs.

La seconde classe, au contraire, englobe des composés tels que les minéraux, les oligo-éléments et les fibres qui présentent peu d'évolution au cours de la conservation. Les ions sont cependant très hydrosolubles et peuvent être lixiviés, entraînant ainsi des pertes importantes. Les compositions ioniques peuvent également être modifiées par des ajouts, typiquement de sodium ou de calcium, au cours des procédés. Concernant les fibres alimentaires, les phénomènes majoritaires semblent être une réorganisation ainsi qu'une solubilisation partielle des fibres au cours de la maturation ou suite à des traitements thermiques. Les polyphénols quant à eux sont susceptibles d'être oxydés notamment lors de la déstructuration tissulaire et avant inactivation enzymatique par des voies technologiques ou plus lentement par auto-oxydation à des pH neutres. Ils semblent cependant globalement assez stables, à l'exception des anthocyanes. Les caroténoïdes sont des composés liposolubles et leur chauffage prolongé provoque une cis-isomérisation influençant favorablement la biodisponibilité de ces molécules.

Si on connaît assez bien maintenant la composition des fruits et légumes frais à la récolte, il reste de nombreuses inconnues sur l'évolution des micronutriments dans le temps et au cours des transformations, y compris les plus classiques. De plus, un point très peu exploré est l'effet des interactions entre ces constituants eux-mêmes (par exemple, l'oxydation des caroténoïdes est-elle modifiée en présence de polyphénols ?) et entre ces constituants et la matrice végétale. La déstructuration de cette matrice par des traitements physiques ou thermiques permet-elle une meilleure diffusion des micronutriments, ou au contraire conduit-elle à leur insolubilisation sous forme de complexes néoformés ? Une approche plus intégrative serait nécessaire pour comprendre l'impact final en termes de (bio)disponibilité.

**Tableau 2-6.** Exemples de teneurs en fibres alimentaires de quelques végétaux et impact de la conservation et du stockage.

| Espèce | Variation | TDF (mg/g ms) | SDF | IDF |
|---|---|---|---|---|
| Carotte (1) | Frais | 252-291 | 149-150 | 107-147 |
| | Stocké (6 mois) | 244-288 | 122-138 | 112-150 |
| | Frais / bouilli | 232-268 | 114-136 | 97-133 |
| | Stocké / bouilli | 230-256 | 111-130 | 105-129 |
| Carotte (2) | Frais | 294 | 164 | 130 |
| | Stocké(5 mois) | 281 | 149 | 131 |
| Pommes (3) | Frais | 145-203 | 46-63 | |
| | Stocké 4-5 mois | 160-214 | 45-70 | |
| Choux blanc (4) | Cultivar | 201-277 | 49-80 | |
| Haricots verts (5) | Frais | 40 | | |
| | Bouilli | 32.5 | | |
| | Cocotte minute | 36.8 | | |
| | Micro-onde | 35.5 | | |
| Radis (5) | Frais | 46.4 | | |
| | Bouilli | 41.3 | | |
| | Cocotte minute | 42.8 | | |
| | Microonde | 39.5 | | |

1: (Svanberg et al., 1997); 2: (Nyman et al., 2005); 3 : (Suni et al., 2000); 4 : (Wennberg et al., 2002) ; 5 : (Kala et Prakash, 2006).

**Tableau 2-7.** Exemples d'évolution des teneurs en caroténoïdes en cours de stockage et transformation.

| Produit | Traitement | Molécule(s) suivie(s) | Rétention (%) | Concentrations | Référence |
|---|---|---|---|---|---|
| Carotte | Cuisson<br>99°C, 21 min<br>100°C 17 mion | Vit A | <br>-13,6<br>-25,0 | | (Leskova et al., 2006) |
| | Crues puis 30 min à 100°, 130° et 140°C,<br><br>sans huile<br>/ avec huile | Lycopène mg/kg fw | | All-*trans*<br>Sans : 110, 96, 51, 41<br>Avec : 122, 99, 50, 45<br>Isomères *cis*<br>Sans : 10, 14, 40, 57<br>Avec : 11, 27, 55, 60 | (Mayer-Miebach et al., 2005) |
| | Crues<br>Décongelées<br>Séchées par convection :<br>60°C – 6h<br>70°C – 3,5h<br>90°C – 2h<br>Séchées par micro-ondes, 400 W -1,5h | Caroténoïdes totaux | 100<br>88<br><br>97<br>87<br>80<br><br>106 | | (Mayer-Miebach et al., 2005) |
| | Stockage 4 mois :<br>1°C<br>-24°C cru<br>-24°C cru<br>-24°C blanchi | α- et β-carotène, (mg/kg fw) | | α ; β<br>30,1 ; 72,1<br>29,5 ; 70,0<br>22,8 ; 63,6<br>25,4 ; 57,5 | (Kidmose et al., 2004) |
| | Jus<br>Non traité<br>30s, 105°C<br>Haute Pression | α- et β-carotène (mg/l) | | α ; β<br>16 ; 27<br>3 ; 9 | (Kim et al., 2001) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | (10min, 25°C)<br>100 MPa<br>600 MPa | | | 10 ; 20<br>8 ; 12 | |
| | 4e gamme<br>12 j, 5°C | Caroténoïdes totaux | 90-75% selon atmos-phère et variété | | (Alasalvar et al., 2005) |
| Epinard | 5 j, 7°C<br>(exprimé sur matière fraîche) | α-carotène, lutéine, violaxanthine, néoxanthine | 58%<br>68%<br>80%<br>76% | | (de Azevedo-Meleiro et Rodriguez-Amaya, 2005) |
| | 9 j, 10°C<br>Semis<br>Août 02<br>Juin 03<br>Juillet 03 | Caroténoïdes totaux | | Récolte ; après 9 j, en g/kg ms<br>3,3 ; 3,5<br>3,9 ; 4,1<br>3,5 ; 3,8 | (Bergquist et al., 2006) |
| | 4e gamme<br><br>4 j, 20°C<br>6 j, 10°C<br>8 j, 4°C | Caroténoïdes totaux | <br><br>44%<br>61%<br>54% | | (Pandrangi et LaBorde, 2004) |
| | <br><br>Frais<br>En conserve | Lutéine | | All-trans ; isomères cis, mg/kg ms<br>854 ; 27<br>794 ; 130 | (Updike et Schwartz, 2003) |
| Tomate | Crue<br>Après "hot-break"<br>Concentré (28-30% ms) | Caroténoïdes totaux (mg/kg ms) | | 1430<br>1318<br>1848 | (Abushira et al., 2000) |
| | Crue<br>Bouillie<br>Au four<br>Frite<br>Salade :<br>Vinaigrette<br>Huile<br>Vinaigre | Lycopène (mg/kg ms)<br>Moyenne sur 2 varités | 100%<br>86%<br>93%<br>52%<br><br>60%<br>61%<br>100% | | (Sahlin et al., 2004) |
| | Stockage depuis stade orange<br>Orange<br>21j, 4°C<br>21j, 12°C<br>21j, 20°C<br>Muri sur pied | *Trans*-lycopène ; β-carotène (mg/kg fw) | | <br>29 ; 4<br>29 ; 4<br>117 ; 9<br>176 ; 6<br>132 ; 7 | (Slimestad et Verheul, 2005) |
| | Préparation sauce tomate<br>Tomate broyée<br>Après "hot-break"<br>Après raffinage<br>Plus<br>5 min, 90°C<br>30 min, 100°C | All-trans-lycopène (mg/kg mf) | | <br>40<br>100<br>85<br><br>80<br>65 | (Lin et Chen, 2005) |
| Orange | Jus<br>Non traité<br>350 MPa, 30°C,<br>2,5 min<br>5 min<br>15 min | Caroténoïdes totaux (mg/l) | | <br>3,99<br><br>4,78<br>5,70<br>5,23 | (de Ancos et al., 2002) |

**Tableau 2-8.** Quelques exemples d'évolution des folates en cours de stockage et transformation

| Produit | Traitement | Rétention (%) | Concentration | Référence |
|---|---|---|---|---|
| Betterave | Cuisson<br>115°C 0 min<br>115°C 15 min<br>115 °C 30 min<br>115°C 45 min<br>30 min 105°C<br>30 min 125°C | | mg/kg mf<br>0,27<br>0,21<br>0,19<br>0,17<br>0,21<br>0,17 | (Jiratanan et Liu, 2004) |
| Orange | Jus :<br>600 MPa, 5min, 25°C<br>600 MPa, 5min, 80°C | <br>80-100%<br>65–80% | Tétrahydrofolate, dérivés 5-méthyl et 5 formyl | (Butz et al., 2004) |
| Fraise | Confiture<br>Coulis<br>Stockage :<br>4°C, 1j<br>4°C, 9j<br>20°C, 1j<br>20°C, 3j | 84-91%<br>79-103%<br><br>84%<br>71%<br>72%<br>62% | | (Stralsjo et al., 2003) |
| Poireaux, choux fleurs, haricots verts | Stockage, 4°C 24h<br>Blanchiment 5, 8, 6 min<br>Vapeur 5, 7, 6 min<br>HP 200 MPa 5 min<br>Congélation puis décongélation,<br>Blanchiment<br>HP puis blanchiment<br>Blanchiment puis congélation<br>Blanchiment puis HP | <br>85, 75, 107%<br>72, 90, 79%<br>74, 92 , 90%<br>19, 57, 53%<br><br>15, 35, 21%<br>15, 45, 19%<br><br>72, 84, 65%<br>62, 83, 76% | | (Melse-Boonstra et al., 2002) |
| Epinard | 4$^{e}$ gamme :<br>4j, 20°C<br>6j, 10°C<br>8j, 4°C | <br>55%<br>55%<br>48% | | (Pandrangi et LaBorde, 2004) |
| | Blanchiment :<br>eau<br>vapeur | <br>17%<br>52% | | (de Souza et Eitenmiller, 1986) |
| | 100°C, 3 min, eau<br>Microonde<br><br>Stockage :<br>20°C, 5j<br>4°C, 7j<br><br>Préparation industrielle, depuis le champ<br>Surgélation | 67%<br>86%<br><br><br>50%<br>60%<br><br><br>90%-70% | | (Scott et al., 2000) |
| Petits pois | Stockage :<br>20°C, 6j<br>4°C, 7j<br><br>Préparation industrielle, depuis le champ<br>Surgélation | <br>50%<br>90%<br><br><br>95%-85% | | (Scott et al., 2000) |

**Tableau 2-9.** Quelques exemples d'évolution de la vitamine C en cours de stockage et transformation

| Produit | Traitement | Molécule(s) suivie(s) | Rétention (%) | Concentrations | Référence |
|---|---|---|---|---|---|
| Haricot vert | Cuisson :<br>cru<br>115°C 15 min<br>115 °C 30 min<br>115°C 45 min<br>30 min 105°C<br>30 min 125°C | Acide ascorbique mg/kg mf | | <br>53<br>47<br>50<br>51<br>53<br>52 | (Jiratanan et Liu, 2004) |
| Betterave | Cuisson :<br>cru<br>115°C 15 min<br>115 °C 30 min<br>115°C 45 min<br>30 min 105°C<br>30 min 125°C | Acides ascorbique et déhydroascorbique mg/kg mf | | AA ; DHA<br>148 ; 1580<br>150 ; 1480<br>132 ; 1460<br>125 ; 1460<br>137 ; 1570<br>120 ; 1500 | (Jiratanan et Liu, 2004) |
| Epinard | Feuilles matures<br>9j, 2°C<br>9j, 10°C<br>Feuilles agées<br>9j, 2°C<br>9j, 10°C | Acides ascorbique et déhydroascorbique | AA ; DHA<br>25% ; 103%<br>Nd ; 34%<br><br>89% ; 77%<br>22% ; 75% | | (Bergquist et al., 2006) |
| | Feuilles agées<br>24j, 8°C,<br>Lumière<br>Sans lumière | Acide ascorbique | <br><br>44%<br>10% | | (Toledo et al., 2003) |
| | Conservation 10°C<br>Initial<br>3j, air<br>3j, MAP<br>7j, air<br>7j, MAP<br><br>Cuisson<br>Eau de cuisson<br>Feuilles | Acides ascorbique et déhydroascorbique, g/kg mf | | AA ; DHA<br>0,65 ; 0,1<br>0,3 ; 0,2<br>0,3 ; 0,3<br>0,1 ; 0,3<br>0,1 ; 0,6<br><br><br>0,3 ; 0,15<br>0,12 ; 0,18 | (recalculé à partir de Gil et al., 1999) |
| Orange | Conservation<br>15j, 21°C<br>15j, 1°C | | <br>80%<br>92% | | (Cortez et al., 2000) |
| | Jus<br>Champs électriques pulsés | | <br>> 85% | | (Elez-Martinez et Martin-Belloso, 2007) |
| Pommes | 4e gamme<br>Trempage acide citrique<br>Après 8j<br>Trempage acide ascorbique 1%<br>Après 1j<br>Après 8j | Acide ascorbique, g/kg ms | | <br>0,46<br>nd<br><br>9,5<br>2<br>nd | (Cocci et al., 2006) |
| Tomate | Stockée<br>9j, 25°C<br>16j, 4°C | | <br>50%<br>62% | | (Sablani et al., 2006) |
| | Stockage depuis stade orange<br>Orange<br>21j, 4°C<br>21j, 12°C<br>21j, 20°C<br>Mûri sur pied | Acide ascorbique, mg/kg mf | | <br><br>130<br>200<br>191<br>186<br>172 | (Slimestad et Verheul, 2005) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Soupe :<br>0 min<br>25 min, 100°<br><br>Au four :<br>0 min, 200°<br>45 min, 200° | Acide ascorbique, mg/kg mf | | <br>124<br>112<br><br><br>127<br>74 | (Gahler et al., 2003) |
| | Crue<br>Après "hot-break"<br>Concentré (28-30% ms) | Acide ascorbique, g/kg ms | | 3,17<br>1,96<br>1,45 | (Abushira et al., 2000) |
| | Crue<br>Bouillie<br>Au four<br>Frite<br>Salade :<br>Vinaigrette<br>Huile<br>Vinaigre | Acide ascorbique, g/kg ms<br>Moyenne sur 2 variétés | 100%<br>76%<br>78%<br>51%<br><br>47%<br>63%<br>84% | | (Sahlin et al., 2004) |
| Poivron | A la récolte :<br>Vert<br>Orange/tournant<br>Rouge<br><br>Après 10j à 20°C :<br>Vert<br>Orange/tournant<br>Rouge<br><br>Après 20j à 4°C :<br>Vert<br>Orange/tournant<br>Rouge<br><br>Après blanchiment<br>Après appertisation<br>Après congélation<br>Après blanchiment et congélation<br>Après séchage | Acide ascorbique g/kg mf<br><br><br><br>En % du récolté rouge<br><br><br><br>En % du récolté rouge | <br><br><br><br><br>100%<br>100%<br>75%<br><br><br>70%<br>84%<br>85%<br><br>88%<br>75-80%<br>60%<br><br>87%<br>12% | <br>1,07<br>1,30<br>1,54 | (Martinez et al., 2005) |

# Références bibliographiques

## Variabilité génétique


Basset, G. J. C., Quinlivan, E. P., Ravanel, S., Rebeille, F., Nichols, B. P., Shinozaki, K., Seki, M., Adams-Phillips, L. C., Giovannoni, J. J., Gregory, J. F., and Hanson, A. D. (2004). Foliate synthesis in plants: The p-aminobenzoate branch is initiated by a bifunctional PabA-PabB protein that is targeted to plastids. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **101**(6)**,** 1496-1501.

Bastianelli, D., Grosjean, F., Peyronnet, C., Duparque, M., and Regnier, J. M. (1998). Feeding value of pea (Pisum sativum, L.). 1. Chemical composition of different categories of pea. *Animal Science* **67**(3)**,** 609-619.

Botella-Pavia, P., and Rodriguez-Concepcion, M. (2006). Carotenoid biotechnology in plants for nutritionally improved foods. *Physiologia Plantarum* **126**(3)**,** 369-381.

Bovy, A., de Vos, R., Kemper, M., Schijlen, E., Pertejo, M. A., Muir, S., Collins, G., Robinson, S., Verhoeyen, M., Hughes, S., Santos-Buelga, C., and van Tunen, A. (2002). High-flavonol tomatoes resulting from the heterologous expression of the maize transcription factor genes LC and C1. *Plant Cell* **14**(10)**,** 2509-2526.

Brandt, S., Lugasi, A., Barna, E., Hovari, J., Pek, Z., and Helyes, L. (2003). Effects of the growing methods and conditions on the lycopene content of tomato fruits. *Acta Alimentaria* **32**(3)**,** 269-278.

Breene, W. M. (1994). Healthfulness and nutritional quality of fresh versus processed fruits and vegetables : a review. Foodservice Research International, 8 1-45.

Brinch-Pedersen, H., Sorensen, L. D., and Holm, P. B. (2002). Engineering crop plants: getting a handle on phosphate. *Trends in Plant Science* **7**(3)**,** 118-125.

Byrne, D. H. (2005). Trends in stone fruit cultivar development. *Horttechnology* **15**(3)**,** 494-500.

Caldwell, C. R. (2003). Alkylperoxyl radical scavenging activity of red leaf lettuce (Lactuca sativa L.) phenolics. *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(16)**,** 4589-4595.

Calvo, M. M. (2005). Lutein: A valuable ingredient of fruit and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **45**(7-8)**,** 671-696.

Carrari, F., Baxter, C., Usadel, B., Urbanczyk-Wochniak, E., Zanor, M. I., Nunes-Nesi, A., Nikiforova, V., Centero, D., Ratzka, A., Pauly, M., Sweetlove, L. J., and Fernie, A. R. (2006). Integrated analysis of metabolite and transcript levels reveals the metabolic shifts that underlie tomato fruit development and highlight regulatory aspects of metabolic network behavior. *Plant Physiology* **142**(4)**,** 1380-1396.

Causse, M., Buret, M., Robini, K., and Verschave, P. (2003). Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science* **68**(7)**,** 2342-2350.

Causse, M., Saliba-Colombani, V., Lecomte, L., Duffe, P., Rousselle, P., and Buret, M. (2002). QTL analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *Journal of Experimental Botany* **53**(377)**,** 2089-2098.

Cevallos-Casals, B. A., Byrne, D., Okie, W. R., and Cisneros-Zevallos, L. (2006). Selecting new peach and plum genotypes rich in phenolic compounds and enhanced functional properties. *Food Chemistry* **96**(2)**,** 273-280.

Cox, S. E., Stushnoff, C., and Sampson, D. A. (2003). Relationship of fruit color and light exposure to lycopene content and antioxidant properties of tomato. *Canadian Journal of Plant Science* **83**(4)**,** 913-919.

Dalal, M., Dani, R. G., and Kumar, P. A. (2006). Current trends in the genetic engineering of vegetable crops. *Scientia Horticulturae* **107**(3)**,** 215-225.

Datta, K., Baisakh, N., Oliva, N., Torrizo, L., Abrigo, E., Tan, J., Rai, M., Rehana, S., Al-Babili, S., Beyer, P., Potrykus, I., and Datta, S. K. (2003). Bioengineered 'golden' indica rice cultivars with beta-carotene metabolism in the endosperm with hygromycin and mannose selection systems. *Plant Biotechnology Journal* **1**(2)**,** 81-90.

Davey, M. W., Kenis, K., and Keulemans, J. (2006). Genetic control of fruit vitamin C contents. *Plant Physiology* **142**(1)**,** 343-351.

Davey, M. W., and Keulemans, J. (2004). Determining the potential to breed for enhanced antioxidant status in Malus: Mean inter- and intravarietal fruit vitamin C and glutathione contents at harvest and their evolution during storage. *Journal of agricultural and food chemistry* **52**(26)**,** 8031-8038.

Davey, M. W., Stals, E., Ngoh-Newilah, G., Tomekpe, K., Lusty, C., Markham, R., Swennen, R., and Keulemans, J. (2007). Sampling strategies and variability in fruit pulp micronutrient contents of West and Central African bananas and plantains (Musa species). *Journal of agricultural and food chemistry* **55**(7)**,** 2633-2644.

Davies, J. N., and Hobson, G. E. (1981). The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **15**(3)**,** 205-280.

Davuluri, G. R., Tuinen, A., Mustilli, A. C., Manfredonia, A., Newman, R., Burgess, D., Brummell, D. A., King, S. R., Palys, J., Uhlig, J., Pennings, H. M. J., and Bowler, C. (2004). Manipulation of DET1 expression in tomato results in photomorphogenic phenotypes caused by post-transcriptional gene silencing. *Plant Journal* **40**(3) **,** 344-354.

de Mejia, E. G., Guzman-Maldonado, S. H., Acosta-Gallegos, J. A., Reynoso-Camacho, R., Ramirez-Rodriguez, E., Pons-Hernandez, J. L., Gonzalez-Chavira, M. M., Castellanos, J. Z., and Kelly, J. D. (2003). Effect of cultivar and growing location on the trypsin inhibitors, tannins, and lectins of common beans (Phaseolus vulgaris L.) grown in the semiarid highlands of Mexico. *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(20)**,** 5962-5966.

Diaz de la Garza, R., Quinlivan, E. P., Klaus, S. M. J., Basset, G. J. C., Gregory, J. F., 3rd, and Hanson, A. D. (2004). Folate biofortification in tomatoes by engineering the pteridine branch of folate synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **101**(38).

Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., and Boras, M. (2007). The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chemistry* **102**(3)**,** 966-975.

Drewnowski, A., and Gomez-Carneros, C. (2000). Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *American Journal of Clinical Nutrition* **72**(6)**,** 1424-1435.

Dupont, M. S., Mondin, Z., Williamson, G., and Price, K. R. (2000). Effect of variety, processing, and storage on the flavonoid glycoside content and composition of lettuce and endive. *Journal of agricultural and food chemistry* **48**(9)**,** 3957-3964.

Espinosa-Alonso, L. G., Lygin, A., Widholm, J. M., Valverde, M. E., and Paredes-Lopez, O. (2006). Polyphenols in wild and weedy Mexican common beans (Phaseolus vulgaris L.). *Journal of agricultural and food chemistry* **54**(12)**,** 4436-4444.

Fanciullino, A. L., Dhuique-Mayer, C., Luro, F., Casanova, J., Morillon, R., and Ollitrault, P. (2006). Carotenoid diversity in cultivated citrus is highly influenced by genetic factors. *Journal of agricultural and food chemistry* **54**(12)**,** 4397-4406.

Farnham, M., Simon, P., and Stommel, J. (1999). Improved phytonutrient content through plant genetic improvement. *Nutrition reviews* **57,** s19-26.

Farnham, M. W., Stephenson, K. K., and Fahey, J. W. (2000). Capacity of broccoli to induce a mammalian chemoprotective enzyme varies among inbred lines. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **125**(4)**,** 482-488.

Fernandez-Ruiz, V., Sanchez-Mata, M. C., Camara, M., Torija, M. E., Chaya, C., Galiana-Balaguer, L., Rosello, S., and Nuez, F. (2004). Internal quality characterization of fresh tomato fruits. *Hortscience* **39**(2)**,** 339-345.

Fraser, P., and Bramley, P. (2004). The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in lipid research* **43**(3)**,** 228-265.

Galiana-Balaguer, L., Rosello, S., and Nuez, F. (2006). Characterization and selection of balanced sources of variability for breeding tomato (Lycopersicon) internal quality. *Genetic Resources and Crop Evolution* **53**(5)**,** 907-923.

Gao, Z. S., van de Weg, W. E., Schaart, J. G., van Arkel, G., Breiteneder, H., Hoffmann-Sommergruber, K., and Gilissen, L. (2005). Genomic characterization and linkage mapping of the apple allergen genes Mal d 2 (thaumatin-like protein) and Mal d 4 (profilin). *Theoretical and Applied Genetics* **111**(6)**,** 1087-1097.

Gauciene, O. (1998). Carrot hybrid 'Svalia F1'. *Biologija*(No.1)**,** 32-33.

Giliberto, L., Perrotta, G., Pallara, P., Weller, J. L., Fraser, P. D., Bramley, P. M., Fiore, A., Tavazza, M., and Giuliano, G. (2005). Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. *Plant Physiology* **137**(1)**,** 199-208.

Giuntini, D., Graziani, G., Lercari, B., Fogliano, V., Soldatini, G. F., and Ranieri, A. (2005). Changes in carotenoid and ascorbic acid contents in fruits of different tomato genotypes related to the depletion of UV-B radiation. *Journal of agricultural and food chemistry* **53**(8)**,** 3174-3181.

Gorinstein, S., Martin-Belloso, O., Lojek, A., Ciz, M., Soliva-Fortuny, R., Park, Y., Caspi, A., Libman, I., and Trakhtenberg, S. (2002). Comparative content of some phytochemicals in Spanish apples, peaches and pears. *Journal of the science of food and agriculture* **82**(10)**,** 1166-1170.

Graham, R., Senadhira, D., Beebe, S., Iglesias, C., and Monasterio, I. (1999). Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field Crops Research* **60**(1-2)**,** 57-80.

Granges, A., Gillioz, J. M., Quentin, H., and Ahmed, O. (2006). Old tomato varieties: agronomic, analytical and taste values. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture* **38**(2)**,** 97-103.

Gur, A., and Zamir, D. (2004). Unused natural variation can lift yield barriers in plant breeding. *Plos Biology* **2**(10)**,** 1610-1615.

Hakala, M., Lapvetelainen, A., Huopalahti, R., Kallio, H., and Tahvonen, R. (2003). Effects of varieties and cultivation conditions on the composition of strawberries. *Journal of food composition and analysis* **16**(1)**,** 67-80.

Hanson, P. M., Yang, R. Y., Tsou, S. C. S., Ledesma, D., Engle, L., and Lee, T. C. (2006). Diversity in eggplant (Solanum melongena) for superoxide scavenging activity, total phenolics, and ascorbic acid. *Journal of food composition and analysis* **19**(6-7)**,** 594-600.

Hanson, P. M., Yang, R. Y., Wu, J., Chen, J. T., Ledesma, D., Tsou, S. C. S., and Lee, T. C. (2004). Variation for antioxidant activity and antioxidants in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **129**(5)**,** 704-711.

Hohl, U., Neubert, B., Pforte, H., Schonof, I., and Bohm, H. (2001). Flavonoid concentrations in the inner leaves of head lettuce genotypes. *European Food Research and Technology* **213**(3)**,** 205-211.

Hornero-Mendez, D., Costa-Garcia, J., and Minguez-Mosquera, M. I. (2002). Characterization of carotenoid high-producing Capsicum annuum cultivars selected for paprika production. *Journal of agricultural and food*

*chemistry* **50**(20)**,** 5711-5716.
Hornero-Mendez, D., de Guevara, R. G. L., and Minguez-Mosquera, M. I. (2000). Carotenoid biosynthesis changes in five red pepper (Capsicum annuum L.) cultivars during ripening. Cultivar selection for breeding. *Journal of agricultural and food chemistry* **48**(9)**,** 3857-3864.
Ishikawa, T., Dowdle, J., and Smirnoff, N. (2006). Progress in manipulating ascorbic acid biosynthesis and accumulation in plants. *Physiologia Plantarum* **126**(3)**,** 343-355.
Jeffery, E. H., Brown, A. F., Kurilich, A. C., Keck, A. S., Matusheski, N., Klein, B. P., and Juvik, J. A. (2003). Variation in content of bioactive components in broccoli. *Journal of food composition and analysis* **16**(3)**,** 323-330.
Just, B., Santos, C., Fonseca, M., Boiteux, L. S., Oloizia, B., and Simon, P. (2007). Carotenoid biosynthesis structural genes in carrot (Daucus carota): isolation, sequence-characterization, single nucleotide polymorphism (SNP) markers and genome mapping. *Theoretical and Applied Genetics* **114**(4)**,** 693-704.
Kim, D. O., Padilla-Zakour, O. I., and Griffiths, P. D. (2004). Flavonoids and antioxidant capacity of various cabbage genotypes at juvenile stage. *Journal of Food Science* **69**(9)**,** C685-C689.
Kurilich, A. C., Tsau, G. J., Brown, A. F., Howard, L., Klein, B. P., Jeffery, E. H., Kushad, M. M., Wallig, M. A., and Juvik, J. A. (1999). Carotene, tocopherol and ascorbate contents in subspecies of Brassica oleracea. *Journal of agricultural and food chemistry* **47**(4)**,** 1579-1581.
Kushad, M. M., Brown, A. F., Kurilich, A. C., Juvik, J. A., Klein, B. P., Wallig, M. A., and Jeffery, E. H. (1999). Variation of glucosinolates in vegetable crops of Brassica oleracea. *Journal of agricultural and food chemistry* **47**(4)**,** 1541-1548.
Kushad, M. M., Cloyd, R., and Babadoost, M. B. (2004). Distribution of glucosinolates in ornamental cabbage and kale cultivars. *Scientia Horticulturae* **101**(3)**,** 215-221.
Kuti, J. O., and Konuru, H. B. (2005). Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **85**(12)**,** 2021-2026.
Lang, Y. Q., Yanagawa, S., Sasanuma, T., and Sasakuma, T. (2004). Orange fruit color in Capsicum due to deletion of capsanthin-capsorubin synthesis gene. *Breeding Science* **54**(1)**,** 33-+.
Lata, B. (2007). Relationship between apple peel and the whole fruit antioxidant content: Year and cultivar variation. *Journal of agricultural and food chemistry* **55**(3)**,** 663-671.
Lauterslager, T. G. M., Florack, D. E. A., van der Wal, T. J., Molthoff, J. W., Langeveld, J. P. M., Bosch, D., Boersma, W. J. A., and Hilgers, L. A. T. (2001). Oral immunisation of naive and primed animals with transgenic potato tubers expressing LT-B. *Vaccine* **19**(17-19)**,** 2749-2755.
Le Gall, G., DuPont, M. S., Mellon, F. A., Davis, A. L., Collins, G. J., Verhoeyen, M. E., and Colquhoun, I. J. (2003). Characterization and content of flavonoid glycosides in genetically modified tomato (Lycopersicon esculentum) fruits. *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(9)**,** 2438-2446.
Lecomte, L., Duffé, P., Buret, M., Servin, B., Hospital, F., and Causse, M. (2004). Marker-assisted introgression of 5 QTLs controlling fruit quality traits into three tomato lines revealed interactions between QTLs and genetic backgrounds. *Theoretical and Applied Genetics* **109**(3)**,** 658-668.
Lenucci, M. S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G., and Dalessandro, G. (2006). Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *Journal of agricultural and food chemistry* **54**(7)**,** 2606-2613.
Lerceteau-Kohler, E., Moing, A., Guerin, G., Renaud, C., Courlit, S., Camy, D., Praud, K., Parisy, V., Bellec, F., Maucourt, M., Rolin, D., Roudeillac, P., and Denoyes-Rothan, B. (2004). QTL analysis for fruit quality traits in octoploid strawberry (Fragaria x ananassa). Proceedings of the Eleventh Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics, Angers, France,. *Acta Horticulturae* **663**(1)**,** 331-335.
Levin, I., Lalazar, A., Bar, M., and Schaffer, A. A. (2004). Non GMO fruit factories strategies for modulating metabolic pathways in the tomato fruit. *Industrial Crops and Products* **20** (1)**,** 29-36.
Liu, Y., Gur, A., Ronen, G., Causse, M., Damidaux, R., Buret, M., Hirschberg, J., and Zamir, D. (2003). There is more to tomato fruit colour than candidate carotenoid genes. *Plant Biotechnology Journal* **1**(3)**,** 195-207.
Liu, Y., Roof, S., Ye, Z., Barry, C., van Tuinen, A., Vrebalov, J., Bowler, C., and Giovannoni, J. (2004). Manipulation of light signal transduction as a means of modifying fruit nutritional quality in tomato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **101**(26)**,** 9897-9902.
Long, M., Millar, D. J., Kimura, Y., Donovan, G., Rees, J., Fraser, P. D., Bramley, P. M., and Bolwell, G. P. (2006). Metabolite profiling of carotenoid and phenolic pathways in mutant and transgenic lines of tomato: Identification of a high antioxidant fruit line. *Phytochemistry* **67**(16)**,** 1750-1757.
López-Torrejón, G., Crespo, J. F., Sánchez-Monge, R., Sánchez-Jiménez, M., Alvarez, J., Rodriguez, J., and Salcedo, G. (2005). Allergenic reactivity of the melon profilin Cuc m 2 and its identification as major allergen. *Clinical and experimental allergy* **35,** 1065-1072.
Makris, D., Kallithraka, S., and Kefalas, P. (2006). Flavonols in grapes, grape products and wines: Burden, profile and influential parameters. *Journal of food composition and analysis* **19**(5)**,** 396-404.
Mezzetti, B., Landi, L., Pandolfini, T., and Spena, A. (2004). The defH9-iaaM auxin-synthesizing gene increases plant fecundity and fruit production in strawberry and raspberry. *BMC Biotechnology* **4**(4).
Mogren, L. M., Olsson, M. E., and Gertsson, U. E. (2006). Quercetin content in field-cured onions (Allium cepa L.): Effects of cultivar, lifting time, and nitrogen fertilizer level. *Journal of agricultural and food chemistry* **54**(17)**,** 6185-6191.
Moing, A., Poessel, J. L., Svanella-Dumas, L., Loonis, M., and Kervella, J. (2003). Biochemical basis of low fruit quality of Prunus davidiana, a pest and disease resistance donor for peach breeding. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **128**(1)**,** 55-62.
Monforte, A. J., Friedman, E., Zamir, D., and Tanksley, S. D. (2001). Comparison of a set of allelic QTL-NILs for

chromosome 4 of tomato: Deductions about natural variation and implications for germplasm utilization. *Theoretical and Applied Genetics* **102**(4)**,** 572-590.
Mou, B. Q. (2005). Genetic variation of beta-carotene and lutein contents in lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **130**(6)**,** 870-876.
Murtaza, I., Beigh, G. M., Shah, T. A., Hussain, A., Khan, A. A., and Kaur, C. (2005). Antioxidant activity and total phenolic content of kale genotypes grown in Kashmir valley. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* **14**(2)**,** 215-217.
Navazio, J. P., and Simon, P. W. (2001). Diallel analysis of high carotenoid content in cucumbers. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **126**(1)**,** 100-104.
Nicolle, C., Simon, G., Rock, E., Amouroux, P., and Remesy, C. (2004). Genetic variability influences carotenoid, vitamin, phenolic, and mineral content in white, yellow, purple, orange, and dark-orange carrot cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **129**(4)**,** 523-529.
Nunes-Nesi, A., Carrari, F., Lytovchenko, A., Smith, A., Loureiro, M., Ratcliffe, R., Sweetlove, L., and Fernie, A. (2005). Enhanced photosynthetic performance and growth as a consequence of decreasing mitochondrial malate dehydrogenase activity in transgenic tomato plants. *Plant Physiology* **137**(2)**,** 611-622.
Pirlak, L., Guleryuz, M., Aslantas, R., and Esitken, A. (2003). Promising native summer apple (Malus domestica) cultivars from north-eastern Anatolia, Turkey. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* **31**(4)**,** 311-314.
Pitrat, M., and Foury, C. (2003). Histoire des légumes, des origines à l'orée du XXIe siècle. 410 p, INRA editions.
Prasad, B., Kumar, V., and Gururaj, H. (2006). Characterization of capsaicin synthase and identification of its gene (csy1) for pungency factor capsaicin in pepper (Capsicum sp.). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **103** (36)**,** 13315-13320.
Premier, R. (2002). Phytochemical composition: A paradigm shift for food-health considerations. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* **11,** S197-S201.
Radovich, T. J. K., Kleinhenz, M. D., Streeter, J. G., Miller, A. R., and Scheerens, J. C. (2005). Planting date affects total glucosinolate concentrations in six commercial cabbage cultivars. *Hortscience* **40**(1)**,** 106-110.
Ramandeep, K., Savage, G. P., and Dutta, P. C. (2002). Antioxidant vitamins in four commercially grown tomato cultivars. *Proceedings of the Nutrition Society of New Zealand* **27,** 69-74.
Reay, P. F., Fletcher, R. H., and Thomas, V. J. G. (1998). Chlorophylls, carotenoids and anthocyanin concentrations in the skin of 'Gala' apples during maturation and the influence of foliar applications of nitrogen and magnesium. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **76**(1)**,** 63-71.
Rekika, D., Khanizadeh, S., Deschenes, M., Levasseur, A., Charles, M. T., Tsao, R., and Yang, R. (2005). Antioxidant capacity and phenolic content of selected strawberry genotypes. *Hortscience* **40**(6)**,** 1777-1781.
Renard, C., Dupont, N., and Guillermin, P. (2007). Concentrations and characteristics of procyanidins and other phenolics in apples during fruit growth. *Phytochemistry* **68**(8)**,** 1128-1138.
Robbins, R. J., Keck, A. S., Banuelos, G., and Finley, J. W. (2005). Cultivation conditions and selenium fertilization alter the phenolic profile, glucosinolate, and sulforaphane content of broccoli. *Journal of Medicinal Food* **8**(2)**,** 204-214.
Rommens, C. M., Humara, J. M., Ye, J. S., Yan, H., Richael, C., Zhang, L., Perry, R., and Swords, K. (2004). Crop improvement through modification of the plant's own genome. *Plant Physiology* **135**(1)**,** 421-431.
Ronen, G., Carmel-Goren, L., Zamir, D., and Hirschberg, J. (2000). An alternative pathway to beta-carotene formation in plant chromoplasts discovered by map-based cloning of Beta and old-gold color mutations in tomato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **97**(20)**,** 11102-11107.
Ronen, G., Cohen, M., Zamir, D., and Hirschberg, J. (1999). Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: Expression of the gene for lycopene epsilon-cyclase is down-regulated during ripening and is elevated in the mutant Delta. *Plant journal* **17**(4)**,** 341-351.
Rosa, E., and Heaney, R. (1996). Seasonal variation in protein, mineral and glucosinolate composition of Portuguese cabbages and kale. *Animal Feed Science and Technology* **57**(1-2)**,** 111-127.
Rousseaux, M. C., Jones, C. M., Adams, D., Chetelat, R., Bennett, A., and Powell, A. (2005). QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using Lycopersicon pennellii introgression lines. *Theoretical and Applied Genetics* **111**(7)**,** 1396-1408.
Ruhmann, S., Treutter, D., Fritsche, S., Briviba, K., and Szankowski, I. (2006). Piceid (resveratrol glucoside) synthesis in stilbene synthase transgenic apple fruit. *Journal of agricultural and food chemistry* **54**(13)**,** 4633-4640.
Sanoner, P., Guyot, S., Marnet, N., Molle, D., and Drilleau, J. (1999). Polyphenol Profiles of French Cider Apple Varieties (Malus domestica sp.). *Journal of agricultural and food chemistry* **47**(12)**,** 4847-4853.
Santos, C. A. F., and Simon, P. W. (2002). QTL analyses reveal clustered loci for accumulation of major provitamin A carotenes and lycopene in carrot roots. *Molecular Genetics and Genomics* **268**(1)**,** 122-129.
Santos, C. A. F., and Simon, P. W. (2006). Heritabilities and minimum gene number estimates of carrot carotenoids. *Euphytica* **151**(1)**,** 79-86.
Scalzo, J., Mezzetti, B., and Battino, M. (2005). Total antioxidant capacity evaluation: Critical steps for assaying berry antioxidant features. *Biofactors* **23**(4)**,** 221-227.
Scalzo, J., Politi, A., Pellegrini, N., Mezzetti, B., and Battino, M. (2005). Plant genotype affects total antioxidant

capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition* **21**(2)**,** 207-213.
Schmitz-Eiberger, M., Weber, V., Treutter, D., Baab, G., and Lorenz, J. (2003). Bioactive components in fruits from different apple varieties. *Journal of Applied Botany* **77**(5-6)**,** 167-171.
Schreiner, M. (2005). Vegetable crop management strategies to increase the quantity of phytochemicals. *European Journal of Nutrition* **44**(2)**,** 85-94.
Siegenberg, D., Baynes, R. D., Bothwell, T. H., Macfarlane, B. J., Lamparelli, R. D., Car, N. G., Macphail, P., Schmidt, U., Tal, A., and Mayet, F. (1991). Ascorbic acid prevents the dose-dependent inhibitory effects of polyphenols and phytates on nonheme-iron absorption. *The American journal of clinical nutrition* **53**(2)**,** 537-541.
Simonne, A., Simonne, E., Eitenmiller, R., and Coker, C. H. (2002). Bitterness and composition of lettuce varieties grown in the southeastern United States. *Horttechnology* **12**(4)**,** 721-726.
Singh, J., Upadhyay, A. K., Prasad, K., Bahadur, A., and Rai, M. (2007). Variability of carotenes, vitamin C, E and phenolics in Brassica vegetables. *Journal of food composition and analysis* **20**(2)**,** 106-112.
Stevens, R., Buret, M., Duffé, P., Garchery, C., Baldet, P., Rothan, C., and Causse, M. (2007). Candidate Genes and Quantitative Trait Loci Affecting Fruit Ascorbic Acid Content in Three Tomato Populations. *Plant Physiology* **143**(4)**,** 1943-1953.
Stevens, R., Buret, M., Garchery, C., Carretero, Y., and Causse, M. (2006). Technique for rapid, small-scale analysis of vitamin C levels in fruit and application to a tomato mutant collection. *Journal of agricultural and food chemistry* **54**(17)**,** 6159-6165.
Stommel, J. R. (2001). USDA 97L63, 97L66, and 97L97: Tomato breeding lines with high fruit beta-carotene content. *Hortscience* **36**(2)**,** 387-388.
Storozhenko, S., Ravanel, S., Zhang, G., Rébeillé, F., Lambert, W., and Van Der Straeten, D. (2005). Folate enhancement in staple crops by metabolic engineering. *Trends in Food Science & Technology* **16**(6-7)**,** 271-281.
Taguchi, H., Watanabe, S., Hirao, T., Akiyama, H., Sakai, S., Watanabe, T., Matsuda, R., Urisu, A., and T Maitani, T. (2007). Specific Detection of Potentially Allergenic Kiwifruit in Foods Using Polymerase Chain Reaction. *Journal of agricultural and food chemistry* **55**(5)**,** 1649-1655.
Thorup, T., Tanyolac, B., Livingstone, K., Popovsky, S., Paran, I., and Jahn, M. (2000). Candidate gene analysis of organ pigmentation loci in the Solanaceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **97**(21)**,** 11192-11197.
Tieman, D. M., Zeigler, M., Schmelz, E. A., Taylor, M. G., Bliss, P., Kirst, M., and Klee, H. J. (2006). Identification of loci affecting flavour volatile emissions in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany* **57**(4)**,** 887-896.
Tikunov, Y., Lommen, A., de Vos, C., Verhoeven, H., Bino, R., Hall, R., and Bovy, A. (2005). A novel approach for nontargeted data analysis for metabolomics. Large-scale profiling of tomato fruit volatiles. *Plant Physiology* **139**(3)**,** 1125-1137.
Topuz, A., Topakci, M., Canakci, M., Akinci, I., and Ozdemir, F. (2005). Physical and nutritional properties of four orange varieties. *Journal of Food Engineering* **66**(4)**,** 519-523.
Tsai, H., Chang, S. K. C., and Chang, S.-J. (2007). Antioxidant Content and Free Radical Scavenging Ability of Fresh Red Pummelo [Citrus grandis (L.) Osbeck] Juice and Freeze-Dried Products. *Journal of agricultural and food chemistry* **55**(8)**,** 2867-2872.
Tucker, G. (2003). Nutritional enhancement of plants. *Current Opinion in Biotechnology* **14**(2)**,** 221-225.
Velasco, P., Cartea, M. E., Gonzalez, C., Vilar, M., and Ordas, A. (2007). Factors Affecting the Glucosinolate Content of Kale (Brassica oleracea acephala Group). *Journal of agricultural and food chemistry* **55**(3)**,** 955-962.
Vetten, N. d., Wolters, A. M., Raemakers, K., Meer, I. v. d., Stege, R. t., Heeres, E., Heeres, P., and Visser, R. (2003). A transformation method for obtaining marker-free plants of a cross-pollinating and vegetatively propagated crop. *Nature Biotechnology* **21**(4)**,** 439-442.
Vursavus, K., Kelebek, H., and Selli, S. (2006). A study on some chemical and physico-mechanic properties of three sweet cherry varieties (Prunus avium L.) in Turkey. *Journal of Food Engineering* **74**(4)**,** 568-575.
Willits, M., Kramer, C. M., Prata, R., De Luca, V., Potter, B., Steffens, J., and Graser, G. (2005). Utilization of the Genetic Resources of Wild Species To Create a Nontransgenic High Flavonoid Tomato. *Journal of agricultural and food chemistry* **55**(4)**,** 1231-1236.
Wold, A., Rosenfeld, H., Holte, K., Baugerød, H., Blomhoff, R., and Haffner, K. (2004). Colour of post-harvest ripened and vine ripened tomatoes (Lycopersicon esculentum Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition. *International journal of food science & technology* **39**(3)**,** 295-302.
Yang, J., Meyers, K. J., Van der Heide, J., and Liu, R. H. (2004). Varietal differences in phenolic content and antioxidant and anti proliferative activities of onions. *Journal of agricultural and food chemistry* **52**(22)**,** 6787-6793.

## Itinéraire Technique

AFSSA (2003). Evaluation nutritionnelle et sanitaire des aliments issus de l'agriculture biologique. 233 p., Rapport AFSSA.
Ahn, T., Oke, M., Schofield, A., and Paliyath, G. (2005). Effects of phosphorus fertilizer supplementation on

antioxidant enzyme activities in tomato fruits. *Journal of agricultural and food chemistry* **53**(5)**,** 1539-1545.
Ancion, F. (2005). Etude de la filière des fruits et légumes biologiques : rapport final. 54 p., Bioforum Wallonie.
Atkinson, D., Burnett, F., Foster, G., Litterick, A., Mullay, M., and Watson, C. (2002). The minimisation of pesticide residues in food : a review of the published litterature. 144 p., Food Standard Agency.
Auclair, L., Zee, J. A., Karam, A., and Rochat, E. (1995). Nutritive value, organoleptic quality and productivity of greenhouse tomatoes in relation to production method: organic - conventional - hydroponic. *Sciences des Aliments* **15**(6)**,** 511-528.
Babik, I., and Elkner, K. (2002). The effect of nitrogen fertilization and irrigation on yield and quality of broccoli. *Acta Horticulturae*(571)**,** 33-43.
Brandt, K., and Mölgaard, J. (2001). Organic agriculture : does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods ? *Journal of the Science of Food and Agriculture* **81**(9)**,** 924-931.
Brandt, S., Lugasi, A., Barna, E., Hovari, J., Pek, Z., and Helyes, L. (2003). Effects of the growing methods and conditions on the lycopene content of tomato fruits. *Acta Alimentaria* **32**(3)**,** 269-278.
Brecht, J. K., Saltveit, M. E., Talcott, S. T., Schneider, K. R., Felkey, K., and Bartz, J. A. (2004). Fresh-cut vegetables and fruits. *Horticultural Reviews* **30,** 185-251.
Breene, W. M. (1994). Healthfulness and nutritional quality of fresh versus processed fruits and vegetables : a review. Foodservice Research International, 8 1-45.
Carbonaro, M., Mattera, M., Nicoli, S., Bergamo, P., and Cappelloni, M. (2002). Modulation of antioxidant compounds in organic vs conventional fruit (peach, Prunus persica L., and pear, Pyrus communis L.). *Journal of agricultural and food chemistry* **50**(19)**,** 5458-5462.
Caris-Veyrat, C., Amiot, M. J., Tyssandier, V., Grasselly, D., Buret, M., Mikolajczak, M., Guilland, J. C., Bouteloup-Demange, C., and Borel, P. (2004). Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant microconstituent content of tomatoes and derived purees; Consequences on antioxidant plasma status in humans. *Journal of agricultural and food chemistry* **52**(21)**,** 6503-6509.
Caspell, N., Drakes, D., and O'Neill, T. (2006). Pesticide residues minimisation crop guide : tomatoes. 51 p., Food Standards Agency.
Charron, C., Kopsell, D., Randle, W., and Sams, C. (2001). Sodium selenate fertilisation increases selenium accumulation and decreases glucosinolate concentration in rapid-cycling Brassica oleracea. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **81**(9)**,** 962-966.
Conversa, G., Santamaria, P., Carofiglio, O., Gonnella, M., and Parente, A. (2003). Response of cherry tomato to the electrical conductivity of the nutrient solution. *Acta Horticulturae*(609)**,** 159-164.
de Pascale, S., Maggio, A., Fogliano, V., Ambrosino, P., and Ritieni, A. (2001). Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* **76**(4)**,** 447-453.
Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., and Boras, M. (2007). The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chemistry* **102**(3)**,** 966-975.
Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., and Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **83**(5)**,** 369-382.
Elkner, K., Kaniszewski, S., and Dysko, J. (2004). Effect of fertigation on the content of ascorbic acid, carotenoids and dietary fiber in tomato fruits. *Vegetable Crops Research Bulletin* **61,** 69-77.
Finley, J. (2005). Bioactive compounds and designer plant foods : the need for clear guidelines to evaluate potential benefits to human health. *Chronica Horticulturae* **45**(3)**,** 6-11.
Finley, J. W. (2005). Proposed criteria for assessing the efficacy of cancer reduction by plant foods enriched in carotenoids, glucosinolates, polyphenols and selenocompounds. *Annals of Botany* **95**(7)**,** 1075-1096.
Gallia, V. (2007). Comparaison technico-économique de vergers de pêchers menés en PFI et en bio. Bilan en 6ème feuille, *Rencontres fruits biologiques ITAB / CTIFL*
Gallia, V., Mathieu, K., and Luzenfichter, D. (2005). Abricotier. Comparaison des itinéraires PFI et AB. *Fiches SERFEL***,** 6 p.
Gallia, V., Mathieu, K., and Luzenfichter, D. (2005). Pêcher. Comparaison des itinéraires PFI et AB. *Fiches SERFEL***,** 6 p.
Gautier, H., Rocci, A., Grasselly, D., Buret, M., and Causse, M. (2005). Effect of adding heating pipes on the temperature and the physical and chemical traits of tomato fruits. *Acta Horticulturae* **691**(1)**,** 59-66.
Gross, J. (1991). Pigments in vegetables. 351 p., Van Nostrand Reinhold, New York.
Giuntini, D., Graziani, G., Lercari, B., Fogliano, V., Soldatini, G. F., and Ranieri, A. (2005). Changes in carotenoid and ascorbic acid contents in fruits of different tomato genotypes related to the depletion of UV-B radiation. *Journal of agricultural and food chemistry* **53**(8)**,** 3174-3181.
Hartikainen, H., Ekholm, P., Piironen, V., Xue, T. L., Koivu, T., and Yli-Halla, M. (1997). Quality of the ryegrass and lettuce yields as affected by selenium fertilization. *Agricultural and Food Science in Finland* **6**(5-6)**,** 381-387.
Idso, S. B., Kimball, B. A., Shaw, P. E., Widmer, W., Vanderslice, J. T., Higgs, D. J., Montanari, A., and Clark, W. D. (2002). The effect of elevated atmospheric CO2 on the vitamin C concentration of (sour) orange juice. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **90**(1)**,** 1-7.
Ju, Z., Duan, Y., and Ju, Z. (1999). Effects of covering the orchard floor with reflecting films on pigment accumulation and fruit coloration in 'Fuji' apples. *Scientia Horticulturae* **82**(1/2)**,** 47-56.

Kim, D. O., Padilla-Zakour, O. I., and Griffiths, P. D. (2004). Flavonoids and antioxidant capacity of various cabbage genotypes at juvenile stage. *Journal of Food Science* **69**(9)**,** C685-C689.
Kobryn, J., and Hallmann, E. (2005). The effect of nitrogen fertilization on the quality of three tomato types cultivated on rockwool. *Acta Horticulturae* **691**(1)**,** 341-348.
Kushad, M. M., Cloyd, R., and Babadoost, M. B. (2004). Distribution of glucosinolates in ornamental cabbage and kale cultivars. *Scientia Horticulturae* **101**(3)**,** 215-221.
Lata, B. (2007). Relationship between apple peel and the whole fruit antioxidant content: Year and cultivar variation. *Journal of agricultural and food chemistry* **55**(3)**,** 663-671.
Lester, G. E., Jifon, J. L., and Rogers, G. (2005). Supplemental foliar potassium applications during muskmelon fruit development can improve fruit quality, ascorbic acid, and beta-carotene contents. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **130**(4)**,** 649-653.
Mogren, L. M., Olsson, M. E., and Gertsson, U. E. (2006). Quercetin content in field-cured onions (Allium cepa L.): Effects of cultivar, lifting time, and nitrogen fertilizer level. *Journal of agricultural and food chemistry* **54**(17)**,** 6185-6191.
Nagy, S. (1980). Vitamin C contents of citrus fruit and their products: a review. *Journal of agricultural and food chemistry* **28**(1)**,** 8-18.
Oerlemans, K., Barrett, D. M., Suades, C. B., Verkerk, R., and Dekker, M. (2006). Thermal degradation of glucosinolates in red cabbage. *Food Chemistry* **95**(1)**,** 19-29.
Oke, M., Ahn, T., Schofield, A., and Paliyath, G. (2005). Effects of phosphorus fertilizer supplementation on processing quality and functional food ingredients in tomato. *Journal of agricultural and food chemistry* **53**(5)**,** 1531-1538.
Pennell, D. (2006). Pesticide residue minimisation crop guide. Apples. Rapport FSA 54 p., Food Standard Agency.
Peyvast, G. (2001). Study of some quality and quantity factors of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) in response to sowing dates under plastic tunnels. *Journal of Vegetable Crop Production* **7**(1)**,** 15-22.
Premuzic, Z., Garate, A., and Bonilla, I. (2002). Production of lettuce under different fertilisation treatments, yield and quality. *Acta Horticulturae*(571)**,** 65-72.
Premuzic, Z., Rios, A. d. I., Accorinti, C., Clozza, M., Vilella, F., and Mirabelli, E. (2001). Influence of fertilisation on the production and Vitamin C and sugar content of "Cherry" tomatoes. *Acta Horticulturae* **559**((2))**,** 601-606.
Radovich, T. J. K., Kleinhenz, M. D., Streeter, J. G., Miller, A. R., and Scheerens, J. C. (2005). Planting date affects total glucosinolate concentrations in six commercial cabbage cultivars. *Hortscience* **40**(1)**,** 106-110.
Reay, P. F., Fletcher, R. H., and Thomas, V. J. G. (1998). Chlorophylls, carotenoids and anthocyanin concentrations in the skin of 'Gala' apples during maturation and the influence of foliar applications of nitrogen and magnesium. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **76**(1)**,** 63-71.
Robbins, R. J., Keck, A. S., Banuelos, G., and Finley, J. W. (2005). Cultivation conditions and selenium fertilization alter the phenolic profile, glucosinolate, and sulforaphane content of broccoli. *Journal of Medicinal Food* **8**(2)**,** 204-214.
Rosa, E., and Heaney, R. (1996). Seasonal variation in protein, mineral and glucosinolate composition of Portuguese cabbages and kale. *Animal Feed Science and Technology* **57**(1-2)**,** 111-127.
Rosenfeld, H. J., Samuelsen, R. T., and Matforsk, P. (1999). The effect of temperature on sensory quality, chemical composition and growth of carrots (Daucus carota L.). III. Different diurnal temperature amplitude. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 74(2), 196-202.
Schonhof, I., Krumbein, A., and Bruckner, B. (2004). Genotypic effects on glucosinolates and sensory properties of broccoli and cauliflower. *Nahrung-Food* **48**(1)**,** 25-33.
Schreiner, M. (2005). Vegetable crop management strategies to increase the quantity of phytochemicals. *European Journal of Nutrition* **44**(2)**,** 85-94.
Schreiner, M., Huyskens-Keil, S., Krumbein, A., Schonhof, I., and Linke, M. (2000). Environmental effects on product quality. In Fruit and Vegetable quality : an integrated view (R. Shewfelt, and B. Brückner, Eds.), pp. 85-95. Tecchnomic Publishing Inc, Lancaster, Pennsylvannia.
Schreiner, M., Huyiskens-Keil, S., Peters, P., Schonhof, I., Krumbein, A., and Widell, S. (2002). Seasonal climate effects on root colour and compounds of red radish. *Journal of the science of food and agriculture* **82**(11)**,** 1325-1333.
Sousa, C., Valentao, P., Rangel, J., Lopes, G., Pereira, J. A., Ferreres, F., Seabra, R. A., and Andrade, P. B. (2005). Influence of two fertilization regimens on the amounts of organic acids and phenolic compounds of tronchuda cabbage (Brassica oleracea L. Var. costata DC). *Journal of agricultural and food chemistry* **53**(23)**,** 9128-9132.
Stamatakis, A., Papadantonakis, N., Lydakis-Simantiris, N., Kefalas, P., and Savvas, D. (2003). Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. *Acta Horticulturae*(609)**,** 141-147.
Stopar, M., Bolcina, U., Vanzo, A., and Vrhovsek, U. (2002). Lower crop load for cv. Jonagold apples (Malus x domestica Borkh.) increases polyphenol content and fruit quality. *Journal of agricultural and food chemistry* **50**(6)**,** 1643-1646.
Tuzel, I. H., Tuzel, Y., Gul, A., Altunlu, H., and Eltez, R. Z. (2001). Effect of different irrigation schedules, substrates and substrate volumes on fruit quality and yield of greenhouse tomato. *Acta Horticulturae*(548)**,** 285-291.
Tuzel, Y., Oztekin, G. B., Ongun, A. R., Gumus, M., Tuzel, I. H., and Eltez, R. Z. (2004). Organic tomato

production in the greenhouse. *Acta Horticulturae* **659,** 729-736.
Veit-Kohler, U., Krumbein, A., and Kosegarten, H. (1999). Effect of different water supply on plant growth and fruit quality of Lycopersicon esculentum. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde* **162**(6)**,** 583-588.
Warman, P. R., and Havard, K. A. (1997). Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown carrots and cabbage. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **61**(2/3)**,** 155-162.
Watzl, B., and Rechkemmer, G. (2001). Flavonoids. *Ernahrungs-Umschau* **48**(12)**,** 499-503.
Wennberg, M., Engqvist, G., and Nyman, M. (2002). Effects of harvest time and storage on dietary fibre components in various cultivars of white cabbage (Brassica oleracea var. capitata). *Journal of the science of food and agriculture* **82**(12)**,** 1405-1411.
Wennberg, M., Engqvist, G., and Nyman, M. (2002). Effects of harvest time and storage on dietary fibre components in various cultivars of white cabbage (Brassica oleracea var. capitata). *Journal of the science of food and agriculture* **82**(12)**,** 1405-1411.
Weston, L., and Barth, M. (1997). Preharvest factors affecting postharvest quality of vegetables. *HortScience* **32**(5-7)**,** 812-815.
Woese, K., Lange, D., Boess, C., and Bögl, K. (1997). A comparison of organically and conventionally grown foods - Results of a review of the relevant literature. *Journal of the science of food and agriculture* **74**(3)**,** 281-293.
Zhao, X., Carey, E. E., Young, J. E., Wang, W. Q., and Iwamoto, T. (2007). Influences of organic fertilization, high tunnel environment, and postharvest storage on phenolic compounds in lettuce. *Hortscience* **42**(1)**,** 71-76.

## Impact Conservation et Transformation

Abushira, A. A., Daood, H. G., and Blacs, P. A. (2000). Change in carotenoids and antioxydants vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of agricultural and food chemistry* **48**(6)**,** 2075-2081.
Alasalvar, C., Al-Farsi, M., Quantick, P. C., Shahidi, F., and Wiktorowicz, R. (2005). Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. *Food Chemistry* **89**(1)**,** 69-76.
Andersen, B., and Frisvad, J. C. (2004). Natural occurrence of fungi and fungal metabolites in moldy tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52**(25)**,** 7507-7513.
Andlauer, W., Stumpf, C., Hubert, M., Rings, A., and Fürst, P. (2003). Influence of cooking process on phenolic marker compounds of vegetables. *International journal for vitamin and nutrition research* **73**(2)**,** 152-159.
Arroqui, C., Rumsey, T. R., Lopez, A., and Virseda, P. (2001). Effect of different soluble solids in the water on the ascorbic acid losses during water blanching of potato tissue. *Journal of Food Engineering* **4**(2)**,** 123-126.
Asami, D. K., Hong, Y. J., Barrett, D. M., and Mitchell, A. E. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(5)**,** 1237-1241.
Asami, D. K., Hong, Y. J., Barrett, D. M., and Mitchell, A. E. (2003). Processing-induced changes in total phenolics and procyanidins in clingstone peaches. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **83**(1)**,** 56-63.
Baron, A., Denes, J. M., and Durier, C. (2006). High-pressure treatment of cloudy apple juice. *Lwt-Food Science and Technology* **39**(9)**,** 1005-1013.
Bate-Smith, E. C. (1954). Flavonoid compounds in foods. *Adv Food Res* **5**.
Bergquist, S. A. M., Gertsson, U. E., and Olsson, M. E. (2006). Influence of growth stage and postharvest storage on ascorbic acid and carotenoid content and visual quality of baby spinach (Spinacia oleracea L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* **86**(3)**,** 346-355.
Bernillon, S. (2005) Stratégie d'étude de produits de l'oxydation de polyphénols par LC/MS : application au jus de pomme.
Bineesh, N. P., Singhal, R. S., and Pandit, A. B. (2005). A study on degradation kinetics of ascorbic acid in drumstick (Moringa oleifera) leaves during cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **85**(11)**,** 1953-1958.
Biolatto, A., Salitto, V., Cantet, R. J. C., and Pensel, N. A. (2005). Influence of different postharvest treatments on nutritional quality of grapefruits. *Lwt-Food Science and Technology* **38**(2)**,** 131-134.
Bonerz, D., Würth, K., Dietrich, H., and Will, I. (2007). Analytical characterization and the impact of ageing on anthocyanin composition and degradation in juices from five sour cherry cultivars. *European food research and technology* **224**(3)**,** 355-364.
Brecht, J. K., Saltveit, M. E., Talcott, S. T., Schneider, K. R., Felkey, K., and Bartz, J. A. (2004). Fresh-cut vegetables and fruits. *Horticultural Reviews* **30,** 185-251.
Butz, P., Serfert, Y., Garcia, A. F., Dieterich, S., Lindauer, R., Bognar, A., and Tauscher, B. (2004). Influence of high-pressure treatment at 25 degrees C and 80 degrees C on folates in orange juice and model media. *Journal of Food Science* **69**(3)**,** S117-S121.
Caris-Veyrat, C., Amiot, M. J., Tyssandier, V., Grasselly, D., Buret, M., Mikolajczak, M., Guilland, J. C.,

Bouteloup-Demange, C., and Borel, P. (2004). Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant microconstituent content of tomatoes and derived purees; Consequences on antioxidant plasma status in humans. *Journal of agricultural and food chemistry* **52**(21)**,** 6503-6509.

Carlin, F., Nguyen-The, C., Cudennec, P., and Reich, M. (1989). Microbiological spoilage of fresh, ready-to-use grated carrots. *Sciences des Aliments* **9,** 371-386.

Castaner, M., Gil, M. I., Ruiz, M. V., and Artes, F. (1999). Browning susceptibility of minimally processed Baby and Romaine lettuces. *European food research and technology* **209**(1)**,** 52-56.

Chervin, C., Westercamp, P., Brouard, L., Frémondière, G., and Larrigaudière, C. (2003). Superficial scald versus ethanol vapours: a dose response. *Acta Horticulturae* **600,** 117-120.

Chervin, C., Westercamp, P., and Monteils, G. (2005). Ethanol vapours limit Botrytis development over the postharvest life of table grapes. *Postharvest Biology and Technology* **36**(3)**,** 319-322.

Clark, C. J., McGlone, V. A., de Silva, H. N., Manning, M. A., Burdon, J., and Mowat, A. D. (2004). Prediction of storage disorders of kiwifruit (Actinidia chinensis) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. *Postharvest Biology and Technology* **32**(2)**,** 147-158.

Cocci, E., Rocculi, P., Romani, S., and Dalla Rosa, M. (2006). Changes in nutritional properties of minimally processed apples during storage. *Postharvest Biology and Technology* **39**(3)**,** 265-271.

Cooper, R., Chen, T., and King, M. (1983). Thermal destruction of folacin in microwave and conventional heating. *Journal of the American Dietetic Association* **73**(4)**,** 406-410.

Cortez, L. A. B., Teruel M, B. J., Leal, P. A., and Neves Filho, L. C. (2000). Postharvest evaluation of some characteristics of oranges stored under refrigeration and ambient conditions. *Alimentaria* **37**(311)**,** 129-132.

Czyzowska, A., and Pogorzelski, E. (2002). Changes to polyphenols in the process of production of must and wines from blackcurrants and cherries. Part 1. Total polyphenols and phenolic acids. *European food research and technology* **214**(2)**,** 148-154.

Davey, M. W., Kenis, K., and Keulemans, J. (2006). Genetic control of fruit vitamin C contents. *Plant Physiology* **142**(1)**,** 343-351.

Davies, J. N., and Hobson, G. E. (1981). The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **15**(3)**,** 205-280.

de Ancos, B., Gonzalez, E., and Cano, M. P. (2000). Effect of high-pressure treatment on the carotenoid composition and the radical scavenging activity of persimmon fruit purees. *Journal of agricultural and food chemistry* **48**(8)**,** 3542-3548.

de Azevedo-Meleiro, C. H., and Rodriguez-Amaya, D. B. (2005). Carotenoids of endive and New Zealand spinach as affected by maturity, season and minimal processing. *Journal of Food Composition and Analysis* **18**(8)**,** 845-855.

de Ell, J. R., Toivonen, P. M. A., Doussineau, J., Roger, C., and Vigneault, C. (2003). Effect of different methods for application of an antifog shrink film to maintain cauliflower quality during storage. *Journal of Food Quality* **26**(3)**,** 211-218.

de Souza, S., and Eitenmiller, R. (1986). Effects of processing and storage on the folate content of spinach and broccoli. *Journal of Food Science* **51,** 626-628.

Dede, S., Alpas, H., and Bayindirli, A. (2007). High hydrostatic pressure treatment and storage of carrot and tomato juices: Antioxidant activity and microbial safety. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **87**(5)**,** 773-782.

del Caro, A., Piga, A., Vacca, V., and Agabbio, M. (2004). Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. *Food Chemistry* **84**(1)**,** 99-105.

DeRuiter, F. E., and Dwyer, J. (2002). Consumer acceptance of irradiated foods: dawn of a new era? *Food Service Technology* **2**(2)**,** 47-58.

Desobry, S. A., Netto, F. M., and Labuza, T. P. (1998). Preservation of beta-carotene from carrots. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **38**(5)**,** 381-396.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., and Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry* **50**(10)**,** 3010-3014.

Donovan, J. L., Meyer, A. S., and Waterhouse, A. L. (1998). Phenolic composition and antioxidant activitiy of prunes and prune juice (Prunus domestica). *Journal of agricultural and food chemistry* **46**(4)**,** 1247-1252.

Drzyzga, O. (2003). Diphenylamine and derivatives in the environment: a review. *Chemosphere* **53**(8)**,** 809-818.

Dutta, D., Dutta, A., Raychaudhuri, U., and Chakraborty, R. (2006). Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. *Journal of food engineering* **76**(4)**,** 538-546.

Elez-Martinez, P., and Martin-Belloso, O. (2007). Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho, a cold vegetable soup. *Food Chemistry* **102**(1)**,** 201-209.

Erenturk, S., Gulaboglu, M. S., and Gultekin, S. (2005). The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. *Journal of Food Engineering* **68**(4)**,** 513-518.

Ewald, C., Fjelkner-Modig, S., Johansson, K., Sjoholm, I., and Akesson, B. (1999). Effect of processing on major flavonoids in processed onions, green beans, and peas. *Food Chemistry* **64**(2)**,** 231.

Fallik, E. (2004). Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology* **32**(2)**,** 125-134.

FAO, IAEA, and WHO (1997). High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 KGy.

Technical Report Series, Geneva, Switzerland.
FernandezGarcia, A., Butz, P., Bognar, A., and Tauscher, B. (2001). Antioxidative capacity, nutrient content and sensory quality of orange juice and an orange-lemon-carrot juice product after high pressure treatment and storage in different packaging. *European Food Research and Technology* **213**(4-5)**,** 290-296.
Ferreira, D. G. S., Marnet, N., Delgadillo, I., Renard, C. M. G. C., and Coimbra, M. A. (2002). The composition of phenolic compounds in a portuguese pear (Pirus communis L. var. S. Bartolomeu) and changes after sun-drying. *Journal of agricultural and food chemistry* **50**(16)**,** 4537-4544.
Fish, W. W., and Davis, A. R. (2003). The effects of frozen storage conditions on lycopene stability in watermelon tissue. *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(12)**,** 3582-3585.
Follett, P. A. (2006). Irradiation as a methyl bromide alternative for postharvest control of Omphisa anastomosalis (Lepidoptera: Pyralidae) and Euscepes postfasciatus and Cylas formicarius elegantulus (Coleoptera: Curculionidae) in sweet potatoes. *Journal of Economic Entomology* **99**(1)**,** 32-37.
Franck, C., Baetens, M., Lammertyn, J., Verboven, P., Davey, M. W., and Nicolai, B. M. (2003). Ascorbic acid concentration in cv. conference pears during fruit development and postharvest storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**(16)**,** 4757-4763.
Fravel, D. R. (2005). Commercialization and implementation of biocontrol. *Annual Review of Phytopathology* **43,** 337-359.
Giannakourou, M. C., and Taoukis, P. S. (2003). Kinetic modelling of vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions. *Food Chemistry* **83**(1)**,** 33-41.
Gil, M. I., Aguayo, E., and Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **54**(12)**,** 4284-4296.
Gil, M. I., Ferreres, F., and Tomas-Barberan, F. A. (1999). Effect of postharvest storage an dprocessing on the antioxidant constituents (flavonoids and vitamin C) of fresh-cut spinach. *Journal of agricultural and food chemistry* **47**(6)**,** 2213-2217.
Gil-Izquierdo, A., Gil, M. I., and Ferreres, F. (2002). Effect of processing techniques at industrial scale on orange juice antioxidant and beneficial health compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**(18)**,** 5107-5114.
Gill, M., and Poulter, N. (1998). A systems perspective on postharvest losses. *In* Feeding a world population of more than eight billion people: a challenge to science (J. C. Waterlow, D. G. Armstrong, L. Fowden, and R. Riley, Eds.), pp. 191-202. Oxford University Press.
Gliszczynska-Swiglo, A., Ciska, E., Pawlak-Lemanska, K., Chmielewski, J., Borkowski, T., and Tyrakowska, B. (2006). Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. *Food Additives and Contaminants* **23**(11)**,** 1088-1098.
Golding, J. B., McGlasson, W. B., Wyllie, S. G., and Leach, D. N. (2001). Fate of apple peel phenolics during cool storage. *Journal of agricultural and food chemistry* **49**(5)**,** 2283-2289.
Guyot, S., Le Bourvellec, C., Marent, N., and Drilleau, J.-F. (2002). Procyanidins are the most abundant polyphenols in dessert apples at maturity. *LWT-Food Science and Technology* **35**(3)**,** 289-291.
Guyot, S., Marnet, N., Sanoner, P., and Drilleau, J. F. (2003). Variability of the polyphenolic composition of cider apple (Malus domestica) fruits and juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**(21)**,** 6240-6247.
Haffner, K., Rosenfeld, H. J., Skrede, G., and Wang, L. X. (2002). Quality of red raspberry Rubus idaeus L. cultivars after storage in controlled and normal atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* **24**(3)**,** 279-289.
Hamauzu, Y., Kume, C., Yasui, H., and Fujita, T. (2007). Reddish coloration of Chinese quince (Pseudocydonia sinensis) procyanidins during heat treatment and effect on antioxidant and antiinfluenza viral activities. *Journal of agricultural and food chemistry* **55**(4)**,** 1221-1226.
Hodgins, A. M., Mittal, G. S., and Griffiths, M. W. (2002). Pasteurization of fresh orange juice using low-energy pulsed electrical field. *Journal of Food Science* **67**(6)**,** 2294-2299.
Hong, Y.-J., Barrett, D. M., and Mitchell, A. E. (2004). Liquid chromatography/mass spectrometry investigation of the impact of thermal processing and storage on peach procyanidins. *Journal of agricultural and food chemistry* **52**(8)**,** 2366-2371.
Jastrebova, J., Witthoft, C., Grahn, A., Svensson, U., and Jagerstad, M. (2003). HPLC determination of folates in raw and processed beetroots. *Food Chemistry* **80**(4)**,** 579-588.
Jiao, D., Yu, M. C., Hankin, J. H., Low, S.-H., and Chung, F. L. (1998). Total isothiocyanate contents in cooked vegetables frequently consumed in Singapore. *Journal of agricultural and food chemistry* **46**(3)**,** 1055-1058.
Jiokap Nono, Y., Nuadje, G. B., Raoult-Wack, A. L., and Giroux, F. (2001). Dehydrating-impregnation soaking (DIS) process of mango pieces (Mangifera indica): solution temperature and concentration effects on the kinetics of certain fruit components. *Fruits* **56**(3)**,** 169-177.
Jiratanan, T., and Liu, R. H. (2004). Antioxidant activity of processed table beets (Beta vulgaris var, conditiva) and green beans (Phaseolus vulgaris L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52**(9)**,** 2659-2670.
Kala, A., and Prakash, J. (2006). The comparative evaluation of the nutrient composition and sensory attributes of four vegetables cooked by different methods. *International journal of food science & technology* **41**(2)**,** 163-171.
Kim, Y. S., Park, S. J., Cho, Y. H., and Park, J. (2001). Effects of combined treatment of high hydrostatic pressure and mild heat on the quality of carrot juice. *Journal of Food Science* **66**(9)**,** 1355-1360.
Klein, B., Lee, H., Reynold, P., and Wangles, N. (1979). Folacin content of microwave and conventionally cooked

vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry* **44**(2)**,** 286-288.
Komolprasert, V., and Morehouse, K. M. (2004). Irradiation of food and packaging: recent developments. *ACS Symposium. American Chemical Society, Washington* **875,** 376p.
Konopacka, D., and Markowsky, J. (2004). Retention of ascorbic acid during apple chips production and storage. *Polish journal of food and nutrition sciences* **13**(54)**,** 237-241.
Kostrzewa, E., Fonberg-Broczek, M., Jakubowski, A., Skapska, S., Sieliwanowicz, B., Witkowska-Gwiazdowska, A., Zdziennicka, D., Arabas, J., and J., S. (2002). The apple juices preserved by high pressure treatment at moderate temperature and pasteurisation. Comparative quality assessment. *High Pressure Effects in Chemistry, Biology and Materials Science* **208**(2)**,** 77-81.
Kuti, J. O., and Konuru, H. B. (2005). Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **85**(12)**,** 2021-2026.
Ladaniya, M. S., Das, A. K., Khan, N. A., Mahalle, B., and Kumar, A. (2004). Changes in quality of sweetened 'Nagpur' Mandarin orange juice in crown corked glass bottles at ambient and refrigerated conditions. *Journal of Food Science and Technology-Mysore* **41**(3)**,** 344-348.
Lavelli, V., Hippeli, S., Peri, C., and Elstner, E. F. (1999). Evaluation of radical scavenging activity of fresh and air-dried tomatoes by three model reactions. *Journal of agricultural and food chemistry* **47**(9)**,** 3826-3831.
Le Bourvellec, C. (2003) Les procyanidols de la pomme à cidre: association entre procyanidols natifs et polysaccharides pariétaux. Université de Rennes.
Lee, H. S., and Coates, G. A. (2002). Characterization of color fade during frozen storage of red grapefruit juice concentrates. *Journal of agricultural and food chemistry* **50**(14)**,** 3988-3991.
Lee, H. S., and Kim, J. G. (2003). Effects of debittering on red grapefruit juice concentrate. *Food Chemistry* **82**(2)**,** 177-180.
Leitcher, J. (1980). Folate content in the solid and liquid portion of canned vegetables. *Canadian Institute of Food Science and Technology journal* **13,** 33-34.
Lemoine, M. L., Civello, P. M., Martinez, G. A., and Chaves, A. R. (2007). Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (Brassica oleracea var. Italica). *Journal of the Science of Food and Agriculture* **87**(6)**,** 1132-1139.
Leskova, E., Kubikova, J., Kovacikova, E., Kosika, M., Porubska, J., and Holcikova, K. (2006). Vitamin losses: retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of food composition and analysis* **19**(4)**,** 252-256.
Lin, C. H., and Chen, B. H. (2005). Stability of carotenoids in tomato juice during processing. *European food research and technology* **221**(3-4)**,** 274-280.
MacLean, D. D., Murr, D. P., DeEll, J. R., and Horsarth, C. R. (2006). Postharvest variation in apple (Malus x domestica Borkh.) flavonoids following harvest, storage and 1-MCP treatment. *Journal of agricultural and food chemistry* **54**(3)**,** 870-878.
Makris, D. P., and Rossiter, J. T. (2001). Domestic processing of onion bulbs (Allium cepa) and asparagus spears (Asparagus officinalis): Effect on flavonol content and antioxidant status. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **49**(7)**,** 3216-3222.
Malin, J. D. (1977). Total folate activity in Brussel sprouts: the effects of storage, processing, cooking and ascorbic acid content. *International Journal of Food Science & Technology* **12**(6)**,** 623-626.
Martinez, S., Lopez, M., Gonzalez-Raurich, M., and Alvarez, A. B. (2005). The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (Capsicum annuum L.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition* **56**(1)**,** 45-51.
Massiot, P., Baron, A., and Drilleau, J.-F. (1994). Characterisation and enzymatic hydrolysis of cell-wall polysaccharides from different tissue zones of apple. *Carbohydrate Polymers* **25**(3)**,** 145-154.
Mayer-Miebach, E., Behsnilian, D., Regier, M., and Schuchmann, H. P. (2005). Thermal processing of carrots: Lycopene stability and isomerisation with regard to antioxidant potential. *Food Research International* **38**(8-9)**,** 1103-1108.
Melse-Boonstra, A., Verhoef, P., Konings, E. J. M., van Dusseldorp, M., Matser, A., Hollman, P. C. H., Meyboom, S., Kok, F. J., and West, C. E. (2002). Influence of processing on total, monoglutamate and polyglutamate folate contents of leeks, cauliflower, and green beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**(12)**,** 3473-3478.
Min, S., Jin, Z. T., and Zhang, Q. H. (2003). Commercial scale pulsed electric field processing of tomato juice. *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(11)**,** 3338-3344.
Mithen, R. F., Dekker, M., Verkerk, R., Rabot, S., and Johnson, I. T. (2000). The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human foods. *Journal of the science of food and agriculture* **80**(7)**,** 967-984.
Neri, F., Mari, M., and Brigati, S. (2006). Control of Penicillium expansum by plant volatile compounds. *Plant Pathology* **55**(1)**,** 100-105.
Nicolas, J. J., Richard-Forget, F. C., Goupy, P. M., Amiot, M. J., and Aubert, S. Y. (1994). Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **34**(2).
Nisha, P., Singhal, R. S., and Pandit, A. B. (2005). Degradation kinetics of folic acid in cowpea (Vigna catjang L.) during cooking. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* **56**(6)**,** 389-397.
Noomhorm, A., and Kasemsuksakul, N. (1992). Effect of Maturity and Processing on Bitter Compounds in Thai Tangerine Juice. *International journal of food science & technology* **27**(1)**,** 65-72.
Nyman, E. M. G. L., Svanberg, S., Andersson, R., and Nilsson, T. (2005). Effects of cultivar, root weight, storage and boiling on carbohydrate content in carrots (Daucus carota L.). *Journal of the science of food and*

*agriculture* **85**(3)**,** 441-449.
Oerlemans, K., Barrett, D. M., Suades, C. B., Verkerk, R., and Dekker, M. (2006). Thermal degradation of glucosinolates in red cabbage. *Food Chemistry* **95**(1)**,** 19-29.
Oruna-Concha, M. J., Gonzales-Castro, M. J., Lopez-Hernandez, J., and Simal-Lozano, J. (1998). Monitoring of the vitamin C content of frozen green beans and Padron peppers by HPLC. *Journal of the science of food and agriculture* **76**(3)**,** 477-480.
Pandrangi, S., and LaBorde, L. F. (2004). Retention of folate, carotenoids, and other quality characteristics in commercially packaged fresh spinach. *Journal of Food Science* **69**(9)**,** C702-C707.
Park, Y.-S., Jung, S.-T., Kang, S.-G., Delgado-Licon, E., Martinez alaya, A. L., Tapia, M. S., Martin-Belloso, O., Trakhtenberg, S., and Gorinstein, S. (2006). Drying of persimmons (Diospyros kaki L.) and the following changes in the studied bioactive compounds and total radical scavenging activities. *LWT-Food Science and Technology* **39,** 748-755.
Patil, B. S., Vanamala, J., and Hallman, G. (2004). Irradiation and storage influence on bioactive components and quality of early and late season 'Rio Red' grapefruit (Citrus paradisi Macf.). *Postharvest Biology and Technology* **34**(1)**,** 53-64.
Pesis, E. (2005). The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biology and Technology* **37**(1)**,** 1-19.
Petersen, M. A. (1993). Influence of sous-vide processing, steaming and boiling on vitamin retention and sensory quality in broccoli florets. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* **197**(4)**,** 375-380.
Piga, A., Del Caro, A., and Corda, G. (2003). From plums to prunes: Influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(12)**,** 3675-3681.
Plocharski, W., and Konopacka, D. (2002). Method of manufacturing diet chips of vegetables and fruits. *In* Brevet WO2002074102-A1.
Polydera, A. C., Stoforos, N. G., and Taoukis, P. S. (2005). Effect of high hydrostatic pressure treatment on post processing antioxidant activity of fresh Navel orange juice. *Food Chemistry* **91**(3)**,** 495-503.
Prange, R. K., Ramin, A. A., Daniels-Lake, B. J., DeLong, J. M., and Braun, P. G. (2006). Perspectives on postharvest biopesticides and storage technologies for organic produce. *HortScience* **42**(2)**,** 301-303.
Price, K. R., Colquhoun, I. J., Barnes, K. A., and Rhodes, M. J. C. (1998). Composition and content of flavonol glycosides in green beans and their fate during processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **46**(12)**,** 4898-4903.
Puuponen-Pimia, R., Hakkinen, S. T., Aarni, M., Suortti, T., Lampi, A. M., Eurola, M., Piironen, V., Nuutila, A. M., and Oksman-Caldentey, K. M. (2003). Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of the science of food and agriculture* **83**(14)**,** 1389-1402.
Qiu, W. F., Jiang, H. H., Wang, H. F., and Gao, Y. L. (2006). Effect of high hydrostatic pressure on lycopene stability. *Food Chemistry* **97**(3)**,** 516-523.
Rahaba, T. M., Ereiffel, K. I., and Howard, L. (2005). Effect of ascorbic acid and dehydration on concentrations of total phenolics, antioxidant capacity, anthocyanins, and color in fruits. *Journal of agricultural and food chemistry* **53**(11)**,** 4444-4447.
Ramesh, M. N., Wolf, W., Tevini, D., and Jung, G. (1999). Studies on inert gas processing of vegetables. *Journal of Food Engineering* **40**(3)**,** 199-205.
Reboul, E., Borel, P., Mikail, C., Abou, L., Charbonnier, M., Caris-Veyrat, C., Goupy, P., Portugal, H., Lairon, D., and Amiot, M. J. (2005). Enrichment of tomato paste with 6% tomato peel increases lycopene and beta-carotene bioavailability in men. *Journal of Nutrition* **135**(4)**,** 790-794.
Renard, C. (2005). Effects of conventional (boiling on the polyphenols and cell walls of pears. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **85**(2)**,** 310-318.
Ribeiro, M. H. L., Silveira, D., and Ferreira-Dias, S. (2002). Selective adsorption of limonin and naringin from orange juice to natural and synthetic adsorbents. *European food research and technology* **215**(6)**,** 462-471.
Rock, C. L., Lovalvo, J. L., Emenhiser, C., Ruffin, M. T., Flatt, S. W., and Schwartz, S. J. (1998). Bioavailability of beta-carotene is lower in raw than in processed carrots and spinach in women. *Journal of Nutrition* **128**(5)**,** 913-016.
Rossi, M., Giussani, E., Morelli, R., Lo Scalzo, R., Nani, R. C., and Torreggiani, D. (2003). Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice. *Food Research International* **36**(9-10)**,** 999-1005.
Sablani, S. S., Opara, L. U., and Al-Balushi, K. (2006). Influence of bruising and storage temperature on vitamin C content of tomato fruit. *Journal of Food, Agriculture & Environment* **4**(1)**,** 54-56.
Sahlin, E., Savage, G. P., and Lister, C. E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of food composition and analysis* **17**(5)**,** 635-647.
Sanchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., and Cano, M. P. (2003). Vitamin C, provitamin A carotenoids, and other Carotenoids in high-pressurized orange juice during refrigerated storage. *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(3)**,** 647-653.
Sanchez-Moreno, C., Plaza, L., de Ancos, B., and Cano, M. P. (2004). Effect of combined treatments of high-pressure and natural additives on carotenoid extractability and antioxidant activity of tomato puree (Lycopersicum esculentum Mill.). *European food research and technology* **219**(2)**,** 151-160.
Sanchez-Moreno, C., Plaza, L., de Ancos, B., and Cano, M. P. (2006). Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato puree on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *Journal of the*

*science of food and agriculture* **86**(2)**,** 171-179.
Schoch, T. K., Manners, G. D., and Hasegawa, S. (2002). Recovery of limonoid glucosides from citrus molasses. *Journal of Food Science* **67**(8)**,** 3159-3163.
Schonhof, I., Krumbein, A., and Bruckner, B. (2004). Genotypic effects on glucosinolates and sensory properties of broccoli and cauliflower. *Nahrung-Food* **48**(1)**,** 25-33.
Schreiner, M. (2005). Vegetable crop management strategies to increase the quantity of phytochemicals. *European Journal of Nutrition* **44**(2)**,** 85-94.
Schreiner, M., Huyiskens-Keil, S., Peters, P., Schonhof, I., Krumbein, A., and Widell, S. (2002). Seasonal climate effects on root colour and compounds of red radish. *Journal of the science of food and agriculture* **82**(11)**,** 1325-1333.
Scott, C. E., and Eldridge, A. L. (2005). Comparison of carotenoid content in fresh, frozen and canned corn. *Journal of food composition and analysis* **18**(6)**,** 551-559.
Scott, J., Rebeille, F., and Fletecher, J. (2000). Folic acids and folates : the feasibility of nutritional enhancement in plant foods. *Journal of the science of food and agriculture* **80**(7)**,** 795-824.
Seybold, C., Frohlich, K., Bitsch, R., Otto, K., and Bohm, V. (2004). Changes in contents of carotenoids and vitamin E during tomato processing. *Journal of agricultural and food chemistry* **52**(23)**,** 7005-7010.
Sharma, S. K., and LeMaguer, M. (1996). Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. *Food Research International* **29**(3-4)**,** 309-315.
Singh Oberoi, H., Ahmad Ku, M., Jaspreet, K., and Bangali, B. (2005). Quality of red chilli variety as affected by different drying methods. *Journal of Food Science and Technology-Mysore* **42**(5)**,** 384-387.
Slimestad, R., and Verheul, M. J. (2005). Content of chalconaringenin and chlorogenic acid in cherry tomatoes is strongly reduced during postharvest ripening. *Journal of agricultural and food chemistry* **53**(18)**,** 7251-7256.
Spanos, G. A., and Wrolstad, R. E. (1992). Phenolics of apple, pear, and white grape juices and their changes with processing and storage - a review. *Journal of agricultural and food chemistry* **40**(9)**,** 1478-1487.
Speiss, W. E. L. (1984). Changes in constituents during manufacture and storage of frozen foods. A review. *Internationale Zeitschrift fuer Lebensmittel-Technologie und -Verfahrenstechnik* **8,** 625-626.
Stralsjo, L. M., Witthoft, C. M., Sjoholm, I. M., and Jagerstad, M. I. (2003). Folate content in strawberries (Fragaria x ananassa): Effects of cultivar, ripeness, year of harvest, storage, and commercial processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**(1)**,** 128-133.
Suni, M., Nyman, M., Eriksson, N.-A., Bjork, L., and Bjork, I. (2000). Carbohydrate composition and content of organic acids in fresh and stored apples. *Journal of the science of food and agriculture* **80**(10)**,** 1538-1544.
Svanberg, S., Nyman, E. M. G. L., Andersson, R., and Nilsson, T. (1997). Effects of boiling and storage on dietary fibre and digestible carbohydrates in various cultivars of carrots. *Journal of the science of food and agriculture* **73**(2)**,** 245-254.
Takeoka, G. R., Dao, L., Flessa, S., Gillepsie, D. M., Jewell, W. T., Huebner, B., Bertow, D., and Ebeler, S. (2001). Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *Journal of agricultural and food chemistry* **49**(8)**,** 3713-3717.
Toledo, M. E. A., Ueda, Y., Imahori, Y., and Ayaki, M. (2003). L-ascorbic acid metabolism in spinach (Spinacia oleracea L.) during postharvest storage in light and dark. *Postharvest Biology and Technology* **28**(1)**,** 47-57.
Toor, R. K., and Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International* **38**(5)**,** 487-494.
Toor, R. K., and Savage, G. P. (2006). Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry* **94**(1)**,** 90-97.
Topuz, A., and Ozdemir, F. (2004). Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika. *Food Chemistry* **86**(4)**,** 509-515.
Torregrosa, F., Esteve, M. J., Frigola, A., and Cortes, C. (2006). Ascorbic acid stability during refrigerated storage of orange-carrot juice treated by high pulsed electric field and comparison with pasteurized juice. *Journal of Food Engineering* **73**(4)**,** 339-345.
Vahteristo, L. T., Lehikoinen, K. E., Ollilainen, V., Koivistoinen, P. E., and Varo, P. (1998). Oven-baking and frozen storage affect folate vitamer retention. *Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* **31**(4)**,** 329-333.
Vallejos, F., Tomas-Barberan, F., and Garcia-Viguera, C. (2002). Glucosinolates and vitamin C content in edible parts of broccoli florets after domestic cooking. *European food research and technology* **215**(4)**,** 310-316.
Vallejos, F., Tomas-Barberan, F., and Garcia-Viguera, C. (2003). Health-promoting compounds in broccoli as influenced by refrigerated transport and retail sale period. *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(10)**,** 3029-3034.
Van der Sluis, A. A., Dekker, M., de Jager, A., and Jongen, W. M. (2001). Activity and Concentration of Polyphenolic Antioxidants in Apple: Effect of Cultivar, Harvest Year, and Storage Conditions. *Journal of agricultural and food chemistry* **49**(8)**,** 3606-3613.
Van der Sluis, A. A., Dekker, M., Skrede, G., and Jongen, W. M. F. (2002). Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple juice. 1. Effect of existing production methods. *Journal of agricultural and food chemistry* **50**(25)**,** 7211-7219.
Vanamala, J., Cobb, G., Turner, N. D., Lupton, J. R., Yoo, K. S., Pike, L. M., and Patil, B. S. (2005). Bioactive compounds of grapefruit (Citrus paradisi Cv. Rio red) respond differently to postharvest irradiation,

storage, and freeze drying. *Journal of agricultural and food chemistry* **53**(10)**,** 3980-3985.
Verkerk, R., Dekker, M., and Jongen, W. M. F. (2002). Post-harvest increase of indolyl glucosinolates in response to chopping and storage of Brassica vegetables. *Journal of the science of food and agriculture* **81**(9)**,** 953-958.
Watkins, C. B. (2004). Irradiating the food supply. *INFORM - International News on Fats, Oils and Related Materials* **15**(12)**,** 758-759.
Watkins, C. B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances* **24**(4)**,** 389-409.
Wennberg, M., Engqvist, G., and Nyman, M. (2002). Effects of harvest time and storage on dietary fibre components in various cultivars of white cabbage (Brassica oleracea var. capitata). *Journal of the science of food and agriculture* **82**(12)**,** 1405-1411.
Wennberg, M., Engqvist, G., and Nyman, M. (2002). Effects of harvest time and storage on dietary fibre components in various cultivars of white cabbage (Brassica oleracea var. capitata). *Journal of the science of food and agriculture* **82**(12)**,** 1405-1411.
Will, F., and Dietrich, H. (2006). Optimised processing technique for colour- and cloud-stable plum juices and stability of bioactive substances. *European Food Research and Technology* **223**(3)**,** 419-425.
Will, F., Schultz, K., Ludwig, M., Otto, K., and Dietrich, H. (2002). The influence of enzymatic treatment of mash on the analytical composition of apple juice. *International journal of food science & technology* **37**(6)**,** 653-660.
Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., and Joyce, D. (1998). Postharvest. An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals, pp. 351-352. CAB International, Wallingford UK.
Yamaguchi, T., Katsuda, M., Oda, Y., Terao, J., Kanazawa, K., Oshima, S., Inakuma, T., Ishiguro, Y., Takamura, H., and Matoba, T. (2003). Influence of polyphenol and ascorbate oxidases during cooking process on the radical-scavenging activity of vegetables. *Food Science and Technology Research* **9**(1)**,** 79-83.
Yen, G. C., and Lin, H. T. (1996). Comparison of high pressure treatment and thermal pasteurization effects on the quality and shelf life of guava puree. *International Journal of Food Science and Technology* **31**(2)**,** 205-213.
Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., and Lavelli, V. (1998). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International* **31**(5)**,** 395-401.
Zuo, L., Lee, E. J., and Lee, J. H. (2004). Effect of hot water treatment on quality of fresh-cut apple cubes. *Food Science and Biotechnology* **13**(6)**,** 821-825.
Zuo, L., and Lee, J. H. (2004). Effects of anti-browning agents on the quality of minimally processed apple cubes. *Food Science and Biotechnology* **13**(1)**,** 40-45.

# 3. Les déterminants de la consommation, les obstacles et les interventions

**France Caillavet** (coord.)
Patricia Gurviez
Sophie Nickaus
**Martine Padilla** (coord.)
Jean-Luc Volatier

Documentation :
Armelle Champenois

## Table des matières

**3.1. Les déterminants socio-économiques de la consommation de fruits et légumes 239**
3.1.1. Les caractéristiques sociodémographiques ..... 240
3.1.2. Les facteurs économiques ..... 245
3.1.3. Conclusions ..... 250

**3.2. Facteurs sensoriels de l'acceptabilité des fruits et légumes ..... 253**
3.2.1. Les caractéristiques sensorielles susceptibles d'influencer l'acceptabilité ..... 253
3.2.2. Les facteurs d'acceptabilité des F&L liés à l'âge des consommateurs ..... 256
3.2.3. Facteurs sensoriels et segmentation des consommateurs ..... 259

**3.3. Perceptions et attitudes : la valeur des fruits et légumes du point de vue des consommateurs ..... 261**
3.3.1. Revue de la littérature : L'influence des variables perceptuelles et psychologiques individuelles dans l'achat et la consommation des fruits et légumes ..... 262
3.3.2. L'apport du concept de valeur de consommation à une meilleure compréhension de la consommation des fruits et légumes ..... 264
3.3.3. Conclusion et propositions de recherches futures ..... 272

**3.4. Les interventions et leur évaluation ..... 273**
3.4.1. Les interventions portant sur l'individu, ses préférences, ses motivations ..... 273
3.4.2. Les interventions portant sur l'environnement du consommateur ..... 280
3.4.3. Les interventions combinées ..... 283
3.4.4. La question de l'évaluation des politiques ..... 287
3.4.5. Conclusions ..... 288

**Références bibliographiques ..... 290**

La quasi-stagnation de la consommation de F&L en France au cours de la dernière décennie, alors même que des campagnes publiques de promotion de la nutrition et de la santé visent à développer cette consommation, attestent de la présence d'obstacles et de rigidités. Ce chapitre a pour but d'identifier, à travers la revue de la littérature, les principaux déterminants de la consommation et en particulier ceux qui peuvent constituer des obstacles au niveau du consommateur. Les facteurs découlant des stratégies commerciales du côté de l'offre seront examinés au chapitre 4.

Les déterminants de la consommation sont de plusieurs ordres : individuels, économiques, sensoriels et provenant des attitudes. Les études ne considèrent pas simultanément l'ensemble de ces dimensions et on ne dispose donc pas d'indication sur la hiérarchie de ces différents facteurs.

## 3.1. Les déterminants socio-économiques de la consommation de fruits et légumes

France Caillavet, Jean-Luc Volatier

On étudie ici le comportement alimentaire du consommateur en fonction de ses caractéristiques et face à son environnement. Il s'agit de distinguer dans la mesure du possible l'impact des caractéristiques sociodémographiques des consommateurs ou des ménages, de l'influence de l'offre commerciale et de l'environnement culturel dans un contexte de promotion de la nutrition et de la santé.

Après le survol des grandes tendances de la consommation (cf. Chapitre introductif), on retiendra les principaux facteurs explicatifs des achats et de la consommation de F&L à travers les liens de corrélation (cf. ci-dessous *instruments d'analyse)* mis en évidence dans les études nationales et internationales. Il faut noter que dans un certain nombre d'études, la consommation de F&L n'est pas étudiée en tant que telle, mais fait partie d'un indice composite de "bonne alimentation" (healthy eating index) : (Shelton, 2005) en Ecosse, (Veugelers, Fitzgerald, and Johnston, 2005) au Canada.

***Etat de la bibliographie disponible***

La base de données ESCo a retenu 546 publications pour la thématique "consommation". Les études sur les déterminants individuels de la consommation proviennent en majorité de la littérature d'origine nutritionnelle, car les sources de données socio-économiques sur la consommation sont des enquêtes au niveau des ménages. Les consommations individuelles n'y sont pas, en général, enregistrées. Pour les études sur les effets prix et revenu, on a sélectionné les travaux parus au cours des 10 dernières années, soit 1997-2007. Une dizaine d'études seulement fournissent des calculs d'élasticités (cf. ci-dessous *instruments d'analyse*). Ont été ajoutés à cette liste des rapports techniques (Ministères de l'agriculture américain et britannique, Observatoire de la pauvreté et de l'exclusion sociale français). N'ont pas été retenus les travaux portant sur des pays dont les consommateurs paraissent, sur le plan des contraintes financières, trop éloignés de l'univers de choix des pays développés occidentaux. C'est le cas des pays africains ou de la Chine. Enfin, pour des raisons de robustesse et généralité des résultats, on a écarté les études fondées sur un échantillon de taille réduite ou peu représentatif.

***Instruments d'analyse***

L'identification des différents déterminants et la mesure de leur impact fait appel à des méthodes variées. Pour les facteurs d'ordre "objectif" tels que les caractéristiques sociodémographiques ou les variables d'environnement économique, les études utilisent les données statistiques nationales et internationales et établissent des liens de corrélation avec le niveau de consommation de F&L.

*La corrélation* mesure l'existence d'un lien statistique entre 2 variables. La limite de significativité retenue n'est jamais inférieure à 90%. Généralement issu d'une analyse de régression, ce lien est établi "toutes choses égales par ailleurs", c'est-à-dire contrôlé par l'ensemble des variables explicatives introduites dans la régression. Elle est utilisée pour établir les poids respectifs des différents

déterminants sociodémographiques et économiques de la consommation de fruits et légumes. Elle ne peut établir de lien causal.

Pour les déterminants d'ordre "subjectif", les études se fondent sur des enquêtes auprès de consommateurs qui recueillent des données déclaratives. Enfin des éléments sur les attitudes et perceptions, en particulier sensorielles, peuvent être obtenus par des démarches expérimentales, plaçant les consommateurs en situation.

## 3.1.1. Les caractéristiques sociodémographiques

### *3.1.1.1. Sexe*

De nombreuses études font état d'une plus forte consommation de fruits ainsi que de légumes chez les femmes par rapport aux hommes sur plusieurs continents, par exemple en Nouvelle-Zélande (Ashfield-Watt, 2006), Suède(Krachler et al., 2005), Europe (Westenhoefer, 2004), Turquie (Unusan, 2004), Autriche (Rust and Elmadfa, 2004). Une étude irlandaise de hiérarchisation des facteurs socio-démographiques par segmentation désigne même le sexe comme le facteur principal de différenciation de la fréquence de consommation de fruits et légumes (Friel, Newell, and Kelleher, 2005).

En France en revanche, l'étude INCA (Volatier, 2000) ne montre pas de différence significative de *consommation moyenne* de fruits ou de légumes (hors pommes de terre) entre hommes et femmes alors que la ration alimentaire des hommes et supérieure de 13% à celle des femmes. Cependant, la *contribution des fruits et légumes à la quantité* de l'alimentation totale est supérieure chez les femmes à ce qu'elle est chez les hommes. (AFSSA and INPES, 2004).Bien que le cas français ne semble pas correspondre à la tendance générale, il n'est pas isolé. Au Danemark, on ne trouve pas non plus de différence de consommation moyenne de fruits et légumes entre hommes et femmes (DFVF, 2005). En fait, la consommation de légumes est supérieure chez les hommes alors que la consommation de fruits est supérieure chez les femmes.

Mais la corrélation positive de la variable de sexe féminin est présente dans l'ensemble des études (Pearson et al., 2005). Cet effet reste présent lorsqu'on contrôle par l'effet des préférences, attitudes et connaissances nutritionnelles (Baker and Wardle, 2003) au Royaume-Uni.

### *3.1.1.2. Age et génération*

L'âge est un des principaux déterminants.

***. Consommation des enfants et adolescents***

Les enfants sont de moindres consommateurs de FL, en opposition aux seniors qui sont les plus gros consommateurs en France (Monceau, Blanche-Barbat, and Échampe, 2002). En France, l'étude INCA (Volatier, 2000) ne montre pas de différence de consommation de fruits et légumes entre garçons et filles ni selon l'âge des enfants entre 6 et 14 ans. Au Danemark, l'étude nationale de consommation alimentaire n'enregistre pas non plus de différence de consommation entre sexes mais indique une augmentation modérée de la consommation de légumes et non de fruits entre les tranches d'âge 4-9 ans et 10-17 ans (DFVF, 2005).

La variété de FL consommés est également liée négativement à la présence d'enfants au foyer (Stewart and Harris, 2005) aux USA. Une étude menée sur 9 pays européens relève des attitudes positives des enfants, en particulier envers les fruits. Cependant elle met en évidence les contraintes liées à l'environnement comme la faible accessibilité de FL à l'école ainsi que pendant les activités de loisir (Sandvik et al., 2005). Le manque d'exemple parental est également stigmatisé (Hanson, 2005).

***. Consommation des adultes***

Au Royaume-Uni, l'étude nationale de consommation alimentaire NDNS 2002 auprès des adultes de 19 à 64 ans montre une plus faible consommation de fruits et légumes chez les jeunes adultes de 19-24

ans et une plus forte consommation chez les 50-64 ans notamment pour les légumes verts, les agrumes et les pommes (Henderson and Kelly, 2005). En Suède, les consommations de légumes sont plus faibles dans le groupe d'âge 17-24 ans aussi bien chez les femmes que chez les hommes (Livsmedelsverket, 2002). On constate une consommation de fruits plus faible à la fois chez les adultes les plus jeunes (17-24 ans) et les plus âgés (55 ans et plus).

En France, l'étude INCA (Volatier, 2000) montre une nette augmentation de la consommation de fruits et légumes (hors pommes de terre) avec l'âge chez les adultes. On observe donc, globalement, une consommation de fruits et légumes plutôt plus faible chez les jeunes adultes. L'effet de l'âge est beaucoup plus marqué pour les fruits et légumes frais que pour les conserves et les surgelés, mais les profils d'évolution sont en général proches : la consommation croît régulièrement jusque vers 60-65 ans, et diminue ensuite.

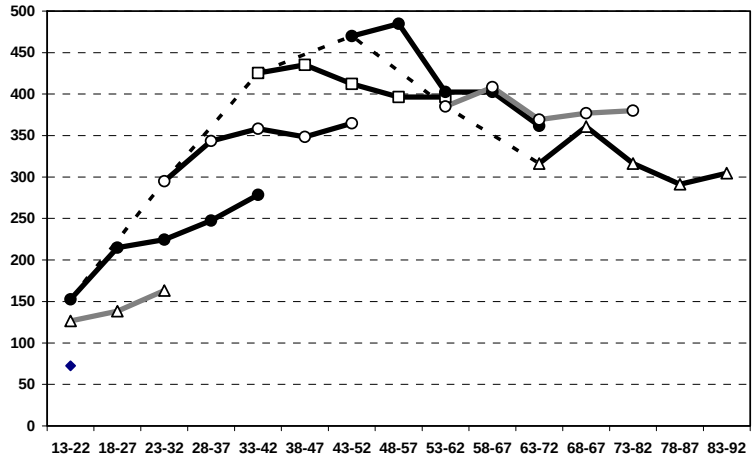
On relève des corrélations positives de l'âge à la fois sur les quantités consommées et sur la variété (Stewart et Harris, 2005).

***. Effets de génération***

Il est important de distinguer les effets de cycle de vie de ceux de génération. En outre, la consommation de FL reflète différemment ces effets selon le degré de préparation des produits. Dans le cas français, la dépense en fruits frais augmente continuellement avec l'âge, tandis que celle en légumes frais croît entre 30 et 60 ans (par ménage et par unité de consommation) et diminue ensuite. Indépendamment, les générations nouvelles achètent moins de fruits et de légumes frais que les autres (Recours and Hebel, 2007). Si ces générations conservent leurs habitudes spécifiques, leur consommation augmentera beaucoup moins que celle des générations précédentes, une tendance porteuse à terme d'une baisse de la consommation. Ces résultats sont illustrés par la Figure 3-1 décrivant les dépenses de fruits frais des différentes cohortes à partir des enquêtes Budget de Famille.

En revanche, l'âge ou la génération n'a pas ou peu d'effet sur les dépenses de fruits en conserves ou surgelés.

**Figure 3-1.** Dépenses pour les fruits frais : effets d'âge et de génération
(euros constants 1995, par ménage et par an)




La courbe en pointillés indique l'évolution de la consommation en fonction de l'âge en 1979. Les courbes en traits pleins sont des cohortes de générations suivies de 1979 à 2000. Les trajectoires des générations les plus jeunes sont en dessous de la courbe en pointillé, ce qui signifie qu'en vieillissant ces générations n'atteignent pas le niveau de consommation des générations précédentes.

### *3.1.1.3. Autres facteurs sociodémographiques*

***. Statut marital***

Les personnes mariées ou vivant en couple ont une consommation supérieure et on trouve une corrélation positive de ce type de statut sur la consommation de F&L (Kamphuis et al., 2006), (Pollard et al., 2001).

***. Origine ethnique***

Son importance est mise en évidence dans les travaux américains qui relèvent ce type de données: les ménages d'origine hispanique ou asiatique ont une consommation supérieure avec une plus grande variété (Stewart, Harris, and Guthrie, 2004),(Lin and Morrison, 2002), (Stewart and Harris, 2005). (Ard et al., 2007) trouvent une association positive entre présence de fruits et légumes au domicile et origine afro-américaine. Ce facteur peut traduire des habitudes culturelles spécifiques et l'hétérogénéité des goûts et des traditions culinaires (modes de préparation…). L'origine ethnique est encore significative lorsque l'on contrôle par le degré de connaissances nutritionnelles (Kim, Nayga, and Capps, 2001), (Richards and Patterson, 2005). Elle peut conditionner la réussite des campagnes de promotion de F&L aux USA (Stables et al., 2002).

Dans le cas français, les statistiques ne permettent pas d'approcher directement ce critère. Néanmoins, on peut signaler des travaux qui mettent en évidence de meilleurs indicateurs de santé dans la population immigrée en provenance d'Europe du Sud. Ils attribuent une partie de cet effet au fait que ces populations ont conservé des habitudes alimentaires méditerranéennes, caractérisées en particulier par une consommation importante de fruits et de légumes, malgré un statut socio-économique plus faible que celui de la population générale (Darmon and Khlat, 2001).

#### *3.1.1.4. Styles de vie : habitudes alimentaires et tabagiques, ressources en temps, localisation*

Des travaux établissent le lien positif entre la consommation de FL dans l'enfance et la consommation une fois adulte (Ponza et al., 2004), (Maynard et al., 2006), ainsi qu'avec d'autres habitudes, alimentaires ou non : la consommation d'alcool et le non tabagisme (femmes anglaises, (Pollard et al., 2001), indépendamment des effets de statut social.

La diversité des habitudes alimentaires liée aux origines culturelles sous-tend les résultats sur l'origine ethnique, comme l'illustrent des travaux sur la Chine distinguant les populations aux habitudes alimentaires occidentalisées ou celles qui ont conservé une alimentation traditionnelle (Shi et al., 2005).

La disponibilité *de temps* est une contrainte économique fondamentale pour la consommation de F&L. En l'absence de données sur le temps consacré à l'approvisionnement et à la préparation des repas, cette contrainte est appréhendée indirectement. Soit au niveau du mode de restauration choisi lié au degré de préparation des aliments, soit au niveau de la situation familiale. L'activité professionnelle des 2 conjoints est assimilée à une contrainte de temps, et montre une influence négative sur la variété de légumes consommés (Stewart and Harris, 2005)) aux USA. La présence d'une femme active exerce une influence négative sur la probabilité de consommer des fruits frais (He, Huang, and Houston, 1995). La contrainte de temps s'ajoute aux obstacles rencontrés par les populations défavorisées à la consommation de F&L (Inglis, Ball, and Crawford, 2005) pour les femmes australiennes, et l'on peut également considérer que l'effet négatif exercé par la présence d'enfants est dû en partie à la contrainte de temps (Ragaert et al., 2004).

Dans la même logique, *le degré de préparation des produits* est une composante importante des différences de consommation en France, (Monceau, Blanche-Barbat, and Échampe, 2002). Dans l'alimentation à domicile, la part des F&L se maintient entre 1980 et 2001 grâce aux F&L préparés et en conserves, alors que les produits frais régressent. Ces disparités se reflètent au niveau des sensibilités au prix et au revenu. En France, on constate des élasticités supérieures des produits frais sur les produits transformés. L'effet positif du niveau d'éducation sur la probabilité d'achat de produits préparés agit comme proxy pour un coût d'opportunité élevé du temps(Ragaert et al., 2004).

***. Région***

On sait que la consommation alimentaire en France montre de fortes disparités régionales. Les achats de fruits et légumes sont plus importants dans le Sud-Est et plus faibles dans le Nord-Est (Babayou, 1996). Les variables régionales sont toujours corrélées aux différents indicateurs de la consommation de F&L (quantités, dépense, probabilité d'achat).

***. Zone d'habitat***

En France, les personnes habitant dans de grandes agglomérations ont une dépense plus forte en F&L frais (sauf Paris), alors que la dépense de produits en conserve ou surgelés est la plus forte dans la région parisienne (Recours and Hebel, 2007).

Une étude espagnole (Angulo et al., 2002) établit que la sensibilité au prix varie en fonction de la densité de la zone de résidence : les élasticités-prix diminuent avec l'augmentation de la taille de la ville. La densité de population peut être un indicateur de la densité commerciale.

### *3.1.1.5. Le rôle des F&L comme marqueur social : Statut socio-économique, revenu, éducation*

***. Statut socio-économique***

Les consommations de fruits et légumes sont généralement associées positivement à un statut socio-économique (SSE) élevé, défini principalement par la profession individuelle ou celle du chef de ménage. Les travaux français mettent en évidence une faible consommation de fruits et de légumes (surtout frais et surgelés, mais pas en conserve) et de jus de fruits dans les catégories de faible statut socio-économique en France, ainsi qu'une moindre variété (Chambolle et al., 1999). De nombreux travaux dans plusieurs pays d'Europe (Kamphuis et al., 2006), (Giskes et al., 2006) confirment cette tendance pour les pays non méditerranéens, y compris la France. En revanche dans les pays où une production importante de fruits ou légumes est disponible et qui sont les plus gros consommateurs de fruits et légumes en Europe, tels que la Grèce, l'Espagne, le Portugal, la Pologne et la Hongrie, ou Israël, on peut observer un gradient inverse, à savoir une plus forte consommation de fruits et légumes par les personnes de faible statut socio-économique.

On retrouve ces résultats en ce qui concerne l'influence positive du revenu et du niveau d'éducation sur la consommation de F&L, car ces 2 variables sont fortement associées au statut socioéconomique. D'autres travaux mettent en exergue l'importance des normes pour expliquer la différenciation de la consommation et la réaction face à la nouveauté (Roos et al., 1996). Les F&L, selon le produit considéré et sa forme de commercialisation (degré de préparation, portion, packaging…), peuvent relever d'une alimentation traditionnelle ou moderne.

***. Revenu***

Plusieurs études constatent que les populations pauvres consomment moins de F&L (Drewnowski, Darmon, and Briend, 2004), (Kirkpatrick and Tarasuk, 2003), (Stewart, Blisard, and Jolliffe, 2003). Dans le cas français une étude de(Caillavet, Combris, and Perchard, 2002) comparant la consommation des ménages du 1$^{er}$ quartile de revenu avec l'ensemble de la population montre des quantités consommées toujours inférieures. Les différences sont très fortes au niveau des légumes frais et des fruits frais et ne sont pas compensées par l'autoconsommation. Les achats de fruits frais sont souvent inférieurs de plus de la moitié dans la population pauvre. Les disparités existent encore au niveau des légumes surgelés. En revanche les légumes et les fruits en conserve font l'objet d'achats en quantité équivalente. Les confitures et les gelées, les compotes et les marmelades sont achetées en quantité inférieure par les ménages les plus pauvres.

Il est intéressant de noter que les inégalités de consommation selon le niveau de transformation s'accroissent. Un traitement INRA des données TNS montre la part de plus en plus forte des produits transformés dans la consommation des populations pauvres, dépassant en 2005 celle des produits frais, comme l'illustrent les Figures 3-2 et 3-3.

En outre, le contrôle des effets de revenu par l'âge montre dans le cas français que cette inégalité s'accroît également par l'effet de génération. Pour les personnes appartenant au quartile de revenus les plus bas, la consommation de fruits frais décroît avec l'âge (Figure 3-4), pour les générations intermédiaires, ce qui n'est pas le cas pour l'ensemble de la population, ni *a fortiori* pour les ménages appartenant au quartile des plus hauts revenus (Figure 3-5),(Recours and Hebel, 2007). Le même phénomène peut être observé pour les légumes frais.

**Figure 3-2.** Effet du revenu sur les achats de F&L en 1997
(source :TNS Worldpanel, traitement Corela/INRA)

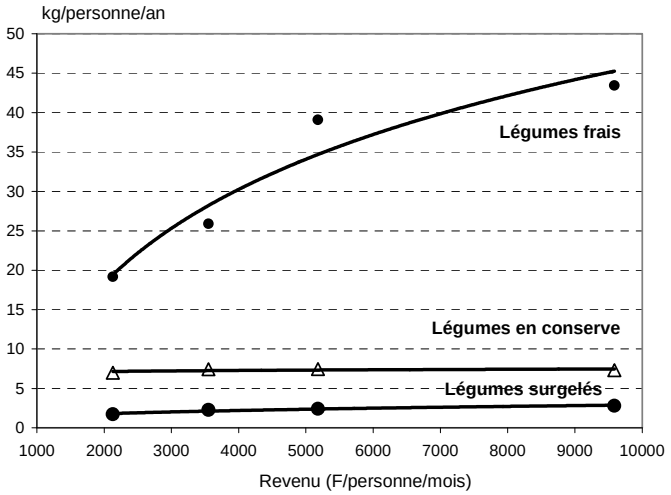



**Figure 3-3.** Effet du revenu sur les achats de F&L en 2005
(source :TNS Worldpanel, traitement Corela/INRA)

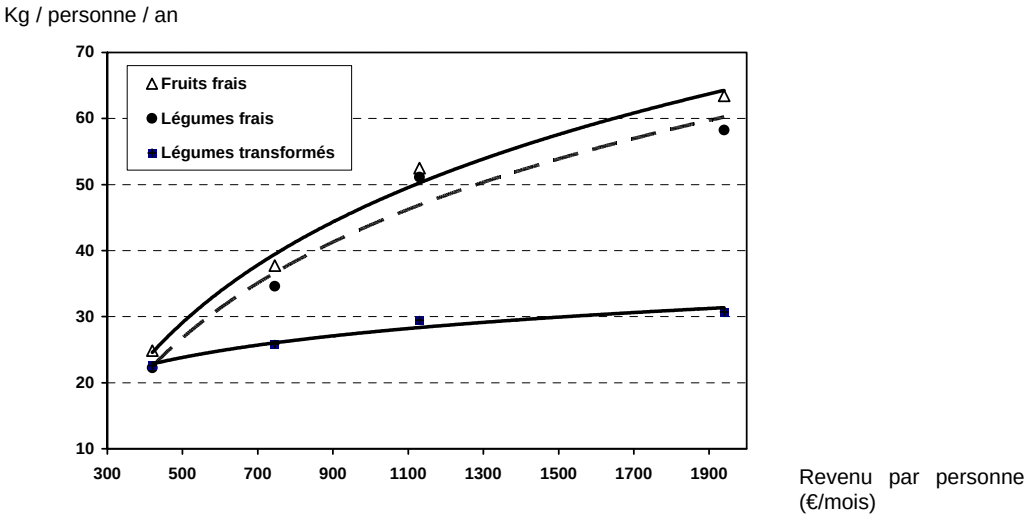



**Figure 3-4.** Fruits frais : effets d'âge/génération, 1er quartile de revenu
(Source : Enquêtes BDF 1979, 1984, 1989, 1995, 2000 (INSEE), traitement CREDOC)

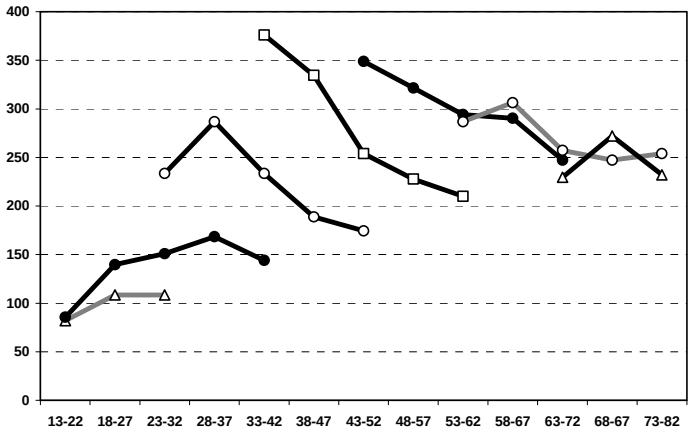
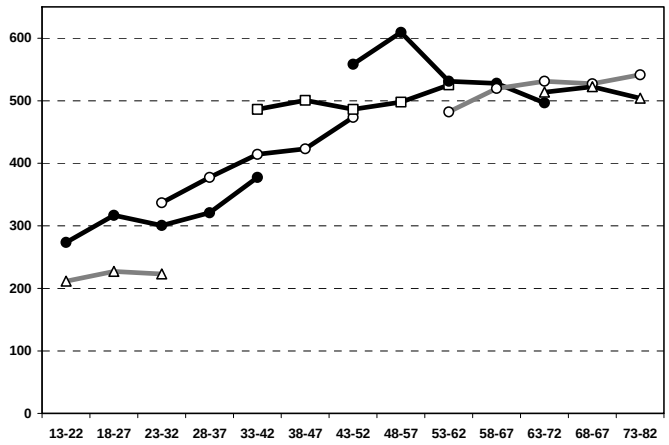


**Figure 3-5.** Fruits frais : effets d'âge/génération, 4e quartile de revenu
(Source : Enquêtes BDF 1979, 1984, 1989, 1995, 2000 (INSEE), traitement CREDOC)




***. Education et connaissances nutritionnelles***

Une synthèse de 33 études sur les liens entre consommation de fruits et légumes et niveau d'études en Europe a montré que les consommateurs avec un niveau d'éducation élevé consommaient plus de fruits et de légumes que ceux avec un niveau d'éducation faible, à l'exception de quelques pays méditerranéens où la consommation de fruits et légumes est plus courante (Roos, 2001).

On observe un lien positif entre niveau d'éducation supérieur et les quantités consommées ou la variété (Stewart and Harris, 2005). Des travaux US montrent que l'impact de l'éducation peut être supérieur à celui du revenu. L'éducation joue en effet un rôle d'indicateur pour les connaissances nutritionnelles qui exercent un effet positif sur les achats de F&L et orientent le choix des produits (Lin and Morrison, 2002); (Blisard, Stewart, and Jolliffe, 2004). Plus directement, les connaissances nutritionnelles ont un impact positif au Royaume-Uni (Baker and Wardle, 2003) ainsi que l'information nutritionnelle (Richards and Patterson, 2005) aux USA-Canada sur la consommation de F&L. Les connaissances nutritionnelles sont elles-mêmes dépendantes des facteurs sociodémographiques, par exemple l'origine ethnique (Pirouznia and Mahe, 2000).

## 3.1.2. Les facteurs économiques

Il s'agit ici d'étudier la place des F&L dans le budget alimentaire des ménages et les décisions des consommateurs lorsque des changements de l'environnement interviennent, en particulier au niveau de la dépense alimentaire et des prix. Pour cela, les instruments privilégiés d'analyse sont les élasticités.

### *3.1.2.1 Les F&L dans le budget alimentaire*

***. Peu d'éléments sur la consommation de F&L en restauration hors foyer***

Selon les enquêtes auprès des ménages (INSEE, le Budget des Familles), les repas à l'extérieur représentaient 21.9% des dépenses alimentaires en 2000-01 (Andrieu and Caillavet, 2006) contre 18.0% en 1995 (Clément, Destandau, and Eneau, 1997). Selon les professionnels du secteur (Baros, 2006), le marché de la restauration hors domicile redémarrerait tout juste en 2005 après des années difficiles : régression de la restauration collective depuis 2000, de la restauration commerciale à partir de 2002. En 2004, la restauration collective représente 33% du marché du hors foyer en valeur. Les achats alimentaires de l'ensemble du secteur hors domicile sont composés à 55% de produits frais, parmi lesquels les fruits et légumes frais représentent 11% (10% en 2000).

**Encadré 3-1. Les calculs d'élasticités**

*L'élasticité* mesure la variation d'une variable en réponse à la variation d'une autre variable. Par exemple, l'élasticité-prix de la demande d'un produit exprime l'impact qu'a une variation du prix sur la quantité demandée de ce produit. Elle permet de comprendre et d'anticiper la réponse des consommateurs à la manipulation de diverses variables économiques, et en particulier au prix des produits, au revenu et à la dépense (le budget alimentaire ou global) du consommateur ou du ménage. En ce qui concerne les biens alimentaires (fruits et légumes y compris), on s'attend à ce que la demande d'un bien diminue lorsque son prix augmente (élasticité-prix négative) et qu'elle augmente lorsque le revenu ou la dépense augmentent (élasticité-revenu ou élasticité-dépense positive). Le calcul d'élasticités-prix est particulièrement stratégique : il permet de mesurer les variations de la demande d'un bien par rapport aux variations de son propre prix, mais aussi du prix des autres biens. Par ce biais, il permet de déterminer les substitutions ou complémentarités entre biens: l'augmentation du prix d'un produit, tout en induisant une diminution de la quantité demandée de ce produit, peut entraîner une augmentation de la quantité demandée d'un autre bien (substitution) ou une diminution (complémentarité). En fournissant des ordres de grandeur de l'impact de diverses variables économiques, et notamment l'influence respective du prix et du revenu sur différents produits, la connaissance des élasticités permet d'orienter les choix de politique économique vers des interventions plutôt sur les marchés – les prix - ou plutôt sur la demande – le revenu -, ainsi que de comparer la sensibilité de plusieurs segments de demande (sous-populations) ou d'offre (catégories de produits) aux variables économiques.

On sait que l'élasticité au revenu est plus forte pour la consommation hors domicile que celle au domicile (Caillavet and Nichele, 2002). En revanche on ne dispose d'aucune étude permettant de comparer les élasticités d'un même aliment entre ses lieux possibles de consommation (domicile / extérieur).

Pourtant, le recours croissant à la consommation hors du foyer a des conséquences importantes sur la consommation de F&L. Des travaux américains montrent que cette évolution constitue un frein: aux USA, 1/3 des calories journalières sont préparées à l'extérieur, or les F&L en représentent une part très réduite : moins d'une demi-portion de fruits et un quart de portion de légumes (Guthrie et al., 2005). Une étude française sur la consommation de garçons de 7 à 16 ans en restauration scolaire (Lambert et al., 2005) souligne que les fruits pâtissent de la concurrence : au dessert, avec les pâtisseries ; au niveau des boissons, les jus de fruits avec les sodas.

### . *La consommation de F&L au domicile : une priorité dans le budget alimentaire*

#### . *Une part modeste des dépenses*

En France, les F&L représentent 12% du budget alimentaire des ménages, soit moins que la viande (23%) et les produits céréaliers (16%), mais autant que les produits laitiers (Cérami and Camus, 2004).

Dans le cas des ménages en dessous du seuil de pauvreté, en 2000-01, la part des fruits dans le budget (5.3%) est inférieure à celle constatée sur l'ensemble des ménages et celle des légumes (11.4%) est supérieure. Cela représentait en termes absolus, une dépense moyenne en fruits de 71 € par personne et par an et en légumes de 153 € par personne et par an (Andrieu et al., 2006). Dans les données américaines, on observe une grande stabilité de la part des légumes entre les tranches de revenu, en revanche la part des fruits est légèrement inférieure dans la tranche de revenu la plus faible (Huang and Lin, 2000). A noter que dans cette enquête, 23% des ménages de la strate de revenu la plus faible n'achètent pas de fruits.

#### . *Un poste budgétaire prioritaire en général*

Les valeurs des élasticités dépenses et revenus pour les F&L comparées à celles des autres postes indiquent les priorités budgétaires des ménages. Ces priorités sont variables selon les catégories de population, en particulier selon leur niveau de vie. En termes de facteurs explicatifs et d'élasticités, la plupart des études constatent des différences au moins entre fruits et légumes à une exception près (Baker and Wardle, 2003)au Royaume-Uni.

*Ensemble de la population* : Les F&L figurent clairement parmi les priorités du budget alimentaire. On constate que les fruits ainsi que les légumes sont parmi les postes aux plus fortes élasticités dépense aux USA, proches du poisson et des jus (Huang and Lin, 2000). Sur données françaises, on relève des élasticités-dépense des légumes plus élevées que pour les autres postes alimentaires, les fruits se plaçant juste après les produits carnés tels que la volaille (Nichele, 2003). En Grande-Bretagne (Lechene, 2000), on constate aussi des élasticités revenus fortes pour les F&L.

*Populations défavorisées* : Les études s'accordent pour différencier les ménages pauvres de l'ensemble de la population, mais le sens des effets ne va pas de soi. Une des raisons principales en est les différences d'appréhension de la population "pauvre" ou "défavorisée" (revenu ou autre critère, mode de calcul du seuil de pauvreté…). Au niveau de la catégorie agrégée des F et des L, les travaux sur les bas revenus constatent une priorité importante pour les fruits et les légumes dans le budget alimentaire (Huang and Lin, 2000). Dans le cas français, on observe également une priorité forte pour les fruits chez les ménages en-dessous du seuil de pauvreté (Andrieu et al., 2006) (données de budgets alimentaires).

Si l'on distingue par catégorie de produits, on relève en France des résultats contrastés : une demande plus élastique au revenu pour les ménages du quartile inférieur de revenu en ce qui concerne les fruits ainsi que les légumes transformés, et les plats préparés à base de légumes ; en revanche, des élasticités inférieures en ce qui concerne les achats de produits frais - fruits comme légumes (données de panels d'achat). Il paraît cependant utile de distinguer encore entre population pauvre et très pauvre (peut-être caractérisée par de l'insécurité alimentaire). En effet, des travaux utilisant des techniques de classification identifient une catégorie défavorisée de population (en termes de revenu et de niveau d'éducation, soit 7,5% de la population), pour laquelle les achats de fruits et légumes sont globalement insensibles au revenu (Bertail and Caillavet, 2007 ). Cette absence de priorité se retrouve dans certains travaux nord-américains, qui observent que les populations proches du seuil de pauvreté répondent moins à une augmentation du revenu (Blisard, Stewart, and Jolliffe, 2004). Chez les bénéficiaires du programme de bons alimentaires, on constate une élasticité dépense des F&L inférieure à celle des produits carnés (porc, viandes autres que bœuf et volailles, poisson) des graisses, des boissons non alcoolisées (Yen, Lin, and Smallwood, 2003). Une étude antérieure (Wilde, McNamara, and Ranney, 1999) relevait déjà la même infériorité vis-à-vis des produits carnés, sucres et graisses. En France, les ménages en dessous du seuil de pauvreté accordent une priorité plus importante aux fruits qu'aux légumes, mais après les produits céréaliers (Andrieu et al., 2006). On ne dispose pas d'étude économétrique sur la consommation des bénéficiaires d'aide alimentaire.

#### *3.1.2.2. L'accessibilité financière : les prix des F&L limitent le niveau de la consommation*

L'évolution des indices de prix montre qu'en France le prix des F&L a augmenté davantage que la moyenne des prix alimentaires tout au long des 40 dernières années. Cette augmentation concerne surtout les produits frais qui représentent encore l'essentiel de la consommation (voir la Figure 1 du chapitre introductif).

Le prix des fruits et légumes peut être vu comme un obstacle à l'accroissement de leur consommation.

***. Sur le plan normatif***

Des travaux américains établissent que même les foyers à bas revenu ont un budget suffisant pour leur alimentation et pour un régime sain, incluant les quantités recommandées de F&L (cf. l'analyse du Thrifty Food Plan par (Blisard, Stewart, and Jolliffe, 2004). Le niveau de dépense alimentaire serait suffisant pour se procurer le "panier alimentaire à coût minimum" calculé aux moyennes nationales des prix pour la consommation au domicile (Daponte and Stephens). Cependant l'estimation de ce panier ne tient pas compte de la consommation hors domicile, plus chère et moins nutritionnellement adéquate (Lin, Frazão, and Guthrie, 1999).

Cette question rejoint le débat sur l'opportunité de conseils sur les pratiques d'achat : choix des variétés et qualités les moins chères, choix du circuit d'approvisionnement, et sur l'éducation à la consommation.

Cependant, plusieurs études montrent que le coût des régimes alimentaires est corrélé positivement à leur conformité aux recommandations nutritionnelles, et que le poste fruits et légumes est celui qui contribue le plus à cet accroissement du coût. Cette observation vaut pour la Grande-Bretagne sur la base des prix de 1995 (Cade et al., 1999) et pour les Etats-Unis (Drewnowski and Specter, 2004). La vérification, à partir d'un modèle de programmation linéaire, qu'un durcissement de la contrainte budgétaire conduit à diminuer très fortement le poids des fruits et légumes dans la ration alimentaire (Darmon, Ferguson, and Briend, 2002) renforce cette hypothèse.

*Dans les faits*, (Ard et al., 2007) vérifient sur un échantillon de ménages aux Etats-Unis l'existence d'une association négative entre la présence de 27 sortes de fruits ou légumes au foyer et leur prix. Une étude nord-américaine comparant la consommation des ménages selon que la maîtresse de maison est très sensible au prix ou pas, montre clairement que la consommation de F&L est supérieure dans ce dernier cas (Bowman, 2006). Ces ménages très sensibles au prix sont caractérisés par de faibles revenus, un faible niveau d'éducation, et sont majoritairement "non-blancs" selon les critères des statistiques des Etats-Unis.

**. *Elasticités-prix***

**.** *Ensemble de la population*

Aux USA (Huang and Lin, 2000) on constaté des élasticités prix plus élevées pour les F&L que pour la plupart des autres postes mais elles restent assez faibles (inférieures à 1). En Grande-Bretagne, on relève des élasticités prix moins fortes que pour plusieurs postes alimentaires. En France, les élasticités obtenues sur des systèmes de demande complets font apparaître que les ménages sont très sensibles aux prix des légumes, plus qu'à celui des autres postes alimentaires, et notamment plus qu'au prix des fruits (Nichele, 2003).

Les relations de substitution-complémentarité interviennent essentiellement avec les produits carnés (qui sont les postes de plus forte valeur dans le budget alimentaire). Dans les travaux portant sur les Etats-Unis ou le Canada (Huang and Lin, 2000), (Richards and Patterson, 2005), on observe des effets de complémentarité entre la demande de légumes et la demande de bœuf, et d'un ordre de grandeur plus faible entre demande de fruits et de légumes. La demande de fruits apparaît substitut de celle de la viande. Sur des données britanniques, on trouve des complémentarités entre légumes transformés et œufs, légumes frais et poisson transformé, fruits transformés et poisson ; des substitutions entre fruits frais et œufs. En France, la demande de légumes a pour substituts les produits transformés à base de viande, les produits céréaliers et le fromage. la demande de fruits a pour substitut la demande de légumes (Nichele, 2003), contrairement aux résultats nord-américains. L'existence de cette relation de substitution est retrouvée entre fruits frais et légumes (frais, transformés) pour les populations aisées (Andrieu et al., 2006).

**.** *Populations défavorisées*

L'effet des prix sur la consommation des fruits et légumes est plus marqué chez les ménages de statut socio-économique bas aux Etats-Unis ((Blisard, Stewart, and Jolliffe, 2004), (Huang and Lin, 2000). On observe des effets de complémentarité entre demande de fruits et produits chers tels que bœuf et poisson ; avec une intensité moindre, on trouve aussi une relation de complémentarité entre demande de légumes et bœuf. En France, pour les ménages du 1$^{er}$ quartile de revenu, au sein de la catégorie des F&L, on ne relève que de faibles effets de substitution, à l'intérieur d'une même catégorie : entre fruits frais et transformés, ou légumes frais et transformés (à la différence de l'ensemble de la population pour laquelle on enregistre des substitutions entre fruits frais et légumes frais).

Comme pour le revenu, des segments de population peuvent se révéler insensibles au prix : c'est le cas de la population particulièrement défavorisée des bénéficiaires de bons alimentaires aux Etats-Unis (Yen, Lin, and Smallwood, 2003) et d'un segment très défavorisé en France.

***. Opportunité d'interventions auprès des ménages : Sensibilité aux prix vs dépense***

***.*** *Une grande hétérogénéité des élasticités*

Les élasticités sont des indicateurs sur l'efficacité de politiques de modification des prix ou du revenu (cf. tableau 1 pour une liste récapitulative établie à partir de travaux des 10 dernières années). Au niveau de catégories agrégées (F&L, ou F, ou L), on observe une variabilité importante des élasticités avec un écart pouvant aller de 1 à 3 mais centrées autour de 1 (entre 0.5 et 1.5). Au niveau de F&L spécifiques, les élasticités peuvent atteindre des valeurs plus élevées (comme les élasticités-dépense chez (Henneberry, Piewthongngam, and Han, 1999). L'ordre de grandeur des élasticités ne paraît pas différer fondamentalement selon qu'il s'agit de données temporelles ou transversales. On ne relève pas non plus de différence systématique entre les élasticités calculées pour les fruits ou pour les légumes, pour les produits frais ou les produits transformés.

La hiérarchie des valeurs des effets prix et revenu ou dépense, soit la pertinence comparée de politiques de prix ou de revenu, dépend aussi des études, et des termes de comparaison (les élasticités revenu sont par construction inférieures aux élasticités dépense). Dans les travaux consultés, les élasticités prix sont supérieures aux élasticités revenu en France (Andrieu et al), en Espagne (Angulo et al., 2002) et en Grande-Bretagne (Lechene, 2000). Les travaux américains ne fournissent pas les élasticités revenu mais dépense, et celles-ci sont en général supérieures aux élasticités prix. Une différence intéressante est que sur les données US, fruits et légumes sont des produits complémentaires : une augmentation du prix des fruits entraîne une diminution de la consommation de fruits *et* de légumes). Sur les données françaises, les fruits et les légumes sont des produits substituts (une augmentation du prix des fruits entraîne une diminution de la consommation de fruits et une augmentation de celle de légumes). Notons toutefois que dans les 2 cas, ces relations sont de faible intensité.

***.*** *Une politique de prix sur les F&L touchera les consommateurs de façon différenciée selon les produits visés*

Aux Etats-Unis comme en France, on constate que les effets prix et revenu ne sont pas du même ordre de grandeur pour les populations défavorisées, plus marqués ou insignifiants selon les critères d'appréhension de ces populations et le type de produit considéré. En France, des résultats identifient les ménages du 1er quartile de revenu comme plus sensibles au prix des F&L transformés, les ménages aisés étant plus sensibles au prix des produits frais.

D'autre part, les résultats d'études dans ces deux pays montrent qu'il existe un groupe de ménages très défavorisés, qui se révèlent peu accessibles, voire non réceptifs aux instruments classiques de la politique économique. Le risque d'aggravation des inégalités nutritionnelles et sociales est donc grand dans la mise en œuvre des politiques de prix.

### *3.1.2.3. Influence de l'environnement commercial*

***. Disponibilité de l'offre et accessibilité***

Dans un contexte général de disponibilité accrue d'une grande variété de fruits et légumes frais toute l'année (grâce au commerce international) et de produits à forte valeur ajoutée : lavés, découpés, précuits, emballés en portions individuelles (innovation industrielle et segmentation des marchés), les ménages accèdent cependant de façon hétérogène à l'offre de produits.

La *disponibilité d'un jardin* (potager, verger) exerce un effet positif sur la consommation de F&L (Kamphuis et al., 2006), (Caillavet, Nichele, and Robin, 1998). *L'accessibilité sur les lieux de consommation* se révèle un facteur limitant : au foyer comme à l'école dans le cas des enfants (Sandvik et al., 2005). A l'école, l'introduction de la restauration à la carte et la présence de distributeurs de snacks a un impact négatif sur la consommation de F&L ((Kubik et al., 2003). En France, le rôle de la concurrence entre aliments est avéré : par exemple au niveau des desserts entre fruits et pâtisseries (Lambert et al., 2005).

Le concept de *désert alimentaire* (*food desert*) qui exprime le lien entre l'accès aux supermarchés ou magasins de détail à prix réduits et la consommation de F&L) est diversement vérifié sur le plan international : des études l'attestent aux USA (Morland, Wing, and Roux, 2002); (Horowitz et al., 2004) en Finlande, mais pas toujours au Royaume-Uni (Pearson et al., 2005), (Shaw, 2006). D'autres le contestent aux Pays-Bas (Giskes et al., 2006). A ce jour, cette hypothèse n'a pas été testée avec des données françaises.

### 3.1.3. Conclusions

***Les tendances récentes de la consommation ne jouent pas toutes en faveur de la consommation de F&L***

Le développement de la consommation de F&L fait face à plusieurs obstacles : (i) effets de génération contraires à la consommation de fruits et légumes frais : en France, la consommation décroît avec les générations ; (ii) un niveau de prix relatif défavorable par rapport à des aliments plus nutritifs tels que les sucres et les graisses, qui explique en partie la faible consommation des populations défavorisées ; (Skinner et al.)croissance de la restauration hors domicile, en particulier commerciale, qui pourrait être, comme aux Etats-Unis, moins favorable aux F&L que la consommation au domicile ; il serait intéressant de vérifier si c'est le cas de la restauration collective (entreprises et scolaire);

La diversification de l'offre du côté des producteurs (produits, taille des portions, modes de présentation et plus grande facilité de préparation…) et la communication de messages de santé œuvrent pour faire augmenter la consommation.

Au total, il est difficile d'appréhender l'effet final de ces contraintes tant que l'on connaît si mal la consommation de F&L dans la restauration hors domicile. Dans tous les cas, il est clair que des interventions sont nécessaires pour inverser l'effet défavorable de génération.

***Il existe de fortes variations dans la consommation de F&L***

Les déterminants d'ordre individuels, tel que sexe, âge, revenu, niveau d'éducation, région sont largement identifiés, alors que les réactions du consommateurs face aux facteurs de l'offre sont plus délicates à appréhender. Le frein que pourrait constituer une accessibilité insuffisante des F&L, sur le plan spatial et de la structure commerciale n'a pas été vérifié. L'hypothèse du désert alimentaire pourrait être testée au niveau des quartiers.

***La consommation de F&L fait clairement partie des postes budgétaires prioritaires dans l'alimentation au domicile des ménages français…***

Les résultats des études peuvent d'autant plus être synthétisés qu'on en reste au niveau agrégé des F&L. Au niveau des grands postes alimentaires, les élasticités dépense ou revenu de la demande de F&L sont parmi les plus élevées. Cependant les travaux fournissant des élasticités donnent des ordres de grandeur variables et une hiérarchie élasticités-prix et élasticités-revenu hétérogène. Les quelques travaux européens recensés concluent à des élasticités prix supérieures aux élasticités revenu au niveau des catégories agrégées. La catégorie des fruits et légumes est très hétérogène et les résultats peuvent être différents au niveau fin des produits Aussi aucune conclusion systématique ne saurait en être tirée au niveau de produits plus spécifiques ou de sous-groupes de population.

***…avec une exception notable pour certains groupes très défavorisés***

On constate en particulier que la demande de F&L de populations très défavorisées peut être moins sensible, voire non réceptive, à des variations de prix ou de revenu. Pour des aliments tels que les F&L dont la consommation se révèle être un marqueur social, des politiques de prix peuvent facilement être un vecteur d'aggravation des inégalités sociales.

**Tableau 3-1.** La demande de fruits et légumes : Elasticités prix et dépense/revenu[1]

| Auteurs | Données | Echantillon | Méthode estimation | Elasticité-prix direct non compensées | Elasticité-dépense alimentaire | Elasticité-revenu |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pombosa, Mbaga (*Agriculture and Agrifood* 2007 | **Canada**<br>Food Expenditure survey 2001 | 5 643 ménages | AIDS | F : -0.85<br>L : -0.65 | F : 1.28<br>L : 1.31 | |
| Smed, Denver (*Food Policy* 2007) | **Danemark**<br>Données de Panel 1997-2000 | 2000 ménages<br>4 classes sociales | AIDS<br>Elasticités temporelles | Min/max<br>F :-0.68/-1.27<br>L : -1.14/-1.47 | | |
| Angulo, Gil, Dhehibi, Mur (*Applied Econ.* 2002) | **Espagne**<br>Enquête nationale de budget des ménages<br>Données de panel | 217 ménages<br>4 tailles de zone de résidence | Modèle de Rotterdam<br>Elasticités temporelles | Min/max<br>F: - 0.55/- 0.77<br>L: -0.30/-0.46 | | Min/max<br>F: 1.01 / 1.21<br>L: 0.82 / 1.22 |
| Henneberry, Piewthongngam, Qiang *(J. Agric. and Resource Econ.* 1999) | **Etats-Unis** | 1970-1992<br>10 fruits frais<br>et 10 légumes frais | LA/AIDS<br>Elasticités temporelles | Pommes: -0.59<br>Bananes:-1.20<br>Raisin: -2.09<br>Agrumes: -1.03<br>Carottes: -1.65<br>Oignon: -0.29<br>Concombres: -0.73<br>Tomates: -0.23 | Pommes: 0.5<br>Bananes: 0.87<br>Raisin: 5.22<br>Agrumes: 1.08<br>Carottes:2.02<br>Oignon: 1.41<br>Concombres: 0.89<br>Tomates:1.16 | |
| Huang, Lin (*ERS* 2000) | **Etats-Unis**<br>1987-88 Food Consumption survey | 4245 ménages<br>3 strates de revenu | AIDS | **Bas revenu/total**<br>F : -0.65 / -0.72<br>L :-0.70 / -0.72 | **Bas revenu/total**<br>F : 1.26 / 1.16<br>L :1.02 / 0.98 | |
| Yen, Lin, Smallwood (2003) | **Etats-Unis**<br>Enquête sur le Programme national de coupons alimentaires | bénéficiaires de coupons alimentaires 1996-97;<br>817 ménages | 3 méthodes : Quasi-Maximum de vraisemblance;<br>Simulated- Maximum ;<br>Two-Step estimator. | FL: -0.71/-0.74 | FL: 1.03 / 1.04 | |

[1] Les élasticités reportées sont significatives jusqu'au seuil de 10%.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Richards, Patterson (*J.Agr.Res. Ec.* 2005) | **Etats-Unis** données de panel 2000 ;<br>**Canada** données Nielsen 2002 | **Etats-Unis**: 8 régions, 35 fruits frais, 51 légumes frais;<br>**Canada** : 6 régions, 71 fruits, 107 légumes | Modèle en 2 étapes<br>Fonction Cobb-Douglas | **Etats-Unis:**<br>F: -0.67;<br>L: -0.89;<br>**Canada:**<br>F: -0.86;<br>L: -0.87; | **Etats-Unis:**<br>F: 1.09<br>L : -0.86<br>**Canada:**<br>F: 1.13<br>L: 0.87 | |
| Nichele, 2003 | **France** | Enquête sur la consommation alimentaire 1978-1991 | QUAIDS<br>Elasticités temporelles | F : -0.70<br>L : -0.92 | F : 1.07<br>L : 1.25 | |
| Andrieu et al. (*ONPES* 2006) | **France**<br>* Budgets de Famille 2000-01 | 10 288 ménages | Working-Leser quadratique | | | **seuil de pauvreté/total :**<br>F : 0.89/0.37<br>L : 0.30/0.24 |
| | *Données TNS 1997 | 2005 ménages | AIDS | **1er quartile/total** :<br>F frais : -0.89/-1.06<br>L frais : -0.82/-1.06<br>F en conserves : -1.15/-0.79<br>L en conserves : -1.03/-1.01 | **1er quartile/total** :<br>F frais : 0.93/1.20<br>L frais : 0.94/1.23<br>F en conserve : 1.53/1.55<br>L en conserve : 1.12/0.52 | **1erquartile/total**<br>F. frais : 0.22/0.40<br>L frais : 0.22/0.41<br>F en conserve : 0.37 /0.52<br>L en conserve : 0.27/0.18 |
| Lechene, (*MAPP* 2001) | **Grande-Bretagne** National Food Survey | 600 ménages/an<br>Prix: 1988-2000<br>Revenu: pooled data 1998-2000 | AIDS<br>Elasticités temporelles | **1988-2000**<br>L: -0.66<br>L transformés : -0.6<br>F frais : -0.29 | | **1998-2000**<br>L verts : 0.27<br>L transformés : 0.12<br>F frais : 0.30 |
| Mori, Clason, Lillywhite (*Agribusiness* 2006) | **Japon** | Enquêtes de Budget de ménages 1979-2001 | régression double-log<br>Elasticités temporelles | Pommes : -0.38<br>Mandarines : -0.28 | | Pommes : 1.36<br>Mandarines : -1.92 |
| Gustavsen, Rickertsen (*Can. J. Agric. Econ. Rev.* 2006) | **Norvège** | 1986-1998<br>Consumption surveys<br>3 groupes de légumes | Modèle d'Heckman en 2 étapes<br>Elasticités temporelles | L traditionnels:-1.13<br>L. pour salade:-0.38<br>L. transformés: -1.62 | L traditionnels:2.12<br>L. pour salade:1.68<br>L. transformés: 1.26 | |

## 3.2. Facteurs sensoriels de l'acceptabilité des fruits et légumes

S. Nicklaus

Parmi les 546 publications inventoriées pour la thématique "consommation", près d'une centaine ont été retenues lorsqu'elles avaient pour objet l'étude des déterminants sensoriels des préférences et de la consommation. Des publications disponibles dans d'autres bases de données (celle de l'expert notamment) ont complété cette sélection. Pour étayer les aspects de consommations relatifs à des fruits et légumes spécifiques, des sources "grises" telles que les rapports techniques du CTIFL ont été utilisées.

L'impact des facteurs sensoriels des fruits et légumes sur la consommation a été étudié sur de multiples espèces végétales. De plus, il est souvent traité indépendamment de l'impact d'autres facteurs (prix, praticité…), ce ne permet pas leur hiérarchisation (Jaeger, 2003), et rend difficile la généralisation des résultats.

Dans un premier temps, les caractéristiques sensorielles qui sont susceptibles d'influencer la consommation des fruits et légumes seront présentées, ainsi que les variations de perception et de préférences d'un consommateur à l'autre. Les différences de perceptions et de préférences des F&L liées à l'âge des consommateurs seront discutées à part. Différents aspects de la segmentation des préférences et des choix seront enfin évoqués.

### 3.2.1. Les caractéristiques sensorielles susceptibles d'influencer l'acceptabilité

Des sensations jugées déplaisantes sont souvent citées parmi d'autres facteurs (coût, disponibilité, temps de préparation), comme un frein à la consommation des légumes et dans une moindre mesure des fruits (Glanz et al., 1998); (Krebs-Smith et al., 1995b), (Reicks, Randall, and Haynes, 1994). Ces sensations sont déclenchées par différents facteurs comme la saveur, l'odeur, la texture, l'aspect ou la fraîcheur des produits. Ces caractéristiques sensorielles sont cependant ressenties avec une intensité variable d'un consommateur à l'autre, ce qui peut contribuer à expliquer des acceptabilités différentes.

#### *3.2.1.1. La saveur*

Alors que de nombreux facteurs contribuent à l'acceptabilité d'un aliment, un goût désagréable est souvent le critère prépondérant de son rejet (Rozin and Vollmecke, 1986) et induit effectivement une plus faible consommation (Dinehart et al., 2006);(Fenwick et al., 1990), (Kaminski, Henderson, and Drewnowski, 2000).

***. L'amertume***

De nombreux F&L contiennent naturellement des substances amères (parfois également astringentes et acides) de nature chimique variable, telles que les phénols, les alcaloïdes, les flavonoïdes, les glucosinolates, les terpènes… L'amertume de ces substances est rejetée (Drewnowski and Gomez-Carneros, 2000). Ainsi, les non consommateurs d'endive (17% de la population) mettent en avant son amertume pour expliquer leur désintérêt.

L'amertume de différents cultivars de brocoli, de chou-fleur et de choux de Bruxelles est linéairement reliée à leur contenu composés amers tels que glucosinolates ou sinigrine(Fenwick, Griffiths, and Heaney, 1983); (Fenwick, Heaney, and Mullin, 1983), au-delà d'une concentration seuil (van Doorn et al., 1998b). Les préférences des consommateurs s'orientent vers les cultivars les plus pauvres en composés amers (Schonhof, Krumbein, and Bruckner, 2004) : par exemple, plus l'amertume est intense, plus le consommateur rejette le chou de Bruxelles (van Doorn et al., 1998a).

Le rejet de l'amertume d'un bon nombre substances contenues dans les F&L présenterait un caractère adaptatif (Glendinning, 1994), puisqu'elles sont souvent toxiques pour les prédateurs (insectes,

nuisibles) comme pour l'homme (Ames, Profet, and Gold, 1990). Depuis longtemps, les efforts de sélection variétale et les procédés industriels de traitements des végétaux tendent à maîtriser ou limiter cette amertume, comme la désamérisation du jus de pamplemousse (Rouseff, 1990; Singh et al., 2003), ou la sélection variétale de crucifères peu amers (Heaney and Fenwick, 1980)

L'amertume est donc clairement identifiée comme un frein à la préférence pour les légumes (Engel, Martin, and Issanchou, 2006) et à leur consommation (Drewnowski and Gomez-Carneros, 2000). Les consommateurs ressentent cette amertume plus ou moins fortement : des différences génétiques dans les récepteurs gustatifs, notamment ceux liés à la détection de l'amertume, sont reliées à des différences d'intensité perçue, d'où une acceptabilité variable. Une étude récente a ainsi confirmé que plus les consommateurs sont sensibles à l'amertume des glucosinolates du chou-fleur, moins ils en consomment (Engel, Martin, and Issanchou, 2006).

*Le rôle de la génétique : le cas du gène TAS2R38, de l'amertume du PROP et de la consommation de légumes*

Le lien entre la variabilité de la sensibilité à l'amertume et celle des préférences pour des aliments amers a été beaucoup étudié. En effet, d'une part, la sensibilité à certains composés amers présente une distribution bimodale dans la population : ainsi le 6-n-propylthiouracile a un goût amer pour certaines personnes dites 'sensibles' et n'a aucun goût pour d'autres dites 'peu sensibles' (Bartoshuk, 1993). Cette sensibilité variable est directement liée au gène TAS2R38 qui code pour un récepteur gustatif dont les différentes formes se lient plus ou moins bien au PROP. D'autre part, la structure chimique du PROP est proche de celle des composés amers des crucifères. Ainsi, le lien entre sensibilité au PROP et préférences pour des légumes amers a été particulièrement étudié.

Les sujets sensibles au PROP perçoivent plus intensément l'amertume d'un grand nombre de légumes que les sujets peu sensibles, en particulier celle des légumes producteurs de glucosinolates (Sandell and Breslin, 2006). Ces différences de perception sont parfois associées à des différences d'appréciation, par exemple pour le chou de Bruxelles, le chou, le brocoli, les épinards (Drewnowski et al., 2000); (Drewnowski et al., 1999); (Kaminski, Henderson, and Drewnowski, 2000), (Keller et al., 2002),(Turnbull and Matisoo-Smith, 2002a) et le jus de pamplemousse (Drewnowski, Henderson, and Shore, 1997), (Drewnowski et al., 2000), (Drewnowski et al., 1998), (Glanville and Kaplan, 1965). Ces différences de perception sont même associées à des différences de consommation de légumes (Dinehart et al., 2006). Cependant, d'autres études n'ont pas trouvé ce lien entre sensibilité au PROP et appréciation et/ou consommation de légumes (Anliker et al., 1991b); (Drewnowski et al., 1999), (Jerzsa-Latta, Krondl, and Coleman, 1990), (Niewind, Krondl, and Shrott, 1988), (Yackinous and Guinard, 2002) suggérant que d'autres facteurs que les facteurs génétiques peuvent intervenir dans l'appréciation et la consommation des légumes. Des expériences répétées avec des aliments amers pourraient par exemple favoriser leur consommation. De plus, les différences de sensibilité pourraient non seulement être liées au génotype des consommateurs, mais aussi à leur âge, les enfants étant plus sensibles (Mennella, Pepino, and Reed, 2005).

Certains auteurs, forts du lien entre perception de l'amertume liée au récepteur TAS2R38 et consommation de F&L (Drewnowski, 2004), vont jusqu'à associer les perceptions gustatives à certaines maladies liées à l'alimentation comme les maladies cardiovasculaires, dans la mesure où les sujets sensibles à l'amertume consommeraient moins de légumes, et bénéficieraient moins de leurs effets protecteurs (Duffy, Lucchina, and Bartoshuk, 2004), mais ce point est controversé en raison de l'inconstance des résultats de telles études (Mattes, 2004).

### . *L'acidité*

La plupart des fruits et certains légumes sont riches en acides organiques tels que les acides citrique (citron, tomate), malique (pomme, raisin), ascorbique (kiwi), tartrique (raisin), oxalique (rhubarbe) ou d'autres moins représentés (a. quinique, salicylique, chlorogénique…). La teneur en acide varie au cours de la maturation du fruit. Une certaine acidité est acceptable par le consommateur mais un fruit trop acide, jugé immature, est généralement rejeté. Certaines variétés, plus acides que d'autres, sont peu appréciées : c'est le cas des pommes Boskoop pour les consommateurs britanniques et danois (Jaeger et al., 1998).

L'acceptabilité des fruits est en fait essentiellement reliée à l'équilibre acide/sucre, qui est variable d'un fruit à l'autre (Crisosto, Crisosto, and Garner, 2005). Cet équilibre acide/sucre est par exemple une caractéristique recherchée par les amateurs de fraises (Roty, 2006) ou de pêches (Hilaire and Mathieu, 2004). En revanche, seul le caractère sucré est recherché dans la raisin (Roty, 2001d).

#### *3.2.1.2. L'odeur à la cuisson et les odeurs spécifiques*

L'acceptabilité des légumes peut pâtir de leur odeur lors de la cuisson. Par exemple, les choux (chou vert, chou-fleur, chou de Bruxelles) dégagent une odeur marquée lors de leur cuisson qui peut déplaire aux consommateurs et donc limiter leur consommation (Engel, Martin, and Issanchou, 2006). Plus généralement, ces légumes, producteurs de glucosinolates, génèrent aussi leurs dérivés qui sont irritants pour le nez, et/ou dont l'odeur est désagréable comme celle de l'isothiocyanate d'allyle. La sensibilité à cette odeur est variable d'un consommateur à l'autre, ce qui explique la variabilité du rejet du chou-fleur : les personnes les plus sensibles sont généralement non consommatrices de chou-fleur (Engel, Martin, and Issanchou, 2006). Plus généralement, les arômes spécifiques de certains légumes peuvent déplaire à certains consommateurs, sans que ce rejet soit lié à une sensibilité particulière (navet, céleri, poireau, fenouil, olive, artichaut, brocoli, bette, betterave…).

Inversement, le parfum spécifique à un fruit ou un légume peut être particulièrement recherché. Ainsi les consommateurs semblent particulièrement sensibles à cet aspect pour la poire (Harker, Gunson, and Jaeger, 2003a); (Roty, 2004) la tomate (Hutin, 1999) la fraise (Roty, 2006) et le kiwi (Jaeger et al., 2003). La composition de l'arôme d'un fruit est donc un critère d'appréciation : un arôme de kiwi est plus apprécié s'il contient du butanoate d'éthyle, mais il l'est moins s'il contient de l'éthyle-2-hexenal (Gilbert et al., 1996).

#### *3.2.1.3. La texture*

Les F&L frais sont caractérisés par des textures "craquante" et "croquante", généralement appréciées pour les aliments secs comme les biscuits apéritifs, ainsi que pour les F&L dont elles signalent la fraîcheur (Fillion and Kilcast, 2002). Une fermeté minimale est ainsi recherchée dans une pomme (Hoehn et al., 2003), alors qu'une texture farineuse est évitée (Jaeger et al., 1998). Le croquant explique en partie l'appréciation du concombre (Kraeutler and Moreau-Rio, 1998) Mais les F&L peuvent présenter d'autres textures moins appréciées, comme les caractères dur, fibreux, et la présence de peau et de graines (Roininen et al., 2004).

Concernant les fruits, l'impression de maturité, souvent jugée en appréciant leur texture semble être décisive dans l'acte d'achat mais elle est jugée fréquemment insuffisante par des consommateurs américains (Wolf, Martin, and Cagianut, 2003).

#### *3.2.1.4. L'aspect*

L'aspect des F&L est probablement un critère de choix important "sur l'étalage" d'une pièce par rapport à une autre, qui ne pourrait constituer un frein à leur consommation que si l'offre est globalement insuffisante. La couleur ou la présence de taches sur une pêche est décisive dans le choix effectué par le consommateur (Jackman et al., 2004). Pour la poire, la couleur influence le choix mais la présence de tâches brunes a moins d'importance (Gamble, Jaeger, and Harker, 2006).

La taille du fruit peut aussi influencer le choix. Des consommateurs canadiens préfèrent par exemple des pommes de 7,5 cm de diamètre, soit la taille maximale disponible sur le marché (Hampson, Sanford, and Cline, 2002). Pour les consommateurs français, à saveur équivalente, un calibre plus important est également préféré pour une pêche (Hilaire and Mathieu, 2004). Néanmoins, des fruits de taille importante peuvent sembler trop gros à consommer en une fois, notamment pour les enfants, ce qui pourrait freiner leur consommation.

#### *3.2.1.5. La fraîcheur*

La perception de la fraîcheur des F&L peut influencer fortement leur consommation (Florkowski, Bruckner, and Schonhof, 1996). Elle découle des propriétés physiques des produits (notamment la texture et l'aspect), mais c'est aussi un concept associé à une proximité avec le produit original, en termes de distance, de temps et de procédé de production (Péneau, 2005). Le concept de fraîcheur n'est pas identique pour tous les consommateurs : il varie en fonction de la possession d'un jardin ou d'un verger, de la fréquence d'achat de F&L, et plus accessoirement en fonction du lieu d'habitation dans l'enfance, de l'âge et du sexe (Péneau, 2005).

Des jeunes adultes polonais, amateurs de F&L, déclarent que la fraîcheur est une caractéristique essentielle pour leur choix, juste avant le goût (Babicz-Zielinska, 1999). Néanmoins, une enquête portant sur un grand nombre de consommateurs suisses indique que leurs choix sont conduits dans l'ordre par la saveur, par l'arôme et par la fraîcheur des pommes (Peneau et al., 2006). Plus spécifiquement, la fraîcheur est liée aux caractères croquant et juteux, à l'arôme et à l'appréciation globale (Péneau, 2005). Pour la fraise et la carotte, la fraîcheur est également reliée à un ensemble d'attributs qui globalement reflètent leur vieillissement physiologique (Péneau, 2005). Pour la salade, y compris la mâche, la fraîcheur est un critère d'achat fondamental (Baros, 2002); (Baros and Christy, 2005).

### 3.2.2. Les facteurs d'acceptabilité des F&L liés à l'âge des consommateurs

La consommation des F&L est variable dans la population. Parmi les multiples facteurs individuels qui contribuent à cette variabilité, l'âge est un facteur de différenciation important entre consommateurs et faibles consommateurs. En effet, avec l'âge évoluent d'une la perception des propriétés sensorielles des F&L et d'autre part les préférences pour les F&L.

#### *3.2.2.1. L'enfance*

De nombreuses enquêtes montrent que les consommations des jeunes enfants sont faibles pour les fruits et surtout pour les légumes : par exemple, aux Etats-Unis, des enfants de 2 et 5 ans consomment 80% des quantités de fruits recommandées (pour moitié sous forme de jus de fruits) mais seulement 25% des quantités de légumes recommandées (Dennison, Rockwell, and Baker, 1998). Seul un enfant sur cinq consomme au moins 5 portions de F&L par jour (Krebs-Smith et al., 1996). Dès 9-11 mois, et surtout si la part des aliments de table augmente, les consommations de légumes sont inférieures aux recommandations, et elles sont couvertes en grande partie par les frites, car très peu d'enfants consomment des légumes verts (Briefel et al., 2004). La consommation de fruits est principalement couverte par celle des jus de fruits (Dennison, 1996). Dès la transition de l'alimentation infantile (lait et petits pots) vers l'alimentation adulte (consommation d'aliments "de table", mixés ou non), c'est-à-dire autour de 18 mois, on observe un déficit de consommation de fruits et surtout de légumes comparativement aux recommandations (Skinner et al., 1997). De 24 à 60 mois, on note même une diminution de la variété d'items consommés dans les catégories fruits et légumes (Skinner et al., 1999). Une enquête française montre que la part des légumes verts augmente régulièrement à partir de la diversification alimentaire jusqu'à 18 mois, alors qu'elle diminue ensuite jusqu'à 30 mois ; a contrario, la part des fruits et des jus de fruits augmente régulièrement de la diversification à 30 mois (Boggio et al., 1999). Dans une situation où des enfants de 2-3 ans peuvent choisir les aliments qu'ils consomment au déjeuner, les légumes, quelle que soit leur présentation (en crudité, cuits, mélangés) apparaissent comme le groupe d'aliments le moins choisi (Nicklaus, Boggio, and Issanchou, 2005). Même dans des cultures traditionnellement consommatrices de légumes, comme l'Italie, la consommation par les jeunes enfants est jugée faible, on observe même une diminution de la consommation de fruits entre 6 et 32 mois (Greco et al., 1998). L'étude des "restes" dans une cantine scolaire italienne montre une faible consommation des légumes proposés, notamment des légumes cuits (salade verte, courgette, fenouil, épinards…) par les enfants les plus jeunes (D'Addesa et al., 2002). De même, 47% d'enfants espagnols déclarent un dégoût des légumes, alors que seulement 6% déclarent ne pas apprécier les fruits (Perez-Rodrigo et al., 2003).

Les freins potentiels à l'acceptation des légumes par les enfants sont multiples. On soulignera ici le rôle des facteurs sensoriels et le rôle de la densité énergétique.

En premier lieu, les facteurs sensoriels jouent probablement un rôle plus grand dans l'appréciation des aliments chez les enfants que chez les adultes (Drewnowski, 1989; Drewnowski, 1997). Les caractéristiques sensorielles seraient en effet perçues avec une plus grande acuité par les enfants que par les adultes, ou à intensité équivalente, une caractéristique "désagréable" serait plus rejetée. Par exemple, l'amertume apparaîtrait plus prononcée chez les enfants que chez les adultes et moins acceptable. Chez les enfants, notamment les plus jeunes, les facteurs sensoriels ne sont pas mis en balance avec les facteurs psychologiques comme des attitudes positives envers les fruits et légumes, ou des connaissances nutritionnelles accrues. Les enfants ne mangent que les légumes qu'ils aiment (Kelley and Behe, 2003). Dans une enquête sur les déterminants de la consommation des F&L chez des enfants de 8 ans, les préférences ont plus de poids que les habitudes de consommation ; les connaissances sur les F&L ne jouant aucun rôle (Resnicow et al., 1997).

Cette sensibilité des enfants aux saveurs se révèle en particulier dans le cas de l'amertume du PROP. Les enfants qui y sont sensibles rejettent plus les légumes que ceux qui n'y sont pas sensibles, comme c'est le cas pour les épinards (Turnbull and Matisoo-Smith, 2002b), le brocoli (Keller et al., 2002), ou d'autres végétaux amers (olives, concombre, brocoli) (Bell and Tepper, 2006). Cependant, comme pour les adultes, le lien sensibilité au PROP - rejet des légumes n'est pas systématique (Anliker et al., 1991a).

L'acidité apparaît également comme un frein sensoriel à la consommation de fruits chez les enfants. Les garçons de 8 à 11 ans qui apprécient plus l'acidité ont une consommation hebdomadaire de fruits plus importante (Liem et al., 2006). Cette association entre acceptabilité de l'acidité et consommation de fruits a également été observée chez des enfants de 18 mois, sans distinction entre filles et garçons (Blossfeld et al., 2007). On ne sait pas si c'est une meilleure appréciation de l'acidité qui prédispose à une plus forte consommation de fruits, ou si c'est la consommation régulière de fruits qui entraîne une meilleure acceptation de leur acidité constitutive.

La texture des F&L est un autre frein à leur consommation par les enfants, particulièrement par les plus jeunes. Les capacités masticatoires se développent avec la sortie des dents définitives et se prolongent jusqu'au milieu de l'adolescence, lorsque la force musculaire atteint son maximum (Szczesniak, 1972). Les préférences pour différentes textures suivent l'évolution des capacités masticatoires. Ainsi les légumes, souvent durs, croquants et/ou fibreux sont peu appréciés des jeunes enfants. Lorsque les capacités masticatoires sont développées, certains enfants peuvent préférer des variétés de fruits très croquantes comme les pommes Granny Smith (Thybo, Kuhn, and Martens, 2004). Néanmoins, les enfants préfèrent des pommes plutôt sucrées et parfumées, alors que les adultes apprécient des pommes acides et croquantes (Kühn and Thybo, 2001).

En deuxième lieu, le rejet des légumes par les enfants pourrait venir de leur faible densité énergétique. Très tôt, les enfants apprennent à apprécier davantage les flaveurs des aliments qui leur procurent le plus d'énergie (Birch and Deysher, 1985; Birch and Deysher, 1986), par un mécanisme inconscient d'association entre caractéristiques sensorielles d'un aliment et valeur énergétique, dont l'importance est probablement grande au regard de l'évolution. Ainsi les aliments les plus choisis par le jeune enfant sont les plus énergétiques (Nicklaus, Boggio, and Issanchou, 2005). Or, le contenu énergétique des fruits, et particulièrement celui des légumes, est faible. Une relation directe apparaît ainsi entre l'appréciation des F&L et leur contenu énergétique (Gibson and Wardle, 2003). Un des aliments préférés des enfants de 2 à 24 mois est la banane, dont la densité énergétique est forte ; en revanche les légumes qui sont les aliments les moins appréciés sont les moins énergétiques (Skinner et al., 1997). Les besoins énergétiques importants des enfants et des adolescents, dus au coût énergétique de la croissance, pourraient expliquer l'évitement des F&L (Drewnowski, 2000).

Différents travaux montrent que les habitudes et les préférences alimentaires se forment dès la petite enfance, notamment en ce qui concerne la consommation de F&L. Différentes études longitudinales montrent une stabilité des consommations par groupe d'aliments : les enfants qui consomment le plus de légumes dans l'enfance sont aussi ceux qui en consomment le plus à l'adolescence (Nicklaus et al., 2004); (Nicklaus et al., 2005) et à l'âge adulte (Krebs-Smith et al., 1995a), cet effet se retrouvant à

différentes périodes au cours de l'enfance (Nicklas, Webber, and Berenson, 1991; Skinner et al., 2002a; Skinner et al., 2002b), de l'adolescence (Resnicow et al., 1998), et de l'adolescence à l'âge adulte (Lake et al., 2006; von Post-Skagegård et al., 2002). D'autres enquêtes confirment que le facteur qui prédit le mieux la consommation de F&l chez les enfants est l'habitude d'en consommer (Reinaerts et al., 2007).

En vue de proposer des pistes pour faire accepter les légumes aux jeunes enfants, différents travaux étudié l'effet des expériences répétées. Les conclusions sont claires : même si les enfants n'acceptent pas initialement le légume qui leur est présenté, des expositions répétées (au moins une dizaine) conduisent à une augmentation forte de leur appréciation, à l'âge de la diversification (Birch et al., 1998; Maier et al., 2006; Sullivan and Birch, 1994) comme autour de 2-6 ans (Wardle et al., 2003a) ou de 5-8 ans (Wardle et al., 2003b). La plasticité des préférences est telle que l'exposition à une variété de légumes différents permet d'augmenter l'appréciation d'un autre légume jamais goûté (Gerrish and Mennella, 2001; Maier et al., 2005; Mennella et al., 2007). Même chez des femmes adultes, des expositions répétées aux épinards permettent d'augmenter leur appréciation et l'intention d'achat (Bingham, Hurling, and Stocks, 2005). Plus radicalement, des chercheurs ont montré que sucrer des légumes augmente leur appréciation par des enfants (Havermans and Jansen, 2007), néanmoins cette solution n'est probablement pas la plus intéressante d'un point de vue nutritionnel.

#### *3.2.2.2. L'adolescence*

Au cours de l'adolescence, les consommations de F&L restent faibles : aux Etats-Unis (étude CSFII), un quart de tous les légumes consommés par les enfants et les adolescents sont des frites, les consommations de fruits et de légumes verts et oranges sont très faibles en regard des recommandations. Les adolescents citent fréquemment les légumes, notamment les légumes verts (épinard, endive, chou, céleri, poivron vert), comme les aliments qu'ils aiment le moins, notamment dans les études françaises (Fischler and Chiva, 1985; Ton Nu, Mac Leod, and Barthélémy, 1996). Cependant, les fruits semblent être appréciés (cerises, fraises, framboises, raisin, abricot, banane, orange), ce qui est confirmé par une enquête anglaise montrant que, pour les 4-16 ans, les fruits sont la deuxième catégorie la plus appréciée (derrière les aliments gras et sucrés) alors que les légumes sont les moins appréciés (Cooke and Wardle, 2005). Entre 4 et 22 ans, les préférences pour les légumes augmentent légèrement mais significativement (Nicklaus et al., 2004), ainsi que la variété à l'intérieur du groupe des légumes (Nicklaus et al., 2005). De même, les consommations de F&L augmentent entre 11 et 31 ans (Lake et al., 2006). Dans cette enquête, l'augmentation de la consommation de 11 à 31 ans est observée surtout l'adolescent juge que ses parents avaient une influence négative sur son alimentation à 11 ans.

Ainsi, les préférences et les consommations de F&L augmentent modestement autour de l'adolescence. Cette augmentation pourrait être liée à l'effet de déterminants d'ordre cognitif (attitudes plus positives, importance de l'image du corps, impact des connaissances nutritionnelles) (Contento, Michela, and Williams, 1995; Gibson, Wardle, and Watts, 1998; Hill, 2002), qui se traduisent différemment selon le sexe (Cooke and Wardle, 2005) : par exemple les adolescentes se soucient plus de leur alimentation que les adolescents (Ton Nu, 1995). Leur consommation de F&L est plus importante que celle des adolescents (Reynolds et al., 1999).

Les facteurs cognitifs peuvent aussi induire une surconsommation des légumes au détriment de la viande, dont l'image devient négative pour les adolescentes en particulier. A l'extrême, ces attitudes se traduisent par le végétarisme, peu répandu en France par rapport aux pays anglo-saxons, et dont la prévalence est plus importante chez les jeunes filles (Worsley and Skrzypiec, 1998). Parallèlement, chez les jeunes hommes, la faible consommation de légumes peut se maintenir depuis l'enfance, du fait d'un intérêt plus limité pour la santé et le poids (Mooney and Walbourn, 2001).

A la sortie de l'adolescence, l'entrée dans l'âge adulte, marquée notamment par le début d'une vie à deux peut être associée à une modification de la consommation de F&L lorsque le partenaire a des habitudes de consommation différentes (Lake et al., 2004).

#### *3.2.2.3. Le troisième âge*

Différentes fonctions sensori-motrices se détériorent avec l'âge, comme les capacités masticatoires. Cela freine la consommation des aliments réclamant une mastication prononcée, comme les F&L. Chez les plus de 60 ans, le nombre d'unités fonctionnelles (dents présentes en haut et en bas) diminue et on observe parallèlement une consommation moins importante de légumes croquants (comme la carotte, le céleri), devenus difficiles à mâcher (Hildebrandt et al., 1997). Par exemple, des carottes peu cuites sont préférées par de jeunes adultes alors que des seniors préfèrent des carottes plus cuites (Roininen et al., 2003). Les personnes âgées incriminent particulièrement les graines, la peau, la dureté, le croquant, la fibrosité et la jutosité des fruits, et la peau, la dureté, la fibrosité des légumes pour expliquer leur difficultés masticatoires (Roininen et al., 2004). Une préparation adéquate permet de limiter leurs désagréments, mais elle implique du temps et des connaissances culinaires qui constituent un autre frein à leur acceptabilité (Brug, Lechner, and de Vries, 1995). Ainsi, les plus de 60 ans s'orientent souvent vers des variétés de poires ou de pommes peu croquantes et sucrées (Harker, Gunson, and Jaeger, 2003b). Cette attraction pour le sucré pourrait bénéficier à la consommation de fruits. De plus, chez les personnes âgées, la perte de sensibilité olfactive et/ou gustative, qui affecte particulièrement la perception de l'amertume (Mojet, Heidema, and Christ-Hazelhof, 2003) pourrait bénéficier à la consommation d'aliments amers comme les légumes. Il semble effectivement que les adultes âgés apprécient plus le goût des légumes que les jeunes adultes (Krebs-Smith et al., 1995a).

Les enquêtes de consommation font effectivement ressortir une plus forte consommation des F&L frais chez les personnes âgées par rapport aux jeunes adultes (Dubuisson et al., 2006); (Gojard, Lhuissier, and Contreras, 2003). Les facteurs qui guident les choix alimentaires des personnes âgées sont la qualité et la fraîcheur, et la recherche d'une alimentation saine, notamment via la consommation de F&L frais (de Almeida et al., 2001). Ces observations traduisent peut-être un effet générationnel, les seniors actuels ayant été plus habitués que leurs cadets à la préparation et à la consommation de ces aliments, et ayant potentiellement plus de temps à consacrer à leur préparation. Avec l'âge, ils pourraient également devenir plus réceptifs aux messages "santé" qui incitent à leur consommation. L'approche longitudinale permet de mieux cerner ce phénomène : une approche rétrospective suggère l'importance des expériences précoces dans l'établissement des habitudes de consommation des F&L (Devine et al., 1998a) ; une étude prospective menée au cours de 60 ans confirme que la qualité de l'alimentation à 61-80 ans est meilleure si la consommation de légumes était plus élevée dans l'enfance (Maynard et al., 2006).

### 3.2.3. Facteurs sensoriels et segmentation des consommateurs

Pour une espèce végétale donnée, les consommateurs n'apprécient pas tous les mêmes caractéristiques sensorielles. Il est important pour les acteurs des filières de pouvoir identifier ces segments de consommation (Barritt, 2001), dont les préférences peuvent de plus évoluer dans le temps et pourraient être prédites afin d'anticiper au mieux les évolutions du marché (Barritt, 1999). Dans le cas de la pomme, certains consommateurs préfèrent des fruits sucrés et fermes, d'autres des variantes acides et juteuses (Daillant-Spinnler et al., 1996).

La segmentation des consommateurs ne se fait pas uniquement en termes sensoriels. Par exemple pour le soja, les 32% de consommateurs dans la population sont plutôt motivés par ses bénéfices pour la santé (72%) que par son goût (Wansink and Westgren, 2003). Chez les consommateurs américains, trois segments apparaissent pour les mandarines : un segment sensible à l'absence de pépins (41%), un à l'aspect (absence de taches, couleur de la peau ; 37%), et un dernier au prix (23%) (Campbell et al., 2004). Dans le cas de la pomme, 55% des consommateurs sont sensibles avant tout à la qualité organoleptique, 29% au prix et 16% à la qualité sanitaire (en particulier concernant les pesticides) (Baker & Crosbie, 1994, in Harker, Gunson, and Jaeger, 2003b).

La connaissance de la qualité "biologique" d'une soupe de légumes entraîne une augmentation de son appréciation pour des consommateurs italiens (Monaco, Cavella, and Masi, 2006) ; de même qu'une appréciation renforcée de tomates moyennement appréciées (alors que les tomates les plus appréciées

ne bénéficient pas de cet effet) (Johansson et al., 1999). Cependant, une revue de la littérature ne souligne pas de différences sensorielles marquées et stables d'une étude à l'autre entre produits biologiques et conventionnels (Bourn and Prescott, 2002). L'attraction des consommateurs vers les produits issus de l'agriculture biologique repose donc plus probablement plus sur une motivation cognitive que sur une motivation sensorielle (Saba and Messina, 2003).

La plupart des études de segmentation sont basées sur la méthode d'analyse conjointe, qui n'implique ni dégustation des produits ni mise en situation d'achat, ce qui reflète peut-être imparfaitement le comportement des consommateurs. De plus, compte tenu de la disparité des résultats disponibles, des travaux complémentaires seraient nécessaires pour évaluer la part des consommateurs plutôt attirés par les qualités sensorielles, le prix ou des critères relatifs à la santé ou cognitifs pour différentes espèces végétales, afin de mieux comprendre l'importance relative de ces facteurs d'une espèce à l'autre.

Cette analyse indique que les facteurs sensoriels peuvent réellement constituer un frein à la consommation des F&L, notamment pour certaines espèces très marquées sensoriellement (légumes amers par exemple), et pour certaines populations, comme celle des jeunes enfants, particulièrement sensibles aux critères sensoriels. Pour une espèce donnée, il est évident que les caractéristiques sensorielles guident le choix d'un cultivar à l'autre, ou d'une pièce à l'autre sur l'étalage. Cependant, les données disponibles dans la littérature ne permettent pas de hiérarchiser l'importance des facteurs sensoriels par rapport à d'autres (prix, disponibilité, praticité…).

## 3.3. Perceptions et attitudes : la valeur des fruits et légumes du point de vue des consommateurs

Patricia Gurviez

Face à l'augmentation des pathologies liées aux désordres alimentaires, de nombreux pays développés ont mis en oeuvre des campagnes d'information et d'incitation à la consommation de fruits et légumes. Ces programmes ne semblent pourtant pas influencer de manière durable les consommateurs. Face à cette constatation, cette contribution se propose de dresser un état de l'art concernant les recherches menées sur les perceptions et les attitudes des consommateurs vis-à-vis des fruits et légumes. Sans prétendre à l'exhaustivité, notre étude bibliographique a porté sur un corpus assez riche et international pour être considéré comme valide (voir "Méthodologie"). La première partie de cette contribution a pour objectif de fournir une analyse de recherches, notamment empiriques, publiées dans des revues scientifiques cherchant à mettre au jour et/ou à mesurer l'influence des variables perceptuelles et psychologiques individuelles dans l'achat et la consommation des fruits et légumes.

L'analyse critique de ce corpus nous amènera, dans une deuxième partie, à proposer l'approche par la valeur de consommation, désormais établie dans les théories marketing du comportement des consommateurs, pour contribuer à une meilleure compréhension de la consommation des fruits et légumes.

Notre conclusion suggèrera des pistes de recherches futures pour mieux conceptualiser et mesurer les différentes composantes de la valeur de consommation des fruits et légumes, afin de participer à une amélioration de l'efficacité des programmes nutritionnels, en particulier ceux menés par les pouvoirs publics.

La recherche marketing en comportement du consommateur est en effet encore peu impliquée dans la mise en œuvre et l'évaluation de tels programmes nutritionnels. Or le développement d'opinions favorables, les mécanismes de modification des attitudes susceptibles de favoriser tel ou tel comportement de consommation ou d'action sont des thèmes de recherche largement établis en marketing. La recherche marketing en comportement du consommateur semble en conséquence à même de proposer un cadre théorique et méthodologique utiles pour promouvoir des actions publiques et privées plus efficaces afin d'augmenter la consommation de fruits et légumes. En particulier, les avancées de la recherche concernant les éléments expérientiels ne sont que rarement étudiés en tant que tels dans la revue de littérature alors qu'ils peuvent peser dans les choix de consommation.

### Méthodologie

Pour évaluer la littérature académique internationale disponible traitant du comportement des consommateurs et des politiques nutritionnelles concernant les fruits et légumes, une base de données *ad hoc* a été réalisée, regroupant 546 références relatives à ces sujets, appartenant à des revues scientifiques internationales, généralement de langue anglaise. Cette base de données ESCo a été complétée :

- par les références françaises publiées par le Ctifl (Comité technique interprofessionnel des Fruits et Légumes) présentant des travaux menés par des chercheurs sur les attitudes des consommateurs français concernant les fruits et les légumes. (5 références) ;
- par une recherche par mots-clefs dans la base de données EBSCO (pour les revues d'économie et de management). Les mots clefs suivants ont été utilisés : "consumer", "fruit", "vegetable", "consumer value" ; plus de 170 articles ont été ainsi sélectionnés.

Parmi ce corpus de départ, la sélection des articles retenus pour notre analyse a été faite sur les critères suivants :

- élimination des articles portant uniquement sur des facteurs d'influence physiologiques,
- élimination des articles s'intéressant exclusivement à des consommations particulières (par exemple les fruits et légumes garantis biologiques) sauf s'ils portaient sur des comparaisons avec des consommations "standard".

- élimination des articles portant sur la consommation des fruits et légumes par les enfants, sauf s'ils comportaient des éléments concernant les perceptions et attitudes d'adultes.

Au final, nous avons pu travailler sur 34 articles de langue anglaise publiés dans des revues académiques à comité de lecture ou des actes de conférences avec comité scientifique et dont le thème général était l'étude des facteurs influençant le comportement d'achat et de consommation de fruits et légumes. Nous avons également retenu 5 publications du Ctifl étudiant spécifiquement les perceptions et les attitudes des consommateurs français en matière de fruits et légumes. Les méthodologies d'enquêtes mises en œuvre dans ces articles étaient aussi bien quantitatives (études de cohortes, études longitudinales, questionnaires sur des populations variées) que qualitatives (entretiens et groupes de consommateurs). Pour plusieurs, elles portaient explicitement sur l'évaluation de programmes nutritionnels déjà mis en œuvre. Nous avons procédé au repérage des résultats portant sur les déterminants de l'attitude et de la consommation se rapportant aux fruits et légumes afin de les analyser.

### 3.3.1. Revue de la littérature : L'influence des variables perceptuelles et psychologiques individuelles dans l'achat et la consommation des fruits et légumes

Les études visant à décrire, mesurer et comprendre la consommation de fruits et légumes partent du postulat rappelé en introduction, à savoir les liens établis entre la consommation de ces aliments et la prévention de certaines maladies ou épidémies (en particulier l'obésité).

L''importance des recherches sur les attitudes et les perceptions des consommateurs dans la réflexion sur l'amélioration de la consommation des fruits et légumes est induite par le rôle prépondérant des préférences alimentaires dans les économies de marché : lorsque l'offre est pléthorique, les critères de sélection pris en compte par un consommateur ne rencontrent pas toujours ses besoins physiologiques (Babicz-Zielinska and Zagorska, 1998). Or la bibliographie réalisée suggère fortement l'influence des perceptions et des attitudes sur les préférences et les choix.

Des inégalités nutritionnelles significatives demeurent, dont on sait qu'elles sont liées au revenu ou à l'éducation pour les aliments dont la consommation s'est démocratisée. Au-delà de ces variables, les recherches que nous avons étudiées dans la littérature mondiale explorent l'influence de variables individuelles perceptuelles et psychologiques dans les choix de comportement alimentaire.

Les modèles relatifs à l'achat et à la consommation sont nombreux dans les sciences du comportement du consommateur. Pour tenir compte de la complexité des modes de décision, les différents auteurs sont amenés à intégrer de nombreuses variables dans leur modèle. Restreindre la question de recherche à l'achat et au comportement alimentaire ne suffit pas à faire baisser la complexité des modes décisionnels, tant cette activité, nécessaire à notre survie mais également source de risque (consommation par ingestion), mobilise de variables de différents niveaux (sensoriel, affectif, cognitif).

Le modèle explicite ou implicite utilisé par les auteurs du corpus se situe dans le cadre général de la théorie de l'action raisonnée (Ajzen and Fishbein, 1980) et de l'action planifiée (Ajzen, 1991). Selon ce cadre théorique, le comportement est sous le contrôle de la volonté. Le comportement (d'achat ou de consommation) dépend de l'intention qui à son tour dépend de l'attitude envers l'objet de consommation. C'est une théorie qui découle directement du modèle multi-attribut de l'attitude.

Même si la théorie de l'action raisonnée considère l'importance des normes subjectives comme facteurs influençant l'intention d'achat, les recherches de notre corpus se sont essentiellement intéressées à l'attitude du consommateur envers les fruits et légumes comme antécédent de l'intention d'achat. L'attitude a été définie par (Ajzen and Fishbein, 1980) comme une variable psychologique non observable, relativement stable, le sentiment favorable ou défavorable d'un individu envers un objet**.** De nombreuses études empiriques ont donc été menées pour mesurer l'attitude des consommateurs envers les fruits et les légumes par l'évaluation des caractéristiques qui leur sont attribuées (les attributs, considérés comme le sens que le consommateur donne aux stimuli sensoriels reçus).

Si ce modèle n'est pas forcément remis en cause, il laisse la porte ouverte à un certain nombre de critiques émanant des travaux sur les déterminants du comportement, qui ne peuvent être réduits au seul cadre de la cognition . En particulier, plusieurs sources de la revue notent que les perceptions (dimension sensorielle) liées aux fruits et légumes sont assez généralement connotées positivement ("rafraîchissant", "doux", "sain", par exemple) mais que ces perceptions ne suffisent pas à lever les barrières à la consommation, notamment en ce qui concerne des populations repérées comme sous-consommatrices de fruits et légumes (de nombreuses études américaines pointent la sous-consommation des populations défavorisées) (Treiman et al., 1996). Nous allons donc dans un premier temps synthétiser les facteurs repérés dans l'étude bibliographique comme antécédents de l'évaluation cognitive des attributs, première phase de construction de l'attitude : les facteurs sensoriels, les motivations et les croyances, et les facteurs affectifs et sociaux qui les sous-tendent .

***. L'importance des aspects sensoriels comme antécédents de l'attitude envers les fruits et légumes***

On remarque que pour beaucoup d'auteurs, la préférence[2] est avant tout fondée sur des aspects sensoriels notamment (Babicz-Zielinska and Zagorska, 1998), (Verbeke and Pieniak, 2006). Dans les conclusions de leur recherche empirique fondée sur l'économie expérimentale, (Lund et al., 2006) insistent sur l'influence des aspects à la fois sensoriels et émotionnels dans la perception de la valeur monétaire de pommes par les consommateurs. En conséquence, (Krebs-Smith et al., 1995b) conseillent de promouvoir la palatabilité des fruits et légumes à côté des campagnes visant à informer de l'intérêt d'en manger chaque jour.

***. L'importance des motivations et des croyances comme antécédents de l'attitude***

D'autre travaux ont porté sur les motivations sensorielles ET orientées vers la santé ; ces dernières semblent jouer un rôle important dans le processus de décision alimentaire, en complémentarité avec les motivations orientées vers le goût (Wansink and Westgren, 2003), (Dutta-Bergman, 2005). L'étude par questionnaire menée par Dutta-Bergman met en relief un facteur, l'orientation-santé, qui se révèle un prédicteur positif de l'attitude envers les fruits et légumes, ainsi que de l'intention et du comportement. Cette motivation à vivre une vie saine peut déboucher sur une segmentation des populations. Elle n'explique cependant que 6 à 10% de la variance dans la consommation des fruits et légumes, impliquant la nécessité de recherches complémentaires.

Dans leur revue de la littérature,(Harker, Gunson, and Jaeger, 2003a) insistent sur le rôle des croyances qui sous-tendent les attitudes et les préférences. La qualité perçue par les consommateurs ne se réduit pas aux caractéristiques sensorielles (attributs), elle dépend également de la croyance dans le lien alimentation-santé, de la praticité perçue, et des attentes des consommateurs.

***. L'influence des aspects affectifs et sociaux sur l'attitude et le comportement***

Plusieurs sources s'intéressent au rôle des processus affectifs dans la formation des attitudes et des prises de décision. En particulier, une étude relativement ancienne de (Shiv and Fedorikhin, 1999) montre comment les processus de décision sont influencés par des aspects affectifs en partie automatiques et par des éléments cognitifs généralement plus contrôlés. Les auteurs manipulent dans deux expériences les variables situationnelles qui impliquent plus ou moins de ressources cognitives disponibles pour les sujets confrontés à la tâche de choisir entre un gâteau au chocolat (associé avec un affect plus positif mais des croyances cognitives moins favorables) et une salade de fruit (associée à un affect moins favorable mais des croyances cognitives plus positives). Les résultats suggèrent que dans le cas où les ressources nécessaires au processus de décision rationnel sont limitées, ce sont plutôt les réactions affectives spontanément évoquées qui ont un impact sur le choix (du gâteau au chocolat) ; dans le cas inverse, les croyances portant sur les conséquences du choix amènent les sujets à privilégier la salade de fruit.

[2] Dans l'étude, nous avons considéré que les termes "préférence" et "attitude" étaient équivalents sauf si le texte les différenciaient. "Attitude" est le terme plus souvent employé dans les sciences du comportement de consommateur et en psychologie, "préférence" est en général employé dans les travaux des nutritionnistes et des économistes.

(Ekelund and Tjarnemo, 2004) notent l'importance de l'environnement social et de ses valeurs sur les associations que le consommateur fait avec les différents attributs perçus, qu'il s'agisse de produits "standard" ou issus de la culture biologique.

L'évaluation rationnelle des attributs ne peut donc rendre pleinement compte des attitudes, préférences et choix alimentaire, sans intégrer des facteurs d'ordre psychologique ou culturel.

Cette première partie de la revue de la littérature nous indique que les explications permettant de comprendre les déterminants de l'attitude sont multifactorielles et que le modèle de l'action raisonnée éprouve des difficultés à intégrer des éléments qui sous-tendent néanmoins la prise de décision des consommateurs. En particulier, des approches alternatives à la théorie du choix rationnel par le consommateur ont été développées en marketing, qui ne sont pas du tout prises en compte dans les recherches du corpus, qui continuent à développer une approche issue de la théorie économique de la demande (Lancaster, 1971). Ces approches faisant une large place aux éléments expérientiels de la consommation pourraient pourtant offrir des pistes nouvelles d'action et de persuasion afin d'encourager de manière plus efficace la consommation de fruits et légumes dans les populations.

Afin de poursuivre notre recherche, nous proposons en conséquence dans la deuxième partie d'éclairer l'analyse des éléments d'enquêtes proposés par notre corpus en ayant recours au cadre conceptuel de la valeur de consommation ("*consumer value*") plus susceptible d'intégrer les antécédents de l'attitude dans leur globalité.

### 3.3.2. L'apport du concept de valeur de consommation à une meilleure compréhension de la consommation des fruits et légumes

En cohérence avec le paradigme dominant du choix rationnel et de l'action raisonnée, le point commun à la plupart des programmes nutritionnels de promotion de la consommation de F&L est de focaliser sur l'information nutritionnelle les actions entreprises auprès du grand public et/ou des populations cibles. En parallèle, dans le cadre de programmes auprès de populations défavorisées, on a mis l'accent sur l'accessibilité financière (rendre les fruits et légumes moins chers par la fourniture de bons) ; de nombreuses actions ont été également réalisées dans les écoles pour améliorer l'accessibilité physique (y proposer plus de fruits et légumes). Ces actions publiques ont toutes un objectif précis et sont évaluées en fin de programme. Cependant, les données disponibles dans les publications portant sur la consommation de fruits et légumes permettent rarement d'expliciter la valeur que les consommateurs accordent à cette consommation, facteur qui est néanmoins susceptible de peser sur leur comportement de consommation et sur leurs réactions aux différentes campagnes d'incitation.

En dépit de l'association généralement établie entre le marketing et la création de valeur, la recherche sur la valeur de consommation, même si elle se développe depuis plus d'une décennie, reste il est vrai émergente dans le domaine du comportement du consommateur. En particulier, elle fait encore trop peu l'objet de validation empirique et il n'existe pas aujourd'hui un consensus bien établi sur ses différentes facettes (Holbrook, 1999), (Richins, 1994), (Holt, 1995), (Lai, 1995), (Woodall, 2003); (Aurier, Evrard, and N'Goala, 2004); (Brock Smith and Colgate, 2007). En outre, son application au domaine alimentaire, en particulier la consommation des F&L, a jusqu'à présent été très faible au vu de la revue internationale de la littérature que nous avons menée (Sun and Collins, 2002); (Aurier, 2005) ainsi que (Sirieix and Filser, 2002) pour une application à la restauration hors foyer). Pourtant, son apport à notre sujet nous paraît prometteur. Il s'inscrirait dans le droit fil de la remarque présentée en conclusion par (Aurier, Evrard, and N'Goala, 2004) sur la réussite des positionnements en agroalimentaire s'appuyant sur les facettes de la valeur de consommation, en l'étendant au domaine du marketing social (valorisation d'une consommation propre à favoriser la nutrition et la santé d'une population).

La valeur de consommation a été introduite dans la recherche sur le comportement du consommateur notamment par (Holbrook, 1999) qui propose de la définir comme une "expérience interactive, relative et préférentielle". Cette définition implique que la relation des consommateurs aux biens (produits ou services) opère :

- de manière interactive (la valeur qu'un consommateur accorde à la consommation d'un bien dépend d'une interaction entre ce bien et lui-même, et pas seulement de l'objet lui-même,
- de manière relative (la valeur d'un bien ne peut être évaluée par un individu qu'en comparaison à d'autres biens, elle ne concerne qu'une personne particulière, elle dépend du contexte)
- de manière préférentielle, notion fondamentale car la valeur de consommation débouche sur un jugement préférentiel singulier porté sur un produit, ce qui la différencie de la notion de "valeur des consommateurs" utilisée notamment par les sociologues ou par la recherche psychographique sur les styles de vie, qui s'intéressent aux différences entre les individus dues à la personnalité, à la culture ou encore à l'éducation.

Enfin, la valeur de consommation est une expérience, au sens où elle ne réside pas dans le produit ou la marque achetés, possédés ou consommés, mais bien plutôt dans l'expérience de consommation qui en découle.

Cette définition, qui reste très théorique, apparaît pourtant bien adaptée à une application à la consommation alimentaire. En effet, l'importance accordée dans la littérature sur ce thème aux éléments perceptuels des produits et à l'expérience de consommation (le plaisir éprouvé grâce au goût, à la texture), à la préférence pour telle ou telle catégorie d'aliments plutôt que telle autre (par exemple dessert sucré *vs* fruit), à l'importance de l'interaction via l'ingestion du produit, suggère que le cadre théorique de la valeur de consommation est à même d'éclairer les préférences et les choix alimentaires des consommateurs.

Cependant, cette définition est avant tout conceptuelle et a fait l'objet de peu de développements empiriques à notre connaissance. C'est pourquoi nous la complétons par l'approche plus pragmatique développée récemment par (Aurier, Evrard, and N'Goala, 2004), (Brock Smith and Colgate, 2007). Pour Brock Smith et Colgate, la valeur de consommation consiste en ce que le consommateur obtient (bénéfices, qualité, utilité, récompense) de son achat et de la consommation du bien *vs* ce qu'il dépense (prix, coûts de transaction, sacrifices). Elle se traduit par l'attitude envers le produit, ou un lien émotionnel avec lui (les deux étant considérés comme des prédicteurs du comportement d'achat et /ou de consommation). Elle se compose de :

- la valeur fonctionnelle, instrumentale, qui correspond à la mesure dans laquelle un produit a des caractéristiques désirées, est utile, remplit une fonction attendue. On voit ainsi que cette valeur correspond relativement avec la notion plus classique d'évaluation des attributs.
- La valeur hédonique et expérientielle est celle qui correspond à la création d'expérience sensorielle, de sentiments et d'émotions.
- La valeur d'expression de soi fait appel à la signification psychologique et surtout sociale (ou symbolique) que les consommateurs attachent à la consommation du bien, au statut qu'elle leur permet d'exprimer, vis-à-vis des autres mais aussi de l'image de soi.
- La valeur coûts/sacrifices concerne l'ensemble des coûts de transaction liés à l'achat, la possession et l'utilisation des biens, et pas seulement les coûts financiers.

Si les auteurs offrent un cadre conceptuel global comprenant 4 composantes, ils ne développent cependant pas la mesure de ces composantes, contrairement à l'approche développée par (Aurier, Evrard, and N'Goala, 2004). Pour ces derniers, il convient de distinguer la valeur globale perçue (définie comme un ratio bénéfices/coûts) des composantes de la valeur de consommation (valorisation d'un produit ou d'un service dans la mesure où celui-ci répond efficacement à une ou plusieurs fonctions), qui complète la première en identifiant ses antécédents.

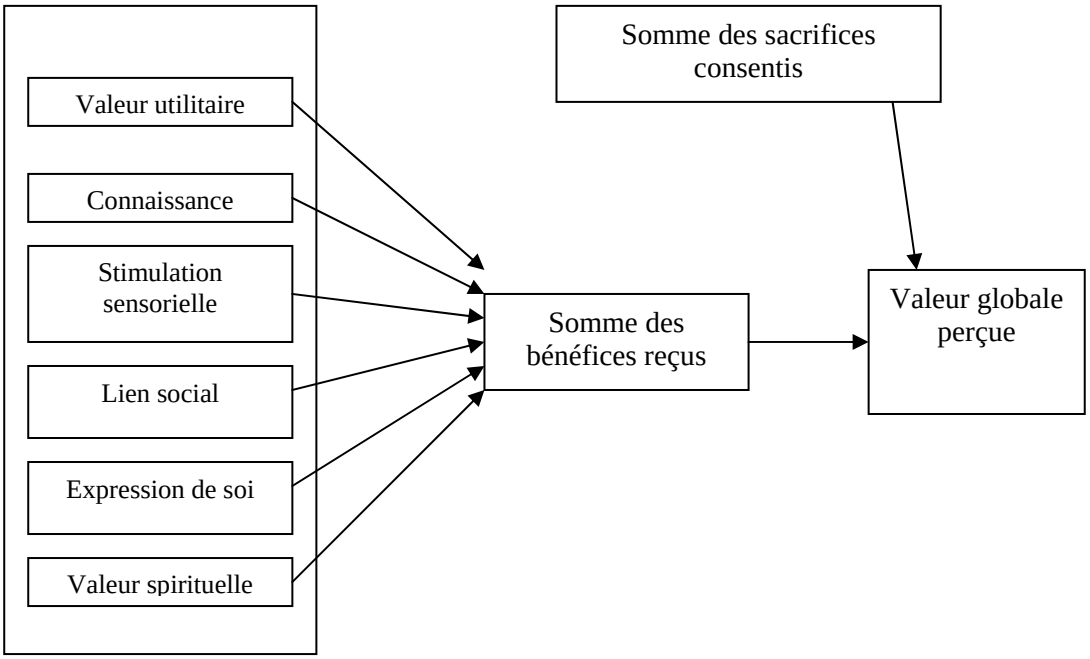
Les deux grands axes sont celui de la valeur orientée "vers soi" (gratification indépendamment du contexte social) ou "vers les autres" (ou interpersonnelle, la consommation étant alors support de la relation sociale) et celui du critère "intrinsèque" (la consommation de l'objet est elle-même source de gratification) ou extrinsèque (la valeur de consommation provient de la réalisation des objectifs dont la consommation permet de se rapprocher)[3], ce qui permet aux auteurs de spécifier 4 composantes de la valeur de consommation :

[3] Pour une présentation approfondie de ces deux axes, voir Holbrook (1999), Aurier, Evrard et N'Goala (2004).

- La valeur instrumentale (orientée vers soi, extrinsèque) avec 2 dimensions : la valeur utilitaire et la valeur de connaissance (sentiment de maîtriser la catégorie de produits et de s'y sentir compétent).
- La valeur hédonique (orientée vers soi, intrinsèque), qui correspond à la capacité de l'expérience à stimuler les sens de la personne, à ressentir une sensation de bien-être.
- La valeur de communication (orientée vers les autres, extrinsèque), dans laquelle les auteurs distinguent l'expression des valeurs (mode de communication de sa personnalité à sens unique vers les autres) et le lien social, qui correspond au rôle du produit comme aide à l'interaction sociale ("le produit n'est pas consommé pour lui-même mais comme agent favorisant la communication et l'intégration sociale").
- La valeur "orientée vers les autres" et "intrinsèque" qui comprend la notion de "spiritualité" proposée par (Holbrook, 1994)(la communion avec l'Autre, y compris au sens large d'humanité voire de tous les êtres) et la dimension de "pratique sociale" (Evrard, Aurier, and Marketing, 1996) ou de "jeu" (Holt, 1995), "génératrice de divertissement par contact avec les autres".

Au final, les auteurs proposent le cadre conceptuel repris dans la Figure 3-6. Les différentes composantes de la valeur de consommation ont été mises en œuvre (à l'exception de "pratique sociale") lors d'une étude sur la consommation d'un service (le cinéma) auprès d'une population d'étudiants.

**Figure 3-6.** Liens entre composantes de la valeur de consommation et valeur globale (Aurier, Evrard et N'Goala, 2004)




Compte tenu du peu de travaux antérieurs se rapportant à l'application du concept de valeur de consommation au domaine alimentaire, notre recherche est par nature exploratoire. Partant des résultats obtenus dans les enquêtes publiées dans le corpus étudié, il s'agit moins de quantifier l'importance relative des différentes composantes de la valeur de consommation que d'en repérer l'influence, aussi il ne paraît pas pertinent de limiter ces composantes à ce stade. En l'absence de consensus sur les composantes de la valeur de consommation, nous proposons donc de distinguer au moins 5 catégories de valeur qui sont reprises dans le tableau 3-2 et qui permettent d'intégrer les apports des différents auteurs. Nous avons nommé "valeur de partage" la valeur qui regroupe les dimensions de spiritualité et de pratique sociale.

Partant des résultats des publications, nous avons procédé au regroupement des éléments relatifs aux différents types de valeur de consommation afin de repérer des sources de valorisation susceptibles d'encourager la consommation de fruits et légumes, qui seront abordées en conclusion.

**Tableau 3-2.** Synthèse des composantes de la valeur de consommation

| | Orientée vers soi | Orientée vers les autres | |
|---|---|---|---|
| Extrinsèque | **Valeur instrumentale :**<br>**-** utilitaire<br>- connaissance | **Valeur de communication :**<br>**-** expression de soi<br>- lien social | **Valeur Coûts/sacrifices** |
| Intrinsèque | **Valeur hédonique, expérientielle** | **Valeur de partage**<br>- spiritualité<br>- pratique sociale | |

***. La valeur expérientielle et hédonique de la consommation des fruits et légumes***

Il existe dans la littérature l'hypothèse forte que celle-ci est particulièrement à l'œuvre dans la consommation des fruits et légumes, ce qui est cohérent avec les travaux plus généraux sur les préférences alimentaires ((Zajonc and Markus, 1982), pour les facteurs affectifs comme déterminants importants des préférences alimentaires). Cela pourrait d'ailleurs être l'une des causes à l'impact insuffisant des campagnes d'information nutritionnelle, qui cherchent essentiellement à valoriser la valeur instrumentale de la consommation (manger des fruits et légumes correspondant alors à un bénéfice extrinsèque, obtenir une meilleure santé ou se maintenir en bonne santé), alors que la valeur hédonique est de nature intrinsèque (éprouver une gratification, créer un sentiment ou une émotion qui dérivent directement de l'expérience de consommation). Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, de nombreux travaux ont mis en valeur l'aspect primordial de la recherche de gratification sensorielle dans la consommation alimentaire.

L'étude de (Krebs-Smith et al., 1995b) a porté sur 2811 adultes américains interviewés par téléphone en 1991. 3 facteurs dont le plaisir du goût expliquent plus de 15% de la variance observée dans la consommation des fruits et légumes (mais il faut noter que le plaisir du goût n'était significatif que pour les fruits). Les autres facteurs sont "le nombre de part considéré comme ce qui devrait être pris chaque jour" (on est là plus dans la valeur instrumentale) et "l'habitude de manger des fruits et légumes pendant l'enfance".

Dans l'étude de(Babicz-Zielinska and Zagorska, 1998) auprès de 100 étudiants polonais, le classement des fruits et légumes appréciés a montré l'influence de la fraîcheur et du goût sur la préférence pour les fruits et les légumes, et de l'apparence pour les fruits, indiquant également l'importance de la valeur hédonique pour la consommation des personnes interviewés.

Les études françaises du Ctifl (Roty, 2001b) sur la fraise et (Roty, 2001c) sur le raisin mettent en avant le caractère hédonique de leur consommation : le premier critère de qualité d'une fraise est le parfum, devant le sucré ; le raison, fruit de grignotage, est apprécié pour son caractère juteux, rafraîchissant et sucré. Les aspects sensoriels de la fraise peuvent permettre de ressentir des émotions liées à sa couleur rouge (principe de vie, passion, incitation à l'action) ou à sa forme (sa rondeur est symbole de cosmos, du temps, du mouvement et attire la sympathie) ; dégustée hors saison, elle permet "d'oublier l'hiver", offrant un plaisir plus psychologique que gustatif, ce qui représente d'ailleurs l'un des rares éléments relatifs à la dimension de stimulation expérientielle.

Pour (John and Ziebland, 2004) les résultats du suivi par questionnaires de 40 personnes parmi les participants anglais à un programme de contrôle de 6 mois visant à promouvoir le "5 a day" montrent que l'appréciation du goût des fruits et légumes est un fort prédicteur de leur consommation.

La dimension hédonique apparaît également dans son influence négative, quand cette valeur n'est pas attribuée à la consommation des fruits et légumes par les consommateurs. Ainsi, (Treiman et al., 1996) indiquent que "ne pas aimer les fruits et légumes, ou préférer d'autres aliments est souvent mentionné comme barrière" (étude qualitative sur 4 groupes de femmes recevant des bons de nourriture dans le cadre du Special Supplemental Nutrtion Program for Women, Infants and Children, 32 interviewées au total). Les deux tiers des femmes interrogées déclaraient considérer que "manger ce qui a bon goût" était très important, contre 7% "pas très important".

La valeur expérientielle, hédonique, sensorielle de l'alimentation semble en conséquence un facteur extrêmement prégnant dans la consommation des fruits et légumes.

Les expériences[4] menées par (Shiv and Fedorikhin, 1999) fournissent une hypothèse à cette importance, puisque les résultats obtenus dans les choix des participants (choix rationnel d'une salade de fruit *vs* choix affectif du gâteau au chocolat) suggèrent que la disponibilité des ressources cognitives va influencer le processus (processus délibératif plus lent ou système expérientiel rapide). Or le choix de l'aliment est généralement contingent à d'autres tâches qui ne laissent pas forcément les ressources disponibles pour traiter l'information en fonction des conséquences de la prise de décision.

On peut cependant noter que peu d'études ont vraiment examiné les différences éventuelles dans la valeur hédonique recherchée par la consommation de fruits et par la consommation de légumes, à l'exception de l'étude Ctifl (Moreau-Rio, 2002) qui synthétise les travaux du Département Produits et Marchés de cet organisme et distingue les items expérientiels associés aux fruits (plaisir des sens, rafraîchissant, odorant) de ceux associés aux légumes (goûts vrais, nourriture saine, fraîcheur, saveur).

***. La valeur instrumentale de la consommation des fruits et légumes***

Dans quelle mesure les fruits et les légumes sont-ils considérés par les consommateurs comme ayant des caractéristiques attendues, comme utiles ou remplissant une fonction souhaitée ? Dans quelle mesure leur consommation est-elle envisagée comme permettant de réaliser un objectif ? (dimension utilitaire) ; les consommateurs ont-ils un comportement de recherche permanente d'information, porteur de stimulation ?

La valeur des fruits en particulier peut provenir de leur performance à concilier une consommation gourmande (sucrée) et non culpabilisante, car peu calorique : l'exemple des fraises est développée dans l'étude Ctifl de (Roty, 2001a) Les fruits et légumes sont communément considérés comme des aliments autorisés dans les régimes (Urland and Ito, 2005).La valeur fonctionnelle des fruits et légumes est généralement associée aux bénéfices sur la santé, plus rarement sur l'environnement (sauf pour le cas des produits biologiques). Cette valeur rencontre l'orientation vers la santé qui conditionne un certain nombre de comportements de consommation de fruits et légumes (Steptoe and Wardle, 1999)). Elle est susceptible d'être plus forte si la société intervient très tôt, par exemple au travers des programmes scolaires, pour promouvoir la motivation à vivre une vie saine (Dutta-Bergman, 2005) : on peut rattacher l'influence de l'orientation santé pointée dans plusieurs recherches à la dimension "connaissance" de la valeur instrumentale.

D'autre études pointent les caractéristiques négatives attribuées aux fruits et légumes par rapport à la valeur instrumentale recherchée dans la consommation alimentaire : certains fruits sont susceptibles d'être allergènes (Roty 2001) et donc sources de risque, dans un contexte culturel qui lie fortement l'alimentation et la santé ; d'autre part, le faible pouvoir calorique des fruits et légumes ne joue pas comparativement en leur faveur lorsque le consommateur recherche une source d'énergie au moindre coût (Treiman et al., 1996).

Enfin, le manque de connaissance nutritionnelle est un facteur qui pèse sur la valeur instrumentale des fruits et légumes : dans leur étude déjà ancienne ,(Krebs-Smith et al., 1995b) suggèrent qu'une information sur le nombre de parts journalières est plus efficace qu'une description des raisons de cette recommandation. Compte tenu des résultats mitigés des campagnes "5 a Day" postérieures, il semble bien qu'aujourd'hui encore les connaissances nutritionnelles soient insuffisantes à promouvoir une augmentation générale de la consommation des fruits et légumes. L'étude Ctifl (Moreau-Rio, 2002) montre que la connaissance et la notoriété des légumes reste faible, et que celle des fruits est confuse, la méconnaissance en termes de variété, origines et terroirs créant un éloignement avec les produits. En outre, un affaiblissement du savoir-faire lié à la cuisson des légumes entraîne également un plus grand attrait pour le cru que pour le cuit, ce qui diminue l'éventail du choix des légumes. La valeur instrumentale semble bien à l'œuvre dans les choix alimentaires de consommation de fruits et de légumes, notamment par l'acceptation généralisée de leur influence positive sur la santé, mais le

[4] Pour la description des expériences, voir plus haut

manque de connaissance et l'ambiguïté des bénéfices perçus (peu caloriques/contribution faible à la satiété) contribuent au final à freiner la consommation.

***. La valeur de communication de la consommation des fruits et légumes***

Cet aspect de la valeur de la consommation a été rarement étudié dans le corpus analysé, on trouvera donc ici peu de références à cette dimension. Peut-on autant dire qu'elle intervient moins dans les préférences des consommateurs concernant les F&L ? Il semble qu'il y a là une lacune dans les recherches qui devrait être comblée afin de mieux appréhender les attentes des consommateurs.

*Les aspects d'expression de soi* de la consommation alimentaire ont été en fait principalement traités par des recherches plus orientées vers la sociologie de l'alimentation et renvoient essentiellement à des modèles culturels où sont intégrées les valeurs des consommateurs plutôt que le type de valeur qu'ils recherchent dans l'expérience de consommation (Devine et al., 1998b) ou (Rozin et al., 1999) ces travaux ne portent pas spécifiquement sur la consommation des fruits et légumes et ne font donc pas partie de notre corpus.

L'étude Ctifl (Roty, 2001c) sur le raisin est l'une des rares à mentionner certains aspects symboliques du raisin : c'est un fruit considéré comme noble (forte proportion de répondants "tout-à-fait d'accord" avec "le raisin est un fruit que l'on peut offrir à des invités").

Un autre aspect d'expression de soi est trouvé dans la revue de la recherche sociologique concernant les facteurs liés au genre dans la consommation alimentaire par(O'Doherty and Holm, 1999) Dans la plupart des pays occidentaux ainsi qu'au Japon, les recherches entreprises ont montré que les fruits et légumes sont des "marqueurs" féminins alors que la viande est un marqueur masculin, associé dans la vie de tous les jours à des qualités comme la force, le pouvoir et la virilité ; au Japon, le sucré signe la féminité dans la consommation adulte.

Il serait intéressant de tester cette hypothèse par des études en comportement du consommateur et non plus seulement en sociologie ou en anthropologie, car elle implique que les recommandations du type "5 a day" doivent promouvoir la consommation d'aliments marqueurs de féminité et abaisser la consommation de nourritures marqueurs de masculinité dans nos cultures.

Enfin, (Sun and Collins, 2002) ont étudié les attitudes et les valeurs de consommation des consommateurs de fruits importés en Chine (c'est une des rares recherches mentionnant explicitant la valeur de consommation des fruits et légumes). Les résultats obtenus sur 495 consommateurs ayant acheté des fruits importés dans la ville de Guangzhou (Canton) suggèrent une segmentation des consommateurs en 4 groupes : les groupes 1 et 2 ont le plus fort pouvoir d'achat et représentent 69% des répondants. Le groupe 1 se rassemble autour des valeurs hédonique et symbolique (matérialisme occidental) de la consommation des fruits importés, alors que dans le groupe 2, ce sont les éléments symboliques les plus explicatifs (notion de richesse, de statut social, de réussite). Sun et Collins notent cependant que ces résultats peuvent difficilement être extrapolés, en raison de la particularité économique et géographique de Canton.

***. La dimension de lien social de la consommation des fruits et légumes***

Dans la plupart des sociétés et notamment dans les pays où le "modèle latin" (Fischler, 2004) est encore fort, la consommation alimentaire est fortement associée à la situation de repas pris en commun, situation ritualisée et lieu de socialisation. On ne peut donc que regretter de ne pas voir prise en compte la situation de consommation des fruits et des légumes dans le corpus. Les recherches futures auraient tout intérêt à quantifier et à qualifier le type de situation de consommation des fruits et des légumes (consommation solitaire ou conviviale, domestique ou hors foyer) afin de mieux comprendre les déterminants de cette consommation. Ainsi, l'étude Ctifl de (Moreau-Rio, 2002) pointe la diversité des consommations de fruits : la pomme est associée au grignotage individuel alors que la fraise représente un archétype de dessert pour un repas de saison.

Cette même étude insiste sur l'atout pour le fruit de représenter fortement la nature éternelle et nourricière, alors que le légume, associé au terroir et à la nature, souffre plus du manque de modernisation des usages, renforcé par une perte de savoir-faire en cuit.

Cette constatation ne peut manquer d'interpeller les responsables des politiques de santé car d'autres études mentionnent le rôle important de l'apprentissage social et de l'entourage proche dans la consommation de fruits et légumes, renvoyant au caractère commensal de leur principale situation de consommation, le repas. (Anderson et al., 1998) ont recueilli des données sur les variables attitudinales auprès de 104 adultes anglais lors d'une étude longitudinale avant et après un programme d'éducation nutritionnelle. Les résultats indiquent que l'aide de la famille et des amis était surestimée au départ et que son manque a influencé négativement l'augmentation de la consommation des fruits et légumes. Ce résultat est cohérent avec ceux obtenus par (John and Ziebland, 2004) dans un contexte similaire : la famille a une influence forte sur la diète et il est difficile de changer de comportement alimentaire sans son soutien. A cela s'ajoute le constat effectué par les participantes que les partenaires masculins et les enfants sont réticents à manger des fruits et des légumes.

L'apprentissage social est souligné comme variable influençant les attitudes vis-à-vis des fruits et légumes dans plusieurs études : nous avons déjà noté que la variable "habitude de manger beaucoup de fruits et légumes pendant l'enfance" avait une influence significative dans la consommation d'après (Krebs-Smith et al., 1995b). L'étude réalisée auprès des étudiants polonais indique également un lien entre la préférence et les fruits et légumes servis traditionnellement (Babicz-Zielinska and Zagorska, 1998). Les résultats de la recherche menée par (Hanson, 2005) auprès de 902 adolescents américains et leurs parents (enquête au domicile et à l'école) suggèrent une forte relation entre les comportements alimentaires parentaux et les comportements alimentaires des adolescents, même hors foyer : les prises alimentaires des parents étaient positivement associées à la consommation de produits laitiers pour les garçons, ainsi qu'à la consommation de produits laitiers, de fruits et de légumes chez les filles. Les auteurs en tirent comme conséquence la nécessité d'inclure les parents dans les interventions pour favoriser un équilibre nutritionnel chez les adolescents.

La dimension de lien social semble donc exister, notamment dans sa dimension d'apprentissage familial, ce qui est cohérent avec les recherches en sociologie de l'alimentation. Mais elle n'apparaît pas fortement portée par l'expérience de la consommation des fruits et des légumes. Cependant le peu de citations dans le corpus incite à proposer d'explorer cette voie, notamment dans une optique internationale, en distinguant les pays à forte commensalité des pays où les repas sont plus déstructurés.

***. La valeur de partage de la consommation des fruits et légumes***

Cette valeur n'est pas clairement apparue au travers des résultats présentés ; il est sans doute difficile de la distinguer, à ce stade du recueil des données, de la dimension du lien social présente dans la valeur d'expression de soi. Elle ne peut cependant pas être rejetée d'investigations ultérieures. En particulier, il serait important, dans la suite des recherches dans ce domaine, de s'intéresser à la dimension de spiritualité qui pourrait être présente dans la consommation de fruits et légumes biologiques et équitables. Elle est probablement à l'œuvre dans des pratiques sociales très segmentantes (y compris dans les cas de récolte en commun, par exemple). Le corpus comprenait de nombreux articles cherchant à évaluer les raisons de la sous-consommation de fruits et légumes, ce qui pourrait être associé à une faible valeur de partage (spiritualité et jeu) associée à cette consommation auprès des populations sous-consommatrices.

***. La valeur "coûts-sacrifices" de la consommation des fruits et légumes***

La valeur coûts/sacrifices concerne l'ensemble des coûts de transaction relatifs au produit, et pas seulement les coûts financiers. Cette valeur fait l'objet d'au moins autant de publications dans le corpus que la valeur hédonique, et de nombreuses études ont été menées pour comprendre comment elle joue plutôt en défaveur de la consommation des fruits et légumes. Pour résumer, on peut faire le constat que pour beaucoup de consommateurs des pays occidentaux, les fruits et légumes ne sont ni bons marché, ni pratiques ou commodes, ni faciles à conserver, qu'en outre ils sont perçus comme consommateurs de temps pour les acheter et les cuisiner et demandant un certain savoir-faire. Tous ces facteurs forment un fort handicap que l'esprit des consommateurs ne compense pas forcément par les valeurs hédoniques ou instrumentales (sains, naturels) qu'ils leur associent. Le problème reste donc de trouver des sources de valorisation des fruits et des légumes face à ces barrières.

En ce qui concerne les fruits et légumes, les coûts de transaction cités sont multifactoriels. (Sirieix, 2005) note dans sa revue de trois études françaises qu'ils concernent à la fois le prix et la commodité. L'ensemble de la revue de la littérature permet d'être encore plus explicite : les chercheurs ont relevé des coûts de transaction concernant le prix d'achat, la commodité, le temps (incluant l'investissement personnel et la périssabilité du produit) ainsi que l'accessibilité.

Le prix d'achat a été bien souvent proposé comme l'une des principales barrières à un accroissement de la consommation des fruits et des légumes ou comme l'une des causes du faible niveau de consommation, notamment dans les études portant sur des populations défavorisées (Bowman, 2006), étude auprès de 1322 femmes pour qui le prix de la nourriture n'était pas très importante et de 1272 pour qui il était important ; ce second segment comptait plus de femmes afro-américaines ou hispaniques, plus de femmes susceptibles de vivre dans des foyers à bas revenus ; (John and Ziebland, 2004) 40 participants d'un programme de contrôle pour lesquels la perception du prix élevé des fruits et légumes semblait représenter un frein relativement irrévocable ; (Anderson et al., 1998) incluent également le coût dans les barrières à consommer plus de fruits et légumes).

Dans cette même étude menée par Anderson *et al.*, les résultats indiquent un différentiel entre les barrières estimées au départ et à la fin du programme par les participants : les difficultés liées à la facilité d'achat (disponibilité), au temps de préparation et de cuisson concernaient à la fois les légumes et les fruits, et étaient notées plus négativement en fin qu'au début, ce qui semble indiquer une sous-évaluation des difficultés au départ par les participantes.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de (Treiman et al., 1996) auprès d'une population défavorisée : les participantes aux 4 focus groupes ont montré une faible connaissance de recettes, et mis en avant un manque de disponibilité, la difficulté à sélectionner les produits ainsi que la nécessité de temps et d'effort pour préparer des fruits et légumes, bien que les perceptions soient positives en ce qui concerne le goût et la santé.

Selon (Wakefield and Inman, 2003), la comparaison de trois études empiriques révèle que l'effet du prix est largement situationnel et que la sensibilité au prix est en fait atténuée par des facteurs hédoniques et sociaux.

La commodité apparaît comme le facteur le plus influent pour la consommation des fruits et légumes chez les jeunes adultes à partir des données recueillies par questionnaires auto-administrés auprès de 319 étudiants canadiens (Marquis, 2005), avant même le prix. Une corrélation négative a été obtenue entre la commodité perçue et les légumes et fruits frais. Les études françaises du Ctifl vont dans le même sens : les légumes sont associées à une préparation longue, surtout pour les jeunes générations. Les fruits sont plus facilement acceptés lorsque leur consommation a un caractère instantané, mais un fruit qu'il faut peler, qui coule, qui s'écrase ou dont la peau colle au palais limite l'envie de la consommation. L'effort pour les préparer apparaît comme un frein fréquemment cité (Treiman et al., 1996). La notion de temps comme coût peut s'exprimer à deux niveaux : celui du consommateur et le temps que dure le produit. Ces deux aspects sont présents dans les résultats des études du corpus : le manque de temps est souvent invoqué comme frein à la consommation des fruits et des légumes, notamment cuits ((Moreau-Rio, 2002). La nécessité d'un temps plus grand consacré à la préparation freine une augmentation de la consommation comme on le constate dans les enquêtes auprès des participants à des programmes nutritionnels (John and Ziebland, 2004). A cette contrainte s'ajoute le comportement des fruits dans le temps : la périssabilité, notamment des fruits rend le stockage de ces denrées problématique, d'autant plus dans des environnements où les achats ne sont pas quotidiens mais bien plutôt hebdomadaires (Ctifl 2001,(Anderson et al., 1998).

Enfin, l'accessibilité est un frein évoqué par les consommateurs selon différents contextes : d'une part, lorsque la personne n'est pas chez elle (en voyage, au travail, en visite) elle peut avoir un accès difficile aux fruits et légumes (Anderson et al., 1998). D'autre part, les consommateurs peuvent ne pas trouver dans l'environnement proche de leur foyer des fruits et légumes variés(Treiman et al., 1996).L'étude de (Godwin and Tegegne, 2006) pointe les insuffisances des rayons fruits et légumes dans certains supermarchés américains : sur 50 magasins visités dans le Tennessee, seulement 62% proposaient des fruits ou légumes frais. Tomates et pommes de terre n'étaient présentes que dans 30% des points de vente.

Au vu de ces données, l'analyse de la littérature permet de relever des facteurs se rapportant à au moins 4 facettes de la valeur de consommation, sans que l'on puisse déterminer si la cinquième n'est pas traitée ou n'est pas pertinente dans le contexte. Les résultats suggèrent la difficulté à valoriser la consommation des fruits et légumes compte tenu des nombreux éléments qui diminuent le ratio "coûts/bénéfices" de leur consommation. Dans notre conclusion, nous allons proposer des pistes de recherche qui pourraient dans un premier temps améliorer la compréhension des mécanismes de la valeur de consommation, puis indiquer à terme des sources de création de cette valeur de la part des offreurs privés et des responsables de la santé publique.

### 3.3.3. Conclusion et propositions de recherches futures

Le cadre conceptuel de la plupart des publications étudiées se réfère à la Théorie de l'Action Raisonnée, dont nous avons pointé la difficulté à intégrer l'aspect multifactoriel de la préférence et du choix alimentaires. Le cadre théorique de la valeur de consommation nous paraît plus approprié pour comprendre en profondeur les déterminants psychologiques, sensoriels, sociaux et bien sûr économiques de l'attitude des consommateurs comme antécédent du comportement.

Nous pensons indispensable de développer des programmes de recherche qui s'efforcent de cerner les atouts et les inconvénients de la consommation des fruits et légumes aux regard de la valeur que les consommateurs accordent à leur expérience d'une telle consommation : hédonique, instrumentale, de communication, de partage, enfin d'analyser la valeur coûts/sacrifices au regard de l'ensemble des coûts de transaction attachés à cette consommation.

Les déterminants de la consommation sont multifactoriels, et les consommateurs sont hétérogènes ; il s'agit également de promouvoir par des recherches une segmentation plus fine des consommateurs, qui permettrait des actions plus ciblées et sans doute plus efficaces : si le lien entre la sous-consommation de fruits et légumes et un revenu bas est désormais bien établi, la revue de littérature a montré que certaines populations sont également à risque, car sous-consommatrices : (Verbeke and Pieniak, 2006) ont trouvé que les jeunes hommes étaient sous-consommateurs en Belgique comme en Pologne.

Au vu des différents résultats, on est frappé par l'accent mis dans les programmes nutritionnels sur les bénéfices à long terme liés à la valeur instrumentale de la consommation des fruits et légumes (meilleure santé). Même si la connaissance de ces bénéfices semble lacunaire, notamment en fonction des différentes populations, elle permet néanmoins une appréciation dans l'absolu plutôt positive des fruits (un peu moins des légumes). Si la consommation n'augmente pourtant pas, il serait sans doute intéressant de mieux comprendre les autres types de valeur afin de rendre les fruits et légumes plus compatibles avec elles : la valeur hédonique peut être augmentée par un effort de qualité et par de nouvelles propositions de consommation ; la valeur d'expression de soi peut être explorée, ainsi que le montre l'étude réalisée à Canton ; la dimension de lien social peut avoir un potentiel inexploité dans des contextes où l'alimentation reste connotée à des prises commensales. Enfin, la compréhension approfondie de la valeur "coûts/sacrifices" paraît nécessaire si on veut se donner les moyens de lever certains freins et de favoriser la motivation à consommer plus de fruits et légumes. L'étude du comportement du consommateur, en faisant appel à des disciplines complémentaires – psychologie, économie, sociologie et anthropologie, biologie, nutrition - peut apporter sa contribution à la valorisation de la consommation des fruits et légumes. Les recherches menées dans ce sens permettraient également de participer à la construction d'une tradition de recherche autour de la valeur de consommation et d'en approfondir la validité empirique. En outre, elles favoriseraient le développement de la recherche en marketing social pour l'instant faiblement représenté dans le domaine de l'alimentation, au regard des nombreuses applications du marketing alimentaire.

## 3.4. Les interventions et leur évaluation

Martine Padilla

L'accessibilité des fruits et légumes reste une préoccupation pour les décideurs publics de la santé dans la plupart des pays. Malgré les campagnes qui visent à favoriser la consommation des fruits et légumes, on observe dans de nombreuses études le peu de variation de la consommation dans la population. Pour amener les consommateurs à se rapprocher des recommandations internationales de l'OMS/FAO relayées par les ministères au niveau national et par les professionnels du secteur, qui prônent une ration quotidienne d'au moins 400 g de fruits et légumes par habitant et par jour, incluant de la variété, c'est à dire au moins 5 rations de F&L différenciés, un certain nombre d'interventions ont été mises en place avec plus ou moins de succès.

Pour comprendre les changements de comportements des consommateurs vers ces recommandations, les chercheurs se sont surtout focalisés sur les facteurs individuels incluant les connaissances, les intentions, les attitudes, les motivations, les goûts et les traits de personnalité. Sur la dernière décade, a émergé une approche plus écologique (au sens anglo-saxon du terme) des comportements alimentaires et l'on assiste à une croissance exponentielle des études sur le lien entre l'environnement de vie du consommateur et ses comportements

Selon la même logique, nous avons réparti les interventions en deux types : celles qui visent l'individu, ses préférences et ses motivations (éducation nutritionnelle, marketing informationnel et campagnes "5 par jour") et celles qui touchent l'environnement du consommateur (actions favorisant l'accès aux produits ou portant sur les prix).

De nombreux travaux (plus d'une centaine) ont étudié ces différents types d'interventions et leur impact ; la littérature scientifique ayant pour objectif principal ou secondaire l'étude d'interventions ciblées sur les F&L est toutefois moins abondante. Cette littérature est essentiellement anglo-saxonne : elle concerne les Etats-Unis, l'Angleterre, l'Australie, et un peu l'Europe du nord. Les articles français sont peu nombreux – ou du moins peu présents sur les principaux sites de référencement internationaux. Les interventions étant fréquemment intégrées à des plans locaux, régionaux ou nationaux de santé publique, leurs évaluations passent souvent par les services d'études et de recherche des organismes d'intervention. Les résultats sont rarement publiés dans des revues à comité de lecture mais diffusés sous forme de rapports ou sur des sites Internet (rapports de l'USDA par exemple), dont nous avons tenu compte.

### 3.4.1. Les interventions portant sur l'individu, ses préférences, ses motivations

Trois types d'interventions peuvent être distingués : l'éducation nutritionnelle qui par une communication interpersonnelle, vise une modification volontaire des pratiques qui ont une incidence sur l'état nutritionnel d'une population ; le Marketing informationnel qui diffuse des messages informatifs non publicitaires ; la recommandation "5 par jour" qui relève plus d'une simple injonction ; elle peut être accompagnée d'éducation nutritionnelle ou/et d'informations.

#### *3.4.1.1. Education nutritionnelle*

L'éducation nutritionnelle est une forme d'intervention très largement utilisée par les professionnels de santé publique, et pour laquelle on dispose d'évaluations. Elle consiste en travaux de groupes en milieu scolaire ou dans des quartiers ou encore dans des communautés spécifiques, au cours desquels on fournit de l'information et on renforce les facteurs favorables préexistants de manière à amener un changement des comportements. Dans la plupart des cas, l'impact de l'intervention est jugé par rapport au niveau de connaissances, aux attitudes et aux comportements. La nature ou le contenu du message d'éducation peut aussi avoir une influence.

***. Une intervention efficace pour améliorer les connaissances et les attitudes, pas forcément les comportements***

Il n'y a aucun doute sur la performance de l'éducation nutritionnelle sur l'amélioration du niveau de connaissances. Cela a été souligné en Irlande dans le programme Nutrition Education at Primery School (Friel et al., 1999), aux USA (Pirouznia, 2001), en Corée (Sung et al., 2003) pour ce qui concerne les enfants. La même relation forte a été rapportée aux USA auprès des gardiennes d'enfants (Daniels, Franco, and McWhinnie, 2003). Ces meilleures connaissances s'accompagnent d'attitudes plus positives envers les F&L (Sung et al., 2003). Il est à noter toutefois une particularité chez les enfants; suite à une campagne éducative sur les agrumes (Citrus Guide aux USA), les attitudes envers les fruits n'avaient pas évolué, par contre les attitudes envers les snacks à base de fruits étaient devenues très favorables (Koch, Lineberger, and Zajicek, 2005). Il y a donc une acceptabilité du message s'il est adapté aux attentes. Toutes les évaluations sont unanimes pour souligner l'absence d'impact en termes de comportements. Cela a été démontré en Angleterre (Attree, 2006), les raisons invoquées sont la non prise en compte des influences structurelles des choix alimentaires ainsi que des facteurs sociaux et émotionnels. Lorsque les différences culturelles sont prises en compte, ce peut être un succès (Friel et al., 1999). L'argument général de la santé est insuffisant. En Allemagne, brochures, posters et manuels distribués aux convives de cafétérias, n'ont eu aucun effet significatif (Steenhuis et al., 2004) Une étude aux USA (Pirouznia, 2001) a montré cependant une relation positive entre l'amélioration des connaissances et les comportements pour des enfants de grades 7 et 8 (12-14 ans), mais pas pour les enfants de grade 6 (11-12 ans).

***. Les messages positifs ne changent pas significativement les attitudes***

Peut être évoqué alors la nature des messages, partant du principe que des messages positifs centrés sur le "gain" escompté sont plus persuasifs et ont donc plus de chance d'être acceptés et mis en application que les messages négatifs ou répressifs ou encore centrés sur la "perte". Il a été démontré que cela n'avait pas d'impact statistiquement significatif sur les motivations et les attitudes en Hollande. Or celles ci sont le facteur intermédiaire entre l'information et l'intention à modifier les comportements (van Assema et al., 2001); (Brug, Ruiter, and Assema, 2003)). L'impact est très limité même si les répondants sont personnellement concernés par l'élément nutritionnel mis en exergue, malgré l'importance perçue du sujet et malgré la crédibilité accordée à l'information fournie. Le risque santé est fréquemment perçu comme lointain.

Il est même des cas où les messages centrés sur les "pertes" ont eu comme conséquence des intentions et un comportement plus positifs que les messages centrés sur les "gains". Cette situation inattendue a été relatée à propos d'étudiants présentant une inadéquation entre leur perception de soi et leur croyance de ce qu'ils devraient être par rapport à leurs responsabilités, fonctions et engagements (Tykocinski, Higgins, and Chaiken, 1994).

***. Les comportements n'évoluent pas davantage à l'épreuve du temps***

On peut s'interroger sur la durée de l'intervention comme facteur déterminant des changements de comportements dont on sait la rigidité. L'étude coréenne (Sung et al., 2003) a révélé qu'après un séminaire intensif d'éducation nutritionnelle répété, le niveau de connaissances avait significativement évolué ainsi que les attitudes en faveur des F&L. Si les comportements avaient bien évolué au début de l'intervention, ils n'étaient pas stables puisque 6 mois plus tard, ils n'étaient plus très différents de ceux précédant l'intervention. En agissant à répétition sur du plus long terme, les progrès de consommation de F&L sont alors significatifs.

***. Eduquer par l'implication des individus a plus d'impact***

Les formes d'éducation ont aussi montré leur importance**.** Une intervention en éducation nutritionnelle dénommée Evergreeen Action Nutrition (EAN) au Canada a permis de suivre 250 adultes pendant 3 ans. Deux formes d'éducation ont été testées : des formes indirectes comme les affiches et plaquettes et des formes directes comme les séminaires, dans lesquels il y a une implication des individus. Ces dernières se sont révélées plus efficaces à la fois sur les croyances, les attitudes envers la nutrition et la santé que sur les changements de pratiques alimentaires (Keller et al., 2006).

L'éducation nutritionnelle indirecte peut-elle avoir davantage d'impact quand elle est associée à une autre forme d'intervention? Une étude a été menée en Hollande sur 17 cafétérias professionnelles où brochures, posters, manuels d'informations ont été distribués aux convives pendant 1 à 6 mois selon les sites. Quatre contextes ont été confrontés: l'éducation nutritionnelle seule, l'éducation nutritionnelle cumulée à une plus grande disponibilité de fruits et légumes, l'éducation nutritionnelle cumulée avec une mention "produits légers en graisses", et un groupe contrôle sans intervention. Aucun effet significatif n'a pu être observé dans tous les cas : la portion de fruits est passée de 2 à 2,1; celle de légumes est passée de 168 g à 158g. Seule la mention "produits légers en graisses" a eu des effets significatifs chez les personnes estimant avoir une ration riche en graisses. (Steenhuis et al., 2004).

***. Education nutritionnelle pour les enfants : un succès possible sous conditions***

L'éducation nutritionnelle place la nutrition et la santé au cœur du dispositif. Elle part du principe que la rationalité est en faveur des aliments dont on sait les bienfaits sur la santé. Est-ce le bon argument, surtout pour les enfants? Rien n'est moins sûr, car la rationalité de l'enfant est différente de celle de l'adulte. Les enfants pensent que santé et goût sont exclusifs (Wardle and Huon, 2000)

Par contre une éducation nutritionnelle prenant en compte les différences culturelles peut s'avérer relativement efficace comme le démontre le Programme "Nutrition Education at Primary School" (NEAPS) en Irlande. 453 enfants de 8-10 ans étaient concernés par 20 sessions d'enseignement sur 10 semaines (368 enfants dans le groupe contrôle). Trois mois après le programme, la consommation de fruits et légumes avait augmenté significativement et celle des snacks salés avait diminué. Il est vrai que la consommation initiale était très faible: environ la moitié du groupe d'intervention et les 2/3 du groupe contrôle consommait moins d'une portion par jour ! (Friel et al., 1999). Un autre programme d'éducation au travers de leçons culinaires (11 leçons sur 126 jeunes scolaires (fin du primaire) avec l'implication des parents, n'a pas changé significativement les habitudes alimentaires, mais a modifié la disposition à essayer de nouveaux aliments. Motivation et attitudes ont donc évolué (Quinn, Horacek, and Castle, 2003)

L'American Dietetic Association (ADA), la Society for Nutrition Education et l'American School Food Service Association (ASFSA) encouragent l'éducation nutritionnelle dans les écoles et s'appuient sur un guide (Comprehensive School Health Program ou CSHP) qui concerne certes l'acquisition de connaissances mais surtout qui fait appel aux facteurs cognitifs et affectifs. Il a été déterminé que 50 heures d'éducation nutritionnelle au minimum sont nécessaires pour avoir un impact comportemental. Elle doit être complétée par des stratégies multiples qui renforcent un message central. L'environnement scolaire et familial de l'enfant est fondamental (SNE, 2003).

L'ADA souligne entre autres le rôle majeur des gardiennes d'enfants à l'âge préscolaire (ADA 2004) Cet aspect a été analysé en Australie (Daniels, Franco, and McWhinnie, 2003) sur 255 gardiennes et 643 enfants. Il semblerait que les programmes d'éducation soient pertinents pour l'acquisition de connaissances mais le peu de transferts de ces connaissances aux parents est à déplorer (54% seulement le font). 65% des gardiennes d'enfants se sentent impliquées dans l'approche de l'enfant à l'aliment (caresses, punitions...), et 75% offrent un fruit au moins une fois par jour. Ils estiment qu'un travail psychologique sur l'enfant est nécessaire pour orienter ses préférences alimentaires.

Une tentative a été aussi réalisée dans la Vallée Rio Grande au Texas en 1999-2000. Un "Citrus guide" a été élaboré et mis à disposition des enseignants pour les aider à intégrer l'éducation nutritionnelle dans leurs classes (grade 5, fin primaire). Les enquêtes avant et après l'intervention sur 157 enfants n'ont pas révélé de différences sur les attitudes envers les agrumes au cours des repas; par contre un réel changement d'attitudes sur la place des agrumes au cours des snacks a été observé, surtout chez les filles et les plus jeunes.

***. Des implications en santé publique limitées pour les personnes âgées et les adultes***

Une revue de littérature portant sur les programmes d'éducation nutritionnelle des personnes âgées de janvier 1990 à avril 2003 a mis en évidence 25 références (Sahyoun, Pratt, and Anderson, 2004) Si les connaissances s'améliorent quelque soit l'âge, il est nécessaire d'approfondir les recherches pour savoir

comment induire des changements de comportements et ce dans le long terme. On sait à partir des interventions passées que si des changements de comportements sont décelables, ce sera sur le court terme (les effets ne sont pas durables) et sur une population limitée. Les rares succès sont liés à une motivation déterminante de la personne (atteinte d'une pathologie par exemple), lorsque les messages sont limités à 1 ou 2, qu'ils sont simples, pratiques, ciblés, et quand il y a interaction entre les professionnels de la santé et les participants. L'insuccès est total si l'éducation nutritionnelle est dispensée par une simple information, s'il n'y a pas de contact humain et si l'intervention est sur le court terme.

Pour les adultes, une analyse d'impact en Australie sur 1137 résidents d'une communauté urbaine soumise à un programme "Towards a Healthy Diet" et sur 51 lieux de consommation hors foyer. Un programme classique d'éducation nutritionnelle a été mené pendant 2 ans, ajouté à deux campagnes médias : "Fruit and Vegetables with every meal" et "Flavour without Fat" d'une durée de 5 semaines, plus des posters chez tous les détaillants. L'impact individuel a été légèrement positif pour la consommation de fruits et légumes au foyer, mais pas significativement. Par contre il y a eu une baisse significative des aliments classiques de grignotage. Par ailleurs, on relève un impact très positif sur les perceptions et la nécessité d'une diète santé, et surtout une demande accrue hors foyer. Les cafétérias et cantines ont du s'adapter à la demande et accroître leur offre.(Dunt, Day, and Pirkis, 1999).

### *3.4.1.2. Le Marketing informationnel*

A défaut d'éducation, l'information nutritionnelle est-elle efficace pour modifier les comportements alimentaires? Labels, étiquetages, diffusion de la pyramide alimentaire, publicités pour 5 fruits et légumes par jour, voire 10 : autant d'instruments qui ont été testés.

***. La perception de la faisabilité des recommandations est essentielle***

Aux USA si un tiers des américains mangent chaque jour au moins un des aliments de chaque catégorie de la pyramide, seuls 1 à 3% mangent les portions recommandées (Dixon, Cronin, and Krebs-Smith, 2001). En particulier les fruits sont les plus souvent omis, les légumes sont plus souvent respectés sauf les légumes feuilles et les caroténoïdes. La sous estimation des besoins en F&L est soulignée dans une étude d'impact des programmes Food Guide Pyramid, Nutrition Facts Food Label et le Wellness Program; le pain, les céréales et le lait sont également sous-estimés alors que les besoins en protéines sont surestimées (Sheehan and Parham, 1997). Il n'y aurait pas de différences dans la perception des informations selon les ethnies (Sharma et al., 2003). Toutefois il semble nécessaire d'élaborer autant de pyramides alternatives que d'ensembles culturels de populations pour y intégrer les aliments habituellement consommés par ces populations.

La perception de la faisabilité des recommandations semble être en cause (Ball, Crawford, and Warren, 2004). En Australie, l'étude de la perception de la faisabilité de comportements alimentaires santé, a montré que bien que disposées, les femmes enquêtées (n = 445 de 18 à 32 ans) privilégiaient les messages qu'elles estimaient réalistes. La nécessité de coupler ces informations avec la disponibilité des produits est cruciale. Cela est particulièrement vrai aux USA où il est estimé que l'offre de fruits par exemple devrait croître de 2/3 environ pour que les recommandations soient quelque peu réalistes (Dixon, Cronin, and Krebs-Smith, 2001). Une autre étude américaine (Patterson et al., 2001) menée dans l'Etat de Washington conclue que les messages doivent être clairs, stables dans leur contenu et positifs pour éviter leur rejet; 70% des 1751 personnes enquêtées expriment une certaine lassitude envers la normalisation de l'alimentation et les messages perpétuels dictant ce qui doit être consommé ou pas, ¼ pensent que suivre les recommandations, c'est enlever le plaisir de manger. Ceux qui s'expriment le plus fortement sont les plus faibles consommateurs de fruits et légumes (les jeunes, les hommes, les démunis) avec 2,72 parts de F&L contre 3,35 parts pour les plus modérés.

Généralement la pyramide alimentaire est mieux respectée avec l'élévation du niveau d'éducation et celle des niveaux de revenus. (Dixon, Cronin, and Krebs-Smith, 2001).

***. Un label nutritionnel peut être mal perçu***

L'étiquetage nutritionnel en restauration a été testé, notamment en Angleterre sur 4 sites du Heartbeat Award (n = 453), comparés à 2 sites non inclus dans l'intervention (n=124). Il en ressort que lorsque l'étiquetage nutritionnel est systématique, les changements de comportements (pendant l'essai et 6 mois après) n'étaient significatifs que pour 4 aliments sur 20. Les fruits en particulier font partie de ceux dont la consommation a augmenté. Seuls 37% de l'échantillon de population avaient changé positivement pour les fruits et 26% pour les légumes (Holdsworth, Raymond, and Haslam, 2004). Quel-ques auteurs suggèrent que les aliments accompagnés de messages santé peuvent avoir un impact négatif sur la consommation, car les clients peuvent mal interpréter le message ou percevoir ces aliments comme moins goûteux (Holdsworth, Raymond, and Haslam, 2004); (Horgen and Brownell, 2002).

(Holdsworth, Raymond, and Haslam, 2004)Une étude anglaise montre le même inconvénient chez les enfants. Un même aliment (boisson aux fruits) était trouvé moins agréable quand un label santé le qualifiait auprès d'enfants âgés de 9-11 ans; ils allaient jusqu'à demander aux parents de ne pas l'acheter. Les arguments santé sont donc à mettre en doute quant à leur efficacité sur les enfants. Ceci a un effet secondaire, à savoir que les éducateurs (parents ou autres) doivent éviter d'invoquer des arguments santé lorsque l'enfant refuse un aliment, car cela renforce l'association santé et dégoût (Wardle and Huon, 2000).

Des informations nutritionnelles sur les autres produits que les fruits et légumes, peuvent avoir des répercussions indirectes sur les fruits et légumes précisément. Une étude aux États-Unis sur 150 clients d'un restaurant-café l'a montré. L'affichage des informations sur les graisses et les calories contenues dans les entrées chaudes ont eu un impact significatif sur les autres produits exempts d'informations ; l'on a pu alors constater une hausse de la consommation de légumes et de salades, et une baisse des desserts, comme si la maîtrise au niveau des entrées induisait une maîtrise sur l'ensemble du repas (Cranage, Conklin, and Lambert, 2004).

On peut s'interroger sur la pertinence d'informations santé sur les populations démunies. Des bénéficiaires(n=293) d'un Food Stamp Program aux USA, ont effectivement augmenté leur consommation de légumes après avoir visionné des vidéos sur leurs bienfaits nutritionnels. Mais un effet similaire a été obtenu sur le groupe contrôle qui a eu une vidéo sur l'absence de produits chimiques des légumes du jardin (Joy et al., 1999). Une revue des interventions visant à promouvoir l'alimentation santé chez les plus démunis en Angleterre a révélé leur incapacité à prendre en compte les variables structurelles des choix alimentaires de ces populations et la dimension émotionnelle. La promotion santé est insuffisante pour contrecarrer les effets négatifs de la pauvreté sur la nutrition (Attree, 2006).

***. Les livres éducatifs et de loisirs pour enfants ne sont pas favorables aux bons comportements***

L'information alimentaire et nutritionnelle est présente partout, notamment dans les livres de recettes destinés aux enfants. Un examen scrupuleux des recettes sur 150 ans aux USA montre la prépondé-rance des desserts à hautes calories; les recettes de légumes sont très limitées (Hertzler, 2005). En effet pour les protéines, les produits mis en exergue sont les œufs, les hamburgers et les hot-dogs ; pour les légumes, ce sont les tomates, les pommes de terre et la laitue ; quant aux céréales, pancakes, muesli, biscuits ; pour les desserts, ce sont les crèmes glacées, milk-shakes ; les fruits frais sont absents. Ce qui est remarquable, c'est aussi la conception du "fait-maison" : l'utilisation de conserves sous toutes ses formes est préconisée. Même si les contenus ont quelque peu évolué en lien avec les contraintes du "Dietary Guidelines for Americans" (suite à la Conférence de la Maison Blanche sur l'alimentation, la nutrition et la santé de 1969), les options en faveur des F&L et des produits nutritionnellement denses, sont limitées et les parents et instituteurs continuent de choisir des recettes énergétiquement denses. Les aliments considérés comme ludiques sont riches en graisses et sucres.

***. La publicité alimentaire***

La télévision est aussi un vecteur d'informations important pour l'enfant. Une étude américaine auprès de 548 élèves de 11-12 ans pendant 19 mois, a montré que pour chaque heure passée devant le

téléviseur par jour au-delà de la moyenne de 22 heures par semaine, la consommation de F&L décroissait de 14%. Regarder la télévision est inversement associé à la prise de F&L car les autres aliments sont fortement promus (Boynton-Jarrett et al., 2003). Aux USA, les enfants de 7 à 11 ans sont exposés à 150 à 200 heures de messages commerciaux, soit environ 20000 messages par an. 56% d'entre eux portent sur l'alimentation. En France, l'enfant est aussi très exposé car il passe en moyenne 13h par semaine devant le téléviseur (n =704 ; UFC 2007), 70% des publicités concernent l'alimentaire et 70% d'entre elles portent sur des produits gras ou sucrés (DGSE, 2002). Il y a par ailleurs une inégalité des consommateurs face à la pression exercée par la publicité sur les enfants, les ouvriers et artisans étant plus consommateurs de télévision (UFC, 2006). L'enfant est donc dans un faisceau contradictoire où l'on cherche à l'éduquer d'un côté et où l'on favorise les comportements déviants de l'autre. Les connaissances de l'enfant peuvent être biaisées par ces stratégies Marketing qui peuvent l'encourager à remplacer les F&L par d'autres produits dits nutritifs, mais qui en réalité sont nutritionnellement pauvres. Les aliments les plus lourdement "marketés", sont ceux qui sont surconsommés. La télévision n'est peut-être pas l'élément causal direct, car il a été observé que ceux qui regardaient peu la télévision sont aussi ceux qui ont des comportements généraux plus favorables à la santé. La télévision est un instrument éducatif qui pourrait être exploité pour favoriser les F&L et encourager les comportements sains. Mais ce sont les forces du marché qui déterminent le contenu des publicités.

#### *3.4.1.3. La recommandation "5 a day" : efficace sous conditions*

Cette campagne très largement utilisée, a été évaluée dans de nombreux pays : USA, Angleterre, Danemark, Nouvelle-Zélande, Norvège. Presque toutes les études convergent vers le constat d'une augmentation de la consommation de F&L, quelque peu différenciée selon le sexe en faveur des femmes ; c'est le cas en Irlande (n = 6539 adultes) ; (Friel, Newell, and Kelleher, 2005) et en Angleterre (n = 269 adultes) ;(Ashfield-Watt et al., 2004). Un bilan du Département de la Santé en Angleterre fait état d'une consommation moyenne initiale de moins de 3 portions par habitant par jour. Après 12 mois d'interventions locales prônant les 5 F&L, la hausse constatée a été d'une portion en moyenne (n = 1560 ; DH, 2002). Toutefois, comme dans l'éducation nutritionnelle, les 3 étapes du consommateur n'affichent pas le même progrès. Si la connaissance du programme progresse fort, la prise de conscience du contenu du message progresse mais moins fortement et la hausse de la consommation effective est encore moindre.

Une étude d'impact de la campagne "5 a day" menée en 1991 sur 2755 adulte et en 1997 sur 2544 adultes aux Etats-Unis, a montré une progression de la connaissance du programme de 2% à 17,8%, une prise de conscience des messages qui est passée de 7,7% à 19,2% et une proportion de consommateurs des 5 portions et plus qui est passée de 23,4% à 25,8% (Stables et al., 2002).

Les populations à faibles revenus ont plus de difficultés que les autres à atteindre ce seuil de 5 F&L/jour en raison de contraintes d'accès et d'ordre financier, mais aussi en raison des perceptions erronées de leurs comportements de consommation. En Angleterre sur 680 adultes à faible revenu, plus de 70% jugeaient qu'ils mangeaient sainement alors que seulement 18%tentaient de consommer les 5 F&L (Dibsdall et al., 2003).

***. Le résultat est plus probant et plus stable avec une action conjointe sur l'environnement du consommateur***

Lorsque la hausse de la consommation est amorcée, elle semble se poursuivre dans le temps et même se conforter. Le suivi de l'opération "6 a day" au Danemark dans 5 cantines pendant 4 mois a révélé une hausse de la consommation de F&L de l'ordre de 70g/personne. Cette croissance s'est poursuivie jusqu'à atteindre 95g/personne sur une année. Il est vrai que le personnel avait été formé pendant toute cette durée et avait soigné la présentation et les préparations (Lassen et al., 2004). Sans effort particulier sur l'environnement du convive, le résultat semble beaucoup moins stable. Ce même programme mené dans 500 écoles en Angleterre en 2000 et 2001 a révélé une augmentation significative de la consommation de fruits de 0,37 portions/jour au bout de trois mois. Sept mois plus tard, la consommation baissait à nouveau (Schagen et al., 2005)

La campagne "5 a day" est d'autant plus efficace qu'elle diversifie les angles d'attaque. L'effet testé dans 22 centres de santé (n = 1306) de la multiplication des points de vente des F&L, des tests de goût, des diffusions d'informations, des pique-niques, des discussions de groupes. Le changement de consommation de F&L est corrélé à la participation à un grand nombre d'activités. Il existe donc une dose-réponse entre le nombre de moyens d'interventions et son effet sur la consommation (Hunt et al., 2000).

***. La dose de 5 portions par jour parait difficile à atteindre***

Toutefois, deux limites à cet optimisme: les résultats sont nuls lorsqu'ils sont ajustés sur les changements démographiques (Stables et al., 2002) et la dose de 5 portions par jour est rarement atteinte car elle constitue un objectif difficile à atteindre auquel on s'adapte plutôt que d'abandonner. Les freins sont nombreux et récurrents: les proches qui n'adhèrent pas (enfants, conjoint, amis), le coût des denrées, la non facilité d'approvisionnement, la contrainte temps et le manque de savoir-faire culinaire (Cox et al., 1998), (John and Ziebland, 2004); (Bere et al., 2007). Au cours d'une étude sur 40 personnes pendant 6 mois, les sujets se sont efforcés de faire tomber au moins une barrière. Les ¾ ont déclaré avoir augmenté leur consommation entre 1 et 5 portions par jour. D'autre part les approches négociées ont eu davantage de succès que les prescriptions (John and Ziebland, 2004). L'étude de Glasgow et Reading (Cox et al., 1998) a été menée sur 168 personnes ; elle était basée sur des stratégies éducationnelles, motivationnelles, comportementales accompagnées de conseils pratiques. Si la consommation a augmenté chez les 2 /3 des personnes ce fut grâce à des stratégies individuelles fortes comme : jus de fruit le matin, le fruit comme snack, des légumes avec chaque plat principal, un fruit comme dessert. Les contraintes domestiques sont l'espace nécessaire pour stocker, la difficulté de trouver des produits de qualité chez un seul et même marchand primeur, l'éloignement des zones de chalandise, le temps de préparation. Manger 5 F&L par jour a été considéré comme onéreux et irréaliste. L'influence de l'entourage a été largement évoquée comme un frein important. Huit semaines d'intervention n'ont pas modifié les contraintes et leur perception. Cette étude a montré que changer les habitudes alimentaires d'adultes est possible s'il y a la motivation et les conditions dans l'environnement. C'est-à-dire que les zones de chalandises et leur fonctionnement doivent s'adapter (livraison à domicile par exemple), la qualité et le goût sont primordiaux, l'abondance à la maison et au restaurant favorise la consommation. L'absence d'offre dans la restauration collective a été fortement soulignée. Identifier dans quelles situations la consommation de F&L est partagée, peut inspirer des stratégies.

***. La fréquence de consommation doit être stimulée plutôt que la taille de la portion***

Si le message est bien compris, la taille de la portion l'est beaucoup moins, comme en Nouvelle-Zélande (Ashfield-Watt, 2006). Si la taille de la portion varie fortement selon le produit (147 g pour les haricots verts par exemple et 26g pour la laitue), elle est stable pour chaque produit. Donc pour augmenter la consommation de F&L, il est important d'augmenter la fréquence des prises plutôt que la taille des portions. Dans leur étude déjà ancienne (Krebs-Smith et al., 1995b) suggèrent qu'une information sur le nombre de parts journalières est plus efficace qu'une description des raisons de cette recommandation. On constate que les forts consommateurs sont à 5 portions et plus, les faibles consommateurs sont à 3 portions et moins. Ceci conforte bien le fondement du message "5 a day" (Ashfield-Watt et al., 2004).

Les analyses de disponibilités de F&L réalisées dans 10 pays européens et comparées aux recommandations "5 par jour", montrent que 37 (Grèce) à 88% (Irlande) des personnes n'atteignent pas les recommandations en fruits et 56 (Grèce) à 93% (Norvège) n'atteignent pas les recommandations en légumes. Au regard de ces données, il convient de mener des campagnes distinguant les légumes des fruits. Des interventions ciblées sur les légumes semblent prioritaires compte tenu des larges déficits (Naska et al., 2000).

## 3.4.2. Les interventions portant sur l'environnement du consommateur

Les interventions peuvent tenter d'influencer l'individu en jouant sur ses connaissances ou ses préférences, ou en modifiant l'environnement du consommateur. Cet environnement peut être d'ordre social, autrement la famille (normes, règles familiales, encouragements), le groupe proche (normes subjectives, comportements), la communauté (expositions aux medias). L'environnement peut être aussi d'ordre physique, comme les disponibilités de produits à la maison, à l'école, dans les cantines, aux lieux de chalandise… Une revue systématique de 1980 à 2004 (Kamphuis et al., 2006) révèle l'insuffisance d'études reconduites sur des variables similaires pour pouvoir conclure. Au-delà du haut niveau de revenu et du fait d'être marié, variables-clé d'une consommation élevée, les bonnes disponibilités locales exercent une influence positive sur les prises de F&L. De la même façon, l'analyse des programmes CATCH, TEENS (Teens Eating for Energy and Nutrition at School), TACOS (Trying Alternative Cafeteria Options in Schools) aux USA, montre que l'environnement est plus important que les données individuelles pour expliquer les choix alimentaires en faveur des F&L. Il est par ailleurs souligné la pénurie de méthodes d'évaluation de ces "environnements de la diète" (Lytle and Fulkerson, 2002).

### *3.4.2.1. Favoriser l'accès aux produits*

La difficulté d'accès aux produits est souvent invoquée comme un frein à la consommation de F&L. Un certain nombre de recherches ont permis de voir si lever cette contrainte avait réellement des effets positifs.

Le milieu scolaire est un terrain d'expériences privilégié, soit par la distribution de F&L soit par la mise en place d'activités de jardinage.

Les niveaux de connaissance des jeunes sont sensiblement améliorés ainsi que leurs attitudes par des activités de jardinage. Par contre au niveau des comportements, nous avons deux résultats contradictoires: dans un cas les comportements envers les fruits étaient positifs, mais pas significativement pour les légumes (O'Brien and Shoemaker, 2006) dans l'autre cas, ce sont les légumes qui avaient progressé mais pas les fruits et on observe une attitude très positive envers les snacks à base de F&L surtout chez les filles et les plus jeunes (Lineberger and Zajicek, 2000); (Morris and Zidenberg-Cherr, 2002). Une explication peut être la durée du programme qui est de 10 semaines dans le cas de O Brien, de 17 semaines dans les autres cas, ce qui influence les quantités de légumes récoltés. Des recherches futures doivent déterminer si la durée de l'intervention, la possibilité de récolter les produits, les programmes de nutrition s'y rattachant, sont déterminants de leur efficacité.

***. Distribuer des F&L en milieu scolaire est une voie privilégiée***

Les distributeurs dans les écoles sont fréquemment mis en cause. Une analyse de leur contenu dans 27 Etats des États-Unis a révélé que 89,5% des écoles publiques secondaires étaient équipées de distributeurs mais que les F&L étaient rarement présents; l'eau et les soft drinks dominent largement (Kann et al., 2005). Un règlement fédéral interdit l'accès aux FMNV (Foods of Minimal Nutritional Value) mais ne sont pas inclus les chips, les barres chocolatées et les doughnuts. En France des tentatives d'implantation de distributeurs de F&L ont été faites, avec un certain succès. Les fruits les plus fréquemment achetés ont été les pommes, puis les poires, les fraises et les clémentines (Vaysse et al., 2003). Vu le succès, ce système est prometteur, mais ne peut plus être activé étant donné l'interdiction des distributeurs dans les collèges et lycées français. Trois établissements scolaires de la Mayenne expérimentent pour trois mois la réintroduction de distributeurs automatiques proposant des produits sains et nutritionnellement équilibrés à leurs élèves. Les élèves trouveront une collation composée d'une boisson, d'un fruit, d'un produit laitier ou d'un produit céréalier. La chambre d'agriculture de la Mayenne participe à l'expérience. Le but est de "*faire évoluer la législation sur les distributeurs dans les écoles à partir de l'expérience en Mayenne*", dont les résultats seront connus à la fin de l'année scolaire 2007 (Les marchés N°52, 13/03/07).

Un programme danois de souscription de F&L, à l'image de ce qui s'est fait en Norvège en 2002/2003 dans toutes les écoles primaires, a permis aux enfants (n = 240) de 6-10 ans de disposer d'une pièce de fruit (le mardi et le vendredi) ou de légumes (le lundi et le mercredi) au repos de 10h le matin. Au bout de 5 semaines d'intervention, la hausse de la consommation de fruits a été significative chez les souscripteurs (+ 0,4 pièce /jour d'école), mais aussi chez les non-souscripteurs (+ 0,3 pièce/j) ; par contre aucun changement significatif n'a pu être observé pour les légumes (Eriksen et al., 2003). Le même résultat positif a été relevé aux Etats-Unis où le Mississippi Fresh Fruit and Vegetable Pilot Program a permis la distribution gratuite de F&L dans 25 écoles pendant l'année scolaire 2004-2005. Globalement la consommation de fruits a augmenté significativement : +0,34 pièce/jour à l'école et +0,61 pièce en tout. Par contre la consommation de légumes n'a pas changé. La distribution de légumes frais serait plus efficace avec des changements dans l'exécution du programme. Le programme est un succès pour les élèves de grade 8 et 10, pas pour ceux de grade 5 pour qui l'intention d'essayer de nouveaux F&L et le degré de préférence pour les F&L avaient baissé. A cet âge, le rappel des 24 h montre que les enfants sont plus attirés par les produits sucrés et énergétiquement denses, préférences qui changent à la puberté (Schneider et al., 2006). Ces résultats confortent des résultats antérieurs du Minnesota (Perry et al., 1998). Le récent Programme pilote Fruits et Légumes de l'USDA sur 107 écoles primaires et secondaires au cours de l'année scolaire 2002-2003, a rencontré un vif succès ; il était basé sur une dotation de 94 $ par enfant et une large coopération entre directeurs, enseignants et gestionnaires des cafétérias (Buzby and Guthrie, 2004).

***. Des F&L de qualité à l'école est une question de choix politique***

Un programme en 2004 dans le Michigan intitulé "Farm to school" proposait des contrats d'approvisionnement des écoles avec les fermiers locaux. Près de 60% des gestionnaires (n = 664) se sont déclarés intéressés, et ce d'autant plus que ces F&Lux de produits nouveaux passaient par leurs circuits habituels d'approvisionnement. Ils voient bien l'intérêt d'une telle initiative : support à l'économie locale, accès à des produits frais de bonne qualité, croissance de la consommation de F&L par les élèves. Mais ils révèlent aussi les barrières : coûts plus élevés, régularité des approvisionnements, confiance dans les produits, règles sanitaires (Izumi et al., 2006). Ces barrières paraissent d'autant plus insurmontables que l'introduction de F&L de qualité dans la restauration scolaire n'est pas une priorité pour les gestionnaires et dans les choix politiques. Une étude des attitudes des gestionnaires d'écoles dans le Sud-Est de l'Angleterre (n = 152) montre qu'ils considèrent qu'ils n'ont pas de rôle éducatif à assumer et que ces décisions ne sont pas de leur ressort ; ils sont personnellement bien disposés, mais le facteur déterminant est ce qu'ils croient que les autres (les parents surtout) veulent d'eux (Corney et al., 1998). Si en Angleterre, les choix des responsables des cantines scolaires se font avant tout par rapport au prix des denrées, l'attitude est tout à fait différente en Italie où il est considéré comme un droit d'approvisionner les écoles et lycées en produits de qualité et les F&L rentrent très tôt dans la culture alimentaire. (Morgan and Sonnino, 2007).

Une étude dans le Minnesota aux Etats-Unis sur 336 chefs d'établissements scolaires a montré le fossé existant entre les appréciations et les pratiques. Si 65% d'entre eux estiment important de mener une politique en faveur de la nutrition à l'école, seulement 32% en appliquent une. Ils présentent une attitude positive par rapport à la nécessité de maîtriser l'environnement, mais 98% autorisent les distributeurs de snacks et boissons sucrées ; 77% concluent des contrats avec des entreprises de boissons ; les aliments privilégiés dans les cafétérias sont les gâteaux et les sucreries (French, Story, and Fulkerson, 2002).

***. Favoriser l'offre dans la restauration est prometteur, mais non évalué***

Compte tenu du nombre élevé de repas que la plupart des adultes prennent hors foyer, il parait judicieux de favoriser l'accès aux F&L dans la restauration commerciale et collective. De nombreuses initiatives dans ce sens ont été tentées, mais le manque d'évaluation de ces programmes est largement souligné et nous interdit de porter un jugement sur leur efficacité (Glanz and Hoelscher, 2004); (Sorensen, Linnan, and Hunt, 2004).

***. L'accès à des fruits mûrs et gustativement satisfaisants est possible dans les GMS***

Au-delà de l'accès physique aux produits, l'impossibilité d'accès à de bons produits est considérée comme un facteur limitant d'achat, surtout dans la GMS. Une recherche en Australie (Rettke et al., 2003) a montré qu'il était commercialement possible de mettre des produits mûrs à la vente. Identifiés par un stick "Ripe and ready to eat", autrement dit "mûr et prêt à consommer", ils ont donné pleine satisfaction à 90% des répondants à une enquête sur l'odeur, la fraîcheur et la jutosité. La gestion par les détaillants n'a pas posé de problèmes et la seule limite a été de s'approvisionner en quantités suffisantes en produits de qualité satisfaisante.

***. L'environnement familial est déterminant, ainsi que l'approche culturelle***

A l'occasion d'interventions scolaires aux Etats-Unis, le manque de disponibilités de F&L au foyer a été largement cité comme un facteur susceptible d'affecter négativement les résultats potentiels des programmes. Une étude sur 1196 couples enfant/parent (Kratt, Reynolds, and Shewchuk, 2000) montre en effet un lien très fort entre la disponibilité de F&L à la maison avec l'attitude et le niveau de consommation de l'enfant à l'école. Les familles fortes consommatrices de F&L sont aussi de fervents agents de promotion. Ceci réitère l'influence majeure de l'environnement familial sur l'enfant.

Une autre étude états-unienne sur 902 adolescents et leurs parents montre que bien que les jeunes mangent fréquemment hors foyer, leur environnement familial est fortement associé à leurs comportements (Hanson, 2005). Cela signifie que les interventions visant la hausse de la consommation de F&L chez les jeunes doivent cibler les parents.

Une large étude européenne, dénommée Pro Children Study concernant 13305 enfants de 11-12 ans dans 9 pays, confirme combien la disponibilité de F&L à la maison est déterminante des choix des enfants. Si globalement 80% des enfants ont une attitude favorable aux fruits, 50% rapportent que leurs parents les encouragent à consommer davantage de F&L. Il y a cependant un net gradient nord-sud dans les attitudes et les niveaux de consommation : au Portugal et en Espagne le modèle comportemental est très positif, contrairement à la Norvège, la Suède, la Belgique et surtout le Danemark. En Autriche, la situation est plus favorable. Si 90% des enfants disent avoir des fruits disponibles à la maison, seuls 22% disent en avoir à l'école ou dans les lieux de loisirs, avec de grandes différences selon les pays : 5% en Allemagne ont accès aux F&L hors foyer, contre 45% en Autriche. Les résultats sont moins encourageants pour les légumes, car 70% des enfants disent aimer les légumes. Le gradient nord-sud clairement établi pour les fruits, n'est pas décelable pour les légumes. Dans les pays du nord et en Espagne, peu d'enfants ont un modèle familial positif comparé à la Suède, au Portugal et aux Pays-Bas (Sandvik et al., 2005).

### *3.4.2.2. Interventions sur les prix (taxes et subventions)*

***. La baisse des prix augmente conjoncturellement la consommation de F&L***

Plusieurs études expérimentales, réalisées aux Etats-Unis, montrent que l'on peut accroître la consommation des fruits et légumes en agissant sur les prix, au moins dans un environnement contrôlé (c'est-à-dire où les substituts sont limités).

Une intervention dans une cafétéria universitaire (3 semaines d'observation, 3 semaines d'intervention, et à nouveau 3 semaines d'observation) montre qu'un accroissement du choix et une baisse des prix (50%) conduit à un triplement des achats de fruits et de salades, sans augmentation du nombre total d'articles achetés à la cafétéria. A la fin de l'intervention, la consommation des fruits revient à la normale, mais celle des salades reste significativement plus élevée qu'avant l'intervention (Jeffery et al., 1994). Les données recueillies par questionnaire pendant chaque phase de l'expérience montrent que le sexe et l'intérêt porté au contrôle du poids corporel ont eu une influence significative sur les choix.

Une expérience conduite dans les cafétérias de deux lycées (French et al., 1997) débouche sur des résultats similaires. Une baisse des prix de l'ordre de 50%, portant sur des produits servis habituellement (fruits et salade) et sur un produit nouveau introduit pendant la phase d'observation initiale (baby carottes) conduit à un quadruplement des ventes de fruits et à un doublement des ventes

de carottes, mais n'a pas d'effet sur la salade. Après le retour des prix à la normale, le niveau de consommation reste légèrement plus élevé qu'avant l'intervention. L'étude montre également que les effets ne sont pas indépendants de la localisation des lycées.

***. Le message nutritionnel est un signal négatif si le prix baisse***

Une étude d'intervention menée dans un restaurant urbain pendant 4 mois (Horgen and Brownell, 2002) permet d'évaluer les effets relatifs des prix et de l'information nutritionnelle en proposant des baisses de prix plus réalistes dans un environnement commercial (de l'ordre de 20 à 30%), et portant sur des produits à faible teneur en matières grasses (sandwich au poulet, salade et soupe de légumes). Les résultats montrent que l'intervention sur les prix est plus efficace que l'apport d'information lorsque ces interventions sont menées de façon exclusive. Lorsqu'elles sont combinées, leurs effets varient selon les produits. Dans certains cas, l'intervention sur les prix est plus efficace lorsqu'elle ne s'accompagne pas d'un message nutritionnel, qui peut être interprété comme un signal négatif sur le goût du produit.

La question du maintien d'interventions sur les prix pendant de longues périodes a été abordée sous l'angle de la détermination d'un tarif permettant le maintien du revenu du point de restauration (Hannan, et al 2002). Mais le problème de la faisabilité et de l'efficacité à long terme de ce type d'action n'a pas été traité (Glanz and Hoelscher, 2004).

***. Les coupons d'achat ne sont pas aussi efficaces qu'escompté car les F&L ne rentrent pas dans le répertoire alimentaire des démunis ; l'accès physique aux produits est déterminant***

L'accès économique aux F&L peut être favorisé au moyen de coupons d'achat. Ces coupons négociables tels des bons d'achat dans les magasins d'alimentation, complètent le pouvoir d'achat des ménages à faibles revenus. C'est l'objectif du Farmers' Market Nutrition Program aux USA, réservé aux populations démunies. Les coupons n'ont pas eu tout l'effet escompté car les bénéficiaires n'accordent pas une grande valeur aux F&L; ils n'ont donc pas ou peu utilisé les coupons Les politiques d'aides directes aux familles pauvres menées aux Etats-Unis (Food Stamps) ne conduisent pas à un accroissement de la consommation d'aliments plus sains, mais plutôt à une augmentation de la consommation des aliments familiers(Wilde, McNamara, and Ranney, 1999). Lorsque les coupons étaient accompagnés d'informations, une plus forte implication des consommateurs apparaissait alors et la consommation de F&L augmentait (Just and Weninger, 1997). Le plus récent Thrifty Food Plan (FTP) aux USA, confirme la difficulté pour les populations démunies à se pourvoir en F&L car la moitié des achats alimentaires sont consommés hors foyer et les F&L sont chers et peu disponibles dans les restaurants bon marché et les petits marchés de quartier (Miner, 2006).

La question de l'accès physique est en effet cruciale en complément de l'accès économique pour les populations éligibles au Food Stamp Program. Une analyse d'un échantillon représentatif de cette population (Rose and Richards) sur la base d'une enquête par semainier, et d'interviews à domicile, montre clairement que la facilité d'accès au supermarché - principal lieu d'approvisionnement en F&L pour 93% de cette population - est déterminante des achats. Le supplément est de 84g/personne/jour pour les fruits, soit 1 portion, et de 48g pour les légumes. La distance aux lieux de chalandise est inversement associée à l'utilisation de fruits et légumes (non significatif pour ces derniers). Le facteur environnemental du consommateur est donc de première importance si l'on vise l'amélioration de la diète des populations vulnérables.(Rose and Richards, 2004).

Cela étant, les actions de distribution de bons d'achat spécifiques pour les fruits et légumes frais dans le cadre du programme WIC, débouchent sur des résultats globaux intéressants (Herman et al., 2004).

### 3.4.3. Les interventions combinées

Si les différentes interventions conduites isolément ont montré des limites certaines, on peut raisonnablement s'interroger sur la pertinence et l'efficacité d'interventions combinées, c'est-à-dire prendre en parallèle et en complémentarités plusieurs angles d'attaque, espérant ainsi avoir un impact

plus évident. Ces interventions combinées ont été expérimentées uniquement en restauration hors foyer, soit dans le cadre scolaire, soit dans le cadre du travail.

**Pour le milieu scolaire**, l'ADA, la SNE et l'ASFSA aux USA sont favorables à la mise en place de ces programmes pour les scolaires de grade 12. Combinaisons d'éducation nutritionnelle, de programmes d'accès, d'un Marketing adapté à l'enfant, des programmes sur l'environnement scolaire qui agit sur les choix alimentaires, sont prévus (Briggs, Safaii, and Beall, 2003).

L'intervention Wellness, Academics & You, menée dans 4 Etats des USA sur 1013 élèves de 69 classes de grades 4 et 5, a montré une croissance notable de la consommation de F&L et une baisse significative du BMI. Elle était basée sur une sensibilisation des enseignants à la consommation de F&L et un travail sur l'activité physique. Toutefois la durée étant limitée, il serait nécessaire de voir la fidélité des élèves à un tel programme sur le long terme (Spiegel and Foulk, 2006).

En Belgique, le programme AGGSES agissant à la fois sur les disponibilités, l'éducation nutritionnelle et les habitudes alimentaires des adolescents a montré un impact significatif au bout d'un an sur les élèves du secondaire, aucun impact sur le primaire (360 écoles). Le bilan sur les disponibilités fait état de jus de fruits et soupes présents partout, par contre les fruits ne sont présents que dans 14% des écoles primaires et 26% des écoles secondaires (Vereecken, Bobelijn, and Maes, 2005).

Toujours sur les enfants, des actions combinées touchant non seulement les enfants (6-7 ans et 10-11 ans ; n=511 sous interventions, n=464 pour le groupe contrôle), mais aussi les parents et les enseignants pendant 9 mois en Irlande, ont montré un effet très positif sur les fruits (Anderson et al., 2005). La moyenne de consommation de fruits est passée de 133 g à 183 g par enfant par jour. Pour les légumes, l'amélioration des connaissances est évidente, mais les préférences sont restées inchangées. Cette intervention combinée en une amélioration de l'approvisionnement des écoles, une multiplication des points d'accès, des newsletters aux parents et aux enfants, une information aux enseignants.

Pour favoriser la consommation des fruits et légumes frais dans les écoles, l'USDA (United States Departement of Agriculture) a reçu 6 millions de $ pour la mise en place d'un programme pilote pendant l'année scolaire 2002/2003. L'intervention a touché 100 écoles dans 4 Etats à raison de 94$ par élève. Elle a impliqué les élèves, les parents, les professeurs, les directeurs. L'évaluation montre que le programme pilote a bien fonctionné puisqu'il a réussi sa mission, celle d'augmenter la consommation des fruits et légumes. De par leur implication, 80% des élèves se sont déclarés intéressés par cette initiative et la subvention conséquente a permis d'approvisionner les écoles en fruits et légumes de bonne qualité et à forte valeur ajoutée, tels que des produits prétranchés ou dans des emballages individuels. (Buzby and Guthrie, 2004).

Certains auteurs (Cawley, 2006)estiment que les recherches sur les politiques et leurs liens avec l'obésité sont trop peu nombreuses. Ils sont convaincus que les actions combinées sont les plus pertinentes, notamment qu'il faut agir sur le marché et l'environnement de l'enfant : information nutritionnelle accessible et adaptée, baisse des pris des F&L, aide à la décision des enfants, protéger l'enfant des Junk food, supprimer les distributeurs dans les écoles. D'autres (Sallis and Glanz, 2006) estiment que la relation entre l'obésité des enfants et le changement de leur environnement en tant que consommateurs, n'est clairement établie. Toutefois ceux qui ont accès aux structures de sport, qui ont un environnement urbain favorable à la marche, qui ont accès aux marchés de proximité offrant des produits frais et sains, pourront éviter l'obésité.

Un programme à Shepparton intitulé "Towards a healthy diet" a consisté en interventions éducatives dans les restaurants, les écoles, les services de santé, par les médias et au travers d'évènements communautaires. L'enquête sur 1137 résidents de la communauté a révélé une plus forte fréquentation des restaurants à visée santé, une hausse de la demande de plats à base de fruits et de légumes. Le succès d'une approche communautaire semble ici évident (Dunt, Day, and Pirkis, 1999).

**Pour les lieux de travail**, l'efficacité de ces programmes combinés est prouvée lorsqu'ils incluent la participation des convives dans leur élaboration (plus forte implication) et s'ils sont élargis au milieu social environnant (familles, voisins...). Il faut aussi affronter les barrières organisationnelles au

niveau des sites (Sorensen, Linnan, and Hunt, 2004). Le même succès de ces programmes pour les F&L a été démontré en Finlande, pour ceux qui tiennent compte des conditions socio-économiques et des différences culturelles des populations visées. Les programmes combinés ont nettement amélioré les comportements en faveur de la santé (hausse de la consommation de F&L et baisse de la consommation de matières grasses animales), mais auraient aussi parallèlement provoqué du surpoids ! (Prattala, 2003). L'introduction d'une plus grande variété dans l'alimentation serait-elle en cause ?

### *Les expériences des collectivités territoriales*

La prévention s'imposant aujourd'hui comme le seul moyen efficace au dire des experts nutritionnistes, plusieurs collectivités territoriales - la plupart du temps des villes ou des communes – ont pris des initiatives et mis en œuvre des actions combinées sur leur territoire. On peut citer les expériences de "Fleurbaix-Laventie" en France et de "Philadelphie" aux Etats-Unis et d'autres qui sont en cours de réalisation notamment le programme EPODE "Ensemble prévenons l'obésité des enfants" en France. Ces interventions ne sont pas spécifiquement ciblées sur les fruits et légumes, mais les prennent largement en considération dans les conseils prodigués.

L'expérience **Fleurbaix et Laventie,** deux petites villes du Nord-Pas-de-Calais, a vu le jour suite à la volonté d'évaluer l'influence de l'éducation nutritionnelle dispensée dans les écoles, sur le comportement alimentaire des familles. Rapidement, une dynamique s'est créée autour de l'association "Fleurbaix Laventie ville santé" qui réunit les élus locaux, les enseignants, des chercheurs, des médecins spécialistes et généralistes des deux communes. Depuis 1992 une grande opération de prévention impliquant toute la population a été mise en place ; au-delà de l'éducation nutritionnelle ludique et de l'éducation physique, depuis 2002 l'opération est centrée sur le coaching santé : 3000 personnes bénéficient d'un bilan de santé et de mode de vie et de recommandations hygiéno-diététique adaptées. Concernant les F&L, des réunions, des affiches, des communiqués via les médias, leur introduction dans les enseignements, ont permis l'amélioration des connaissances ; des ateliers du goût ont modifié les attitudes.

Cette opération a montré la possibilité d'infléchir les comportements alimentaires et d'hygiènes de vie. Si la consommation de fruits n'a pas bougé, celle de légumes a bien progressé en substitution aux frites ou pizzas. L'évaluation avant-après programme (1992-2007) montre que globalement dans le Nord-Pas-de-Calais, l'obésité infantile n'a progressé que de 4% chez les filles et 1% chez les garçons à Fleurbaix et Laventie, alors qu'elle progressait dans le même temps de respectivement 195% et 95% dans le Nord-Pas-de-Calais.

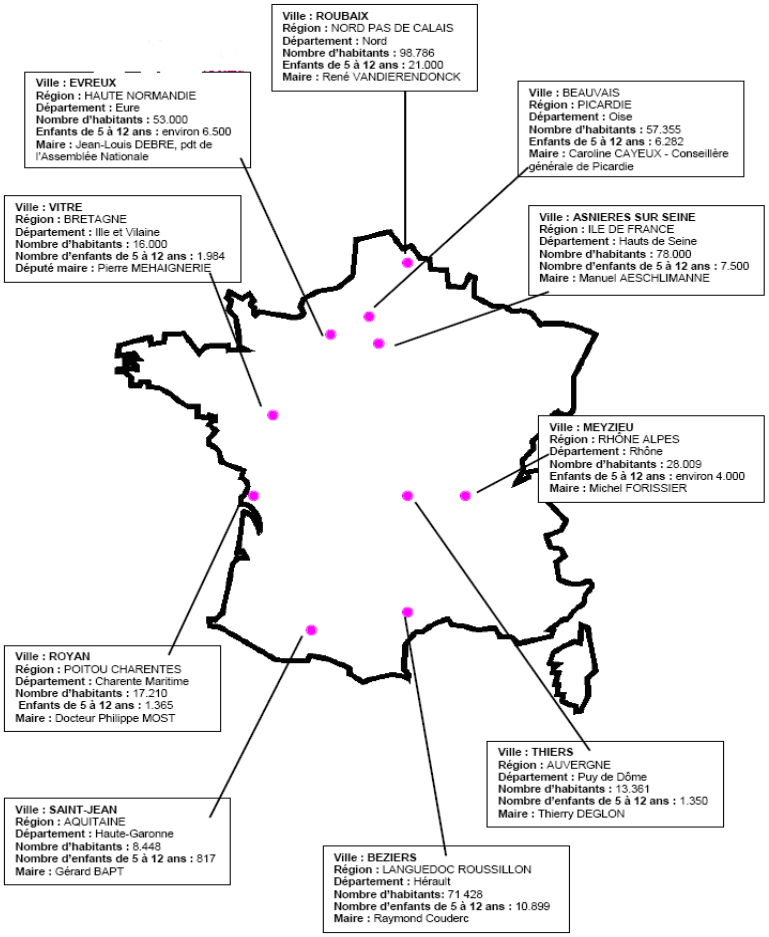
Ces succès ont incité l'OHAP (Observatoire des habitudes alimentaires et de poids) et l'APOP (Association pour la Prévention et la prise en charge de l'Obésité Pédiatrique) à passer à la vitesse supérieure avec un programme à destination des villes, "Ensemble prévenons l'obésité des enfants", dénommé EPODE.

#### *. Le programme EPODE : une approche pragmatique de proximité*

EPODE est un programme de santé publique et de prévention conçu pour limiter la progression de l'obésité infantile par un plan d'intervention sur cinq ans. Lancée par l'Observatoire des Habitudes Alimentaires et du Poids en janvier 2004 au sein de dix villes pilotes en France (Royan, Vitré, Evreux, Roubaix, Beauvais, Asnières-sur-Seine, Meyzieu, Thiers, Béziers et Saint-Jean ; Figure 3-7), cette démarche fait aujourd'hui école (123 villes ont adhéré en 2007) et confirme, par la qualité de mobilisation des équipes locales dans les villes impliquées, le rôle clé de la ville comme acteur d'une prévention santé de proximité.

Le concept EPODE consiste à s'appuyer sur l'ensemble des relais locaux à l'échelle de la ville, dont ce n'est pas spécifiquement à priori la vocation, pour promouvoir auprès des enfants et de leurs familles des habitudes de vie en matière d'alimentation et d'activité physique, en conformité avec les recommandations de PNNS.

**Figure 3-7.** Les villes impliquées dans EPODE




Ce programme repose sur un multi partenariat impliquant (Bueno-de-Mesquita H.; Peeters P.; Engeset D.10; Hjartåker A.11; Navarro C.12; Martínez Garcia C.13; Wallström P.14; Zhang J.15; Welch A.16; Spencer E.17; Stripp C.18; Overvad K.; Clavel-Chapelon F.; Casagrande C.; Riboli E.) les villes qui vont nommer un chef de projet dont la mission principale et de coordonner la mise en place des actions d'informations et de sensibilisation auprès de la population, (Bueno-de-Mesquita H.; Peeters P.; Engeset D.10; Hjartåker A.11; Navarro C.12; Martínez Garcia C.13; Wallström P.14; Zhang J.15; Welch A.16; Spencer E.17; Stripp C.18; Overvad K.; Clavel-Chapelon F.; Casagrande C.; Riboli E.) des partenaires institutionnels, (Bueno-de-Mesquita H.; Peeters P.; Engeset D.10; Hjartåker A.11; Navarro C.12; Martínez Garcia C.13; Wallström P.14; Zhang J.15; Welch A.16; Spencer E.17; Stripp C.18; Overvad K.; Clavel-Chapelon F.; Casagrande C.; Riboli E.)des partenaires privés nationaux, (Bueno-de-Mesquita H.; Peeters P.; Engeset D.10; Hjartåker A.11; Navarro C.12; Martínez Garcia C.13; Wallström P.14; Zhang J.15; Welch A.16; Spencer E.17; Stripp C.18; Overvad K.; Clavel-Chapelon F.; Casagrande C.; Riboli E.) des partenaires privés locaux, (Bueno-de-Mesquita H.; Peeters P.; Engeset D.10; Hjartåker A.11; Navarro C.12; Martínez Garcia C.13; Wallström P.14; Zhang J.15; Welch A.16; Spencer E.17; Stripp C.18; Overvad K.; Clavel-Chapelon F.; Casagrande C.; Riboli E.) les institutions locales de santé et autres. Deux niveaux de prévention sont prévus : la prévention primaire qui concerne la collectivité dans son intégralité pour éviter la prise de poids, la prévention secondaire qui concerne la collectivité et le corps médical pour réduire la prise de poids. Il consiste notamment à familiariser les enfants aux F&L dès la maternelle en favorisant la découverte culinaire et gustative. Il est assorti de campagnes d'affichage dans les villes.

Aux Etats-Unis, à **Philadelphie,** un plan d'actions communautaires combinées de 5 ans a été mis en place pour améliorer l'espérance de vie des américains en réduisant le diabète, le surpoids, l'obésité et l'asthme ; trois facteurs principaux sont ciblés : l'inactivité physique, la malnutrition et le tabac.

En 2003, le département chargé des programme de services de santé humaine (HHS, humain health services) des Etats-Unis a assigné 13,6 millions $ pour 23 communautés, y compris Philadelphie. Quinze zones de Philadelphie sont impliquées dans le projet dont les actions sont surtout ciblées sur les populations vulnérables ou vivant au dessous du seuil de pauvreté ou celles sans assurance maladie. Plusieurs intervenants y participent dont les médias, les politiques, les écoles, la communauté, les services de santé. Le HHS a un rôle de formation, d'assistance technique et d'évaluateur. Pour les F&L, l'intervention s'inscrit dans le Farmers' Market Nutrition Program et consiste en la mise en place de 25 marchés de quartier avec animations et possibilités de négocier des coupons alimentaires ciblés sur les F&L. L'accompagnement d'informations et d'éducation nutritionnelle a favorisé l'utilisation des coupons ; les consommateurs, plus impliqués, ont augmenté leur consommation de F&L de 2 à 3 portions pour 50% d'entre eux et de 4 portions pour 25% d'entre eux.(Shelton, 2005)

### 3.4.4. La question de l'évaluation des politiques

Nombreuses sont les initiatives en faveur des fruits et légumes au sein de programmes de prévention plus larges. Peu nombreuses sont les évaluations sérieuses permettant de juger de la pertinence et de l'efficacité de ces initiatives. Une synthèse de l'intérêt et des limites de chacune d'elles est donnée tableau 4. Il est vrai que cela suppose de s'associer aux scientifiques dès le début de l'opération et cette démarche n'est pas toujours comprise comme nécessaire. Ainsi, si 21 des 87 projets régionaux intégrés au PNNS 1 affichent l'augmentation de la consommation de F&L parmi leurs objectifs à côté de la lutte contre le surpoids et l'obésité et l'augmentation de l'activité physique, une évaluation n'est disponible que pour 7 d'entre eux.

Le rapport de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Politiques de Santé du Sénat (Dériot, 2005) intitulé "La prévention et la prise en charge de l'obésité" souligne d'ailleurs cette absence d'évaluation ou les limites de ce qui en tient lieu. En effet, les "évaluations" disponibles ne proposent souvent qu'un bilan quantitatif des actions menées (nombre de personnes touchées, ayant suivi telle formation, nombre d'heures d'éducation, de repas incluant des F&L biologiques par exemple…) ou la description de processus (dispositifs, obstacles rencontrés, surmontés...). Quelques unes estiment l'évolution des connaissances des personnes ou la satisfaction des publics. Mais encore trop peu d'opérations s'engagent dans l'évaluation des modifications de comportement ou l'utilisation d'indicateurs médicaux (évolution de l'IMC par exemple, marqueurs biologiques) pour mesurer les résultats.

#### *L'inefficacité constatée des interventions est-elle due aux outils d'analyse d'impact ?*

Une réelle réflexion sur des méthodes harmonisées serait à engager pour permettre des évaluations comparées entre différents instruments. Face au constat de relative inefficacité des programmes d'éducation nutritionnelle par exemple, l'USDA a remis en cause les outils d'analyse d'impact, et notamment la méthode du "rappel des 24 h" avant et après l'intervention. L'EFNEP (Expanded Food and Nutrition Education Program) a mesuré par ce moyen l'impact individuel qui était positif depuis 1969, comme démontré dans l'étude Michigan (Nierman, 1986). Cet enseignement de 6 à 8 heures, portait sur la pyramide alimentaire, les labels alimentaires, la sélection des aliments, la planification des repas, les achats. En 1996, l'éducation nutritionnelle est devenue collective au sein de groupes de 6 à 30 personnes. Dès lors, l'impact par le rappel des 24 heures s'est avéré très limité voire nul. Cette méthode conduit à une sous-évaluation des quantités consommées, en particulier par les personnes en surpoids, plus fréquentes dans les populations à bas revenus. Le Food Frequency Questionnaire (FFQ) s'est aussi révélé trop complexe car il indique les fréquences et les tailles de portions pour 100 aliments. Ce constat a conduit l'USDA à mettre au point en 1997 la Food Behaviour Checklist (FBC), qui a été validée : 11 des 41 questions portent sur les F&L et elle reflète bien un impact établi sur la base d'indicateurs biologiques (vitamine A, folates) (Blackburn et al., 2006). Cet outil validé aux Etats-Unis mériterait d'être expérimenté et validé aussi dans le contexte français.

L'hétérogénéité des approches évaluatives, l'absence de référentiels et la réinvention par chaque équipe de sa méthode constituent des faiblesses importantes des actions locales, renvoyant en partie à une insuffisante définition des objectifs. L'existence d'évaluations solides serait un atout majeur pour les financeurs afin d'orienter l'allocation des ressources.

Lorsque nous disposons d'évaluations d'actions, le protocole est relativement classique : généralement, une 1re enquête est réalisée sur la population cible et sur un groupe contrôle (non inclus dans l'action) avant la mise en place du projet ; une 2e enquête est réalisée à l'issue du projet pour en mesurer les évolutions. La nature de l'enquête est très variable. Dans le meilleur des cas, l'échantillon de population est conséquent et la consommation est évaluée sur la base des quantités consommées (en grammes de fruits et légumes/ personne/ jour) par la méthode du "rappel des 24 heures", ou bien sur la base des fréquences de consommation par FFQ, ou encore sur la base du nombre de portions. Les approches qualitatives sont généralement utilisées sur les échantillons modestes, soit pour mesurer le niveau de connaissances (questions à choix multiples), soit pour comprendre ou mesurer les perceptions et/ou les attitudes (groupes focalisés, échelles type Lickert), soit pour faire émerger les difficultés de faisabilité du programme et les impressions, recueillies par interviews.

On peut s'interroger sur l'évaluation des politiques publiques. C'est une dimension largement absente des programmes publics. Et lorsqu'elle est prévue, il s'agit bien souvent d'une auto-évaluation sur la base de critères révélant l'évolution du processus plutôt que la pertinence de l'action. La récente LOLF va sans doute bouleverser la donne puisque cette loi oblige l'action publique à fixer des objectifs et de se donner les moyens d'évaluer les conséquences. Encore faut-il se doter d'outils comparables et crédibles. Cela suppose d'associer des scientifiques dès le début de l'opération, démarche qui n'est pas toujours comprise comme nécessaire. Acceptera-t-on, à l'image du Programme de Philadelphie, d'en confier l'évaluation à l'Université et au centre de recherches local ? Aux Etats-Unis, l'USDA inclut systématiquement dans l'enveloppe budgétaire des programmes, pour leur évaluation, le fonctionnement d'un panel d'experts indépendants, en liaison avec le Committee on National Statistics. En France, le PNNS s'est récemment doté d'outils d'évaluation de chaque action qu'il soutient, ce qui permettra de disposer, pour le PNNS 2, d'éléments plus objectifs de décisions politiques et d'amélioration des interventions. Il conviendrait toutefois d'harmoniser les méthodes d'évaluation entre les différents niveaux d'interventions (local, régional, national) avec des scientifiques indépendants des "faiseurs de politiques".

Généralement on mesure le résultat, comparé aux moyens financiers mis en œuvre. Mais au-delà de ce rapport coût/efficacité, on met rarement en évidence d'autres composantes tout aussi importantes comme l'impact sur l'agriculture locale, la réduction des inégalités, l'impact nutritionnel et de santé (Padilla, 1996). Evaluer ce n'est pas seulement mesurer, c'est aussi comprendre les mécanismes et les conditions de réussite d'un programme.

### 3.4.5. Conclusions

Parmi les différentes formes d'intervention nous pouvons distinguer celles qui portent sur l'individu, ses préférences, ses motivations et celles qui touchent l'environnement du consommateur. Dans la première catégorie, nous trouvons l'éducation nutritionnelle et le Marketing informationnel ; dans la seconde catégorie, nous trouvons toute intervention favorisant l'accès aux produits et celles concernant les prix. Enfin, quelques expériences heureuses d'actions combinées jouant à la fois sur l'individu et son environnement, sont possibles.

- L'éducation nutritionnelle, très largement utilisée par les professionnels de santé publique, ne remplit pas complètement sa fonction car elle améliore les connaissances et les attitudes mais rarement les comportements. La durée de l'intervention et l'utilisation d'arguments positifs plutôt que moralisateurs n'améliorent pas leur efficacité. Cela est valable pour les adultes et les personnes âgées. Un certain succès est possible chez les jeunes enfants (avant le collège) à condition d'impliquer le personnel scolaire et la famille.

- Tout l'arsenal du Marketing informationnel (pyramides alimentaires, labels nutritionnels, publicité ciblée, promotion "5 a day") montre ses limites dans la perception de la faisabilité des recommandations. Les efforts sont couronnés d'un certain succès essentiellement pour le slogan "5 a day" (augmentation possible de la consommation entre 0,2 et 1 portion de F&L par personne et par jour) quand les informations sont culturellement ciblées et quand les angles d'attaque sont diversifiés. Les populations les plus réceptives sont les femmes adultes ; les jeunes et les hommes sont peu sensibles aux arguments santé. Il est plus efficace de promouvoir une fréquence élevée de consommation plutôt que d'augmenter la taille des portions.

- Quant aux populations démunies, elles sont dans l'incapacité de mettre les recommandations en application compte tenu de leurs habitudes alimentaires, des contraintes de leur environnement et de leur niveau de revenus. L'information non accompagnée d'un environnement favorable, n'est pas jugée réaliste et a peu de chance d'être conscientisée. Enfin, il convient de mener des campagnes distinctes pour les légumes et pour les fruits.

- Il est difficile de conclure sur l'impact d'interventions sur l'environnement du consommateur compte tenu des difficultés méthodologiques soulevées et de l'insuffisance d'études disponibles. Toutefois, il semblerait que les interventions sur l'environnement soient plus efficaces que les interventions sur les individus. Le milieu scolaire est une voie à privilégier, surtout quand elle est relayée par le milieu familial. C'est une question de choix politique. C'est aussi une question culturelle. D'où l'importance de l'apprentissage des jeunes enfants aux F&L très tôt dans la vie. Pour les populations démunies, les coupons d'achat ne sont pas aussi efficaces qu'escompté car les F&L ne rentrent pas dans le répertoire alimentaire de ces catégories de population.

- Nous connaissons la sensibilité du consommateur aux prix des F&L, mais l'évaluation d'interventions spécifiques sur l'impact de la modification des prix a rarement été faite au regard des difficultés méthodologiques. Les quelques expériences réalisées en milieu contrôlé montrent une réaction positive immédiate des convives, mais cela reste conjoncturel. L'effet est moins important lorsque la baisse de prix s'accompagne d'un message nutritionnel, qui peut être interprété comme un signal négatif sur le goût du produit.

- Pour finir, les interventions combinées semblent efficaces, surtout lorsqu'elles impliquent les personnes ciblées et si elles sont élargies au milieu social environnant. Les barrières organisationnelles et culturelles doivent être dépassées pour assurer un impact significatif. Ces formes d'interventions sont d'autant plus efficaces qu'elles sont locales. Les villes ou communautés urbaines sont considérées comme un niveau adapté à la réussite des programmes de prévention.

- Une réflexion sur les approches évaluatives, les méthodes d'évaluation et la mise au point de référentiels pour des interventions locales ou nationales, semble incontournable si l'on veut convaincre les financeurs et améliorer les initiatives. Il faut garder à l'esprit que concevoir une politique, c'est émettre des hypothèses sur les conséquences d'une action ; évaluer c'est soumettre les hypothèses à l'épreuve des faits.

# Références bibliographiques

## Les déterminants socio-économiques de la consommation de fruits et légumes


AFSSA, and INPES (2004). "Comparaison de deux enquêtes nationales de consommation alimentaire auprès des adolescents et des adultes : Baromètre santé nutrition, 2002 et INCA, 1998-1999 : éléments de méthode et résultats " INPES.

Andrieu, E., and Caillavet, F. (2006). Inégalités nutritionnelles au sein des ménages : la pauvreté joue-t-elle un rôle ? *Cahiers de Nutrition et de Diététique* **41**(2)**,** 75-85.

Andrieu, E., Caillavet, F., Lhuissier, A., Momic, M., and Regnier-Chauvel, F. (2006). L'alimentation comme dimension spécifique de la pauvreté. Approches croisées de la consommation alimentaire des populations défavorisées. *In* "Les travaux de l'Observatoire national de la pauvreté et de l'exclusion sociale 2005-2006" (s. Observatoire national de la pauvreté et de l'exclusion, Ed.), pp. 247-278. Documentation française, Paris (FRA).

Angulo, A. M., Gil, J. M., Dhehibi, B., and Mur, J. (2002). Town size and the consumer behaviour of Spanish households: a panel data approach. *Applied Economics* **34**(4)**,** 503-507.

Ard, J. D., Fitzpatrick, S., Desmond, R. A., Sutton, B. S., Pisu, M., Allison, D. B., Franklin, F., and Baskin, M. L. (2007). The impact of cost on the availability of fruits and vegetables in the homes of schoolchildren in Birmingham, Alabama. *American Journal of Public Health* **97**(2)**,** 367-372.

Ashfield-Watt, P. A. L. (2006). Fruits and vegetables, 5+ a day: are we getting the message across? *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* **15**(2)**,** 245-252.

Babayou, P. (1996). "Les disparités régionales de la consommation alimentaire des ménages français." Collection des Rapports, n° CP004 CREDOC, Paris.

Baker, A. H., and Wardle, J. (2003). Sex differences in fruit and vegetable intake in older adults. *Appetite* **40**(3)**,** 269-275.

Baros, C. (2006). The catering industry in France - new consumer trends. *Infos-Ctifl* **12-14**(No.221).

Bertail, P., and Caillavet, F. (2007 ). Fruit and vegetable consumption patterns: a segmentation approach. *American Journal of Agricultural Economics (Forthcoming)*.

Blisard, N., Stewart, H., and Jolliffe, D. (2004). "Low-income households' expenditures on fruits and vegetables." Agricultural Economic Report US Department of Agriculture, Economic Research Service (ERS-NASS), Washington USA.

Bowman, S. A. (2006). A comparison of the socioeconomic characteristics, dietary practices, and health status of women food shoppers with different food price attitudes. *Nutrition Research* **26**(7)**,** 318-324.

Cade, J., Upmeier, H., Calvert, C., and Greenwood, D. (1999). Costs of a healthy diet: analysis from the UK Women's Cohort Study. *Public Health Nutrition* **2**(4)**,** 505-512.

Caillavet, F., Combris, P., and Perchard, S. (2002). L'alimentation des ménages à bas revenu en France. *Alimentation et Précarité*(16)**,** 8-16.

Caillavet, F., and Nichele, V. (2002). L'activité féminine détermine la consommation de repas hors domicile. *INRA Sciences Sociales*(1/02)**,** 1-4.

Caillavet, F., Nichele, V., and Robin, J.-M. (1998). Modelling the Consumption of Home-Produced Vegetables with an Application to French Households. *European Review of Agricultural Economics* **25**(2)**,** 170-187.

Cérami, N., and Camus, M. (2004). Le budget des familles en 2001. *INSEE Résultats*(29).

Chambolle, M., Collerie de Borely, A., Dufour, A., Verger, P., and Volatier, J. L. (1999). Study of food diversity in France. *Cahiers de Nutrition et de Dietetique* **34**(6)**,** 362-368.

Clément, L., Destandau, S., and Eneau, D. (1997). Le budget des ménages en 1995 *INSEE Résultats Consommation Modes de vie*(90)**,** 118 p.

Daponte, B. O., and Stephens, M. The relationship between food assistance, the value of food acquired, and household food security *In* "Working Paper Series", pp. 44 p. University of Chicago; Harris School, Chicago.

Darmon, N., Ferguson, E. L., and Briend, A. (2002). A cost constraint alone has adverse effects on food selection and nutrient density: an analysis of human diets by linear programming. *Journal of Nutrition* **132**(12)**,** 3764-3771.

Darmon, N., and Khlat, M. (2001). An overview of the health status of migrants in France, in relation to their dietary practices. *Public Health Nutrition* **4**(2)**,** 163-172.

DFVF (2005). "Danskernes kostvaner 2000-2002, Hovedresultater, Danmarks Fodevareforskning." Publikation nr. 11 DFVF, Soborg, Danmark.

Drewnowski, A., Darmon, N., and Briend, A. (2004). Replacing fats and sweets with vegetables and fruits - a question of cost. *American Journal of Public Health* **94**(9)**,** 1555-1559.

Drewnowski, A., and Specter, S. E. (2004). Poverty and obesity: the role of energy density and energy costs. *American Journal of Clinical Nutrition* **79**(1)**,** 6-16.

Friel, S., Newell, J., and Kelleher, C. (2005). Who eats four or more servings of fruit and vegetables per day? Multivariate classification tree analysis of data from the 1998 Survey of Lifestyle, Attitudes and Nutrition in the Republic of Ireland. *Public Health Nutrition* **8**(2)**,** 159-169.

Giskes, K., Turrell, G., Lenthe, F. J. v., Brug, J., and Mackenbach, J. P. (2006). A multilevel study of socio-economic inequalities in food choice behaviour and dietary intake among the Dutch population: the

GLOBE study. *Public Health Nutrition* **9**(1)**,** 75-83.
Guthrie, J. F., Lin, B. H., Reed, J., and Stewart, H. (2005). Understanding economic and behavioral influences on fruit and vegetable choices. *Amber Waves* **3**(2)**,** 36-41.
Hanson, N. I., Neumark-Sztainer, D., Eisenberg, M.E., Story, M., Wall, M. (2005). Associations between parental report of the home food environment and adolescent intakes of fruits, vegetables and dairy foods. *Public Health Nutrition* **8**(1)**,** 77-85.
He, H., Huang, C. L., and Houston, J. E. (1995). US Household consumption of fresh fruit
*Journal of Food Distribution Research* **26**(2)**,** 28-38.
Henderson, V. R., and Kelly, B. (2005). Food advertising in the age of obesity: Content analysis of food advertising on general market and African American television. *Journal of Nutrition Education and Behavior* **37**(4)**,** 191-196.
Henneberry, S. R., Piewthongngam, K., and Han, Q. (1999). Consumer food safety concerns and fresh produce consumption. *Journal of Agricultural and Resource Economics* **24**(1)**,** 98-113.
Horowitz, C. R., Colson, K. A., Hebert, P. L., and Lancaster, K. (2004). Barriers to buying healthy foods for people with diabetes: evidence of environmental disparities. *American Journal of Public Health* **94**(9)**,** 1549-1554.
Huang, K. S., and Lin, B.-H. (2000). Estimation of Food Demand and Nutrient Elasticities from Household Survey Data. *Technical Bulletin* (1887)**,** 36 p.
Inglis, V., Ball, K., and Crawford, D. (2005). Why do women of low socioeconomic status have poorer dietary behaviours than women of higher socioeconomic status? A qualitative exploration. *Appetite* **45**(3)**,** 334-343.
Kamphuis, C. B. M., Giskes, K., Bruijn, G. J. d., Wendel-Vos, W., Brug, J., and Lenthe, F. J. v. (2006). Environmental determinants of fruit and vegetable consumption among adults: a systematic review. *British Journal of Nutrition* **96**(4)**,** 620-635.
Kim, S. Y., Nayga, R. M., Jr., and Capps, O., Jr. (2001). Health knowledge and consumer use of nutritional labels: the issue revisited. *Agricultural and Resource Economics Review* **30**(1)**,** 10-19.
Kirkpatrick, S., and Tarasuk, V. (2003). The relationship between low income and household food expenditure patterns in Canada. *Public Health Nutrition* **6**(6).
Krachler, B., Eliasson, M. C. E., Johansson, I., Hallmans, G., and Lindahl, B. (2005). Trends in food intakes in Swedish adults 1986-1999: findings from the Northern Sweden MONICA (Monitoring of Trends and Determinants in Cardiovascular Disease) study. *Public Health Nutrition* **8**(6)**,** 628-635.
Kubik, M. Y., Lytle, L. A., Hannan, P. J., Perry, C. L., and Story, M. (2003). The association of the school food environment with dietary behaviors of young adolescents. *American Journal of Public Health* **93**(7)**,** 1168-1173.
Lambert, N., Plumb, J., Looise, B., Johnson, I. T., Harvey, I., Wheeler, C., Robinson, M., and Rolfe, P. (2005). Using smart card technology to monitor the eating habits of children in a school cafeteria: 3. The nutritional significance of beverage and dessert choices. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* **18**(4)**,** 271-279.
Lechene, V. (2000). Income and Price Elasticities of Demand for Foods Consumed in the Home,. *In* "National Food Survey," pp. 89-109. DEFRA.
Lin, B. H., Frazão, L., and Guthrie, J. (1999). Away-from-home foods increasingly important to quality of american diet. *Agriculture Information Bulletin*((AIB749) )**,** 32 p.
Lin, B. H., and Morrison, R. M. (2002). Higher fruit consumption linked with lower body mass index. *FoodReview* **25**(3)**,** 28-32.
Livsmedelsverket (2002). "Riksmaten 1997-98, Kostvanor och näringsintag i Sverige, Metod- och resultatanalys." Livsmedelsverket , National Food Administration, Uppsala, Sweden.
Maynard, M., Gunnell, D., Ness, A. R., Abraham, L., Bates, C. J., and Blane, D. (2006). What influences diet in early old age? Prospective and cross-sectional analyses of the Boyd Orr cohort. *European Journal of Public Health* **16**(3)**,** 315-323.
Monceau, C., Blanche-Barbat, E., and Échampe, J. (2002). La consommation alimentaire depuis quarante ans : de plus en plus de produits élaborés. *Insee Première*(846)**,** 1-4.
Morland, K., Wing, S., and Roux, A. D. (2002). The contextual effect of the local food environment on residents' diets: the Atherosclerosis Risk in Communities study. *American Journal of Public Health* **92**(11)**,** 1761-1767.
Nichele, V. (2003). Health information and food demand in France. *In* "Health, nutrition and food demand", pp. 131-151. CABI Publishing, Wallingford UK.
Pearson, T., Russell, J., Campbell, M. J., and Barker, M. E. (2005). Do 'food deserts' influence fruit and vegetable consumption? - a cross-sectional study. *Appetite* **45**(2)**,** 195-197.
Pirouznia, M., and Mahe (2000). The correlation between nutrition knowledge and eating behavior in an American school: the role of ethnicity. *Nutrition and Health* **14**(2)**,** 89-107.
Pollard, J., Greenwood, D., Kirk, S., and Cade, J. (2001). Lifestyle factors affecting fruit and vegetable consumption in the UK Women's Cohort Study. *Appetite* **37**(1)**,** 71-79.
Ponza, M., Devaney, B., Ziegler, P., Reidy, K., and Squatrito, C. (2004). Nutrient intakes and food choices of infants and toddlers participating in WIC. *Journal of the American Dietetic Association* **104**(1 suppl.)**,** 71-79.
Ragaert, P., Verbeke, W., Devlieghere, F., and Debevere, J. (2004). Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Quality and Preference* **15**(3)**,** 259-270.

Recours, F., and Hebel, P. (2007). Évolution des comportements alimentaires : le rôle des générations. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*(82-83)**,** 79-108.
Richards, T. J., and Patterson, P. M. (2005). A bilateral comparison of fruit and vegetable consumption: United States and Canada. *Journal of Agricultural and Resource Economics* **30**(2)**,** 333-349.
Roos, E., Prattala, R., Lahelma, E., Kleemola, P., and Pietinen, P. (1996). Modern and healthy? Socioeconomic differences in the quality of diet. *European Journal of Clinical Nutrition* **50**(11)**,** 753-760.
Roos, G., Johansson, L., Kasmel, A., Klumbiené, J., Prättälä, R. (2001). Disparities in vegetable and fruit consumption: European cases from the north to the south. *Public Health Nutrition* **4**(1)**,** 35-43.
Rust, P., and Elmadfa, I. (2004). Attitudes of Austrian adults to the consumption of fruits and vegetables. *In* "Diet diversification and health promotion. Conference of the European Academy of Nutritional Sciences", pp. 91-99. S Karger AG, Basel Switzerland.
Sandvik, C., Bourdeaudhuij, I. d., Due, P., Brug, J., Wind, M., Bere, E., Perez-Rodrigo, C., Wolf, A., Ibrahim, E., Thorsdottir, I., Almeida, M. D. V. d., Yngve, A., and Klepp, K. I. (2005). Personal, social and environmental factors regarding fruit and vegetable intake among schoolchildren in nine European countries. *Annals of Nutrition and Metabolism* **49**(4)**,** 255-266.
Shaw, H. J. (2006). Food deserts: Towards the development of a classification. *Geografiska Annaler Series B-Human Geography* **88B**(2)**,** 231-247.
Shelton, N. J. (2005). What not to eat: inequalities in healthy eating behaviour, evidence from the 1998 Scottish Health Survey. *Journal of Public Health* **27**(1)**,** 36-44.
Shi, Z., Lien, N., Kumar, B. N., and Holmboe-Ottesen, G. (2005). Socio-demographic differences in food habits and preferences of school adolescents in Jiangsu Province, China. *European Journal of Clinical Nutrition* **59**(12)**,** 1439-1448.
Stables, G. J., Subar, A. F., Patterson, B. H., Dodd, K., Heimendinger, J., Duyn, M. A. S. v., and Nebeling, L. (2002). Changes in vegetable and fruit consumption and awareness among US adults: results of the 1991 and 1997 5 A Day for Better Health Program surveys. *Journal of the American Dietetic Association* **102**(6)**,** 809-817.
Stewart, H., Blisard, N., and Jolliffe, D. (2003). Do income constraints inhibit spending on fruits and vegetables among low-income households? *Journal of Agricultural and Resource Economics* **28**(3)**,** 465-480.
Stewart, H., and Harris, J. M. (2005). Obstacles to overcome in promoting dietary variety: the case of vegetables. *Review of Agricultural Economics (Boston)* **27**(1)**,** 21-36.
Stewart, H., Harris, J. M., and Guthrie, J. (2004). What Determines the Variety of a Household's Vegetable Purchases? *Agriculture Information Bulletin* **792**(3)**,** 1-4.
Unusan, N. (2004). Fruit and vegetable consumption among Turkish university students. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* **74**(5)**,** 341-348.
Veugelers, P. J., Fitzgerald, A. L., and Johnston, E. (2005). Dietary intake and risk factors for poor diet quality among children in Nova Scotia. *Canadian Journal of Public Health-Revue Canadienne De Sante Publique* **96**(3)**,** 212-216.
Volatier, J. L. C. (2000). "Enquête INCA individuelle et nationale sur les consommations alimentaires." Collection AFSSA) Editions TEC & DOC Paris.
Westenhoefer, J. (2004). Age and gender dependent profile of food choice. *In* "Diet diversification and health promotion. Conference of the European Academy of Nutritional Sciences (EANS), Vienna, 14-15 May 2004", pp. 44-51. S Karger AG, Basel Switzerland.
Wilde, P. E., McNamara, P. E., and Ranney, C. K. (1999). The effect of income and food programs on dietary quality: a seemingly unrelated regression analysis with error components. *American Journal of Agricultural Economics* **81**(4)**,** 959-971.
Yen, S. T., Lin, B. H., and Smallwood, D. M. (2003). Quasi- and simulated-likelihood approaches to censored demand systems: food consumption by food stamp recipients in the United States. *American Journal of Agricultural Economics* **85**(2)**,** 458-478.

## Facteurs sensoriels de l'acceptabilité des fruits et légumes

Ames, B. N., Profet, M., and Gold, L. S. (1990). Dietary Pesticides (99.99% All Natural). *Proceedings of the National Academy of Sciences* **87**(19)**,** 7777-7781.
Anliker, J. A., Bartoshuk, L., Ferris, A. M., and Hooks, L. D. (1991). Children's food preferences and genetic sensitivity to the bitter taste of 6-*n*-propylthiouracil (PROP). *The American Journal of Clinical Nutrition* **54**(2)**,** 316-320.
Babicz-Zielinska, E. (1999). Food preferences among the Polish young adults. *Food Quality and Preference* **10**(2)**,** 139-145.
Baros, C. (2002). La consommation de la mâche : plus de présence et d'usages. *Infos-Ctifl*(184)**,** 22-25.
Baros, C., and Christy, G. (2005). La consommation de salade des Français : achats et image, une étroite relation. *Infos-Ctifl*(No.210)**,** 16-20.
Barritt, B. H. (1999). The necessity of adopting new apple varieties to meet consumer needs. *Compact Fruit Tree* **32**(2).
Barritt, B. H. (2001). Apple quality for consumers. *Compact Fruit Tree* **34**(2).
Bartoshuk, L. M. (1993). The biological basis of food perception and acceptance. *Food Quality and Preference* **4**(1/2)**,** 21-32.

Bell, K. I., and Tepper, B. J. (2006). Short-term vegetable intake by young children classified by 6-n-propylthoiuracil bitter-taste phenotype. *American Journal of Clinical Nutrition* **84**(1)**,** 245-251.
Bingham, A., Hurling, R., and Stocks, J. (2005). Acquisition of liking for spinach products. *Food Quality and Preference* **16**(5)**,** 461-469.
Birch, L. L., and Deysher, M. (1985). Conditioned and unconditioned caloric compensation: evidence for self regulation of food intake in young children. *Learning and Motivation* **16,** 341-355.
Birch, L. L., and Deysher, M. (1986). Caloric compensation and sensory specific satiety: evidence for self regulation of food intake by young children. *Appetite* **7**(4)**,** 323-331.
Birch, L. L., Gunder, L., Grimm-Thomas, K., and Laing, D. G. (1998). Infants' consumption of a new food enhance acceptance of similar foods. *Appetite* **30**(3)**,** 283-295.
Blossfeld, I., Collins, A., Boland, S., Baixauli, R., Kiely, M., and Delahunty, C. (2007). Relationships between acceptance of sour taste and fruit intakes in 18-month-old infants. *Br J Nutr***,** 1-8.
Boggio, V., Grossiord, A., Guyon, S., Fuchs, F., and Fantino, M. (1999). Consommation alimentaire des nourrissons et des enfants en bas âge en France en 1997. *Archives de Pédiatrie* **6**(7)**,** 740-747.
Bourn, D., and Prescott, J. (2002). A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **42**(1)**,** 1-34.
Briefel, R. R., Reidy, K., Karwe, V., Jankowski, L., and Hendricks, K. (2004). Toddlers' transition to table foods: Impact on nutrient intakes and food patterns. *Journal of the American Dietetic Association* **104**(1)**,** S38-S44.
Brug, J., Lechner, L., and de Vries, H. (1995). Psychosocial determinants of fruit and vegetable consumption. *Appetite* **25**(3)**,** 285-296.
Campbell, B. L., Nelson, R. G., Ebel, R. C., Dozier, W. A., Adrian, J. L., and Hockema, B. R. (2004). Fruit quality characteristics that affect consumer preferences for satsuma mandarins. *HortScience* **39**(7).
Contento, I. R., Michela, J. L., and Williams, S. S. (1995). Adolescent food choice criteria: role of weight and dieting status. *Appetite* **25**(1)**,** 51-76.
Cooke, L. J., and Wardle, J. (2005). Age and gender differences in children's food preferences. *British Journal of Nutrition* **93**(5)**,** 741-6.
Crisosto, C. H., Crisosto, G. M., and Garner, D. (2005). Understanding tree fruit consumer acceptance. *Acta Horticulturae*(682)**,** 865-870.
D'Addesa, D., Sette, S., Muli, M. P., Martone, D., Donne, C. I., and Alicino, G. (2002). Levels of acceptance for foods served at school cafeterias in a Latium area. *Rivista di Scienza dell'Alimentazione* **31**(2).
Daillant-Spinnler, B., MacFie, J. H., Beyts, P. K., and Hedderley, D. (1996). Relationships between perceived sensory properties and major preference directions of 12 varieties of apples from the southern hemisphere. *Food Quality and Preference* **7**(2)**,** 113-126.
de Almeida, M. D. V., Graça, P., Afonso, C., Kearney, J. M., and Gibney, M. J. (2001). Healthy eating in european elderly: concepts, barriers and benefits. *The Journal of Nutrition, Health and Aging* **5**(4)**,** 217-219.
Dennison, B. A. (1996). Fruit juice consumption by infants and children: A review. *Journal of the American College of Nutrition* **15**(5)**,** S4-S11.
Dennison, B. A., Rockwell, H. L., and Baker, S. L. (1998). Fruit and Vegetable Intake in Young Children. *Journal of American College of Nutrition* **17**(4)**,** 371-378.
Devine, C. M., Connors, M., Bisogni, C. A., and Sobal, J. (1998). Life-course influences on fruit and vegetable trajectories: qualitative analysis of food choices. *Journal of Nutrition Education* **30**(6).
Dinehart, M. E., Hayes, J. E., Bartoshuk, L. M., Lanier, S. L., and Duffy, V. B. (2006). Bitter taste markers explain variability in vegetable sweetness, bitterness, and intake. *Physiology & Behavior* **87**(2)**,** 304-313.
Drewnowski, A. (1989). Sensory preferences for fat and sugar in adolescence and adult life. *In* "Nutrition and the chemical senses in aging : Recent advances and current research needs" (C. Murphy, W. S. Cain, and D. M. Hegsted, Eds.), Vol. 561, pp. 243-250. The New York Academy of Sciences, New York.
Drewnowski, A. (1997). Taste preference and food intake. *Annual Review of Nutrition* **17,** 237-253.
Drewnowski, A. (2000). Sensory control of energy density at different life stages. *Proceedings of the Nutrition Society* **59**(2)**,** 239-244.
Drewnowski, A. (2004). 6-n-propylthiouracil sensitivity, food choices and food consumption. *In* "Genetic variation in taste sensitivity" (J. Prescott, and B. Tepper, Eds.), pp. 179-194. Marcel Dekker, New-York.
Drewnowski, A., and Gomez-Carneros, C. (2000). Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *The American Journal of Clinical Nutrition* **72,** 1424-1435.
Drewnowski, A., Henderson, S., and Shore, A. B. (1997). Taste responses to naringin, a flavonoid, and the acceptance of grapefruit juice are related to genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil. *American Journal of Clinical Nutrition* **66**(2)**,** 391-397.
Drewnowski, A., Henderson, S. A., Hann, C. S., Berg, W. A., and Ruffin, M. T. (2000). Genetic taste markers and preferences for vegetables and fruit of female breast care patients. *Journal of the American Dietetic Association* **100**(2)**,** 191-197.
Drewnowski, A., Henderson, S. A., Levine, A., and Hann, C. (1999). Taste and food preferences as predictors of dietary practices in young women. *Public Health Nutrition* **2**(4)**,** 513-519.
Drewnowski, A., Henderson, S. A., Shore, A. B., and Barratt-Fornell, A. (1998). Sensory responses to 6-n-propylthiouracil (PROP) or sucrose solutions and preferences in young women. *Annals of the New-York Academy of Sciences* **855,** 797-801.
Dubuisson, C., Lioret, S., Gautier, A., Delamaire, C., Perrin-Escalon, H., Guilbert, P., and Volatier, J. L. (2006).

Comparaison de deux enquêtes nationales de consommations alimentaires (INCA 1 1998/99 et Baromètre santé nutrition 2002) au regard de cinq objectifs alimentaires du Programme national nutrition santé *Revue d'Epidemiologie et de Santé Publique* **54**(1)**,** 5-14.

Duffy, V., Lucchina, L., and Bartoshuk, L. (2004). Genetic variation in taste: Potential biomarker for cardiovascular disease risk? *In* "Genetic variation in taste sensitivity" (J. Prescott, and B. Tepper, Eds.), pp. 195-228. Marcel Dekker, New-York.

Engel, E., Martin, N., and Issanchou, S. (2006). Sensitivity to allyl isothiocyanate, dimethyl trisulfide, sinigrin, and cooked cauliflower consumption. *Appetite* **46**(3)**,** 263-269.

Fenwick, G. R., Curl, C. L., Griffiths, N. M., Heaney, R. K., and Price, K. R. (1990). Bitter principles in food plants. *In* "Bitterness in food and beverages. Developments in food science." (R. Rouseff, Ed.), Vol. 25, pp. 205-250. Elsevier, Amsterdam.

Fenwick, G. R., Griffiths, N. M., and Heaney, R. K. (1983). Bitterness in brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*): The role of glucosinolates and their breakdown products. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **34**(1)**,** 73-80.

Fenwick, G. R., Heaney, R. K., and Mullin, W. J. (1983). Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **18**(2)**,** 123-201.

Fillion, L., and Kilcast, D. (2002). Consumer perception of crispness and crunchiness in fruits and vegetables. *Food Quality and Preference* **13**(1)**,** 23-29.

Fischler, C., and Chiva, M. (1985). Food likes, dislikes and some of their correlates in a sample of French children and young adults. *In* "Measurement and determinants of food habits and food preferences" (J. M. Diehl, and C. Leitzmann, Eds.), Vol. report7, pp. 137-156. Department of Human Nutrition, Agricultural University, Wageningen.

Florkowski, W. J., Bruckner, B., and Schonhof, I. (1996). Importance of produce freshness to European consumers: evidence from Berlin, Germany. *Acta Horticulturae*(No. 429).

Gamble, J., Jaeger, S. R., and Harker, F. R. (2006). Preferences in pear appearance and response to novelty among Australian and New Zealand consumers. *Postharvest Biology and Technology* **41**(1)**,** 38-47.

Gerrish, C. J., and Mennella, J. A. (2001). Flavor variety enhances food acceptance in formula-fed infants. *The American Journal of Clinical Nutrition* **73**(6)**,** 1080-1085.

Gibson, E. L., and Wardle, J. (2003). Energy density predicts preferences for fruit and vegetables in 4-year-old children. *Appetite* **41**(1)**,** 97-98.

Gibson, E. L., Wardle, J., and Watts, C. J. (1998). Fruit and vegetable consumption, nutritional knowledge and beliefs in mothers and children. *Appetite* **31**(2)**,** 205-228.

Gilbert, J. M., Young, H., Ball, R. D., and Murray, S. H. (1996). Volatile flavor compounds affecting consumer acceptability of kiwifruit. *Journal of Sensory Studies* **11**(3)**,** 247-259.

Glanville, E. V., and Kaplan, A. R. (1965). Food preference and sensitivity of taste for bitter compounds. *Nature* **205**(4974)**,** 851-853.

Glanz, K., Basil, M., Maibach, E., Goldberg, J., and Snyder, D. (1998). Why Americans eat what they do: Taste, nutrition, cost, convenience, and weight control concerns as influences on food consumption. *Journal of the American Dietetic Association* **98**(10)**,** 1118-1126.

Glendinning, J. I. (1994). Is the bitter rejection response always adaptive? *Physiology & Behavior* **56**(6)**,** 1217-1227.

Gojard, S., Lhuissier, A., and Contreras, J. (2003). Key findings on food habits, food provisioning and attention paid to food. Survey on people over 60 years old in free living situation in France and in Spain. "HealthSense Project", INRA-CORELA, Ivry.

Greco, L., Musmarra, F., Franzese, C., and Auricchio, S. (1998). Early childhood feeding practices in southern Italy: is the Mediterranean diet becoming obsolete? Study of 450 children aged 6-32 months in Campania, Italy. Cultural Paediatric Association. *Acta Paediatr* **87**(3)**,** 250-6.

Hampson, C. R., Sanford, K., and Cline, J. (2002). Preferences of Canadian consumers for apple fruit size. *Canadian Journal of Plant Science* **82**(1)**,** 165-167.

Harker, F. R., Gunson, F. A., and Jaeger, S. R. (2003). The case for fruit quality: an interpretive review of consumer attitudes, and preferences for apples. *Postharvest Biology and Technology* **28**(3)**,** 333-347.

Havermans, R. C., and Jansen, A. (2007). Increasing children's liking of vegetables through flavour-flavour learning. *Appetite* **48**(2)**,** 259-262.

Heaney, R. K., and Fenwick, G. R. (1980). Glucosinolates in brassica vegetables. Analysis of 22 varieties of brussels sprout (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*), Vol. 31, pp. 785-793.

Hilaire, C., and Mathieu, V. (2004). Sensory tests of peach varieties: consumer satisfaction first. *Infos-Ctifl*(No.201).

Hildebrandt, G. H., Dominguez, B. L., Schork, M. A., and Loesche, W. J. (1997). Functional units, chewing, swallowing, and food avoidance among the elderly. *Journal of Prosthetic Dentistry* **77**(6)**,** 588-595.

Hill, A. J. (2002). Developmental issues in attitudes to food and diet. *Proceedings of the Nutrition Society* **61**(2)**,** 259-266.

Hoehn, E., Gasser, F., Guggenbuehl, B., and Casutt, M. (2003). Consumer demands on eating quality of apples: minimum requirements on firmness, soluble solids and acidity. *Acta Horticulturae*(No.600).

Hutin, C. (1999). Tomates. Qu'en pensent les consommateurs? *Infos-Ctifl*(54)**,** 21-25.

Jackman, R., Marshall, R., Petley, M., Requejo, C., Amos, R., and Williams, M. (2004). Crisp fleshed peaches: how to maximise fruit quality for the consumer. *Orchardist* **77**(11)**,** 10-12.

Jaeger, S. R. (2003). Innovation in the fruit industry: need for convenience. *Food Australia* **55**(4)**,** 129-132.

Jaeger, S. R., Andani, Z., Wakeling, I. N., and MacFie, H. J. H. (1998). Consumer preferences for fresh and aged apples: a cross-cultural comparison. *Food Quality and Preference* **9**(5)**,** 355-366.
Jaeger, S. R., Rossiter, K. L., Wismer, W. V., and Harker, F. R. (2003). Consumer-driven product development in the kiwifruit industry. *Food Quality and Preference* **14**(3)**,** 187-198.
Jerzsa-Latta, M., Krondl, M., and Coleman, P. (1990). Use and perceived attributes of cruciferous vegetables in terms of genetically-mediated taste sensitivity. *Appetite* **15**(2)**,** 127-134.
Johansson, L., Haglund, Å., Berglund, L., Lea, P., and Risvik, E. (1999). Preference for tomatoes, affected by sensory attributes and information about growth conditions. *Food Quality and Preference* **10**(4/5)**,** 289-298.
Kaminski, L. C., Henderson, S. A., and Drewnowski, A. (2000). Young women's food preferences and taste responsiveness to 6-n-propylthiouracil (PROP). *Physiology & Behavior* **68**(5)**,** 691-697.
Keller, K. L., Steinmann, L., Nurse, R. J., and Tepper, B. J. (2002). Genetic taste sensitivity to 6-n-propylthiouracil influences food preference and reported intake in preschool children. *Appetite* **38**(1)**,** 3-12.
Kelley, K. M., and Behe, B. K. (2003). Focus-group sessions suggest both kids and adults enjoy fresh carrots. *HortTechnology* **13**(2).
Kraeutler, E., and Moreau-Rio, M. A. (1998). Strong and weak points of cucumber. *Infos (Paris)*(No. 140).
Krebs-Smith, S., Heimendinger, J., Patterson, B., Subar, A., Kessler, R., and Pivonka, E. (1995). Psychosocial factors associated with fruit and vegetable consumption. *American Journal of Health Promotion* **10**(2)**,** 98-104.
Krebs-Smith, S. M., Cook, A., Subar, A. F., Cleveland, L., Friday, J., and Kahle, L. L. (1996). Fruit and vegetable intakes of children and adolescents in the United States. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine* **150**(1)**,** 81-86.
Kühn, B. F., and Thybo, A. K. (2001). The influence of sensory and physiochemical quality on Danish children's preferences for apples. *Food Quality and Preference* **12**(8)**,** 543-550.
Lake, A. A., Mathers, J. C., Rugg-Gunn, A. J., and Adamson, A. J. (2006). Longitudinal change in food habits between adolescence (11-12 years) and adulthood (32-33 years): the ASH30 Study. *Journal of Public Health* **28**(1)**,** 10-16.
Lake, A. A., Rugg-Gunn, A. J., Hyland, R. M., Wood, C. E., Mathers, J. C., and Adamson, A. J. (2004). Longitudinal dietary change from adolescence to adulthood: perceptions, attributions and evidence. *Appetite* **42**(3)**,** 255-263.
Liem, D. G., Bogers, R. P., Dagnelie, P. C., and de Graaf, C. (2006). Fruit consumption of boys (8-11 years) is related to preferences for sour taste. *Appetite* **46**(1)**,** 93-96.
Maier, A. S., Issanchou, S., Schaal, B., Chabanet, C., and Leathwood, P. (2005). Exposure to different regimes of food variety influences the acceptance of new flavours by weanling infants. *In* "6th Pangborn Sensory Science Symposium: Early food variety influences the acceptance of new flavours by weanling infants", Harrogate, United-Kingdom.
Maier, A. S., Leathwood, P., Chabanet, C., Issanchou, S., and Schaal, B. (2006). Repeated exposure to an initially disliked vegetable enhances its acceptance by infants at weaning. *In* "XVII ECRO Congress", Granada.
Mattes, R. (2004). 6-n-propylthiouracil taster status: Dietary modifier, marker, or misleader? *In* "Genetic variation in taste sensitivity" (J. Prescott, and B. Tepper, Eds.), pp. 229-250. Marcel Dekker, New-York.
Maynard, M., Gunnell, D., Ness, A. R., Abraham, L., Bates, C. J., and Blane, D. (2006). What influences diet in early old age? Prospective and cross-sectional analyses of the Boyd Orr cohort. *European Journal of Public Health* **16**(3)**,** 315-323.
Mennella, J. A., Nicklaus, S., Jagolino, A. L., and Yourshaw, L. M. (2007). Variety is the spice of life: Strategies for promoting fruit and vegetable acceptance during infancy. *Physiology & Behavior***,** in press.
Mennella, J. A., Pepino, M. Y., and Reed, D. R. (2005). Genetic and environmental determinants of bitter perception and sweet preferences. *Pediatrics* **115**(2)**,** e216-e222.
Mojet, J., Heidema, J., and Christ-Hazelhof, E. (2003). Taste perception with age: Generic or specific losses in supra-threshold intensities of five taste qualities? *Chemical Senses* **28**(5)**,** 397-413.
Monaco, R. d., Cavella, S., and Masi, P. (2006). Consumer preferences on vegetable soups. *Ingredienti Alimentari* **5**(3).
Mooney, K. M., and Walbourn, L. (2001). When college students reject food : not just a matter of taste. *Appetite* **36**(1)**,** 41-50.
Nicklas, T. A., Webber, L. S., and Berenson, G. S. (1991). Studies of consistency of dietary intake during the first four years of life in a prospective analysis: Bogalusa Heart Study. *Journal of American College of Nutrition* **10**(3)**,** 234-241.
Nicklaus, S., Boggio, V., Chabanet, C., and Issanchou, S. (2004). A prospective study of food preferences in childhood. *Food Quality and Preference* **15**(7-8)**,** 805-818.
Nicklaus, S., Boggio, V., Chabanet, C., and Issanchou, S. (2005). A prospective study of food variety seeking in childhood, adolescence and early adult life. *Appetite* **44**(3)**,** 289-297.
Nicklaus, S., Boggio, V., and Issanchou, S. (2005). Food choices at lunch during the third year of life: high selection of animal and starchy foods but avoidance of vegetables. *Acta Pædiatrica* **94**(7)**,** 943-951.
Niewind, A., Krondl, M., and Shrott, M. (1988). Genetic influences on the selection of brassica vegetables by elderly individuals. *Nutrition Research* **8**(1)**,** 13-20.
Péneau, S. (2005). Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
Péneau, S., Hoehn, E., Roth, H. R., Escher, F., and Nuessli, J. (2006). Importance and consumer perception of

freshness of apples. *Food Quality and Preference* **17**(1-2)**,** 9-19.
Perez-Rodrigo, C., Ribas, L., Serra-Majem, L., and Aranceta, J. (2003). Food preferences of Spanish children and young people: the enKid study. *European Journal of Clinical Nutrition* **57**(Supplement 1).
Reicks, M., Randall, J. L., and Haynes, B. J. (1994). Factors affecting consumption of fruits and vegetables by low-income families. *Journal of the American Dietetic Association* **94**(11)**,** 1309-1311.
Reinaerts, E., de Nooijer, J., Candel, M., and de Vries, N. (2007). Explaining school children's fruit and vegetable consumption: The contributions of availability, accessibility, exposure, parental consumption and habit in addition to psychosocial factors. *Appetite* **48**(2)**,** 248-258.
Resnicow, K., Davis-Hearn, M., Smith, M., Baranowski, T., Lin, L. S., Baranowski, J., Doyle, C., and Wang, D. T. (1997). Social-cognitive predictors of fruit and vegetable intake in children. *Health Psychology* **16**(3)**,** 272-276.
Resnicow, K., Smith, M., Baranowski, T., Baranowski, J., Vaughan, R., and Davis, M. (1998). 2-year tracking of children's fruit and vegetable intake. *Journal of the American Dietetic Association* **98**(7)**,** 785-789.
Reynolds, K. D., Baranowski, T., Bishop, D. B., Farris, R. P., Binkley, D., Nicklas, T. A., and Elmer, P. J. (1999). Patterns in child and adolescent consumption of fruit and vegetables: Effects of gender and ethnicity across four sites. *Journal of the American College of Nutrition* **18**(3)**,** 248-254.
Roininen, K., Fillion, L., Kilcast, D., and Lahteenmaki, L. (2003). Perceived eating difficulties and preferences for various textures of raw and cooked carrots in young and elderly subjects. *Journal of Sensory Studies* **18**(6)**,** 437-451.
Roininen, K., Fillion, L., Kilcast, D., and Lahteenmaki, L. (2004). Exploring difficult textural properties of fruit and vegetables for the elderly in Finland and the United Kingdom. *Food Quality and Preference* **15**(6)**,** 517-530.
Roty, C. (2001). Raisin de table: un grain sous toutes les coutures perceptions et attitudes des consommateurs: étude quantitative. *Infos-Ctifl*(174)**,** 11-14.
Roty, C. (2004). La poire: un fruit du quotidien... trop peu quotidien. *Infos-Ctifl*(203)**,** 22-24.
Roty, C. (2006). Spécification des critères produit de la fraise par les consommateurs: une nécessaire appréciation/dégustation comparative. *Infos-Ctifl*(220)**,** 44-47.
Rouseff, R. (1990). Bitterness in food products: an overview. *In* "Bitterness in food and beverages. Developments in food science." (R. Rouseff, Ed.), Vol. 25, pp. 1-14. Elsevier, Amsterdam.
Rozin, P., and Vollmecke, T. A. (1986). Food likes and dislikes. *Annual Review of Nutrition* **6**(July)**,** 433-456.
Saba, A., and Messina, F. (2003). Attitudes towards organic foods and risk/benefit perception associated with pesticides. *Food Quality and Preference* **14**(8)**,** 637-645.
Sandell, M. A., and Breslin, P. A. S. (2006). Variability in a taste-receptor gene determines whether we taste toxins in food. *Current Biology* **16**(18)**,** R792-R794.
Schonhof, I., Krumbein, A., and Bruckner, B. (2004). Genotypic effects on glucosinolates and sensory properties of broccoli and cauliflower. *Nahrung-Food* **48**(1)**,** 25-33.
Singh, S. V., Jain, R. K., Gupta, A., and Dhatt, A. S. (2003). Debittering of citrus juices - A review. *Journal of Food Science and Technology-Mysore* **40**(3)**,** 247-253.
Skinner, J. D., Carruth, B. R., Bounds, W., Ziegler, P., and Reidy, K. (2002a). Do food-related experiences in the first 2 years of life predict dietary variety in school-aged children? *Journal of Nutrition Education and Behavior* **34**(6)**,** 310-315.
Skinner, J. D., Carruth, B. R., Bounds, W., and Ziegler, P. J. (2002b). Children's food preferences: A longitudinal analysis. *Journal of the American Dietetic Association* **102**(11)**,** 1638-1647.
Skinner, J. D., Carruth, B. R., Houck, K. S., Bounds, W., Morris, M., Cox, D. R., Moran III, J., and Coletta, F. (1999). Longitudinal study of nutrient and food intakes of white preschool children aged 24 to 60 months. *Journal of the American Dietetic Association* **99**(12)**,** 1514-1521.
Skinner, J. D., Carruth, B. R., Houck, K. S., Coletta, F., Cotter, R., Ott, D., and McLeod, M. (1997). Longitudinal study of nutrient and food intakes of infants aged 2 to 24 months. *Journal of the American Dietetic Association* **97**(5)**,** 496-504.
Sullivan, S. A., and Birch, L. L. (1994). Infant dietary experience and acceptance of solid foods. *Pediatrics* **93**(2)**,** 271-277.
Szczesniak, A. S. (1972). Consumer awareness of and attitudes to food textures. 2: Children and teenagers. *Journal of Texture Studies* **3,** 206-217.
Thybo, A. K., Kuhn, B. F., and Martens, H. (2004). Explaining Danish children's preferences for apples using instrumental, sensory and demographic/behavioural data. *Food Quality and Preference* **15**(1)**,** 53-63.
Ton Nu, C. (1996). Does puberty change food preferences and food habits ? Survey in a sample of French adolescents. *Appetite* **24**(3)**,** 281-281.
Ton Nu, C., Mac Leod, P., and Barthélémy, J. (1996). Effects of age and gender on adolescents' food habits and preferences. *Food Quality and Preference* **7**(3/4)**,** 251-262.
Turnbull, B., and Matisoo-Smith, E. (2002). Taste sensitivity to 6-*n*-propylthiouracil predicts acceptance of bitter-tasting spinash in 3-6-y-old children. *American Journal of Clinical Nutrition* **76**(5)**,** 1101-1105.
van Doorn, H. E., van der Kruk, G. C., van Holst, G.-J., Raiijmakers-Ruijs, N. C. M. E., Postma, E., Groeneweg, B., and Jongen, W. H. F. (1998a). The glucosinolate sinigrin and progroitin are important determinants for taste preference and bitterness of Brussels Sprouts. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **78,** 30-38.
van Doorn, H. E., van Holst, G. J., van der Kruk, G. C., Raaijmakers-Ruijs, N. C. M. E., and Postma, E. (1998b). Quantitative determination of the glucosinolates sinigrin and progoitrin by specific antibody ELISA

assays in Brussels Sprouts. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **46**(2)**,** 793-800.
von Post-Skagegård, M., Samuelson, G., Karlström, B., Mohsen, R., Berglund, L., and Bratteby, L.-E. (2002). Changes in food habits in healthy Swedish adolescents during the transition from adolescence to adulthood. *European Journal of Clinical Nutrition* **56**(6)**,** 532-538.
Wansink, B., and Westgren, R. (2003). Profiling taste-motivated segments. *Appetite* **41**(3)**,** 323-327.
Wardle, J., Cooke, L. J., Gibson, E. L., Sapochnik, M., Sheiham, A., and Lawson, M. (2003a). Increasing children's acceptance of vegetables; a randomized trial of parent-led exposure. *Appetite* **40**(2)**,** 155-162.
Wardle, J., Herrera, M. L., Cooke, L., and Gibson, E. L. (2003b). Modifying children's food preferences: the effects of exposure and reward on acceptance of an unfamiliar vegetable. *European Journal of Clinical Nutrition* **57**(2)**,** 341-348.
Wolf, M. M., Martin, A. J., and Cagianut, T. (2003). An analysis of the importance of ripeness to consumers in the United States when making a purchase decision for peaches, plums, and nectarines. *Acta Horticulturae*(604)**,** 61-67.
Worsley, A., and Skrzypiec, G. (1998). Teenage vegetarism: prevalence, social and cognitive contexts. *Appetite* **30**(2)**,** 151-70.
Yackinous, C. A., and Guinard, J.-X. (2002). Relation between PROP (6-n-propylthiouracil) taster status, taste anatomy and dietary intake measures for young men and women. *Appetite* **38**(3)**,** 201-209.

## Perceptions et attitudes des consommateurs

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behaviour. *Organizational Behaviour and Human Decision Processes* **50**(2)**,** 179-211.
Ajzen, L., and Fishbein, M. (1980). "Understanding attitudes and predicting social behaviour." Prentice-Hall.
Anderson, A. S., Cox, D. N., McKellar, S., Reynolds, J., Lean, M. E. J., and Mela, D. J. (1998). Take five, a nutrition education intervention to increase fruit and vegetable intakes: impact on attitudes towards dietary change. *British Journal of Nutrition* **80**(2)**,** 133-140.
Aurier, P. (2005). De l'orientation consommateur à l'orientation consommation : Le contexte comme objet des plans d'actions marketing. Illustration avec le cas du vin en France. *Décisions Marketing* (38)**,** 81-85.
Aurier, P., Evrard, Y., and N'Goala, G. (2004). Comprendre et mesurer la valeur du point de vue des consommateurs. *Recherche et Applications du Marketing* **19**(3)**,** 1-20.
Babicz-Zielinska, E., and Zagorska, A. (1998). Factors affecting the preferences for vegetables and fruits. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **7**(4)**,** 755-762.
Bowman, S. A. (2006). A comparison of the socioeconomic characteristics, dietary practices, and health status of women food shoppers with different food price attitudes. *Nutrition Research* **26**(7)**,** 318-324.
Brock Smith, J., and Colgate, M. (2007). Customer Value Creation: A Practical Framework. *Journal of Marketing Theory and Practice* **15**(1)**,** 7-23.
Devine, C. M., Connors, M., Bisogni, C. A., and Sobal, J. (1998). Life-course influences on fruit and vegetable trajectories: qualitative analysis of food choices. *Journal of Nutrition Education* **30**(6)**,** 361-370.
Dutta-Bergman, M. (2005). Psychographic Profiling of Fruit and Vegetable Consumption: the Role of Health Orientation. *Social Marketing Quaterly* **XI**(1)**,** 19-35.
Ekelund, L., and Tjarnemo, H. (2004). Consumer preferences for organic vegetables - the case of Sweden. *Acta Horticulturae*(655)**,** 121-128.
Evrard, Y., Aurier, P., and Marketing, R. (1996). Identification and Validation of the Person-Object Relationship. *Journal of Business Research* **37**(2)**,** 127-134.
Fischler, C. (2004). Commensalité et méditerranéité. *In* "Les saveurs en Méditerranée: apports théoriques pour gérer un patrimoine alimentaire". Institut Européen de la Méditerranée, Barcelone. .
Godwin, S. L., and Tegegne, F. (2006). Lack of easy accessibility as a potential barrier to adequate fruit and vegetable consumption by limited-resource individuals. *Journal of Food Distribution Research* **37**(1)**,** 81-86.
Hanson, N. I., Neumark-Sztainer, D., Eisenberg, M.E., Story, M., Wall, M. (2005). Associations between parental report of the home food environment and adolescent intakes of fruits, vegetables and dairy foods. *Public Health Nutrition* **8**(1)**,** 77-85.
Harker, F. R., Gunson, F. A., and Jaeger, S. R. (2003). The case for fruit quality: an interpretive review of consumer attitudes, and preferences for apples. *Postharvest Biology and Technology* **28**(3)**,** 333-347.
Holbrook, M. B. (1994). The nature of customer value: an axiology of services, eds , 21-71. *In* "The consumption experience, in Service quality: new directions in theory and practice". Rust et Oliver, Sage.
Holbrook, M. B. (1999). Introduction to consumer value *In* "Consumer Value, A framework for analysis and research", pp. 1-27. Routledge, London.
Holt, D. (1995). How consumer consume: a typology of consumption practices. *Journal of Consumer Research,* **22**(1)**,** 1-16.
John, J. H., and Ziebland, S. (2004). Reported barriers to eating more fruit and vegetables before and after participation in a randomized controlled trial: a qualitative study. *Health Education Research* **19**(2)**,** 165-174.
Krebs-Smith, S., Heimendinger, J., Patterson, B., Subar, A., Kessler, R., and Pivonka, E. (1995). Psychosocial factors associated with fruit and vegetable consumption. *American Journal of Health Promotion* **10**(2)**,**

98-104.
Lai, A. W. (1995). Consumer values, products benefits and customer value: a consumption behaviour approach, . *Advances in Consumer Research* **22,** 381-388.
Lancaster, K. (1971). "Consumer Demand : A New approach." Columbia University Press.
Lund, C. M., Jaeger, S. R., Amos, R. L., Brookfield, P., and Harker, F. R. (2006). Tradeoffs between emotional and sensory perceptions of freshness influence the price consumers will pay for apples: Results from an experimental market. *Postharvest Biology and Technology* **41**(2)**,** 172-180.
Marquis, M. (2005). Exploring convenience orientation as a food motivation for college students living in residence halls. *International Journal of Consumer Studies* **29**(1)**,** 55-63.
Moreau-Rio, M. A. (2002). Les fruits et légumes frais vus par le consommateur, Un capital de sympathie entamé par les critiques. *Infos-Ctifl*(186)**,** 24-27.
O'Doherty, J. K., and Holm, L. (1999). Preferences, quantities and concerns : socio-cultural perspectives en the gendered consumption of foods. *European Journal of Clinical Nutrition* **53**(5)**,** 351-359.
Richins, M. L. (1994). Valuing things : the public and private meanings of possessions. *Journal of Consumer Research* **21**(3)**,** 504-521.
Roty, C. (2001a). Fraise, radiographie d'un dessert frais, Perceptions et attitudes des consommateurs *Infos-Ctifl*(173)**,** 18-21.
Roty, C. (2001b). L'étude quantitative de la fraise, perceptions et attitudes des consommateurs. *Infos-Ctifl*(176)**,** 18-21.
Roty, C. (2001c). Raisin de table: un grain sous toutes les coutures perceptions et attitudes des consommateurs: étude quantitative. *Infos-Ctifl*(174)**,** 11-14.
Rozin, P., Fischler, C., Imada, S., Sarubin, A., and Wrzesniewski, A. (1999). Attitudes to Food and the Role of Food in Life in the U.S.A., Japan, Flemish Belgium and France: Possible Implications for the Diet-Health Debate. *Appetite* **33**(2)**,** 163-180.
Shiv, B., and Fedorikhin, A. (1999). Heart and Mind in Conflict : The Interplay of Affect and Cognition in Consumer Decision Making. *Journal of Consumer Research* **26**(december)**,** 278-291.
Sirieix, L. (2005). Perceptions of food and healty eating in France: health and/or Pleasure? *In* "Food choice and healty eating conference ", Kauhajoki, Finlande.
Sirieix, L., and Filser, M. (2002). La valorisation de l'expérience de restauration hors-domicile : l'apport des théories de la recherche de variété et du réenchantement. *In* "Journées normandes de recherches sur la consommation", pp. 264-278, Rouen
Steptoe, A., and Wardle, J. (1999). Motivational factors as mediators of socioeconomic variations in dietary intake patterns. *Psychology & Health* **14**(3)**,** 391-402.
Sun, X., and Collins, R. (2002). Attitudes and consumption values of consumers of imported fruit in Guangzhou, China. *International Journal of Consumer Studies* **26** (1)**,** 34-43.
Treiman, K., Freimuth, V., Damron, D., Lasswell, A., Anliker, J., Havas, S., Langenberg, P., and Feldman, R. (1996). Attitudes and behaviors related to fruits and vegetables among low-income women in the WIC program. *Journal of Nutrition Education* **28**(3)**,** 149-156.
Urland, G. R., and Ito, T. A. (2005). Have Your Cake and Hate it, Too : Ambivalent Food Attitudes Are Associated With Dietary Restraint. *Basic and Applied Social Psychology* **27**(4)**,** 353-360.
Verbeke, W., and Pieniak, Z. (2006). Benefit beliefs, attitudes and behaviour towards fresh vegetable consumption in Poland and Belgium. *Acta Alimentaria* **35**(1)**,** 5-16.
Wakefield, K. L., and Inman, J. J. (2003). Situational price sensitivity: the role of consumption occasion, social context and income. *Journal of Retailing* **79**(4)**,** 199-212.
Wansink, B., and Westgren, R. (2003). Profiling taste-motivated segments. *Appetite* **41**(3)**,** 323-327.
Woodall, T. (2003). Conceptualization 'value fro the customer' : An attributional, structural and dispositional analysis. *Academy of Marketing Science Review* **12,** 1-42.
Zajonc, R. B., and Markus, H. (1982). Affective and Cognitive Factors in Preferences. *Journal of Consumer Research* **9**(2)**,** 123-131.

## Les interventions et leur évaluation

Anderson, A. S., Porteous, L. E. G., Foster, E., Higgins, C., Stead, M., Hetherington, M., Ha, M. A., and Adamson, A. J. (2005). The impact of a school-based nutrition education intervention on dietary intake and cognitive and attitudinal variables relating to fruits and vegetables. *Public Health Nutrition* **8**(6)**,** 650-656.
Ashfield-Watt, P. A. L. (2006). Fruits and vegetables, 5+ a day: are we getting the message across? *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* **15**(2)**,** 245-252.
Ashfield-Watt, P. A. L., Welch, A. A., Day, N. E., and Bingham, S. A. (2004). Is 'five-a-day' an effective way of increasing fruit and vegetable intakes? *Public Health Nutrition* **7**(2)**,** 257-261.
Attree, P. (2006). A critical analysis of UK public health policies in relation to diet and nutrition in low-income households. *Maternal and Child Nutrition* **2**(2)**,** 67-78.
Ball, K., Crawford, D., and Warren, N. (2004). How feasible are healthy eating and physical activity for young women? *Public Health Nutrition* **7**(3)**,** 433-441.
Bere, E., Veierod, M. B., Skare, O., and Klepp, K. I. (2007). Free school fruit - sustained effect three years later. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* **4,** 6.
Blackburn, M. L., Townsend, M. S., Kaiser, L. L., Martin, A. C., West, E. A., Turner, B., and Joy, A. B. (2006).

Food behavior checklist effectively evaluates nutrition education *California Agriculture* **60**(1)**,** 20-24.
Boynton-Jarrett, R., Thomas, T. N., Peterson, K. E., Wiecha, J., Sobol, A. M., and Gortmaker, S. L. (2003). Impact of television viewing patterns on fruit and vegetable consumption among adolescents. *Pediatrics* **112**(6(1 of 2))**,** 1321-1326.
Briggs, M., Safaii, S. A., and Beall, D. L. (2003). Position of the American Dietetic Association, Society for Nutrition Education, and American School Food Service Association: Nutrition services: An essential component of comprehensive school health programs. *Journal of Nutrition Education and Behavior* **35**(2)**,** 57-67.
Brug, J., Ruiter, R. A. C., and Assema, P. v. (2003). The (IR)relevance of framing nutrition education messages. *Nutrition and Health* **17**(1)**,** 9-20.
Buzby, J., and Guthrie, J. (2004). The USDA Fruit and Vegetable pilot program evaluation. *Agriculture Information Bulletin* (792-6)**,** 31 p.
Cawley, J. (2006). Markets and childhood obesity policy. *Future of Children* **16**(1)**,** 69-88.
Corney, M. J., Eves, A., Kipps, M., and Noble, C. (1998). School caterers' attitudes towards providing healthier menus. *International Journal of Hospitality Management* **17**(3)**,** 275-287.
Cox, D. N., Anderson, A. S., Lean, M. E. J., and Mela, D. J. (1998). UK consumer attitudes, beliefs and barriers to increasing fruit and vegetable consumption. *Public Health Nutrition* **1**(1)**,** 61-68.
Cranage, D. A., Conklin, M. T., and Lambert, C. U. (2004). Effect of nutrition information in perceptions of food quality, consumption behavior and purchase intentions. *Journal of Foodservice Business Research* **7**(1)**,** 43-61.
Daniels, L. A., Franco, B., and McWhinnie, J. A. (2003). An assessment of the potential of Family Day Care as a nutrition promotion setting in South Australia. *Nutrition & Dietetics* **60**(1)**,** 30-37.
Dériot, G. (2005). La prévention et la prise en charge de l'obésité. Rapport du Sénat (8). N°8Dibsdall, L. A., Lambert, N., Bobbin, R. F., and Frewer, L. J. (2003). Low-income consumers' attitudes and behaviour towards access, availability and motivation to eat fruit and vegetables. *Public Health Nutrition* **6**(2)**,** 159-168.
Dixon, L. B., Cronin, F. J., and Krebs-Smith, S. M. (2001). Let the pyramid guide your food choices: capturing the total diet concept. *Journal of Nutrition* **131**(Supplement 1)**,** 461S-472S.
Dunt, D., Day, N., and Pirkis, J. (1999). Evaluation of a community-based health promotion program supporting public policy initiatives for a healthy diet. *Health Promotion International* **14**(4)**,** 317-327.
Eriksen, K., Haraldsdottir, J., Pederson, R., and Flyger, H. V. (2003). Effect of a fruit and vegetable subscription in Danish schools. *Public Health Nutrition* **6**(1)**,** 57-63.
French, S. A., Story, M., and Fulkerson, J. A. (2002). School food policies and practices: a state-wide survey of secondary school principals. *Journal of the American Dietetic Association* **102**(12)**,** 1785-1789.
French, S. A., Story, M., Jeffery, R. W., Snyder, P., Eisenberg, M., Sidebottom, A., and Murray, D. (1997). Pricing strategy to promote fruit and vegetable purchase in high school cafeterias. *Journal of the American Dietetic Association* **97**(9)**,** 1008-1010.
Friel, S., Kelleher, C., Campbell, P., and Nolan, G. (1999). Evaluation of the Nutrition Education at Primary School (NEAPS) programme. *Public Health Nutrition* **2**(4)**,** 549-555.
Friel, S., Newell, J., and Kelleher, C. (2005). Who eats four or more servings of fruit and vegetables per day? Multivariate classification tree analysis of data from the 1998 Survey of Lifestyle, Attitudes and Nutrition in the Republic of Ireland. *Public Health Nutrition* **8**(2)**,** 159-169.
Glanz, K., and Hoelscher, D. (2004). Increasing fruit and vegetable intake by changing environments, policy and pricing: restaurant-based research, strategies, and recommendations. *Preventive Medicine* **39**(Supplement 2)**,** 88-93.
Hanson, N. I., Neumark-Sztainer, D., Eisenberg, M.E., Story, M., Wall, M. (2005). Associations between parental report of the home food environment and adolescent intakes of fruits, vegetables and dairy foods. *Public Health Nutrition* **8**(1)**,** 77-85.
Herman, D. R., Harrison, G. G., Afifi, A. A., and Jenks, E. (2004). The effect of the WIC program on food security status of pregnant, first-time participants. *Family Economics and Nutrition Review*(16)**,** 21-30.
Hertzler, A. A. (2005). Nutrition trends during 150 years of children's cookbooks. *Nutrition Reviews* **63**(10)**,** 347-351.
Holdsworth, M., Raymond, N. T., and Haslam, C. (2004). Does the Heartbeat Award scheme in England result in change in dietary behaviour in the workplace? *Health Promotion International* **19**(2)**,** 197-204.
Horgen, K. B., and Brownell, K. D. (2002). Comparison of price change and health message interventions in promoting healthy food choices. *Health Psychology* **21**(5)**,** 505-512.
Hunt, M. K., Lederman, R., Stoddard, A., Potter, S., Phillips, J., and Sorensen, G. (2000). Process tracking results from the Treatwell 5-a-day worksite study. *American Journal of Health Promotion* **14**(3)**,** 179-187.
Izumi, B. T., Rostant, O. S., Moss, M. J., and Hamm, M. W. (2006). Results from the 2004 Michigan farm-to-school survey. *Journal of School Health* **76**(5)**,** 169-174.
Jeffery, R. W., French, S. A., Raether, C., and Baxter, J. E. (1994). An Environmental Intervention to Increase Fruit and Salad Purchases in a Cafeteria. *Preventive Medicine* **23**(6)**,** 788-792.
John, J. H., and Ziebland, S. (2004). Reported barriers to eating more fruit and vegetables before and after participation in a randomized controlled trial: a qualitative study. *Health Education Research* **19**(2)**,** 165-174.
Joy, A. B., Feldman, N., Fujii, M. L., Garcia, L., Hudes, M., Mitchell, R., Bunch, S., and Metz, D. (1999). Food stamp recipients eat more vegetables after viewing nutrition videos. *California Agriculture* **53**(5)**,** 24-28.

Just, R. E., and Weninger, Q. (1997). Economic evaluation of the farmers' market nutrition program. *American Journal of Agricultural Economics* **79**(3)**,** 902-917.
Kamphuis, C. B. M., Giskes, K., Bruijn, G. J. d., Wendel-Vos, W., Brug, J., and Lenthe, F. J. v. (2006). Environmental determinants of fruit and vegetable consumption among adults: a systematic review. *British Journal of Nutrition* **96**(4)**,** 620-635.
Kann, L., Grunbaum, J. A., McKenna, M. L., Wechsler, H., and Galuska, D. A. (2005). Competitive foods and beverages available for purchase in secondary schools - selected sites, United States, 2004. *Morbidity and Mortality Weekly Report* **54**(37).
Keller, H. H., Hedley, M. R., Wong, S. S. L., Vanderkooy, P., Tindale, J., and Norris, J. (2006). Community organized food and nutrition education: participation, attitudes and nutritional risk in seniors. *Journal of Nutrition, Health & Aging* **10**(1)**,** 15-20.
Koch, S., Lineberger, S., and Zajicek, J. M. (2005). Can an educational program on the nutritional benefits of citrus fruit positively influence the nutritional attitudes of children? *HortTechnology* **15**(3)**,** 468-471.
Kratt, P., Reynolds, K., and Shewchuk, R. (2000). The role of availability as a moderator of family fruit and vegetable consumption. *Health Education & Behavior* **27**(4)**,** 471-482.
Krebs-Smith, S., Heimendinger, J., Patterson, B., Subar, A., Kessler, R., and Pivonka, E. (1995). Psychosocial factors associated with fruit and vegetable consumption. *American Journal of Health Promotion* **10**(2)**,** 98-104.
Lassen, A., Thorsen, A. V., Trolle, E., Elsig, M., and Ovesen, L. (2004). Successful strategies to increase the consumption of fruits and vegetables: results from the Danish '6 a day' Work-site Canteen Model Study. *Public Health Nutrition* **7**(2)**,** 263-270.
Lineberger, S. E., and Zajicek, J. M. (2000). School gardens: can a hands-on teaching tool affect students' attitudes and behaviors regarding fruit and vegetables? *HortTechnology* **10**(3)**,** 593-597.
Lytle, L. A., and Fulkerson, J. A. (2002). Assessing the dietary environment: examples from school-based nutrition interventions. *Public Health Nutrition* **5**(6A)**,** 893-899.
Miner, J. (2006). Market incentives could bring US agriculture and nutrition policies into accord,. *California Agriculture* **60**(1)**,** 8-13.
Morgan, K., and Sonnino, R. (2007). Empowering consumers: the creative procurement of school meals in Italy and the UK. *International Journal of Consumer Studies* **31**(1)**,** 19-25.
Morris, J. L., and Zidenberg-Cherr, S. (2002). Garden-enhanced nutrition curriculum improves fourth-grade school children's knowledge of nutrition and preferences for some vegetables. *Journal of the American Dietetic Association* **102**(1)**,** 91-93.
Naska, A., Vasdekis, V. G. S., Trichopoulou, A., Friel, S., Leonhauser, I. U., Moreiras, O., Nelson, M., Remaut, A. M., Schmitt, A., Sekula, W., Trygg, K. U., and Zajkas, G. (2000). Fruit and vegetable availability among ten European countries: how does it compare with the 'five-a-day' recommendation? *British Journal of Nutrition* **84**(4)**,** 549-556.
Nierman, L. G. (1986). A longitudinal study of the retention of foods and nutrition knowledge and practices of participants from Michigan Expanded Foods and Nutrition Education program. Michigan State University.
O'Brien, S. A., and Shoemaker, C. A. (2006). An after-school gardening club to promote fruit and vegetable consumption among fourth grade students: the assessment of social cognitive theory constructs. *HortTechnology* **16**(1)**,** 24-29.
Padilla, M. (1996). "Les politiques alimentaires. Traité d'économie agroalimentaire." IV Cujas, Paris.
Patterson, R. E., Satia, J. A., Kristal, A. R., Neuhouser, M. L., and Drewnowski, A. (2001). Is there a consumer backlash against the diet and health message? *Journal of the American Dietetic Association* **101**(1)**,** 37-41.
Perry, C. L., Bishop, D. B., Taylor, G., Murray, D. M., Mays, R. W., Dudovitz, B. S., Smyth, M., and Story, M. (1998). Changing fruit and vegetable consumption among children: the 5-a-day power plus program in St. Paul, Minnesota. *American Journal of Public Health* **88**(4)**,** 603-609.
Pirouznia, M. (2001). The influence of nutrition knowledge on eating behavior - the role of grade level. *Nutrition & Food Science* **31**(2/3)**,** 62-66.
Prattala, R. (2003). Dietary changes in Finland - success stories and future challenges. *Appetite* **41**(3)**,** 245-249.
Quinn, L. J., Horacek, T. M., and Castle, J. (2003). The impact of CookshopTM on the dietary habits and attitudes of fifth graders. *Topics in Clinical Nutrition* **18**(1)**,** 42-48.
Rettke, M., Newman, S., Palmer, M., Golding, J., and McGlasson, B. (2003). Giving consumers the option to buy ripe stone fruit. *In* "Australian postharvest horticulture conference, Brisbane, Australia, 1-3 October, 2003", pp. 83-85. Queensland Government Department of Primary Industries, Brisbane Australia.
Rose, D., and Richards, R. (2004). Food store access and household fruit and vegetable use among participants in the US Food Stamp Program. *Public Health Nutrition* **7**(8)**,** 1081-1088.
Sahyoun, N. R., Pratt, C. A., and Anderson, A. (2004). Evaluation of nutrition education interventions for older adults: a proposed framework. *Journal of the American Dietetic Association* **104**(1)**,** 58-69.
Sallis, J. F., and Glanz, K. (2006). The role of built environments in physical activity, eating, and obesity in childhood. *Future of Children* **16**(1)**,** 89-108.
Sandvik, C., Bourdeaudhuij, I. d., Due, P., Brug, J., Wind, M., Bere, E., Perez-Rodrigo, C., Wolf, A., Ibrahim, E., Thorsdottir, I., Almeida, M. D. V. d., Yngve, A., and Klepp, K. I. (2005). Personal, social and environmental factors regarding fruit and vegetable intake among schoolchildren in nine European countries. *Annals of Nutrition and Metabolism* **49**(4)**,** 255-266.
Schagen, S., Blenkinsop, S., Schagen, I., Scott, E., Eggers, M., Warwick, I., Chase, E., and Aggleton, P. (2005).

Evaluating the impact of the National Healthy School Standard: using national datasets. *Health Education Research* **20**(6)**,** 688-696.

Schneider, D. J., May, G., Carithers, T., Coyle, K., Potter, S., Endahl, J., Robin, L., McKenna, M., Debrot, K., and Seymour, J. (2006). Evaluation of a fruit and vegetable distribution program - Mississippi, 2004-05 school year. *Morbidity and Mortality Weekly Report* **55**(35)**,** 957-961.

Sharma, S., Murphy, S. P., Wilkens, L. R., Shen, L., Hankin, J. H., Henderson, B., and Kolonel, L. N. (2003). Adherence to the Food Guide Pyramid recommendations among Japanese Americans, Native Hawaiians, and whites: results from the Multiethnic Cohort study. *Journal of the American Dietetic Association* **103**(9)**,** 1195-1198.

Sheehan, N., and Parham, E. (1997). Effectiveness of the Food Guide Pyramid, the Nutrition Facts Food Label, and Work Site Wellness Program in the Task of Making Healthy Food Choices. *Journal of the American Dietetic Association* **97**(9, Supplement 1)**,** A57.

Shelton, N. J. (2005). What not to eat: inequalities in healthy eating behaviour, evidence from the 1998 Scottish Health Survey. *Journal of Public Health* **27**(1)**,** 36-44.

Sorensen, G., Linnan, L., and Hunt, M. K. (2004). Worksite-based research and initiatives to increase fruit and vegetable consumption. *Preventive Medicine* **39,** S94-S100.

Spiegel, S. A., and Foulk, D. (2006). Reducing overweight through a multidisciplinary school-based intervention. *Obesity Research* **14**(1)**,** 88-96.

Stables, G. J., Subar, A. F., Patterson, B. H., Dodd, K., Heimendinger, J., Duyn, M. A. S. v., and Nebeling, L. (2002). Changes in vegetable and fruit consumption and awareness among US adults: results of the 1991 and 1997 5 A Day for Better Health Program surveys. *Journal of the American Dietetic Association* **102**(6)**,** 809-817.

Steenhuis, I., Van Assema, P., Van Breukelen, G., Glanz, K., Kok, G., and De Vries, H. (2004). The impact of educational and environmental interventions in Dutch worksite cafeterias. *Health Promotion International* **19**(3)**,** 335-343.

Sung, M., Sung, J., Yoo, W., Park, J., Park, D., Choi, M., Cho, K., Choi, S., Lee, Y., Kim, Y., and Lee, E. (2003). The evaluation of a nutrition education camp programme for overweight and underweight adolescents. *Korean Journal of Community Nutrition* **8**(4)**,** 504-511.

Tykocinski, O., Higgins, E. T., and Chaiken, S. (1994). Message framing, self-discrepancies, and yielding to persuasive messages- the motivational sgnificance of psychological situations. *Personality and Social Psychology Bulletin* **20**(1)**,** 107-115.

van Assema, P., Martens, M., Ruiter, R. A. C., and Brug, J. (2001). Framing of nutrition education messages in persuading consumers of the advantages of a healthy diet. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* **14**(6)**,** 435-442.

Vaysse, P., Reynier, P., Scandella, D., and Venien, S. (2003). Fresh fruit vending machines in educational establishments. An ambitious project and constraints. *Infos-Ctifl*(No.195)**,** 36-40.

Vereecken, C. A., Bobelijn, K., and Maes, L. (2005). School food policy at primary and secondary schools in Belgium-Flanders: does it influence young people's food habits? *European Journal of Clinical Nutrition* **59**(2)**,** 271-277.

Wardle, J., and Huon, G. (2000). An experimental investigation of the influence of health information on children's taste preferences. *Health Education Research* **15**(1)**,** 39-44.

Wilde, P. E., McNamara, P. E., and Ranney, C. K. (1999). The effect of income and food programs on dietary quality: a seemingly unrelated regression analysis with error components. *American Journal of Agricultural Economics* **81**(4)**,** 959-971.

# 4. Les filières des fruits et légumes entre enjeux économiques et de santé publique

Experts :
Emmanuelle Chevassus-Lozza
Jean-Marie Codron
Vincent Requillart
**Louis-Georges Soler** (coord.)

Contributions complémentaires :
Françoise Dosba
Zouhair Bouhsina
Charlotte Emlinger
Chantal Le Mouël

Documentation :
Armelle Champenois

## Table des matières

**4.1. Coûts de production, gains de productivité et prix des fruits et légumes ..... 306**
4.1.1. Les gains de productivité dans les filières F&L ..... 306
4.1.2. La formation des prix des fruits et légumes frais ..... 313
4.1.3. Les prix des F&L transformés ..... 319

**4.2. Variété, qualité et segmentation du marché des fruits et légumes : déterminants et impacts économiques ..... 321**

**4.3. Interventions publiques et privées pour la sécurité sanitaire des fruits et légumes ..... 328**
4.3.1. Démarches obligatoires *vs* volontaires, individuelles *vs* collectives ..... 328
4.3.2. Modalités et déterminants de la régulation ..... 329
4.3.3. Impacts et efficacité des dispositifs de régulation ..... 331
4.3.4. L'évaluation des politiques publiques ..... 333

**4.4. Le rôle de la politique commerciale européenne sur les échanges et les prix des fruits et légumes ..... 335**
4.4.1. Les importations européennes et françaises de fruits et légumes : le poids des échanges intra-communautaires ..... 337
4.4.2. La protection tarifaire du marché européen : un système complexe et très spécifique ..... 338
4.4.3. Quelle incidence du système de prix d'entrée sur les prix d'importation ? ..... 340
4.4.4. Quelle incidence des accords préférentiels sur les échanges ? ..... 341
4.4.5. Quelle incidence potentielle d'une plus grande libéralisation du marché européen ? ..... 343

**4.5. Conclusion : quelles politiques publiques et privées pour un accroissement significatif de la consommation de F&L ? ..... 346**
4.5.1. Quelle est l'ampleur des enjeux pour les filières fruits et légumes ? ..... 346
4.5.2. Une croissance de la consommation par l'augmentation de la demande ? ..... 348
4.5.3. Une croissance de la consommation par une modification de l'offre de fruits et légumes ? ..... 349
4.5.4. Faire évoluer la segmentation du marché ? ..... 351
4.5.5. Conclusion ..... 352

**Références bibliographiques ..... 355**

Les travaux présentés dans le chapitre 1 tendent à montrer que des gains de santé peuvent être attendus d'une croissance de la consommation de F&L. La question à examiner est alors de savoir comment rendre possible une telle croissance de la consommation. De ce point de vue, deux grandes stratégies sont envisageables. La première consiste à faire évoluer les comportements des consommateurs en les sensibilisant aux bénéfices liés à la consommation de F&L. Le chapitre 3 a montré les facteurs qui influent sur la consommation de F&L et mettent en avant certains des leviers d'action qui pourraient être mobilisés dans ce sens. D'un point de vue économique, la question posée ici est celle des conditions d'une telle évolution de la demande des consommateurs et des coûts des actions (éducation des consommateurs, campagnes d'information…) qui peuvent la rendre possible. La seconde stratégie réside dans l'évolution de l'offre de F&L dont certaines caractéristiques (prix, qualité, praticité…), on l'a vu également dans le chapitre 3, influencent les décisions d'achat et de consommation. La question est alors de savoir sous quelles conditions une telle adaptation de l'offre est possible et avec quelles conséquences pour les pouvoirs publics, les entreprises et les filières. L'objectif de ce chapitre est de dresser un état des résultats des recherches économiques, susceptibles d'apporter des éléments de réponse à ces questions.

Concernant l'économie des filières et des marchés des F&L, il est important de noter d'emblée que les travaux de recherche économique conduits dans la perspective qui nous intéresse ici, à savoir la croissance de consommation, sont peu nombreux. En outre, même si près de 400 articles ont été publiés, au cours des 15 dernières années, dans des revues économiques internationales sur des questions concernant le secteur des F&L, ils apparaissent à la lecture très hétérogènes, tant au niveau des thèmes abordés que des méthodologies. Il est difficile de ce fait d'en faire ressortir des éléments de conclusion parfaitement clairs, et ce d'autant plus qu'un nombre restreint de travaux empiriques concerne les marchés des F&L en Europe. Enfin, contrairement à d'autres secteurs comme celui du lait ou des céréales, le secteur des F&L n'a pas donné lieu à des recherches économiques visant à modéliser le fonctionnement du marché. Ceci limite la capacité à évaluer de façon précise les effets possibles de diverses politiques d'intervention dans ce secteur.

Compte tenu de ces limites, nous avons pris le parti, non pas d'essayer de dresser un tableau exhaustif de la littérature disponible (ce qui conduirait à dresser un inventaire par produits ou par pays qui n'a pas d'intérêt dans le cadre de cette mission), mais plutôt de chercher à mobiliser les travaux existants dans le cadre d'un questionnement bâti au regard de l'objectif d'une croissance de la consommation de F&L. Dans la première partie, nous présentons des résultats de recherche qui éclairent la question de la formation des prix des F&L. Beaucoup d'éléments ont été avancés au cours des dernières années dans les débats publics. Nous privilégions ici les analyses de long terme, en nous intéressant aux niveaux des gains de productivité dégagés par le secteur depuis une quinzaine d'années et à leur transmission sur les prix de détail. Dans la deuxième et la troisième parties, nous traitons de la qualité et de la sécurité sanitaire des F&L. Dans la quatrième partie, nous dressons un état des travaux sur les questions de commerce international des F&L.

Dans la dernière partie, nous adoptons un point de vue un peu différent. Nous discutons en effet l'ampleur des enjeux liés à la croissance de la consommation de F&L pour les entreprises et les filières du secteur. Peu d'articles scientifiques identifient précisément ces enjeux, malgré quelques tentatives dans ce sens aux Etats-Unis. Nous essayons néanmoins de cerner les ordres de grandeur de ces enjeux en nous appuyant sur la littérature disponible. Sur cette base, nous discutons, de façon plus prospective, les scénarios possibles d'une croissance de la consommation de F&L, les hypothèses sur lesquels ils reposent et la nature des impacts qu'ils pourraient avoir s'ils étaient adoptés par les pouvoirs publics.

## 4.1. Coûts de production, gains de productivité et prix des fruits et légumes

Vincent Requillart

Les prix des F&L sont conditionnés par des éléments souvent mentionnés dans les débats publics :

- Les cultures de F&L frais sont consommatrices de main d'œuvre et, particulièrement pour les productions maraîchères sous serres, d'énergie. Ainsi, en moyenne, le travail salarié représente près de 30% des coûts totaux de production des F&L alors qu'il n'est que de 9% en moyenne pour l'agriculture. Les dépenses d'énergie pour la production horticole et maraîchère représentent 17% des consommations intermédiaires contre 6% en moyenne en agriculture.
- La logistique du verger au magasin est complexe et pour les F&L les plus périssables, elle conditionne fortement la qualité des produits mis en marché.
- Les aléas climatiques, mais aussi les attaques de pathogènes, induisent une forte variabilité des quantités produites selon les années et les zones de production. Les prix se forment alors dans une confrontation entre l'offre et la demande qui débouchent sur des prix d'équilibre qui varient fortement au cours du temps.

Au-delà de ces éléments bien connus, si l'on veut établir de façon rigoureuse les déterminants du niveau général des prix des F&L, il est important d'examiner, sur des dynamiques de long terme, les gains de productivité et leur répartition. La littérature disponible fournit quelques éclairages intéressants, en particulier sur la question des gains de productivité. Elle reste cependant incomplète, par exemple, sur la question de la formation des prix dans les filières F&L.

### 4.1.1. Les gains de productivité dans les filières F&L

Une source importante de baisse des prix provient des gains de productivité réalisés au sein des filières. Les transformations opérées au cours des 15 dernières dans l'organisation des approvisionnements depuis les producteurs jusqu'aux marchés finaux ont probablement modifié les niveaux de productivité et la structure des coûts. Un exemple important est ici la question de la logistique. Que ce soit pour les produits importés (Codron and Lauret, 1993) ; (Codron, 1992) ou les produits nationaux, les changements en matière de transport, d'organisation des flux de produits, de gestion de l'information dans les chaînes ont été très importants (Montigaud, 2000). Des études conduites par les entreprises et les milieux professionnels portent probablement sur les impacts de ces transformations en matière de coûts d'acheminement des produits. Mais nous n'avons pas trouvé de travaux de recherche permettant de quantifier les impacts de ces évolutions en termes de gains de productivité et sur leurs éventuels effets sur les prix des produits mis en marché.

Au niveau agricole, la productivité se mesure comme le rapport entre le volume de la production et le volume des facteurs de production (consommations intermédiaires, travail, capital, terre). L'analyse des gains de productivité consiste donc à évaluer l'évolution des indices en volume de la production et des facteurs.

La méthode dite des "comptes de surplus" vise à décrire comment se répartissent les gains de productivité. Elle comprend deux étapes : d'une part, la mesure du surplus de productivité, égal à la différence entre les variations des volumes de la production et des facteurs, et d'autre part, l'étude de la répartition de ce surplus sous forme, soit de baisse du prix des produits, soit d'augmentation de la rémunération des facteurs. Cette méthode permet donc de déterminer l'origine des gains de productivité (augmentation de la production, réduction de l'utilisation des facteurs de production), mais aussi d'analyser comment ces gains de productivité sont répartis entre les différents agents sous forme d'une variation des prix. Ils permettent notamment, en cas de gains de productivité positifs, de distinguer ce qui est 'retenu' par l'amont sous forme d'une augmentation de la rémunération du travail et ce qui est transmis à l'aval sous forme d'une baisse du prix (l'aval étant ici l'acheteur du bien

agricole non transformé, c'est-à-dire schématiquement le distributeur dans le cas des F&L non transformés et l'industrie agroalimentaire dans le cas des F&L transformés).

On dispose de quelques travaux appliqués au cas de la production de F&L en France. Le premier travail (Butault, Delame, and Rousselle, 1995) s'appuie sur les données du RICA (Réseau d'Information Comptable Agricole) français entre 1979 et 1991. Comme les comptes du RICA ne sont pas analytiques, une première phase consiste à effectuer une 'décontraction' des comptes des exploitations entre les différents produits pour affecter à chaque production un volume de facteur de production.

Le second groupe de travaux (Hutin, 1997) et (Butault, 2006) s'appuie sur les données par catégorie d'exploitations. Ces comptes sont établis par le SCEES, en cohérence avec le compte national de l'agriculture. La méthode consiste à répartir les différents postes du compte national entre les différentes orientations technico-économiques (les OTEX). Ces deux études ne portent pas sur des périodes identiques (1981-1995 pour Hutin ; 1990-2004 pour Butault).

## *Evolutions de la productivité*

### *La période 1980-1990*

Au cours de la période 1980-1990, (Butault, Delame, and Rousselle, 1995) montrent que pour les F&L, la productivité a crû à un rythme moyen annuel de 2,2% (légumes) à 2,4% (fruits). Ce rythme de croissance est inférieur à celui mesuré pour la production de céréales mais supérieur à la plupart des productions animales. Par rapport aux grandes cultures, la production de F&L se distingue par une faible amélioration de la productivité partielle des consommations intermédiaires. Celle-ci se détériore même dans le secteur des fruits, ce qui reflète une intensification de la production par rapport à ce facteur. La diminution de la productivité partielle des consommations intermédiaires est compensée par une élévation de celle du capital fixe (+5,3%), de la terre (+2,4%) et du travail (+3,9%). En ce qui concerne les légumes, les gains les plus forts concernent la productivité partielle du travail (+5,2%) et, dans une moindre mesure, celle du capital (1,5%), les variations de productivité de la terre n'ayant guère de signification.

Au cours de cette période, les surplus de productivité pour les fruits comme pour les légumes sont à l'origine de 50% du surplus total distribué (voir Tableau 4-1). Comme pour les autres productions, le coût d'usage du capital reste stable dans ces secteurs, ce qui se traduit par de faibles variations de surplus, pour ce poste, dans le compte de répartition. La production de F&L ne bénéficie pas de subvention et les variations concernant le poste "Etat" sont également négligeables. La particularité des secteurs F&L est le poids relativement important de la main-d'œuvre salariée : les salaires représentent ainsi, en 1990, respectivement 15 et 18% de la valeur de la production. Or, le travail salarié est l'un des seuls facteurs de production dont le prix (en valeur réelle) augmente au cours de la période. Cette augmentation absorbe respectivement 20 et 30% du surplus de productivité, ce qui se traduit par une légère augmentation en valeur réelle du prix global des inputs.

Comme le montre le Tableau 4-1, les gains de productivité, pour les légumes, profitent essentiellement aux "clients", via la baisse des prix des produits. Ils sont même insuffisants pour assurer cette baisse des prix (et la hausse des salaires), ce qui se traduit par une détérioration de la rémunération du travail familial (qui apparaît donc en origine de surplus). Globalement, le secteur de production des légumes se 'comporte' de façon comparable à celui de la production de céréales. A l'inverse dans le cas des fruits, le surplus total est permis pour partie par des gains de productivité et pour partie par une hausse des prix de la production. Ceci bénéficie à la rémunération du travail familial qui absorbe les trois quarts du surplus total distribué. Dans le cas des fruits, les gains de productivité ont donc été captés par l'amont plutôt que transmis à l'aval sous forme de baisse de prix comme dans le cas des légumes.

S'appuyant sur ce même type d'analyses, mais utilisant des données par OTEX plutôt que des données estimées par produits,(Hutin, 1997) note que les gains de productivité semblent avoir été obtenus par l'augmentation de la taille des vergers, la spécialisation des exploitations, la disparition des entreprises les moins efficaces.

| | Blé | | Maïs | | Légumes sous verre | | Fleurs | | Fruits | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Origine* | *Répartition* | *Origine* | *Répartition* | *Origine* | *Répartition* | *Origine* | *Répartition* | *Origine* | *Répartition* |
| Surplus de productivité | 63 | 0 | 59 | 0 | 51 | 0 | 66 | 0 | 51 | 0 |
| Clients | 0 | 96 | 0 | 83 | 0 | 87 | 0 | 92 | 40 | 0 |
| Etat | 0 | 2 | 0 | 10 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Fournisseurs | 14 | 0 | 16 | 0 | 13 | 0 | 9 | 0 | 5 | 0 |
| Capital | 4 | 0 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 7 | 0 | 8 |
| Terre | 1 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 |
| Salariés | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| Agriculteurs | 19 | 0 | 20 | 0 | 32 | 0 | 24 | 0 | 0 | 77 |
| | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

| | Viande bovine | | Ovins | | Lait bovin | | Porc | | Volailles | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Origine* | *Répartition* | *Origine* | *Répartition* | *Origine* | *Répartition* | *Origine* | *Répartition* | *Origine* | Répartition |
| Surplus de productivité | 0 | 3 | 35 | 0 | 48 | 0 | 58 | 0 | 23 | 0 |
| Clients | 0 | 88 | 0 | 82 | 0 | 77 | 0 | 73 | 0 | 96 |
| Etat | 33 | 0 | 49 | 0 | 0 | 9 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| Fournisseurs | 30 | 0 | 14 | 0 | 52 | 0 | 42 | 0 | 55 | 0 |
| Capital | 0 | 8 | 0 | 1 | 0 | 7 | 0 | 8 | 0 | 3 |
| Terre | 13 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| Salariés | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Agriculteur | 24 | 0 | 0 | 16 | 0 | 2 | 0 | 12 | 21 | 0 |
| | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

**Tableau 4-1.** Comptes de surplus par produits. Origine et répartition du surplus total distribué (1979-1980-1981 / 1989-1990-1991). (Source : Butault, 1995)

### *La période 1990-2004*

(Butault, 2006) analyse l'évolution de la productivité du secteur agricole français et la répartition des surplus pour les principales productions françaises sur la période 1990-2004. Il utilise les comptes par catégorie d'exploitations construits par le SCEES. Nous présentons de façon assez détaillée les résultats de ce travail car ils sont d'une grande importance pour notre analyse. En particulier, nous présentons les résultats concernant les OTEX '20' (légumes mais aussi fleurs), '39' (fruits : arboriculture et autres productions de fruits), '14' (exploitations de grande culture à dominante cultures industrielles) et à titre de comparaison les résultats pour l'ensemble du secteur agricole. L'OTEX '14' fournit une indication de la situation pour les légumes transformés même si au sein des cultures industrielles la betterave ou la pomme de terre occupe une place importante. Ainsi, la production réunie de ces trois OTEX représente 70 à 80% de la production française de plantes industrielles, de produits maraîchers et horticoles et de fruits. Chaque OTEX représente à elle seule plus de 50% de la production française du produit qu'elle représente (Tableau 4-2).

| | Plantes industrielles | Produits maraîchers et horticoles | Fruits |
|---|---|---|---|
| '14' Autres grandes cultures | **69,1** | 9,2 | 8,1 |
| '20' Horticulture / maraîchage | 0,4 | **51,9** | 7,1 |
| '39' Fruits | 0,2 | 17,3 | **64,0** |
| Total '14', '20', '39' | **69,7** | **78,4** | **79,2** |

**Tableau 4-2.** Contribution de quelques OTEX à la production française de plantes industrielles, de produits maraîchers et horticoles, de fruits. 2004 (Source : calcul d'après les comptes par OTEX)

Au cours de la période étudiée, les gains de productivité dans les secteurs horticulture-maraîchage et fruits ont dépassé 2% par an et ont été deux fois plus élevés que dans le secteur des plantes industrielles et dans l'ensemble de l'agriculture (Tableau 4-3). Il faut toutefois noter un effondrement des gains de productivité au cours de la deuxième période pour l'horticulture-maraîchage ainsi que pour la production de plantes industrielles (à l'instar de l'ensemble de l'agriculture), et par contre un maintien à un niveau assez élevé pour les fruits.

| | Ensemble agriculture | Cultures Industrielles | Horticulture / maraîchage | Fruits |
|---|---|---|---|---|
| 1991-2003 | 1,09 | 1,13 | 2,25 | 2,08 |
| 1991-1998 | 1,75 | 2,04 | 3,85 | 2,52 |
| 1998-2003 | 0,16 | -0,14 | 0,06 | 1,46 |

**Tableau 4-3.** Taux annuel de croissance de la productivité totale de quelques productions agricoles en France (en%). (Source : d'après Butault 2006)

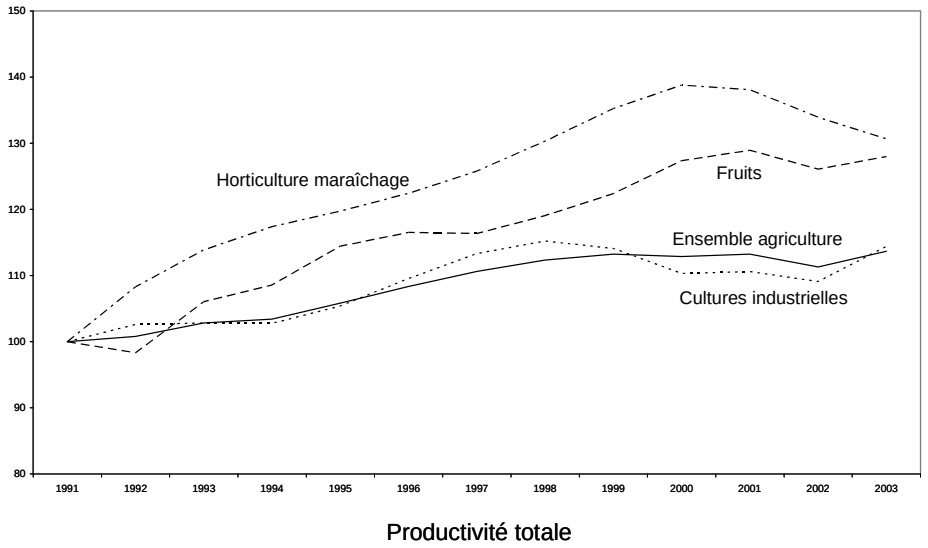



**Figure 4-1.** Evolution de la productivité totale de la production agricole en France sur la période 1991-2003 (indice 100 = moyenne 1990-1992). (Source : Butault, 2006)

Les gains de la productivité partielle du travail sont inférieurs pour ces trois secteurs à celui de l'ensemble de l'agriculture (Tableau 4-4). Néanmoins, compte tenu de l'importance du facteur travail dans les secteurs de production F&L, la contribution de l'amélioration de la productivité partielle du travail à l'augmentation de la productivité totale est importante et représente environ la moitié des gains totaux de productivité. Inversement, les gains de la productivité partielle du capital et des consommations intermédiaires sont supérieurs à ceux de l'ensemble de l'agriculture pour les productions de produits maraîchers et horticoles et pour les fruits, mais contribuent relativement peu à la formation du surplus de productivité.

| | Ensemble agriculture | Cultures Industrielles | Horticulture / maraîchage | Fruits |
|---|---|---|---|---|
| 1991-2003 | 3,02 | 2,48 | 2,18 | 2,18 |
| 1991-1998 | 4,50 | 3,24 | 3,75 | 2,89 |
| 1998-2003 | 0,98 | 1,41 | 0,02 | 1,19 |

**Tableau 4-4.** Taux annuel de croissance de la productivité du travail pour quelques productions agricoles en France. (Source : d'après Butault 2006)

### *Répartition des surplus de productivité*

Comparativement à l'ensemble de l'agriculture, les surplus de productivité ont été répartis très différemment dans les secteurs des F&L (Figure 4-2) :

- L'origine des surplus dans le secteur des F&L est composé à près de 100% par les gains de productivité. Ce n'est pas le cas pour les cultures industrielles et pour l'ensemble de l'agriculture pour lesquels, sur la période considérée, les surplus ont trouvé leur origine dans les gains de productivité (60% environ) et dans la variation des transferts de l'Etat.
- Les surplus de productivité dans les secteurs des F&L ont surtout bénéficié à la rémunération du travail familial (entre 65 et 70% des gains ont été utilisés) et beaucoup moins à un transfert vers l'aval sous forme de baisse des prix (35 et 20% respectivement).
- Ceci contraste fortement avec l'ensemble de l'agriculture pour lequel les gains de productivité (et le soutien de l'Etat) ont été essentiellement transférés vers l'aval et dans une sensible moindre mesure à la rémunération des producteurs (respectivement 80% et 20%).
- Le transfert vers l'aval des gains de productivité et des apports de l'Etat a été pratiquement total dans le secteur des cultures industrielles.

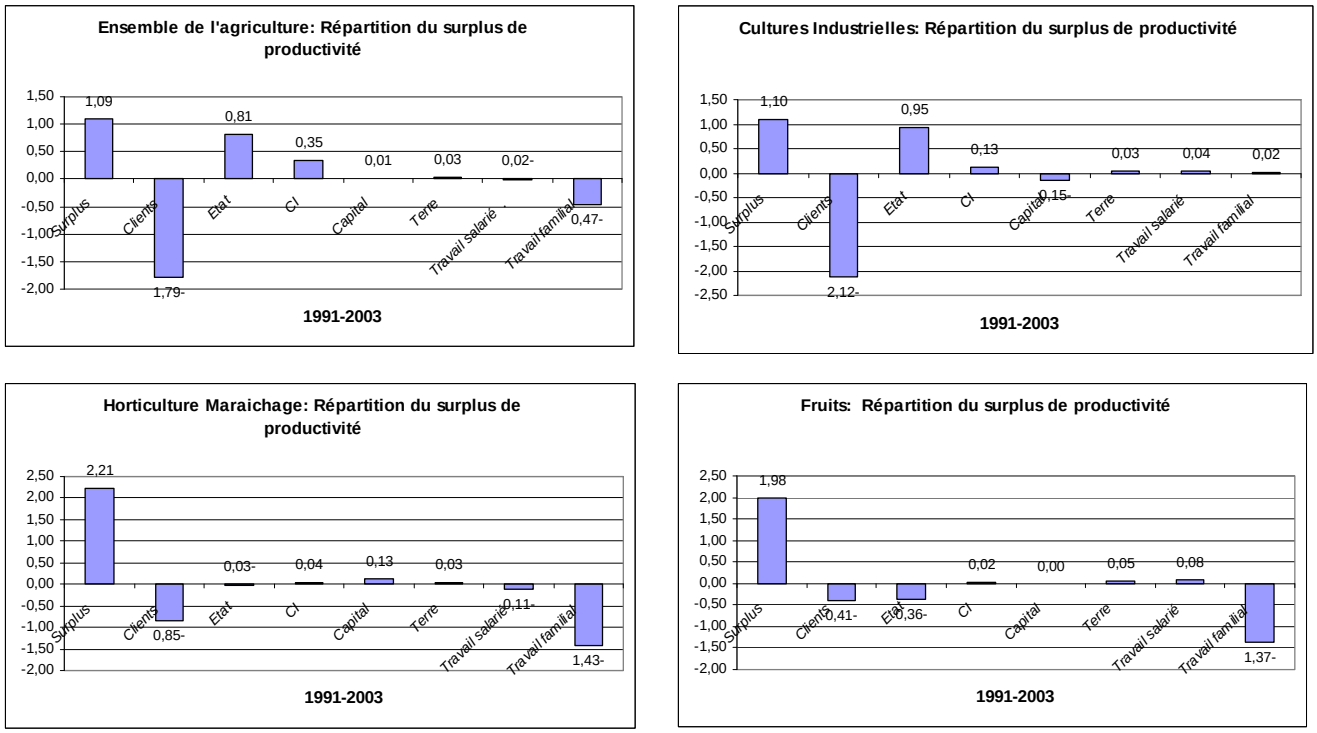
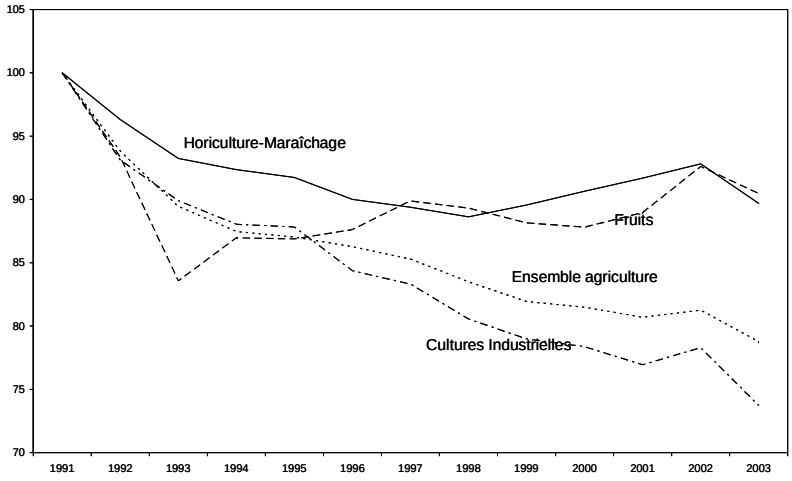



**Figure 4-2.** Origine et répartition des surplus de productivité selon les secteurs entre 1991 et 2003. (Source : d'après Butault, 2006)

Ainsi, bien que les gains de productivité aient été significativement plus importants dans les secteurs 'Horticulture-maraîchage' et 'Fruits', la baisse des prix des produits a été plus faible que dans l'ensemble de l'agriculture. Ceci est bien mis en évidence sur la Figure 4-3 qui fournit l'évolution des prix des produits agricoles sur la période considérée. On constate également que les écarts dans les évolutions de prix sont considérablement réduits si l'on recalcule un prix incluant les subventions (*i.e.* l'équivalent prix perçu par le producteur). Ceci illustre le fait que le changement du mode de soutien dans l'agriculture a alimenté la baisse significative des prix des produits agricoles.

Evolution du prix des produits agricoles payés par les clients des producteurs (c'est-à-dire hors subvention)




Evolution du prix perçu par le producteur (incluant le soutien de l'Etat)

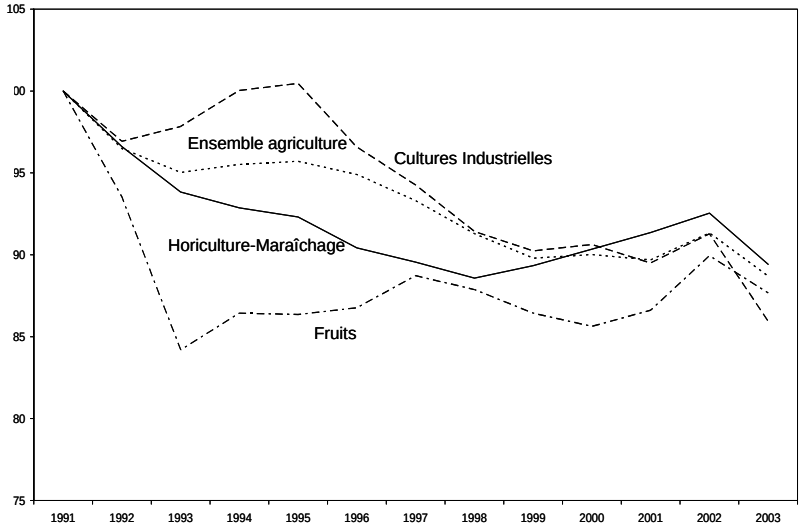



**Figure 4-3.** Evolution des prix de quelques produits agricoles en France sur la période 1990-2004 (Indice 100 = moyenne 1990-1992). (Source : d'après Butault, 2006)

### *Les impacts sur la rémunération du travail familial*

Comme cela a été souligné précédemment, la croissance de la rémunération du travail familial dans les deux OTEX 'Horticulture-maraîchage' et 'Fruits' a été importante au cours de la période, ce qui distingue ces deux secteurs du reste des OTEX (Figure 4-4). Le revenu par UTA a progressé plus fortement que la moyenne et la productivité totale a été la plus forte. La priorité donnée à la croissance des revenus peut s'expliquer par leur faible niveau au regard de la moyenne de l'agriculture, au moins entre 1992 et 2000, (Chassard and Chevalier 2007). On aurait donc un certain effet de rattrapage après la chute très forte des années 1991-1993 (Figure 4-5).

On constate également une très forte disparité de revenus entre les exploitations productrices de F&L (Figure 4-6). Cette hétérogénéité des résultats économiques observée pour l'ensemble des OTEX est très marquée dans le cas des F&L. On ne dispose pas d'analyse précise de cette hétérogénéité qui peut provenir de différentes sources (grande diversité de production, productivité différente selon les exploitations...).

### *Une répartition des gains de productivité qui a varié dans le temps*

La comparaison des résultats des trois analyses de productivité dont on dispose met en évidence le fait que le partage du surplus dans les filières F&L n'est pas aussi stable que dans le cas des grandes

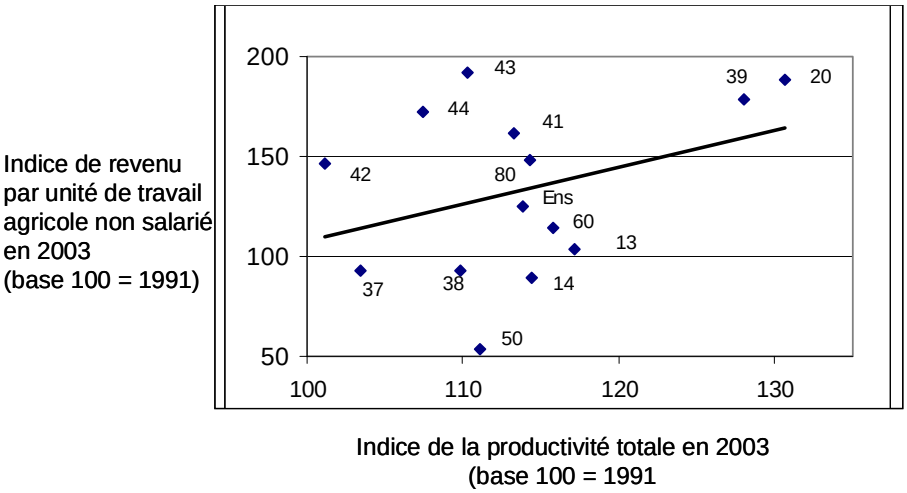



**Figure 4-4.** Evolution du revenu par unité de travail et évolution de la productivité totale pour les principales OTEX. France (Les nombres indiquent les différentes OTEX. En particulier : Fruits (39), Horticulture-Maraîchage (20), Cultures industrielles (14). (Source : Butault, 2006)

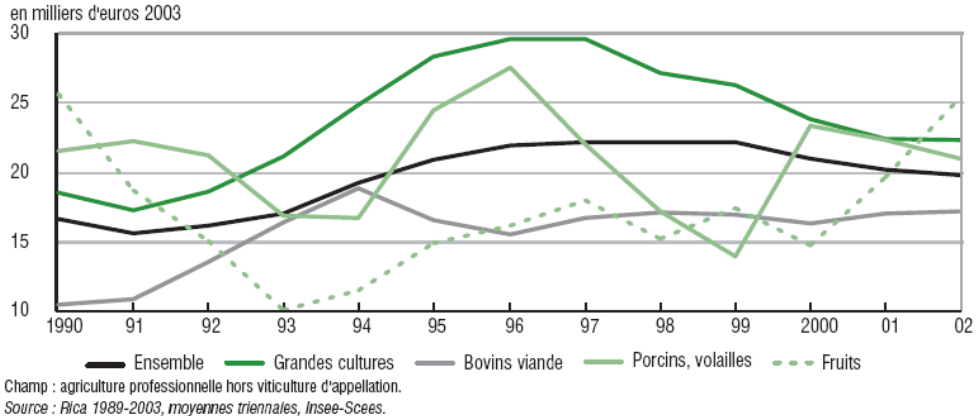



**Figure 4-5.** Evolution des revenus de l'agriculture selon l'orientation technico-économique des exploitations. Source INSEE-Scees, moyennes triennales 2001-2003

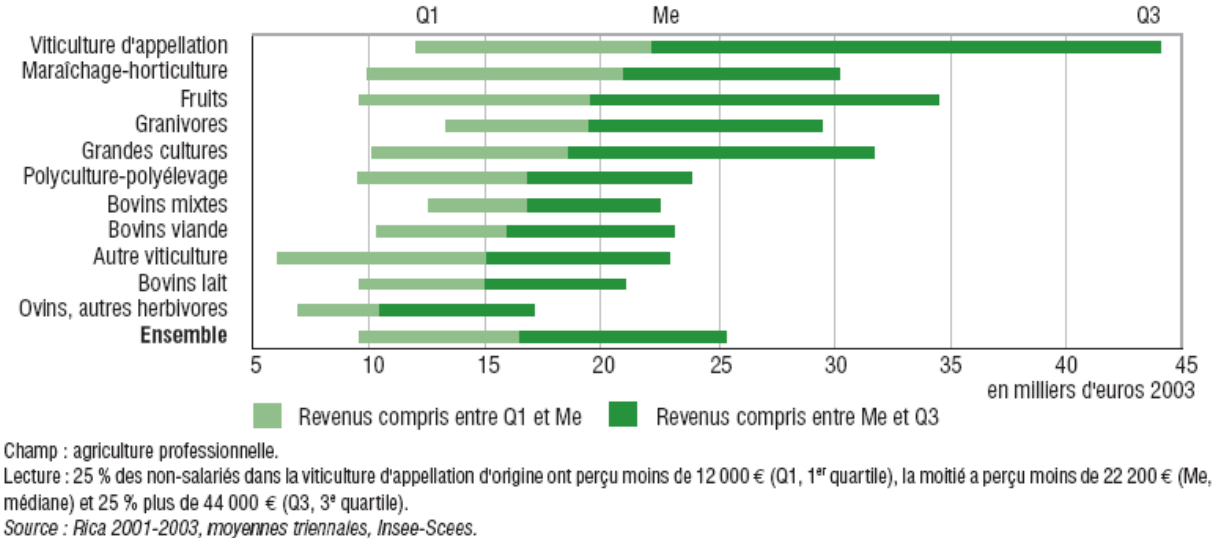



**Figure 4-6.** Répartition des revenus d'exploitation selon les secteurs agricole en France. (Source : INSEE-SCEES, moyennes triennales 2001-2003)

cultures (Tableau 4-5). En effet, pour les grandes cultures, les résultats des trois études sont comparables si ce n'est la participation de l'Etat liée à l'évolution de la PAC. A l'inverse dans le cas des fruits (et dans une moindre mesure des légumes), les résultats varient au cours du temps. Ainsi dans les années 90 (Hutin, 1997) il y eu transfert vers l'aval des gains de productivité, alors que depuis lors (Butault, Delame, and Rousselle, 1995) il y a eu plutôt conservation des gains de productivité à l'amont. Les prix des fruits ont significativement baissé de 1990 à 1995 pour remonter ensuite jusqu'en 2003. Les résultats de Hutin s'expliquent par la baisse des prix du début des années 1990 (d'où un transfert important vers les clients et *a contrario* une contribution des agriculteurs à la formation du surplus). A l'inverse, les résultats de Butault (étude 1991-2003) s'expliquent par la remontée des prix à partir de 1995, d'où un transfert vers l'aval plus faible et une captation des gains de productivité par l'amont.

Ceci est lié au fait que les prix des F&L sont beaucoup plus variables d'une année sur l'autre (et évidemment au sein d'une année) que les autres cultures. Outre les caractéristiques propres de ces produits (périssabilité forte pour nombre d'entre eux), cela traduit également la moindre présence (cf. la politique de retrait qui a aujourd'hui quasiment disparue) d'une politique de prix minimum telle qu'elle a pu exister dans le secteur des grandes cultures.

### 4.1.2. La formation des prix des fruits et légumes frais

#### *Un cadre formel pour poser les mécanismes de base*

Le secteur des fruits et légumes n'échappe pas aux mécanismes généraux de formation des prix qui sont fondamentalement dictés par une confrontation entre offre et demande et la recherche, à tout moment, d'un prix permettant d'égaliser la quantité offerte à ce prix et la demande exprimée à ce prix.

Le cas "standard" de la formation du prix d'un bien sur un marché est celui de la concurrence parfaite. Même si ce cas repose sur des hypothèses fortes (grand nombre de vendeurs et grand nombre d'acheteurs, bien homogène, information parfaite…), il permet de comprendre un certain nombre de mécanismes (Encadré 4-1). En particulier, il permet de montrer qu'une augmentation de la demande (en raison, par exemple, d'une campagne d'information) conduit à une augmentation du prix du bien (à fonction d'offre constante) et à une augmentation de la consommation. L'augmentation de la consommation est cependant limitée par la hausse du prix du bien. Cette hausse du prix sera d'autant plus faible, et donc moins pénalisante sur la consommation, que l'offre du bien sera élastique. De façon générale, l'offre de biens agricoles nécessitant des investissements spécifiques (arboriculture, cultures sous serres…) est relativement peu élastique à court terme mais plus élevée à long terme. L'augmentation de la demande se répercutera donc plus fortement sur les prix à court terme qu'à long terme. De même, un progrès technique qui se traduit par une diminution des coûts implique (à fonction de demande donnée) une diminution du prix et une augmentation de la quantité consommée. Cette dernière sera d'autant plus forte que la demande pour le bien est élastique.

#### *L'analyse statistique de la transmission des prix au sein des filières*

L'analyse statistique de la transmission des prix au sein d'une filière vise à établir les liens de causalité entre les variations de prix aux différents stades (généralement prix d'expédition et prix de détail), à étudier la formation de marge de la distribution, à étudier la vitesse de transmission des variations de prix et à déterminer s'il y a ou non asymétrie dans la transmission des variations de prix (*i.e.* les hausses de prix sont-elles plus facilement et plus rapidement répercutées au consommateur final ?). L'état de la littérature de (Frey and Manera, 2005) qui concerne tant des produits agricoles que des produits industriels (notamment l'essence), montre que l'asymétrie de transmission des prix (généralement les prix augmentent plus rapidement qu'ils ne baissent) est un phénomène très répandu puisque plus de 80% des études citées concluent à la présence de transmission asymétrique.

**Tableau 4-5.** Comparaison des résultats en matière de gains de productivité et de partage du surplus, selon les auteurs

| | Fruits | | | Légumes | | | Grandes cultures | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Référence | Butault et al. | Hutin | Butault | Butault et al. | Hutin | Butault | Butault et al. | Hutin | Butault |
| Période | 1980-1990 | 1981-1995 | 1991-2003 | 1980-1990 | 1981-1995 | 1991-2003 | 1980-1990 | 1981-1995 | 1991-2003 |
| Moyenne mobile sur ‘n’ ans | Oui, n=3 | Non | Oui, n=3 | Oui, n=3 | Non | Oui, n=3 | Oui, n=3 | Non | Oui, n=3 |
| Nomenclature | Produit | OTEX | OTEX 39 | Produit | OTEX | OTEX 20 | blé | OTEX | OTEX 13 |
| Gains de productivité | 2,4 | - | 2,08 | 2,2 | - | 2,25 | 3,3 | - | |
| Compte de surplus | | | | | | | | | |
| Surplus de productivité | O : 51% | O : 46% | O : 93% | O : 51% | O : 81% | O : 91% | O : 63% | O : 55% | O : 46% |
| Etat | O : 1% | O : 7% | R : 17% | O : 0% | O : 5% | R : 1% | O : 0% | O : 24% | O : 46% |
| Clients | O : 40% | R : 72% | R : 19% | R : 87% | R : 83% | R : 35% | R : 96% | R : 90% | R : 92% |
| Salariés | R : 15% | R : 27% | O : 4% | R : 10% | R : 12% | R : 4% | R : 2% | O : 2% | O : 2% |
| Agriculteurs | R : 77% | O : 36% | R : 64% | O : 32% | O : 2% | R : 59% | O : 19% | R : 10% | R : 7% |

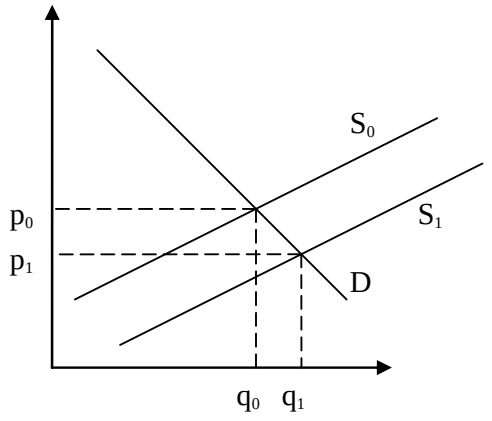
O : signifie que ce poste contribue à la formation du surplus
R : signifie que ce poste bénéficie du surplus

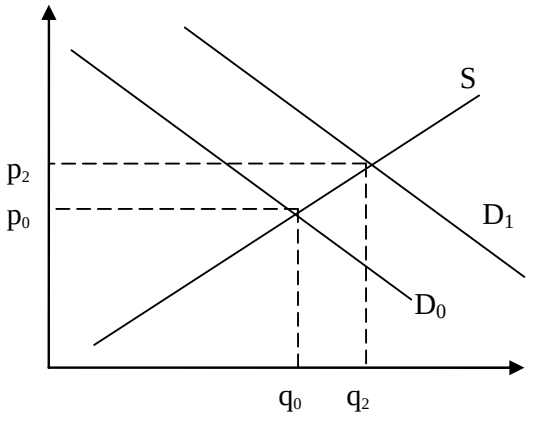
## Encadré 4-1. Mécanisme de base de formation des prix sur un marché

La courbe d'offre (notée S sur les graphiques suivants) représente la relation entre quantité offerte et prix sur le marché. La quantité produite au prix p est un point particulier de la courbe d'offre. De même, la courbe de demande (notée D sur les graphiques) représente la relation entre quantité demandée et prix sur le marché. La quantité consommée au prix p est un point particulier de la courbe de demande. *Dans le texte, lorsque l'on parle d'offre ou de demande on fait référence à la fonction, et lorsque l'on parle de quantité produite ou consommée on fait référence à un point particulier de ces fonctions.*

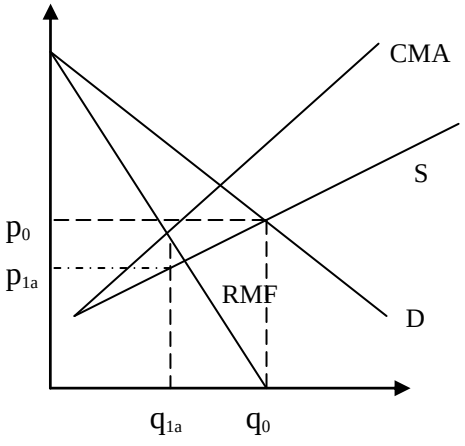
On considère ici la formation du prix du bien agricole dans le cas d'une filière composée de producteurs vendant leur production à des distributeurs qui assurent la commercialisation auprès des consommateurs finaux. Dans ce cas, la fonction de demande représentée est la fonction de demande de 'facteur' par le distributeur (notée D, elle dérive de la demande de produit final par les consommateurs finaux).

**Dans un cadre de concurrence parfaite**, l'équilibre sur le marché se réalisera à l'intersection de la courbe d'offre et de la courbe de demande. Une diminution des coûts de production qui se traduit donc par un 'déplacement vers le bas' de la courbe d'offre entraîne une augmentation de la consommation du bien et une baisse du prix (la courbe d'offre initiale $S_0$ devient $S_1$, le prix d'équilibre passe de $p_0$ à $p_1$ suite à la baisse des coûts et la consommation augmente de $q_0$ à $q_1$). Une augmentation de la demande (par exemple via une campagne de publicité) qui se traduit par un 'déplacement vers le haut' de la fonction de demande entraîne également une augmentation de la consommation du bien ainsi qu'une hausse du prix (la courbe de demande initiale $D_0$ devient $D_1$, le prix passe de $p_0$ à $p_2$ suite à l'augmentation de la demande et la consommation augmente de $q_0$ à $q_2$).




Un autre cas "polaire" est celui où l'aval (la distribution) exerce un **pouvoir de marché à l'amont et à l'aval** (pouvoir de monopsone et pouvoir de monopole). Dans ce cadre, en diminuant ses achats de matière première, la distribution peut jouer sur le prix d'achat de la matière première. De même en diminuant ses ventes sur le marché final, elle pourra également bénéficier d'un prix de vente supérieur (ou en pratiquant des prix plus élevés sur le marché final, elle vendra des quantités plus faibles). La quantité achetée par le distributeur se détermine alors au point d'intersection de la courbe de coût marginal d'achat (CMA) qui tient compte du fait qu'en réduisant ses achats le distributeur pourra bénéficier d'un prix plus faible (pouvoir de monopsone) et de la courbe de recette marginale du facteur (RMF) qui tient compte du fait qu'une réduction des ventes du distributeur ont un effet sur le prix de vente.




Dans ce cadre, le prix payé au producteur est $p_{1a}$ (au lieu de $p_0$ dans un cadre de concurrence parfaite) et les quantités achetées sont réduites ($q_{1a}$ au lieu de $q_0$).

Les consommateurs sont pénalisés ainsi que les producteurs. Seuls les distributeurs profitent de cette situation et au final le "bien-être" diminue par rapport à la situation de concurrence.

Un certain nombre de travaux concernent spécifiquement le secteur européen des F&L. Les travaux du (DEFRA, 2004) sur la transmission des prix des produits agricoles dans différents pays de l'UE conclut, dans le cas des F&L, à une transmission symétrique des prix dans la plupart des cas. Dans le cadre de cette étude de la transmission des prix dans les pays de l'UE, les auteurs notent également une légère tendance à la diminution dans le temps du ratio entre prix à la production et prix au consommateur.

(Hassan and Simioni, 2004) ont étudié également cette question dans le cas des marchés de l'endive et de la tomate en France au cours de la période Octobre 1997 - Avril 2000. Leurs résultats, établis à partir de l'analyse de 42 relations entre prix de détail et prix à l'expédition, montrent que :

- La formation des marges de long terme des distributeurs obéit principalement au principe des marges constantes dans le cas de la tomate ronde. Dans le cas de la tomate grappe et de l'endive les marges intègrent un élément de proportionnalité du prix d'expédition.
- Les prix au détail ne déterminent pas à long terme les prix à l'expédition ce qui est parfois interprété comme indiquant le fait que les distributeurs possèdent un pouvoir de négociation tel qu'ils peuvent contraindre les producteurs à fixer leur prix sur la base de l'évolution de leurs coûts et non sur la base de l'évolution de la demande.
- La transmission symétrique des variations des prix à l'expédition est aussi fréquente que la transmission asymétrique.
- Lorsqu'il y a transmission asymétrique, dans le cas de la tomate, les diminutions du prix à l'expédition sont transmises plus rapidement au consommateur que les hausses de prix. Dans le cas de l'endive, on observe moins fréquemment d'asymétrie, mais dans ce cas ce sont les hausses qui sont répercutées plus rapidement que les baisses.

### *La mesure d'un éventuel pouvoir de marché de la grande distribution*

Un élément souvent invoqué pour expliquer l'évolution des prix de détail dans le secteur des F&L est celui du pouvoir de marché de la grande distribution. Celle-ci est fortement concentrée et distribue une part importante des volumes de F&L (la grande distribution a distribué 75,8% des volumes de fruits et légumes en 2005, un chiffre en augmentation puisque qu'il était de 73% en 2002).

Comme le montre le graphique sur l'évolution des prix à la consommation (cf. Chapitre introductif), les prix des F&L frais se sont inscrits dans une tendance générale à la hausse sur la période 1960-2005. Cette tendance est nette pour les légumes jusqu'en 1990, moins nette pour les fruits, mais dans les deux cas un pic est atteint à cette date. La période qui suit est irrégulière mais, globalement, les prix des légumes frais se situent dans un "tunnel", ce qui laisse penser que le positionnement en prix de ces produits s'est fondamentalement joué avant 1990. Dans le cas des fruits frais, globalement plus stables depuis 1960 que les légumes, la hausse des prix entre 1976 et 1990 a été suivie par une forte chute entre 1990 et 1993, puis par une hausse (irrégulière) jusqu'en 2004, puis par une légère baisse au cours des dernières années.

Si l'on compare l'évolution en indice des prix de détail à celle des prix payés aux producteurs par leurs clients, on constate une tendance générale similaire depuis 1990 : forte chute entre 1990 et 1993, puis tendance à la hausse ensuite. Jusqu'en 1998, les courbes d'évolution des prix de détail et des prix payés aux producteurs se recouvrent fortement, puis après 1998 les prix de détail augmentent plus vite que les prix payés aux producteurs.

Que peut-on conclure de la confrontation de l'évolution comparée des prix de détail et payés aux producteurs ? Plusieurs précautions s'imposent sur le plan méthodologique. Les données disponibles ne portent pas exactement sur les mêmes agrégats et ne sont donc pas toujours directement comparables. Les prix payés aux producteurs par leurs clients concernent tous les circuits (grossistes, centrales d'achats de distributeurs…) y compris l'export. A l'inverse, la courbe des prix de détail concerne tous les fruits, y compris ceux qui sont importés. D'autre part, concernant la question de l'existence d'un pouvoir de marché de la grande distribution et des effets de ce pouvoir de marché sur les prix, plusieurs éléments doivent être précisés.

Il est en effet important de distinguer un pouvoir de marché à l'égard des fournisseurs et un pouvoir de marché à l'égard des consommateurs. On considère qu'il y a pouvoir de marché à l'égard des fournisseurs si les prix payés à ces fournisseurs sont inférieurs à ceux qui s'établiraient dans un marché (amont) parfaitement concurrentiel. Pour démontrer l'existence de ce pouvoir de marché, il faut donc estimer l'écart entre les prix réels et les prix qui seraient payés dans un fonctionnement de marché supposé concurrentiel. On considère, par ailleurs, qu'il existe un pouvoir de marché en direction des consommateurs si les prix de détail réellement observés sont supérieurs à ceux qui s'établiraient dans un marché (aval) parfaitement concurrentiel. Dans ce cas, il en résulte des quantités écoulées moins élevées du fait de ce pouvoir d'oligopole. Pouvoirs de marché en direction des fournisseurs et des consommateurs peuvent, ou non, coexister selon les cas. Les recherches conduites sur ces questions distinguent généralement le cas des produits périssables et semi-périssables.

***Le cas des produits périssables***

Dans le cas des F&L frais, la possibilité de stocker ou non les produits est centrale et a conduit au développement de modèles d'analyse différents. En effet, dans le cas des produits périssables, l'offre de court terme est très fortement inélastique au prix (ce qui conduit à des périodes de crise où les prix peuvent tomber à des niveaux très bas), alors que dans le cas des produits semi-périssables, les possibilités de stockage rendent l'offre plus élastique permettant ainsi au marché de s'ajuster *via* les prix, mais aussi *via* les quantités (pour une présentation globale de ces modèles et les principaux résultats obtenus sur le marché américain, voir (Dimitri, Tegene, and Kaufman, 2003).

Dans le cas des produits périssables, les modèles d'analyse reposent sur les idées suivantes (Sexton and Zhang, 1996) et (Sexton, Zhang, and Chalfant, 2005) :

- L'offre de court terme est exogène, elle est donnée en fait par les surfaces plantées et les conditions météorologiques. Elle dépend donc d'actions passées. Dans ce cas, dès que le prix au producteur est supérieur au coût de récolte et de mise en marché, les producteurs vont offrir leur produit (l'alternative de ne pas récolter conduit au fait que le producteur perd la récolte).
- La négociation du prix entre les producteurs et les distributeurs sera d'autant plus à l'avantage des distributeurs que la production sera importante.

Ce modèle implique que le prix plancher au producteur est le coût marginal de récolte (coût nettement inférieur au coût moyen de production), que ce prix devrait s'observer en période de forte production ; qu'en dehors de ces périodes, le prix est supérieur à ce prix plancher et que la marge unitaire pour le producteur est d'autant plus grande que la production (du moment) est faible. Ce modèle d'analyse conduit à mettre en évidence l'aspect quelque peu inéluctable des "crises" dans le cas des produits frais périssables.

Ce modèle a été appliqué à différents marchés de F&L aux Etats-Unis. Par exemple dans le cas de la laitue 'Iceberg', les auteurs montrent que dans environ 30% des cas le prix de marché s'établissait au prix plancher, c'est-à-dire à un niveau qui serait caractérisé de prix de crise. Ils montrent également qu'en dehors de ces périodes, les producteurs captaient environ 6,5% du surplus.

Il n'existe pas de travaux de ce type en France ou en Europe. En outre, la réflexion devrait intégrer les effets à long terme de cette relation entre producteurs et distributeurs. En effet, la rentabilité de la production agricole doit se déterminer sur l'ensemble de la période de production et non uniquement sur les périodes de pointe de production. Même si les situations de 'crise' sont pénalisantes, le profit des producteurs doit néanmoins s'analyser sur une saison et les producteurs resteront présents sur le marché à la condition que le prix moyen sur l'année (pondérée par les quantités) soit supérieur au coût moyen de production. Dans l'exemple cité, les auteurs ont calculé que le surplus moyen des producteurs (capté lorsque le prix de vente est supérieur au prix plancher) leur permettait de couvrir l'ensemble de leur coûts. D'après cette analyse, on se trouvait donc dans un régime où globalement le secteur amont rémunère les facteurs de production (y compris le travail familial) à un prix équivalent au prix de marché de ces facteurs. Cela étant, les différents producteurs ne sont pas exposés au même risque en fonction de la période de production où ils sont présents sur le marché. Ceux dont la majeure partie de la production se situe dans les périodes de crise souffrent particulièrement.

Enfin, il faut noter que lorsque les prix d'un produit sont rémunérateurs (équilibre de court terme) cela

incite les producteurs à étendre leurs surfaces (ou à d'autres producteurs d'entrer sur le marché), ce qui a pour conséquence de diminuer les prix et donc la rentabilité de la production dans le futur et donc également à multiplier les situations de crise. Globalement, on ne peut pas, dans un secteur de production où l'entrée est libre et relativement facile, espérer obtenir sur le long terme une rentabilité des facteurs de production supérieure à leur rémunération sur les marchés.

Dans tous les cas, ce lien entre court terme et long terme doit être mieux analysé. En particulier, il est nécessaire de développer des travaux concernant la gestion des risques et le rôle de l'assurance dans ce secteur de production.

***Le cas des produits semi-périssables***

Dans le cas des produits semi-périssables, les modèles développés se basent sur l'idée que les prix de détail sont généralement moins volatils que les prix d'offre des produits agricoles (Richards and Patterson, 2003) ; (Richards and Patterson, 2005). Cette rigidité des prix de détail peut s'interpréter de différentes façons (par exemple en raison du coût de changement des prix, de l'impact sur les consommateurs d'un changement fréquent des prix…). Une raison possible est celle avancée à l'origine par (Stiglitz, 1984) pour qui la fixité des prix est un mécanisme par lequel les firmes exercent une collusion tacite et pratiquent donc des prix non concurrentiels. Maintenir une rigidité des prix évite une mauvaise interprétation par les concurrents en cas de changement de prix. Ce modèle prévoit des périodes où les prix sont à un niveau non concurrentiel et des périodes où les prix sont à des niveaux concurrentiels.

Les auteurs ont estimé un tel modèle dans le cas de différents fruits aux USA. Ce modèle permet de distinguer différents régimes de prix sur le marché. Les résultats obtenus sont cohérents avec le modèle défini et montrent que lorsque le régime 'coopératif' (c'est-à-dire de collusion tacite entre les distributeurs) est en œuvre, il en résulte des prix plus faibles pour les producteurs amont et des prix plus élevés pour les consommateurs. Par contre, l'ampleur de ce phénomène varie fortement d'un produit à un autre ce qui rend difficilement généralisables à d'autres produits ou d'autres pays les résultats obtenus. Ainsi, dans le cas des pommes, les auteurs concluent à l'existence d'un pouvoir de marché de la distribution (aussi bien un pouvoir de marché sur l'amont '*buyer market power*' que sur l'aval '*seller market power'*). Selon leurs résultats, la concurrence imparfaite pourrait expliquer jusqu'à 50% de la différence de prix entre producteurs et distributeurs sur certains marchés (régions). Dans le cas du raisin de Californie, les auteurs mettent en évidence un pouvoir de marché beaucoup plus faible que pour la pomme. Dans un grand nombre de cas (de régions), ils concluent à l'inexistence d'un pouvoir de marché. Il faut noter que lorsqu'il y a exercice d'un pouvoir de marché celui-ci est un pouvoir de marché sur l'aval ('*seller market power*') et non pas sur la relation avec l'amont. Dans le cas des oranges fraîches de Californie, les auteurs concluent à la présence de pouvoir de marché à la vente, mais un pouvoir de marché beaucoup plus faible (voire inexistant) dans la fixation du prix amont. Un résultat qu'ils rapprochent de l'existence de groupes structurés à l'amont pouvant exercer un contre-pouvoir. Enfin dans le cas du raisin de Floride, ils mettent également en évidence la présence de pouvoir de marché à l'amont et dans une moindre mesure sur le marché aval. Ces résultats dépendent néanmoins des régions étudiées.

Les auteurs montrent également que le pouvoir de marché diminue avec le volume des ventes. La possibilité de collusion entre les distributeurs est plus forte lorsque le volume des produits est plus faible. D'autres auteurs ont évalué le pouvoir de marché de la distribution dans le cas des fruits. Ainsi les résultats (Arnade and Pick, 2000) suggèrent que l'exercice du pouvoir de marché dans le cas des poires et du raisin aux USA serait plus important en période de contre-saison. Ce résultat rejoint les résultats du travail précédent puisqu'il met en évidence un pouvoir de marché plus fort dans les périodes où les volumes sont faibles. Néanmoins, il semble difficile d'extrapoler à d'autres produits et d'autres contextes ce résultat.

Aucun travail empirique évaluant le pouvoir de marché de la distribution dans le secteur des fruits et légumes frais en France ou en Europe n'a été trouvé. Les études disponibles sur le plan international montrent en tous cas une très forte variabilité des situations tant au cours du temps que selon les régions ou les produits. Ceci illustre la difficulté des analyses économiques sur la transmission des prix et les pouvoirs de marché dans ce secteur des F&L, marqué par une très forte hétérogénéité.

### *L'impact potentiel d'une meilleure organisation de l'amont*

Le renforcement de l'amont est fréquemment évoqué. C'est même un des axes de la politique européenne dans le secteur des F&L. Ce renforcement de l'amont peut répondre à deux objectifs assez différents.

Le premier vise à réduire certains coûts en jouant sur des économies d'échelle (c'est notamment le cas pour ce qui concerne les coûts de mise en conformité et les politiques de qualité). La concentration de l'amont ou, au minimum, plus de coordination entre producteurs, peut aussi avoir des effets positifs en matière de gestion des aléas d'offre ou de demande et permettre la mise en place d'outils collectifs de couverture des risques. Elle peut aussi rendre possibles des dépenses commerciales (communication, marques…). Pour ces diverses raisons, une meilleure organisation de l'amont a dans ce cadre un effet positif.

Le second objectif vise à organiser un certain pouvoir de marché à l'amont pour faire contrepoids à la grande distribution. (Encadré 4-2). Les effets d'un tel renforcement dépendent du niveau de concurrence existant à l'aval. De façon générale, les économistes de la concurrence recommandent de traiter les problèmes à leur source. En l'occurrence, s'il s'agit de lutter contre un pouvoir de marché de l'aval, la meilleure solution est de renforcer la concurrence à l'aval (pour diminuer ce pouvoir de marché) plutôt que de chercher à organiser l'amont pour faire contrepoids (Rey and Tirole, 2000).

## 4.1.3. Les prix des F&L transformés

L'organisation des filières de production des F&L transformées est très proche de celle que l'on rencontre en général dans les filières agroalimentaires (tout au moins pour ce qui est des légumes transformés cultivés en plein champ). Ces filières se caractérisent par des relations contractuelles régissant l'amont agricole et l'industrie de transformation, et un face à face entre industrie de transformation et distribution qui sont deux secteurs assez concentrés et où notamment le rôle des marques (qu'il s'agisse des marques de producteurs ou des marques de distributeurs) est prépondérant.

Nous n'avons pratiquement pas trouvé de travaux spécifiques concernant ces filières de production dans la littérature scientifique. On a vu précédemment que l'amont agricole (OTEX 14) avait transféré vers l'aval l'essentiel des gains de productivité effectués à l'instar de ce qui s'était produit pour les grandes cultures. Il peut y avoir des biais dans l'analyse car l'OTEX 14 couvre les cultures industrielles et pas uniquement les cultures de F&L destinées à la transformation.

Dans le cas de la production de légumes destinés à la transformation, les accords contractuels liant agriculteurs et transformateurs ont évolué pour passer d'un système de négociation interprofessionnelle (y compris la négociation du prix) à un système de négociation décentralisé entre chaque transformateur et ses groupements de producteurs. Selon (Garnier, 2000) dans le premier cas, cela conférait un pouvoir de monopole à l'ensemble constitué par les producteurs et les transformateurs, dans le second cas (en vigueur actuellement) cela confère aux transformateurs un pouvoir de monopsone sur l'amont.

Les relations marchandes entre industrie de transformation et distribution sont du même type que celles observées pour l'ensemble de l'agroalimentaire. La problématique des marques est centrale dans le rapport de forces entre industrie et distribution. Il faut noter que le secteur des légumes transformés (conserves, mais aussi surgelés) est un de ceux où les marques de distributeurs sont le plus développées (63% en valeur pour les légumes surgelés et 44% en valeur pour les légumes appertisés, à comparer à un taux de 25% environ en moyenne pour les produits de l'agroalimentaire). Le développement des marques de distributeurs répond à deux objectifs de la part des distributeurs : d'une part, un objectif de différenciation entre distributeurs, d'autre part, un objectif de négociation avec l'amont. En proposant des produits concurrençant les marques de producteurs, les distributeurs obtiennent des concessions tarifaires de la part de l'amont (pour une synthèse de la littérature sur les effets économiques des marques de distributeurs, voir (Bergès-Sennou, Bontems, and Réquillart, 2004).

## Encadré 4-2. Evolution de l'OCM Fruits et Légumes

**L'OCM Fruits et Légumes, entrée en vigueur en 1972**, a établi un certain nombre de règles communes en matière de qualité des produits, de concurrence, de politique d'intervention et de commerce avec les autres nations. L'objectif était notamment de promouvoir une production de qualité et d'accroître la profitabilité de la production. Un des instruments privilégiés de soutien à ce secteur était la politique de retrait d'une partie de la production. Cette politique avait pour objectif de soutenir les prix en cas de crise et de limiter la variabilité des prix dans ce secteur.

Cette politique a suscité de nombreuses critiques en raison du fait que la majeure partie des retraits était détruite. (Behr, 1990) montre que des alternatives à cette politique existent. Il montre également que dans le cas des productions pérennes une abolition totale des retraits est plus difficile que dans le cas des productions annuelles compte tenu d'un ajustement de la production beaucoup plus lent et difficile pour les cultures pérennes. Compte tenu du niveau (trop élevé) des prix de retrait, il est possible que cette politique ait incité à la production dans un certain nombre de cas. Il semble également que l'objectif de stabilisation des prix n'ait pas été atteint du fait de cette incitation au développement de la production.

**La réforme de l'OCM en 1996** a modifié significativement les mécanismes de retrait en :
- diminuant le niveau de compensation octroyé et en faisant porter une part du financement sur les Organisations de Producteurs (via les fonds opérationnels) ;
- introduisant un plafond pour le volume retiré ;
- faisant reposer le système sur les OP plutôt que sur les Etats. Les plafonds de retrait étant notamment définis au niveau des OP ;
- introduisant des règles plus strictes quant à l'utilisation des quantités retirées

Un bilan récent de la réforme de 1996 (Agrosynergie, 2007)[1] montre que :
- Les retraits ont subsisté pour un certain nombre de produits (artichauts, tomates, abricots, pommes, pêches, nectarines). Cependant pour ces produits, à l'exception de la nectarine et de la tomate en Espagne, l'incidence des retraits a significativement diminué depuis la réforme. Ils ne sont pas en mesure (aux exceptions près) de perturber le fonctionnement 'normal' du marché.
- Les retraits ont contribué à la stabilisation des quantités vendues et dans une certaine mesure à la stabilisation des prix.
- Ce nouveau mécanisme ne peut pas être considéré comme responsable de la création de surplus structurels et ne constitue pas pour la majeure partie des produits une alternative de marché. Lorsque les OP contrôlent 100% de la production et sous certaines conditions, il est possible que le niveau de compensation incite à la production.
- La politique de retrait ayant un rôle moins important que par le passé en terme de stabilisation des revenus, les producteurs se sont tournés vers d'autres moyens notamment en terme de promotion et d'adaptation à la demande.

**La réforme adoptée en Juin 2007**, qui entrera en vigueur en 2008, renforce le rôle des OP avec le but de mieux structurer l'amont. La gestion des crises passera par les organisations de producteurs. Les instruments mis à disposition comprendront la récolte en vert, la non-récolte, la promotion et la communication en période de crise, la formation, l'assurance-récolte. Les retraits peuvent être pratiqués par les OP avec un cofinancement de 50%. Les retraits en vue d'une distribution gratuite aux écoles, aux colonies de vacances, aux hôpitaux, aux organisations caritatives, aux maisons de retraite et aux institutions pénitentiaires seront financés à 100% par la Communauté. Les plafonds de retrait sont fixés à 5% de la quantité de la production commercialisée par chaque OP. La réforme renforce la logique de la réforme de 1996 et introduit explicitement le développement d'outils économiques de gestion des risques.

Un autre élément majeur est l'intégration des fruits et légumes dans le régime de paiement unique (RPU) : les superficies plantées en fruits et légumes seront admissibles aux paiements sous le régime de l'aide découplée qui s'applique dans d'autres secteurs agricoles. Toutes les aides aux fruits et légumes transformés seront découplées et les plafonds budgétaires nationaux fixés pour le RPU seront augmentés. Les États membres seront autorisés à établir des montants de référence et à désigner les agriculteurs qui pourront bénéficier de nouveaux droits sur la base d'une période représentative. A notre connaissance, aucune étude approfondie de cette mesure n'a été développée à ce jour. Elle touchera en premier lieu les productions de F&L destinées à la transformation (voir CCE, 2007)[2] dans la mesure où le découplage des aides pourra à la fois inciter certains producteurs à abandonner ces productions et en inciter d'autres à entrer sur ce marché. Les choix seront établis beaucoup plus que par le passé en fonction de la compétitivité de ces productions. L'impact sur la production de fruits et légumes non transformés n'est pas clair et beaucoup dépendra de la façon dont les Etats alloueront ces aides découplées.

1. Agrosynergie, 2007. Evaluation of withdrawals and crisis management in fruit and vegetables sector. Study for the European Commission. 30-CE-0035027/00-37.
2. Commission des Communautés Européennes, 2007. Vers une réforme de l'OCM dans le secteur des fruits et légumes frais et transformés. Document de travail des services de la commission accompagnant la proposition de règlement du conseil.

## 4.2. Variété, qualité et segmentation du marché des fruits et légumes : déterminants et impacts économiques

Louis-Georges Soler

La qualité des F&L frais est souvent mise en cause pour expliquer des niveaux de consommation insuffisants (cf. chapitre 3). Si l'on admet que la qualité des produits est une des dimensions qui influent sur les décisions de consommation, il est important de cerner les déterminants économiques des niveaux de qualité actuels, les leviers d'action pour une éventuelle augmentation de ces niveaux de qualité, leurs impacts sur les entreprises et les filières.

La qualité des produits mis sur le marché final est conditionnée par :

- D'une part, des réglementations publiques qui *via* des normes et des standards de qualité définissent les caractéristiques de qualité minimum de toute l'offre (standard de qualité minimum (SQM) en matière de calibres, LMR...), ou d'une partie seulement (Signes Officiels de Qualité).
- D'autre part, des décisions privées de nature stratégique (le positionnement qualité/prix des produits) et opérationnelle (l'organisation des flux depuis le verger jusqu'au consommateur). Ces décisions privées, qu'elles soient prises par des opérateurs aval ou amont, n'ont pas *a priori* comme objectif de maximiser les quantités consommées, mais les profits et la valeur captée par la filière. L'élévation des niveaux de qualité ne signifie donc pas nécessairement un accroissement des quantités vendues.

Le marché des F&L a longtemps été un marché de produits peu différenciés. Au cours des dernières années, des changements importants ont eu lieu pour accroître la segmentation du marché, celle-ci servant de vecteur à des stratégies de différenciation des produits très largement portées par la grande distribution (Hassan and Simioni, 2004). Quels ont été les effets de ces démarches sur les niveaux de consommation ? Comment ont-elles modifié les niveaux de qualité/prix des produits mis en marché ? Comment ont-elles généré des gains pour la filière et comment ces gains ont-ils été répartis ?

La littérature disponible tant en France que sur le plan international ne donne que des réponses partielles à ces questions. On peut néanmoins souligner les points suivants.

- La qualité est coûteuse et donc l'arbitrage coût/qualité est au cœur des enjeux pour chaque acteur, depuis le producteur jusqu'au consommateur. En outre, le niveau de qualité qui maximise les profits n'est pas forcément le même pour tous les acteurs de la filière. D'où nécessairement des oppositions d'intérêt sur le positionnement qualité/prix des produits.

Un bon exemple de ces tensions est donné par la question des produits "mûrs à point". Dans le cas de produits périssables, la possibilité de commercialiser des produits à bon niveau de maturité est contrebalancée par les coûts imposés par cet objectif. Il faut en effet pouvoir maîtriser une logistique très complexe minimisant les temps de transport entre la récolte et la mise en rayon du produit. Dans ce contexte, le critère souvent mis en avant est celui des pertes liées à la destruction ou à la mauvaise conservation du produit. Les coûts liés aux pertes peuvent être en effet plus élevés que les gains liés à une éventuelle meilleure valorisation du produit par les consommateurs. Comme les niveaux de perte ne sont pas nécessairement les mêmes aux différents niveaux de la chaîne, l'arbitrage peut différer selon les acteurs, depuis l'amont jusqu'à l'aval des filières (Verbic, 2006). Comme le montrent (Schepers et al., 2004) dans le cas particulier de la mangue, une organisation de la chaîne permettant la mise en marché de produits "*ready-to-eat*" peut cependant être économiquement rentable pour chaque type d'acteur, la vente à un niveau de maturité plus élevé pouvant générer plus de profit, à la fois pour les producteurs et les distributeurs, même si les pertes augmentent. Mais cela suppose une coordination très poussée entre ces différents acteurs. Si le distributeur prend seul la responsabilité de minimiser les pertes, il aura tendance à privilégier un faible niveau de maturité. Si par contre, l'arbitrage pertes/maturité est raisonné globalement par le distributeur et le fournisseur, alors ils peuvent ensemble avoir intérêt à choisir des niveaux de maturité plus élevés qui, même s'ils induisent plus de pertes d'un côté, permettent de l'autre une meilleure valorisation du produit par les consommateurs.

- La maîtrise de la qualité implique ainsi des niveaux importants de coordination entre les acteurs de la filière. Cela est d'autant plus vrai que les produits sont plus périssables et soumis à des aléas. Cette coordination se situe d'abord sur le plan opérationnel pour la gestion des flux de produits et d'information (politiques de commande, raccourcissement des délais entre récolte et mise en rayon…).

Comme le montre (Picchi, 2002) la maîtrise des durées des opérations tout au long des chaînes d'approvisionnement constitue un enjeu majeur dans le secteur des F&L : les temps de chargement/ déchargement des produits, de tri, de conditionnement, d'étiquetage, de stockage affectent en effet fortement la qualité des produits les plus périssables (Zuurbier, 1999). Sur ce plan de la gestion opérationnelle des flux de produits depuis le verger jusqu'aux rayons des magasins, des évolutions importantes ont été opérées au cours des 15 dernières années.

Plusieurs travaux ont porté sur la question de la traçabilité des produits et les dispositifs d'assurance-qualité. La traçabilité des F&L semble désormais assez largement répandue (Glemot, 2000) et les dispositifs du type HACCP et ISO 9000 ont été largement adoptés par le secteur en France (Bouhsina, Codron, and Hernandez-Sanchez, 2002), (Hernandez, Bouhsina, and Codron, 2003), (Hernandez-Sanchez, Bouhsina, and Codron, 2004) Sur la base de données portant sur les organisations de producteurs (en 2002) du sud de la France, ces études montrent que l'HACCP est adopté par près des deux tiers, et l'ISO 9000 par un tiers de ces OP. L'adoption de ces standards génériques est d'abord liée à la réponse stratégique d'assurance-qualité exigée par les clients principaux. Cependant, le développement de procédures plus efficaces de gestion de la qualité devient progressivement l'objectif principal des firmes, qui représentent une grande variété de groupes de producteurs, de coopératives, d'associations, d'alliances commerciales et d'autres formes. Ces auteurs ont analysé les différentes stratégies d'adoption, de champs d'opération et de limites des normes, ainsi que les caractéristiques et transformations des dispositifs d'organisation liés à l'adoption de normes génériques. Ils mettent ainsi en évidence la complémentarité et la synergie entre les deux normes génériques et sur leurs effets à long terme. Il ressort, en outre, que le taux d'exportation, la concentration de la clientèle et le nombre de sites gérés par la firme apparaissent comme les variables qui expliquent le plus la propension à adopter les standards génériques. Les impacts de l'adoption des standards génériques sont très différents selon la forme de gouvernance (expéditeur privé, coopérative, groupement, alliance commerciale) qui régit l'entreprise et selon les structures productives, organisationnelles, et informationnelles qui guident ses activités (taille, nombre de producteurs, nombre de stations, effectif et qualification de la main d'œuvre et des cadres dirigeants…). Toutefois, dans tous les cas de figure, l'adoption des standards génériques implique de profondes réorganisations fonctionnelles (organigramme et relations entre les différentes fonctions) et opérationnelles (approvisionnement, conditionnement, expédition…).

Pour certains auteurs (Bollen, 2005), il existe encore des marges de manœuvre pour améliorer les performances des chaînes d'approvisionnement par une meilleure gestion de la traçabilité et une intensification des échanges d'information entre amont et aval. Une voie peut être ainsi de donner aux producteurs une meilleure information sur les niveaux de qualité mesurés en aval et, à l'inverse, de donner aux opérateurs en aval une meilleure appréciation des niveaux de qualité prévus en amont. Ceci suppose des systèmes informatisés performants permettant de gérer les échanges d'information de façon très détaillée (Silva, Silva, and Salema, 2004).

Une comparaison internationale (Vorst, 2004) portant sur les performances des systèmes de traçabilité et leurs impacts sur l'organisation des chaînes d'approvisionnement va dans le même sens. Cette étude montre que des progrès sont encore possibles en matière de coordination entre acteurs, en particulier à propos de la gestion et du partage des informations. Les schémas de traçabilité différent selon qu'ils sont mis en place de façon individuelle par chaque entreprise de la chaîne d'approvisionnement ou, au contraire, raisonnés en considérant la chaîne dans son ensemble. Le choix des schémas à privilégier repose sur un arbitrage coûts/bénéfices. Les coûts peuvent être liés à la modification des infrastructures et des process, à la mise en place des systèmes d'information ou encore aux efforts de coordination à réaliser. Les bénéfices attendus concernent la diminution des retours ou des pertes et la satisfaction de la demande.

La participation de chaque type d'acteur à cette organisation dépend des gains qu'il peut espérer à son propre niveau. Comme le notent (Gellynck et al., 2005) plusieurs travaux ont examiné les coûts associés à ces démarches de traçabilité et de maîtrise des flux dans les chaînes d'approvisionnement, mais par contre très peu d'études se sont intéressées à la question de leur répartition entre les divers acteurs. Si ces dispositifs deviennent (ou sont devenus) des conditions d'accès au marché, il est probable qu'elles n'induisent cependant pas de rémunération particulière, en particulier pour les producteurs.

- La coordination entre les acteurs des filières F&L peut être de nature stratégique dès lors que des formes d'engagement sont nécessaires pour rendre possibles des investissements et la mise en place de démarches qualitatives plus coûteuses.

En termes très généraux, la relation commerciale entre les fournisseurs de F&L et leurs clients en aval peut relever de deux logiques opposées :
- la première repose sur le fonctionnement de marchés "spots" sur lesquels les demandes et les offres se confrontent à chaque instant ;
- la seconde repose sur des relations plus pérennes, pouvant aller jusqu'à la contractualisation, les contrats spécifiant des engagements mutuels en matière de prix, de quantité ou de qualité des produits échangés.

L'engagement dans des relations contractualisées est déjà ancien dans le secteur des F&L transformés, entre industrie et producteurs. Le recours à des relations plus stabilisées entre producteurs/expéditeurs (ou importateurs) et distributeurs, au moins pour l'approvisionnement de certains segments de marché, s'est développé plus récemment dans le secteur des F&L frais. (Brousseau and Codron, 1998), (de Fontguyon et al., 2002), (de Fontguyon et al., 2003; Van Kooten and Schepers, 2006). De ce fait, la part des quantités échangées directement entre groupements de producteurs/expéditeurs et distributeurs, et donc en dehors de marchés spots, s'est considérablement accrue, les opérateurs cherchant à trouver les bonnes complémentarités entre l'achat sur les marchés spots et l'engagement contractuel.

Comme le note (Shelford, 2004)en s'appuyant sur le cas américain, les types de contrats privilégiés par les opérateurs dépendent des secteurs concernés. Dans le cas de produits à forte valeur ajoutée (et donc qui impliquent des investissements et/ou des coûts de production plus élevés) ou dans le cas de produits de commodité (bananes, citrons, oranges…), pour lesquels il y a peu d'incertitudes quant aux quantités produites ou commercialisées, les contrats de long terme sont généralement privilégiés. Ils permettent de réduire les coûts de transaction (on négocie seulement périodiquement les clauses contractuelles) et peuvent concerner des dispositions liées aux modalités de stockage, aux actions promotionnelles, aux modalités de mise en rayon… Dans le cas de produits soumis à de fortes incertitudes (fruits saisonniers, à forte périssabilité…), les contrats privilégiés sont plutôt de court terme (3 semaines à 3 mois) et n'ont généralement pas de valeur juridique. Ils sont fréquemment soumis à des renégociations lors de la survenue d'évènements imprévus.

Ce développement des démarches contractuelles soulève plusieurs questions :
- Plus la part de contrats est importante sur un marché, plus les fluctuations des cours sur la fraction de l'offre non contractualisée sont fortes (Shelford, 2004).
- Plus l'offre non contractualisée est soumise à de fortes fluctuations des cours, plus les contrats sont difficiles à tenir. Surgissent alors des problèmes d'engagement qui peuvent rendre difficile la mise en oeuvre de stratégies qualitatives.

Si l'on considère la mise en place de démarches qualitatives coûteuses, la partie (le fournisseur) qui doit investir ou payer *a priori* les surcoûts, peut réclamer des engagements en quantité ou en prix avant de réaliser ces investissements et payer les surcoûts associés à la production d'un produit de qualité plus élevée. Si d'un autre côté, la partie qui achète le produit est elle-même soumise à de fortes incertitudes quant à l'écoulement possible du produit sur le marché final, elle peut être réticente à des engagements trop importants *a priori*.

Ainsi, pour chaque acteur, une plus grande coordination présente des aspects négatifs et positifs entre lesquels il doit arbitrer. D'un côté, plus de coordination permet une meilleure maîtrise des flux (préservation des caractéristiques du produit, diminution des pertes…) et rend possibles des efforts qualitatifs. D'un autre côté, cette coordination, qui suppose des coûts de mise en place, réduit la flexibilité et la possibilité de changer rapidement de fournisseur ou de client. La résolution de cette tension passe par une plus forte intégration verticale associée à la création de marques (Raynaud, Sauvee, and Valceschini, 2005) Le développement des marques de distributeurs en fruits et légumes répond très directement à cet enjeu puisqu'elles combinent des exigences renforcées *via* un cahier des charges de production et un mode de tarification qui vise à réduire les risques de désengagement. La réputation de la marque étant directement en jeu, les dispositifs privilégient de forts niveaux d'intégration verticale, permettant un contrôle des approvisionnements sur toute la chaîne d'approvisionnement.

L'évolution de l'offre de F&L en grande distribution soulève également des questions quant à l'organisation de ce rayon en magasins et son rôle dans la stratégie d'ensemble de enseignes. La façon dont le linéaire est organisé affecte non seulement les performances commerciales des magasins mais aussi, par contrecoup, les commandes en direction des fournisseurs. Un petit nombre de travaux porte sur ce point (Chabaud and Codron, 2005).

- La possibilité de capter la valeur associée à une démarche qualitative dépend fortement de la capacité à apparaître aux yeux des consommateurs comme le "créateur" et le garant de la qualité qui lui est promise. C'est là le rôle des marques.

Il existe un certain nombre de marques mises en place par des entreprises de l'amont sur certains produits (tomates) qui reposent généralement sur des innovations variétales (Pink Lady, tomates grappes..). Mais de façon générale, ces marques sont peu nombreuses dans le secteur des F&L frais. Les coûts commerciaux pour la création de marques sont en effet très élevés et difficilement accessibles à des entreprises dès lors qu'elles restent atomisées. De la même façon, l'utilisation de Signes Officiels de Qualité reste peu répandue (Hassan and Simioni, 2004); (Vernin and Paganini, 2006).

En revanche, comme nous l'avons déjà souligné, on a assisté au cours des dernières années dans de nombreux pays à une influence grandissante des standards et cahiers des charges imposés par les distributeurs et au développement de marques de distributeurs dans le secteur des produits agricoles frais, en particulier les F&L (Codron, Giraud-Heraud, and Soler, 2005), (Codron, Giraud-Heraud, and Soler, 2005b), (Codron et al., 2005) La réorganisation des chaînes d'approvisionnement, sous l'initiative des distributeurs, pour alimenter ces segments de MDD a été décrite dans de nombreux articles. Ces travaux montrent que les distributeurs ont mis en place, à partir de la fin des années 90, des marques visant à apporter à un consommateur, de plus en plus exigeant, des garanties de qualité sanitaire et commerciale supérieures à celles fournies par le standard public. Le développement de ces marques est plus fort en Europe (en France et au Royaume-Uni en particulier) qu'aux Etats-Unis. Il conduit le distributeur à s'impliquer dans la définition et le contrôle de normes en production et à resserrer ses liens avec les fournisseurs. Ces démarches dites "de filière", qui diffèrent selon les caractéristiques des produits, sont présentes désormais pour les approvisionnements de la grande distribution française en viande bovine et en fruits et légumes.

Pour bénéficier de rendements d'échelle, ces marques concernent l'ensemble du rayon fruits et légumes (voir plus dans certains cas) et sont basées sur la définition par le distributeur de standards de certification d'un niveau qui peut être plus élevé que les standards minimum requis. Cette politique de la distribution vise à renforcer la fidélité des consommateurs et est un élément majeur de la concurrence que se livrent les distributeurs entre eux.[3] C'est également un outil qui permet aux distributeurs de segmenter leur marché en proposant une gamme de produits à des prix différents et avec des niveaux de garantie différents.

[3] On attribue en général deux rôles majeurs aux marques de distributeurs : un rôle dans la négociation avec l'amont et un rôle dans la concurrence entre distributeurs. Dans le cas des fruits et légumes, l'argument de négociation ne s'applique pas car les producteurs amont sont atomisés et n'ont pas développés d'outils (les marques) leur permettant de créer un rapport de force avec l'aval.

- Dans le cas des F&L, la segmentation croissante du marché est un trait majeur des évolutions des 10 dernières années. Sur la base de caractéristiques qualitatives (sanitaires, gustatives, environnementales ou d'usage), elle est un des principaux moteurs des évolutions conduites dans la période récente, tant au niveau du marché final que dans l'organisation des filières. En l'absence de signes de qualité portés par les producteurs et dans un contexte de faible différenciation des produits, les distributeurs se sont mis en position de leader dans la réorganisation du marché. Les stratégies de différenciation ont été largement associées à la création de MDD.

De nombreux travaux ont étudié, de façon empirique ou théorique, les modalités d'organisation des chaînes d'approvisionnement dans ce cadre de relations producteurs/distributeurs, de façon théorique ou appliquée au secteur des F&L (Hingley, 2000), (Hobbs and Young, 1999), (Codron, Giraud-Heraud, and Soler, 2005a), (Codron, Giraud-Heraud, and Soler, 2005b), (de Fontguyon et al., 2003), (Bazoche, Giraud-Heraud, and Soler, 2005),.(Giraud-Heraud, Rouached, and Soler, 2006). Ces travaux permettent de mettre en avant quelques points importants (cf. encadré 4-3) :

- Producteurs et distributeurs peuvent avoir intérêt à coopérer pour mettre en place cette segmentation du marché. Cette coopération est incontournable (et profitable), comme nous l'avons vu plus haut, pour la mise en place de stratégies visant à approvisionner des segments de produits de qualité différenciée (qui supposent des surcoûts et/ou des investissements).
- Les consommateurs peuvent y trouver un bénéfice, dans la mesure où la segmentation du marché permet de mieux tenir compte de la variété de leurs préférences et de leurs dispositions à payer.
- La segmentation du marché n'est cependant pas nécessairement un levier de croissance de la consommation et a pour principal objectif de mieux tirer partie des dispositions à payer des consommateurs les plus demandeurs de qualité. En théorie, elle permet d'accroître la valeur dégagée et captée par les entreprises en rendant possible une augmentation du prix moyen sans diminution des quantités vendues. Elle permet, ainsi, ce que l'on nomme une discrimination des consommateurs.

Aucune recherche économétrique n'a été conduite, à notre connaissance, pour évaluer ces éléments sur des données réelles. On peut, néanmoins, remarquer que la segmentation de certains marchés, comme celui de la pomme, n'a apparemment pas conduit à un accroissement sensible des niveaux de consommation. Elle a cependant été accompagnée, en moyenne sur plusieurs années, d'une relative hausse des prix (avec un maximum en 2004 puis une baisse ensuite). Il est possible, mais ce serait à vérifier sur la base de travaux économétriques étayés, que la segmentation ait alors accru les niveaux de demande de façon telle que la consommation reste stable malgré une augmentation des prix. Cette hypothèse devrait être étudiée dans des travaux futurs.

- En influant sur le niveau de qualité minimum ou de prix d'un segment, les pouvoirs publics influencent la segmentation du marché et le positionnement qualité/prix de l'ensemble de l'offre.

Les démarches de qualité relèvent prioritairement des stratégies privées. Cela étant, les pouvoirs publics peuvent influencer les décisions privées à travers la définition des standards de qualité minimum. Celle-ci peut porter sur des critères techniques (calibres des produits de base, par exemple, ou teneur en sucre minimal, couleur…) ou concerner la qualité sanitaire (voir section suivante). En fixant un certain niveau d'exigence minimale, les pouvoirs publics cherchent à donner des garanties plus importantes aux consommateurs, mais ces décisions affectent nécessairement les prix et les caractéristiques qualitatives du produit générique, par rapport auquel les entreprises raisonnent la segmentation du marché. En relevant le niveau de qualité minimum du produit générique, les pouvoirs publics peuvent favoriser une augmentation de la demande (ce qui peut augmenter les gains de la filière) mais aussi une augmentation du coût de production du produit standard (ce qui peut réduire les gains des producteurs et augmenter les prix de détail). En même temps, ils réduisent les marges de manœuvre en matière de segmentation du marché (plus la qualité du produit générique est élevée, plus la création d'un segment différencié devient coûteuse). Dans ce cadre, un trop faible standard de qualité minimum donne des garanties insuffisantes aux consommateurs, mais limite les coûts de production des producteurs et rend possibles des stratégies de différenciation qualitative de la part des opérateurs privés ; un niveau plus élevé du standard de qualité minimum augmente les garanties données à tous les consommateurs, mais accroît les coûts et limite en même temps les marges de manœuvre en matière de segmentation du marché et de différenciation des produits.

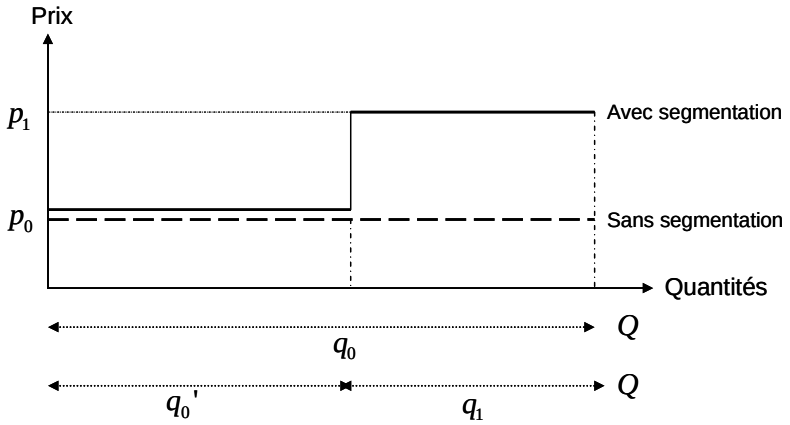
Ce débat explicité dans plusieurs publications.(Carman, Cook, and Sexton, 2004) en s'appuyant sur le cas américain, souligne qu'une meilleure maîtrise de la qualité, grâce à un relèvement des Standards de qualité minimum (garantissant, par exemple, une maturité suffisante des produits) peut améliorer l'offre aux consommateurs. Mais ce relèvement peut induire une demande plus forte, mais aussi une restriction de l'offre et un accroissement des prix (Gardner, 2003). Le même débat s'est posé lors de la définition de "l'agriculture raisonnée". Des enquêtes réalisées en France auprès de distributeurs montraient la variété des positions selon les enseignes, mais aussi le souhait que l'encadrement de l'agriculture raisonnée laisse place aussi aux initiatives privées de différenciation (Codron, Sterns, and Vernin, 2002a), (Codron, Sterns, and Vernin, 2002b). Des travaux de nature plus théorique ont porté sur ce débat (Giraud-Heraud, Rouached, and Soler, 2006) et (Bazoche, Giraud-Heraud, and Soler, 2005). Ils montrent que, sous réserve de garantir quand même les niveaux requis de sécurité sanitaire, les pouvoirs publics n'ont pas toujours intérêt à trop relever les standards de qualité minimum, sous peine de ne pas tirer parti des effets positifs de la segmentation du marché. En outre, un accroissement des exigences publiques, en visant à améliorer la qualité (et la sécurité) du produit standard, affecte l'ensemble de l'offre et peut se traduire par une réduction des quantités totales vendues (Encadré 4-3).

**Encadré 4-3. Quels sont les effets de la segmentation du marché ?**

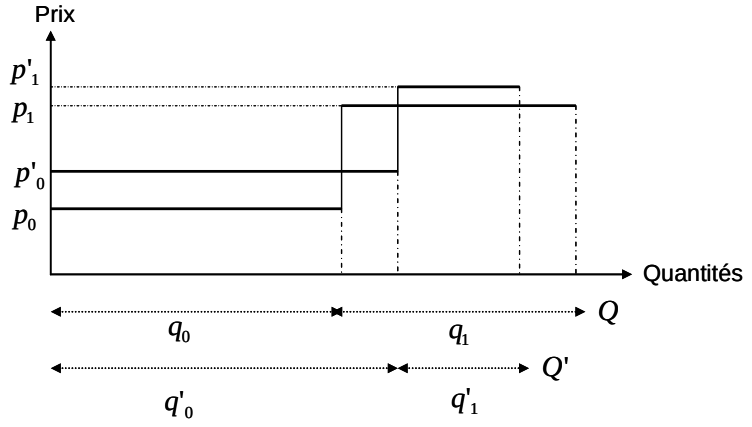
Pour exprimer de façon simple les impacts de la segmentation du marché, on peut s'appuyer sur le cadre d'analyse proposé dans (Giraud-Heraud, Rouached, and Soler, 2006) et (Hassan, Ossard, and Réquillart, 2000). On peut ainsi prendre simplement l'exemple d'un monopole et comparer ses décisions dans deux situations différentes :
- On suppose, tout d'abord, que cette entreprise met en marché un seul produit de qualité standard qui respecte strictement la qualité minimum imposée par la réglementation. On suppose que ce produit est issu d'un marché spot générique. Le choix du prix et de la quantité vendue vise à maximiser le profit de cette entreprise.
- Puis on suppose que ce monopole segmente son marché et commercialise deux produits différenciés, à savoir, d'une part le produit de qualité standard, d'autre part, un autre produit qui répond à des exigences plus élevées sur le plan qualitatif. Le produit générique est toujours issu d'un marché spot générique et le produit différencié est approvisionné, sur la base d'un contrat, par des producteurs appliquant un cahier des charges défini par l'entreprise. Le choix des prix, des quantités vendues, ainsi que le choix de la qualité du produit différencié sont réalisés par l'entreprise dans l'objectif de maximiser son profit.

A niveau de qualité du produit générique donné, si l'on compare la situation avec un seul produit et celle avec deux segments, il apparaît que la segmentation (vente des deux produits) se traduit par (cf. graphique ci-dessous qui illustre les cas avec et sans segmentation) :
- une diminution de la quantité de produit générique commercialisée (passage de $q_0$ à $q_0'$), sans modification de son prix de vente ($p_0$) ;
- la vente du produit différencié (en quantité $q_1$) à un prix supérieur à celui du produit générique ($p_1$) ;
- des quantités totales vendues identiques pour un prix moyen plus élevé ($Q$).

Ainsi, la segmentation du marché n'est pas nécessairement un levier de croissance de la consommation et peut avoir pour principal objectif de mieux tirer parti des dispositions à payer des consommateurs les plus demandeurs de qualité. Elle permet, de ce fait, d'accroître la valeur dégagée et captée par les entreprises en rendant possible une augmentation du prix moyen sans diminution des quantités vendues.



Si maintenant on suppose que les pouvoirs publics imposent des contraintes plus fortes sur le produit standard (par exemple pour des raisons de sécurité comme nous le verrons dans la section suivante), le positionnement en qualité/prix de tous les produits est modifié. Compte tenu de la croissance des coûts de production liée au renforcement des contraintes réglementaires, le prix du produit standard augmente (passage de $p_0$ à $p_0$'). Le positionnement en qualité et prix du segment différencié est également modifié (cf. graphique ci-dessous) : tous deux augmentent (passage de $p_1$ à $p_1$'), ce qui entraîne une baisse des quantités commercialisées du produit de qualité plus élevée (passage de $q_1$ à $q_1$'), une augmentation des quantités écoulées du produit standard (passage de $q_0$ à $q_0$') et finalement une baisse des quantités totales commercialisées (passage de $Q$ à $Q$').




A travers cette analyse simple, on montre que l'intervention (publique ou privée) qui vise à améliorer la qualité (et la sécurité) du produit standard affecte l'ensemble de l'offre et peut se traduire par une réduction des quantités totales vendues.

## 4.3. Interventions publiques et privées pour la sécurité sanitaire des fruits et légumes

Jean-Marie Codron, Zouhair Bouhsina

Les enjeux soulevés par les questions sanitaires dans le secteur des F&L conduisent à soulever plusieurs questions : quels sont les déterminants des niveaux de qualité sanitaire observés ? Quels sont les coûts des interventions visant à accroître la sécurité sanitaire des F&L et quels bénéfices en retirent les acteurs privés ? Quelle est l'efficacité globale des dispositifs publics ou privés mis en place et quels en sont les impacts sur la santé humaine, sur le marché et sur les filières ?

Le faible nombre de références recensées dans la littérature économique ne permet de répondre à ces questions que très partiellement. Cette faiblesse est encore plus marquée si l'on ne prend en compte que les papiers traitant explicitement de la contamination chimique dans les fruits et légumes (problème dominant dans la filière européenne actuellement). Une grande partie de la littérature est en effet axée sur la question des pathogènes, à la fois parce que le problème des pathogènes a été considéré jusqu'ici, et à juste titre, comme le principal problème de santé publique dans les secteurs de produits frais (viande, volaille, poisson, charcuterie, etc.) et parce que, dans les pays anglo-saxons, on consomme davantage de fruits et légumes transformés (conserves, jus, 4$^{ème}$ gamme) qu'en France. On trouve de ce fait relativement peu de littérature économique spécifique sur le problème des pesticides dans les fruits et légumes.

### 4.3.1. Démarches obligatoires *vs* volontaires, individuelles *vs* collectives

On observe depuis une dizaine d'années un durcissement de la réglementation (nationale et européenne) et un accroissement des exigences commerciales en matière de qualité sanitaire. Les changements réglementaires ou législatifs ont été décrits pour la France et l'Union Européenne mais aussi et surtout pour les pays anglophones qui ont inspiré l'essentiel de la littérature. Les recherches économiques de ces dix dernières années ont donc pour contexte ces changements législatifs et réglementaires. Elles ont pour cadre le cadre national, y compris dans l'Union Européenne, où le principe de souveraineté nationale continue à exister pour de nombreuses règles sanitaires et notamment pour celles de la partie "contrôle et sanction".

Les mécanismes qui permettent aux entreprises de se conformer à la norme publique ou de mettre en œuvre des normes privées plus contraignantes relèvent de la stratégie d'entreprise, individuelle ou collective. Ce sont des démarches que l'on peut qualifier de volontaires dans la mesure où elles ne sont pas imposées par les pouvoirs publics mais constituent un certain nombre de possibilités de s'adapter à la norme publique. Lorsque ces démarches sont motivées par la volonté de se conformer à des normes privées, elles peuvent acquérir un statut de démarche quasiment obligatoire lorsque l'application de la norme privée est une condition d'accès à certains marchés (le cas de la norme EUREPGAP imposée par une moitié des distributeurs européens).

On distingue parmi ces stratégies d'adaptation, celles qui sont visibles au consommateur, qui prennent la forme de labels (marques privées, signes officiels de qualité) et celles qui ne sont visibles que pour les acteurs de la filière (elles se traduisent le plus souvent par des marques commerciales mais ces marques ne sont pas visibles au consommateur).

Le support de ces stratégies est généralement un cahier des charges ou un référentiel dont l'initiateur (ou le propriétaire) peut être un collectif de producteurs (Charte Nationale Tomate), un distributeur (cahier des charges FQC) ou un collectif de distributeurs (EUREPGAP), un ou des fournisseurs d'intrants (référentiel ECPA), un certificateur, un organisme international (ISO) ou l'Etat (démarche HACCP, Agriculture Raisonnée). Le contrôle de l'application de tels référentiels peut être un auto-contrôle (first-party control), un contrôle du groupe professionnel (second-party control) ou de plus en

plus, un contrôle par un certificateur indépendant (third-party control), ce qui est une souvent une meilleure garantie pour le consommateur. Dans quelques cas émergents, le contrôle est effectué par des organisations de consommateurs ou de citoyens (fourth- party control). Lorsque le contrôle de la norme n'est pas externalisé (first party control), il peut s'effectuer dans le cadre d'un contrat.

En fait, c'est surtout dans les relations internes aux filières entre fournisseurs et distributeurs ("B to B") que les stratégies de signalisation sont les plus fréquentes (Codron, Giraud-Heraud, and Soler, 2005), (Bignebat and Codron, 2006). Ces stratégies sont permises par la mise en place de systèmes de management de la qualité sanitaire, notamment lorsqu'ils font l'objet d'une certification (ils deviennent alors des systèmes d'assurance qualité) (Holleran, Bredahl, and Zaibet, 1999). L'adoption de ces systèmes est basé sur le volontariat (on parle de démarches volontaires par opposition aux normes imposées par la réglementation (Woods et al., 2003).

Les systèmes de management de la qualité sanitaire ont été décrits dans leur variété et selon qu'ils étaient mis en œuvre au niveau de la production (Farm Assurance Schemes, Référentiels de Bonnes Pratiques Agricoles, de Production Intégrée) (Hubbell and Carlson, 1998), (Holleran, Bredahl, and Zaibet, 1999), (Compes Lopez, 2002), (Codron, Sterns, and Reardon, 2003)), dans les stations de conditionnement ou dans la filière (traçabilité, systèmes d'information, systèmes de contrôle des résidus) (Bouhsina, Codron, and Hernandez-Sanchez, 2002), (Weatherspoon, Allen, and Reardon, 2002), (Khurana, 2003; Liu et al., 2004), (Silva, Silva, and Salema, 2004). Par exemple, (Wiegand, Sessler, and Becker, 2005) montrent en comparant les mécanismes de 5 pays européens, que les systèmes de production intégrée sont souvent plus élaborés au niveau des exigences agronomiques tandis que les systèmes de gestion de la qualité sont plus en pointe sur les procédures de contrôle.

Les déterminants de ces démarches ont été également étudiés. Ils se situent au niveau du marché (préférence des consommateurs, exigences accrues des distributeurs, intensification des techniques de production, etc.) et des politiques publiques (développement des mesures incitatives de type Programmes Opérationnels, renforcement de la réglementation en matière d'utilisation de pesticides) (Aubertot et al., 2005; Codron et al., 2003) On peut citer notamment (Batt, 2006) qui montre comment les fournisseurs de la grande distribution britannique ont été conduits depuis le Food Safety Act à mettre en place des systèmes d'assurance qualité et de traçabilité pour ne pas être exclus des marchés dominants. Et celui de (Weatherspoon, Allen, and Reardon, 2002)) qui montre comment l'objectif de qualité sanitaire joue un rôle dans le choix du système d'approvisionnement de la grande distribution pour les produits importés.

### 4.3.2. Modalités et déterminants de la régulation

L'intervention d'un régulateur public est nécessaire lorsque un bien public est mis en jeu, ici la qualité sanitaire des fruits et légumes qui a des impacts sur la santé humaine des consommateurs. Elle peut se faire de façon directe (législation sur les produits) ou indirecte (responsabilisation des acteurs).

Jusqu'au début des années 90, le régulateur public avait l'habitude d'intervenir seul, sans l'aide du privé. Il intervenait en premier lieu pour la définition des normes d'objectifs à atteindre et de moyens/procédures à utiliser pour atteindre ces objectifs. Il intervenait également pour le suivi et le contrôle de ces normes. Avec le resserrement des budgets publics et les nouvelles obligations réglementaires, le développement des crises et la plus grande sensibilité des consommateurs et des citoyens, d'autres acteurs sont intervenus progressivement dans la régulation, aux côtés de l'Etat. Ils interviennent dans chacun des quatre domaines suivants : la définition des normes d'objectifs et des normes de moyens, le suivi et le contrôle des normes. Mais ce sont dans ces deux derniers domaines (suivi et contrôle) qui ont été les plus investis par les acteurs privés (Garcia Martinez et al., 2007). On utilise dans la littérature anglo-saxonne, le terme de "co-régulation" pour désigner ces formes d'intervention conjointes du privé et de l'Etat.

Les premiers papiers attirant l'attention sur l'implication du privé dans les dispositifs de contrôle datent du début des années 90, en fait de la mise en place au Royaume Uni en 1992 du Food Safety Act qui accroît la responsabilité pénale du distributeur et l'incite fortement à organiser sa filière

d'approvisionnement pour contrôler la qualité sanitaire (Hobbs and Kerr, 1992). Le constat est fait d'une imbrication croissante des dispositifs de contrôle publics et privés et de la nécessité d'endogénéiser l'action des pouvoirs publics dans l'analyse des dispositifs privés de contrôle sanitaire (Henson, Loader, and Traill, 1995). Un numéro spécial de la revue Food Policy (Henson and Caswell, 1999) consacre l'importance du thème de l'implication du privé dans la régulation de la sécurité sanitaire et aborde notamment le thème des raisons de l'implication du privé dans ces stratégies de contrôle et celui de la variété des dispositifs publics et privés de contrôle sanitaire.

Les raisons d'une implication croissante du privé, invoquées dans les papiers de ce numéro spécial et dans des papiers ultérieurs sont notamment l'obligation réglementaire d'auto-contrôle et de traçabilité, le changement de régime de responsabilité, l'insuffisance des contrôles publics (Garcia Martinez et al., 2007), la capacité de la grande distribution à faire respecter des règles de qualité sanitaire (et notamment ses propres standards) (Havinga, 2006) et les raisons d'ordre organisationnel - meilleure gestion de la qualité -, d'ordre commercial - rappels de produits - (Henson and Hooker, 2001) ou d'ordre économique - rentabilité, positionnement stratégique sur les marchés, expansion des parts de marché - (Loader and Hobbs, 1999); (Eckes, 2003); (Gorny, 2005)).

Les déterminants des modalités ou du degré d'implication du privé dans le contrôle sanitaire apparaissent lorsque l'on compare les systèmes de contrôle entre pays (Bignebat and Codron, 2006)) ou entre secteurs (Dimitri, 2003) ; (Mollard et al., 2003) ; (Codron, Giraud-Heraud, and Soler, 2005). Ainsi, lorsque l'on compare la France et le Royaume Uni qui diffèrent radicalement par leur régime de responsabilité, on constate qu'en France où la responsabilité est celle du premier metteur en marché, l'implication est particulièrement forte du côté des producteurs et des importateurs, alors qu'au Royaume Uni où la responsabilité pénale est celle du dernier metteur en marché, les acteurs les plus impliqués sont les distributeurs. Lorsque l'on compare les secteurs et notamment la viande et les fruits et légumes, on constate que l'implication des acteurs privés est d'autant plus forte que le contrôle public se fait moins présent, ou ce qui est souvent corrélé, que les impacts sur la santé humaine sont objectivement ou politiquement moins sensibles.

Avec les nouvelles lois rendant l'autocontrôle obligatoire, les opérateurs des filières (producteurs, négociants, distributeurs) ont exploré des formes de contrôle collectif au delà des autocontrôles individuels. Ces formes collectives s'avèrent particulièrement intéressantes compte tenu de la nature générique des produits, de l'impossibilité de mettre en place des marques individuelles qui pourraient signaler au consommateur une qualité sanitaire plus élevée et des biens de réputation collectifs mis en jeu par la qualité sanitaire des fruits et légumes (Codron, Sterns, and Reardon, 2003)

Plusieurs types de démarches collectives ont vu le jour :

- des démarches purement volontaires, sans intervention de l'Etat, celui-ci gardant bien entendu son rôle de contrôle ultime (exemple des analyses de résidus mises en place par certaines filières),
- des démarches négociées avec l'Etat (exemple des conventions d'importateurs de Perpignan et de Rungis),
- des démarches non obligatoires, définies par l'Etat et pouvant être adoptées par les opérateurs des filières (exemple de l'Agriculture Raisonnée en France).

Dans ce nouveau contexte, on voit le privé s'investir non seulement dans le contrôle mais également dans la définition de normes ou de standards de qualité sanitaire. Ces normes privées incluent bien entendu les normes publiques. Elles prennent le plus souvent la forme de référentiels de Bonnes Pratiques Agricoles en ce qui concerne les contaminations chimiques en production (Codron et al., 2003); (Wiegand, Sessler, and Becker, 2005)) ou de Bonnes Pratiques Hygiéniques en ce qui concerne les contaminations microbiennes dans les stations de conditionnement. Elles sont le fait de producteurs organisés (Charte Tomate…) et surtout de distributeurs organisés (EUREPGAP, BRC, IFS…), capables grâce à leur position de force dans la filière, de faire respecter à moindre coût une certaine discipline en matière de qualité sanitaire (Havinga, 2006). Les initiatives liées à de telles normes privées peuvent être considérées comme des stratégies (collectives) privées d'adaptation au changement réglementaire. Elles sont assimilées à de la régulation privée dans la mesure où elles contribuent significativement, aux côtés des interventions publiques ou publiques/privées à produire le bien public "qualité sanitaire".

A cette implication des opérateurs de la filière, il convient enfin d'ajouter l'implication des associations de consommateurs ou de citoyens qui se saisissent progressivement de la question de la définition et du contrôle (Havinga, 2006) ;(Bignebat and Codron, 2006).

### 4.3.3. Impacts et efficacité des dispositifs de régulation

***. Impacts sur les coûts/bénéfices***

La littérature étudiant les coûts et les bénéfices de la régulation ou comparant l'efficacité de plusieurs types de régulation est peu développée. Les modèles sont rares et les analyses sont presque uniquement de type qualitatif, rarement fondées sur des données quantitatives.

On ne trouve pas grand chose en revanche sur les coûts de mise en place des mécanismes et sur l'efficience productive. Constatant ce déficit de littérature, (Antle, 1999) propose des principes généraux et une méthodologie pour évaluer ces coûts. L'auteur distingue essentiellement les coûts de mise à la norme et les coûts de contrôle de la norme. Les variables proposées sont les variations dans le stock de capital, les effets sur l'efficacité du processus de production et les coûts fixes et variables associés au contrôle de qualité et non intégrés au processus de production.

La littérature sur la question de l'efficacité des stratégies individuelles est principalement de type qualitatif. Citons cependant trois papiers de type quantitatif. Un premier papier, basé sur les données de résidus de pesticides de l'Etat de Floride, montre la plus grande efficacité en termes de niveau de qualité sanitaire (moindre taux de résidus) obtenue par les systèmes verticalement intégrés par rapport aux systèmes non intégrés (Kilmer and Stevens, 2002). (Zhou, Chen, and Xu, 2003) montre quant à lui, que les systèmes intégrés peuvent rester compétitifs malgré des prix de revient plus élevés. Enfin un troisième papier étudie les critères de choix des produits phytosanitaires par les producteurs de pom-mes aux USA. Sur la base d'un modèle dit de sélection des insecticides et à l'aide de données récol-tées auprès d'organismes américains, les auteurs montrent que le choix des produits dépend d'abord de leur efficacité technique et de leur impact sur la santé des utilisateurs (Hubbell and Carlson, 1998).

Par ailleurs, sans chercher à quantifier, certains travaux ont mis l'accent sur la diminution des coûts de transaction favorisée par l'adoption de systèmes d'assurance de la qualité sanitaire (identification des fournisseurs, négociation des contrats, contrôle) (Holleran, Bredahl, and Zaibet, 1999). De même, analysant les relations entre les distributeurs portugais et leurs fournisseurs de fruits et légumes et les flux d'information nécessaires à une stratégie globale de qualité, des auteurs proposent un système économe de gestion des données relatives à la qualité (notamment sanitaire) qui ne renchérit pas le coût des produits (Silva, Silva, and Salema, 2004).

Dans le domaine de la certification publique qui concerne relativement peu le secteur des fruits et légumes (les seuls exemples français pour la qualité sanitaire sont les produits bio et l'Agriculture Raisonnée), un papier analytique (Crespi and Marette, 2001) pose la question du financement de la certification publique au regard de son efficacité sociale. Il distingue trois types de financement (forfaitaire, proportionnel ou prélevé sur budget public) et deux structures de coûts (coûts fixes ou coûts proportionnels). Il conclut à la supériorité d'un financement proportionnel lorsque le secteur à certifier est concurrentiel.

Dans le domaine de la contamination microbienne non spécifique au secteur des fruits et légumes, la littérature s'est beaucoup intéressée à la démarche HACCP et à l'intérêt pour les pouvoirs publics de substituer une telle démarche à une démarche plus traditionnelle de type "command and control". Cette littérature conclut à l'efficacité supérieure de la démarche HACCP qui économise sur les coûts de monitoring en procédant à une analyse de risques et en focalisant les moyens de contrôle sur les points les plus vulnérables (Buzby and Crutchfield, 1999); (Unnevehr and Jensen, 1999). Elle s'interroge ensuite sur l'intérêt de rendre une telle démarche obligatoire dans des secteurs comme les fruits et légumes où la démarche HACCP est dans la plupart des pays adoptée de façon volontaire (contrairement à des secteurs plus exposés comme la viande, la charcuterie ou le poisson où les

pouvoirs publics ont rendu la démarche obligatoire). La réflexion reste en la matière très exploratoire, de type qualitatif et ne conclut pas sur l'opportunité de rendre obligatoire une telle démarche dans le secteur des fruits et légumes compte tenu du faible risque de contamination microbienne. Du côté des distributeurs par contre, la démarche HACCP est devenue quasi-obligatoire dans les stations de conditionnement. Elle est en effet une des composantes du référentiel BRC exigé par une majorité des distributeurs d'Europe du Nord. Il est intéressant de noter en revanche que cette exigence des distributeurs n'existe pas pour la production. L'inclusion de HACCP dans le référentiel EUREPGAP a fait débat au sein des propriétaires de ce référentiel de Bonnes Pratiques Agricoles mais a été écartée compte tenu du coût de la démarche et des faibles risques impliqués.

Dans le domaine de la contamination chimique qui nous intéresse plus particulièrement pour les fruits et légumes, les travaux analytiques se font plus rares. Citons cependant les travaux sur les distributeurs et leur rôle dans la régulation privée. Ils concernent à la fois la régulation privée par les distributeurs et la co-régulation. Les travaux du premier type montrent la place importante des démarches de qualité sanitaire de la grande distribution dans la régulation privée. Elles soulignent le rôle d'aiguillon que joue la responsabilité commerciale des distributeurs. Cette responsabilité commerciale est collective, compte tenu du caractère générique des fruits et légumes et de l'absence de marques fortes visibles au consommateur. Elle est au moins aussi déterminante que la responsabilité pénale que supportent les distributeurs dans les pays tels que le Royaume Uni où le régime de responsabilité est celui du dernier metteur en marché (en France, la responsabilité pénale est celle du premier metteur en marché et ne concerne de ce fait pratiquement pas les distributeurs). Dans les pays où les consommateurs sont organisés pour exiger et contrôler la qualité sanitaire, la menace commerciale peut peser individuellement sur les distributeurs en fonction des résultats des analyses produits par les Associations de Consommateurs. Ces différences d'environnement institutionnel conjuguées aux différences d'appréciation du risque commercial contribuent à expliquer les différences de stratégies (individuelles vs collectives comme EUREPGAP) et d'exigences sanitaires vis à vis de leurs fournisseurs, des distributeurs européens (Codron, Farès, and Rouvière, 2007); (Codron, Farès, and Rouvière, 2006); (Bignebat and Codron, 2006).

Les travaux analytiques sur la co-régulation concernent notamment les conventions d'autocontrôle des importateurs français négociées avec les pouvoirs publics (Codron, Farès, and Rouvière, 2006); (Codron, Farès, and Rouvière, 2007); (Giraud-Heraud, Hammoudi, and Soler, 2005), (Bignebat and Codron, 2006); (Ponsoda and Glemot, 2005). L'analyse est fondée sur les travaux théoriques appliqués aux démarches volontaires collectives dans le domaine de l'environnement. Elle explore, dans le domaine de la contamination chimique des aliments, les conditions de la stabilité des conventions entre importateurs et la DGCCRF et conclut à l'insuffisance des incitations publiques pour stabiliser les conventions. Des hypothèses sont formulées quant au rôle décisif que pourraient jouer les incitations privées que transmettent les distributeurs à leurs fournisseurs de fruits et légumes importés. Ces hypothèses sont en adéquation avec les travaux ci-dessus qui montrent que la responsabilité commerciale des distributeurs joue un rôle au moins aussi important que la responsabilité pénale.

***. Impacts sur l'organisation des filières et les rapports de force amont-aval***

Sont généralement considérées comme externalités sur la filière, la concentration des structures, l'efficience du canal transactionnel par diminution des coûts de transaction (coûts de sélection adverse, coûts de monitoring, coûts de renforcement) et la répartition de la valeur ou le partage de la rente entre les acteurs de la filière. Les externalités sur le marché sont notamment les prix au consommateur, les volumes consommés et le degré de couverture du marché national par les produits importés.

La littérature reste relativement peu loquace sur les impacts des stratégies privées et des régulations publiques ou privées sur la structuration de la filière. Lorsqu'ils sont abordés, ces aspects le sont d'abord à travers les impacts sur les relations entre les acteurs de la filière. Utilisant des statistiques comparatives, un papier de (Woods et al., 2003) montre ainsi comment se structure le marché des fraises en Amérique du Nord entre grandes et petites exploitations, selon que les démarches de qualité sanitaire sont volontaires ou imposées par la grande distribution, certification par un tiers à l'appui.

D’autres papiers ont cherché à modéliser les relations verticales entre producteurs et distributeurs dans les filières fruits et légumes et viande, pour montrer comment les stratégies de signalisation et de contrôle de la qualité sanitaire conduisent à une segmentation du marché entre produits génériques et produits de labels, et comment cette segmentation influence le niveau des prix ainsi que le partage de la rente entre producteurs et distributeurs (Bazoche, Giraud-Heraud, and Soler, 2005) (Giraud-Heraud, Hammoudi, and Soler, 2005), (Fulponi et al., 2006). montrent que, malgré un objectif affiché d’amélioration du niveau de qualité sanitaire, les démarches de normalisation collective ne contribuent pas forcément au relèvement du niveau de qualité sanitaire. La raison en est l’hétérogénéité des entreprises en ce qui concerne le niveau d’équipement initial. Dans un modèle distinguant un marché de produits soumis à une norme collective détenue par un ensemble de distributeurs (type EUREPGAP) et un marché de produits génériques, ils montrent qu'un standard élevé de distributeurs peut ne susciter l’adhésion que de producteurs initialement bien équipés, les autres producteurs ayant plus intérêt à rester sur le marché du produit générique.

***. Impacts sur le marché et les échanges internationaux***

Il n'y a pas à notre connaissance de travaux quantifiant l'impact des mesures sanitaires sur les prix et les volumes de fruits et légumes consommés. De telles recherches restent à faire et pourraient s'inspirer des travaux conduits suite aux grandes crises sanitaires relatives à la consommation alimentaire des années 90. Il y a en revanche davantage de travaux sur les impacts des mesures sanitaires sur les échanges internationaux de fruits et légumes, et notamment sur les importations en provenance des pays du Sud. La plupart de ces travaux concluent ou font l'hypothèse d'un effet "barrière à l'entrée"des normes et des mécanismes d'assurance mis en place sur les marchés domestiques de l'hémisphère nord.

Les travaux de quantification ont surtout été réalisés pour les échanges entre pays riches. C’est ainsi que plusieurs travaux se sont intéressés aux échanges de pommes entre les USA et le Japon, et ont quantifié, par le biais d’une mesure d’un équivalent tarifaire, l’impact sur les exportations américaines des mesures sanitaires imposées à l’entrée du marché japonais. Parmi les rares travaux de quantification portant sur les pays en développement on peut citer les travaux qui ont mesuré l’impact de l’harmonisation européenne des niveaux autorisés d’aflatoxine sur les exportations des pays africains (notamment de fruits secs et de noisettes). Ainsi, un papier mesure à l’aide d’un modèle gravitaire, le déficit d’exportation entraîné par le relèvement du niveau du standard (Otsuki, Wilson, and Sewadeh, 2001) : sur la base de données portant sur la période 1989-1998 et concernant les exportations vers l’UE de céréales, noix et fruits secs par 9 pays africains, les auteurs montrent qu’un relèvement des standards concernant les aflatoxines et correspondant à une diminution du risque santé équivalent à 1,4 mort pour 1 milliard, entraîne une chute de 64% des exportations africaines.

Pour la plupart des auteurs identifiés, les barrières sanitaires jouent donc de manière importante pour les pays en développement, pays pour lesquels les exportations de fruits et légumes représentent une part non négligeable des exportations agricoles. La mise en place de normes de qualité sanitaire de plus en plus exigeantes par la grande distribution des pays du Nord (Jaffee and Masakure, 2005) entraîne bien souvent des distorsions de concurrence dans les échanges internationaux, les standards de qualité fonctionnant comme de nouvelles barrières à l’entrée sur les marchés solvables (Otsuki, Wilson, and Sewadeh, 2001). Ces distorsions ont été analysées qualitativement dans le cas des fruits et légumes chinois exportés au Japon (Bao and Zhang, 2004) et dans celui des fruits et légumes du Sud méditerranéen vers les distributeurs européens (Garcia Martinez and Poole, 2004)). Elles ont été mesurées dans le cas des exportations africaines de de céréales, fruits secs et noisettes face à l’harmonisation européenne des niveaux autorisés d’aflatoxine (Otsuki, Wilson, and Sewadeh, 2001) Ces travaux soulignent parallèlement l’importance pour ces pays de garantir la qualité sanitaire des produits de manière à pouvoir augmenter les exportations (Zhou, Chen, and Xu, 2003)

### 4.3.4. L'évaluation des politiques publiques

Il n'y a pas de littérature économique sur le choix du niveau minimum par les pouvoirs publics, sans doute en raison de la difficulté à évaluer l'impact sur la santé humaine et par conséquent de la

difficulté à utiliser des critères économiques. Cette absence de littérature reflète la réalité des procédures de décision publique, qui a été jusqu'ici essentiellement basée sur des arguments scientifiques : les évaluations sur la base d'analyses coûts/bénéfices ont commencé récemment et sont encore très insatisfaisantes. Les premiers travaux concernent surtout la contamination microbienne dont les effets sur la santé humaine sont moins difficiles à évaluer en termes économiques que pour la contamination chimique (effets immédiats se traduisant par des pertes de vies ou des arrêts de travail). (Henson et al., 2007) montre l'état (encore très embryonnaire) des réflexions sur les méthodes d'évaluation et de gestion du risque sanitaire et la nécessité d'évaluer plus globalement les politiques publiques.

L'évaluation des politiques sanitaires est récente. Elle consiste à mesurer et comparer les coûts et les bénéfices des interventions publiques en matière de qualité sanitaire. Ce sont les coûts directs de définition et de contrôle supportés par les agences publiques de régulation sanitaire, les bénéfices pour la santé humaine (par exemple, nombre de vies épargnés, diminution des arrêts de travail, réduction des dépenses de santé liées) mais aussi de plus en plus, les coûts et bénéfices pour les secteurs économiques concernés par ces mesures (externalités sur le marché, sur la filière), les impacts sur le consommateur (perceptions de la qualité sanitaire qui conditionnent son intention d'achat-willingness to pay) et sur le politique (popularité des mesures, écho médiatique).

Jusqu'ici la plupart des décisions publiques était basée uniquement sur des considérations politiques et scientifiques. Les premières évaluations obligatoires apparaissent aux Etats Unis avec le Government Performance and Results Act de 1993 qui oblige les agences fédérales à justifier leurs programmes par des indicateurs de performance quantifiables pouvant inclure les analyses coûts bénéfices. Depuis bon nombre de pays ou organisations internationales (Australie, Nouvelle Zélande, Canada, Commission Européenne, FAO/OMS) se sont engagés dans de telles évaluations et cherchent à intégrer les différentes externalités qu'il est souhaitable d'intégrer à un niveau macro-économique au delà des seuls impacts sur la santé humaine: externalités sur le marché et les filières, sur le consommateur et sur le politique (Martinez et al., 2007). Ils n'y parviennent que très partiellement et se heurtent à de nombreuses difficultés de mesure et d'accès aux données (choix des bonnes proxies), de méthode et d'opérationnalisation du cadre d'analyse.

Une réflexion de type programmatique est en cours chez quelques économistes des Etats Unis et du Canada (Martinez et al., 2007) pour proposer un cadre d'analyse et des méthodes permettant d'évaluer et de hiérarchiser les risques sanitaires pour différents types de pathogènes et différents types d'espèces végétales. Leur réflexion est générique et peut s'appliquer théoriquement à d'autres contaminations que la contamination microbienne. Elle peut intéresser non seulement les pouvoirs publics mais aussi les acteurs privés organisés qui proposent des standards de qualité sanitaire d'envergure internationale (GFSI, EUREPGAP, BRC…).

L'exercice est utile et souhaitable d'un point de vue économique et politique. Il est encore dans sa phase initiale et risque d'être long et fastidieux. Construit sur l'exemple des pathogènes, il se heurtera dans le cas des résidus de pesticides, à des difficultés supplémentaires au niveau de l'évaluation des impacts sur la santé humaine, les impacts de résidus de pesticides étant majoritairement des impacts à long terme provenant de sources diffuses (le résidu de pesticide n'est pas la seule cause de cancer…).

La co-régulation devient une solution intéressante pour les pouvoirs publics dans le domaine de la qualité sanitaire. Son efficacité vient de la nature hybride de cette forme de régulation qui possède à la fois la rigueur de la forme traditionnelle de la régulation publique et la flexibilité de la régulation privée (Garcia Martinez et al., 2007) La co-régulation qui se développe surtout dans le domaine du suivi et du contrôle des normes publiques, suppose que soient remplies un certain nombre de conditions et en particulier, un niveau de risque pour la santé humaine pas trop élevé (les résidus de pesticides sont plutôt dans ce cas, comparés aux problèmes de contamination microbienne), la disposition d'un nombre suffisants d'indicateurs pour détecter et mesurer les problèmes sanitaires, une bonne réactivité des acteurs privés impliqués, un bon système d'incitations et surtout, une confiance et une compréhension mutuelles. La co-régulation doit veiller par ailleurs à ne pas léser les autres acteurs privés impliqués dans la mise en œuvre du dispositif (les producteurs par exemple) et être acceptée par les acteurs de la société civile (associations de consommateurs et de citoyens) qui craignent que le retrait partiel de l'Etat conduise à un certain relâchement des efforts en matière de qualité sanitaire.

## 4.4. Le rôle de la politique commerciale européenne sur les échanges et les prix des fruits et légumes

Emmanuelle Chevassus-Lozza, Charlotte Emlinger

Le secteur des fruits et légumes frais (non destinés à la transformation) est, en Europe, peu ou pas soutenu par des mesures de soutien interne de la politique agricole. Il n'existe plus, depuis 1997, de prix institutionnels dans ce secteur ; et la gestion du marché, en cas de baisse très forte des prix de marché, est faite pour certains produits par des retraits réalisés par les organisations de producteurs. Toutefois, ces retraits sont depuis 1996 limités en quantité et les indemnités versées ont fortement diminué. La protection aux frontières représente ainsi l'instrument majeur de régulation des marchés européens de F&L. L'objet de cette partie, outre de comprendre les modalités spécifiques de la protection du marché communautaire, est de regarder ce que dit la littérature sur l'impact de cette protection sur le volume et les prix des importations. En conclusion, dans un contexte d'ouverture du marché européen, quels impacts peut-on attendre de cette libéralisation des échanges ?

A ce stade de la réflexion, un premier constat, déjà évoqué dans l'introduction de ce chapitre doit être fait. Il n'existe pas, comme pour les secteurs laitiers ou céréaliers, de modèle sectoriel d'équilibre partiel appliqué aux fruits et légumes et donc pas d'outils de simulation des impacts de la libéralisation sur les importations de ces produits. Pourquoi un tel manque ? Plusieurs arguments, souvent évoqués dans la littérature (voir à ce propos le document de travail de (Garcia-Alvarez-Coque, Martinez-Gomez, and Villanueva, 2006) peuvent être mentionnés. Contrairement au secteur des céréales ou des produits laitiers, il existe pour les fruits et légumes une multitude de produits, dont certains sont des plantes annuelles, d'autres sont des plantes pérennes. Il s'agit aussi de productions très saisonnalisées et les produits sont, pour un certain nombre d'entre eux, fortement périssables et donc difficilement stockables. La modélisation pour être pertinente doit donc prendre en compte à la fois cette diversité et cette question de la saisonnalité ; il est donc difficile de construire un modèle pertinent pour l'ensemble du secteur. C'est pourquoi, l'équipe de Garcia Alvarez Coque de l'Université Polytechnique de Valence (Espagne) est en train de construire un modèle d'équilibre partiel pour un seul produit, la tomate. On peut citer également les travaux spécifiques au marché de la banane (Encadré 4-4).

De la même manière, dans la plupart des grands modèles en équilibre partiel multi-produits et centrés sur l'agriculture, le secteur des fruits et légumes n'est pas pris en compte. Ces modèles dont l'objectif est d'évaluer l'impact des outils de la PAC ou les effets de la libéralisation, écartent d'emblée les produits horticoles pour se centrer sur les produits dits soutenus (céréales, viande, produits laitiers…). Ainsi, en est-il du modèle européen AGMEMOD[4] ou du modèle américain FAPRI de l'IOWA State University (Etats-Unis). Seul, à notre connaissance, le modèle CAPRI, développé par l'université de Bonn[5], prend en compte le secteur des fruits et légumes. Dans une version récente développée dans le cadre du programme européen EUMED AGPOL[6] (Britz, Junker, and Weissleder, 2006) une attention particulière a été portée à ce secteur en intégrant plusieurs produits dans l'analyse ainsi que les spécificités du système de protection. Néanmoins, bien que ce modèle soit déjà très détaillé, la question fondamentale de la saisonnalité n'est pas prise en compte. Enfin, dans les modèles d'équilibre général

[4] AGMEMOD est un modèle multi-produits en équilibre partiel de l'agriculture des pays membres de l'UE dans la construction duquel une quinzaine d'équipes européenne est impliquée et dont l'objectif est d'évaluer l'impact des réformes de politique agricole sur l'agriculture au niveau de l'UE et des pays membres.

[5] CAPRI ("Common Agricultural Policy Regional Impact") est un modèle multi-produits de l'agriculture européenne, dont l'objectif est d'estimer les effets des instruments de la PAC ou de la libéralisation des échanges sur la production, le revenu, les marchés, les échanges et l'environnement, non seulement au niveau global de l'UE27, des états membres et les régions européennes (250 régions au total). 50 produits agricoles et transformés sont pris en compte par le modèle. Les fruits et légumes pris en compte par le modèle sont : les raisons de table, les olives de table, les agrumes, un agrégat pour les pommes, poires et pêches, un agrégat pour tous les autres fruits, les tomates, les pommes de terre et un agrégat pour les autres légumes.

[6] Le programme européen "EU-MED AGPOL" mené dans le cadre du 6e programme cadre et coordonné par l'Institut d'Agronomie Méditerranéenne de Montpellier (IAA) visait à analyser les impacts sur les pays européens de la libéralisation des échanges agricoles entre l'UE et les pays méditerranéens. Pour de plus amples informations voir le site du programme : http://eumed-agpol.iamm.fr/index.html

calculable comme celui de (Rae, 2004)qui reprend GTAP[7], le secteur des F&L est réduit à un seul agrégat, et les spécificités de ce secteur sont totalement lissées, ce qui limite la portée des analyses.

**Encadré 4-4. Le cas du marché de la banane**
(Chantal Le Mouël)

Les travaux spécifiques au marché de la banane se sont développés principalement à partir de la mise en place de l'Organisation Commune de Marché (OCM) de ce produit par l'Union européenne (UE) en 1993. Cette OCM visait à remplacer un ensemble complexe et hétérogène de politiques nationales incompatibles avec le Marché Unique. Le défi pour l'UE n'était pas mince car cette nouvelle politique devait répondre à plusieurs objectifs difficilement conciliables : respect des règles du GATT (General Agreement on Tariffs and Trade, à présent Organisation Mondiale du Commerce), notamment garantie de l'accès au marché pour tous les exportateurs potentiels, respect des engagements de l'UE vis-à-vis des pays d'Afrique, Caraïbe et Pacifique (ACP) en vertu de la Convention de Lomé, garantie des intérêts des producteurs communautaires (les Canaries, la Crète, la Guadeloupe et la Martinique et Madère étant des zones productrices de bananes) et garantie des intérêts des consommateurs communautaires. L'UE décida finalement de construire son OCM autour d'un contingent tarifaire appliqué aux bananes d'Amérique Centrale et Latine (qualifiées de bananes dollar eu égard au rôle prépondérant des multinationales américaines dans les secteurs de la banane de cette zone). Les bananes en provenance des pays ACP étaient autorisées à entrer librement sur le marché européen en-deça d'un seuil fixé, ce qui permettait à l'UE de garantir l'accès préférentiel dont bénéficiaient ces bananes avant la mise en place de l'OCM. Enfin, les producteurs communautaires bénéficiaient d'un paiement compensatoire destiné à remplacer la politique antérieure de prix garanti.

Les modèles d'équilibre partiel des marchés de l'UE et/ou mondial de la banane construits à cette époque avaient donc pour objectif de simuler les effets pour l'UE et/ou pour ses principaux fournisseurs de bananes de la mise en place de cette OCM de la banane (Borrell and Maw-Cheng, 1992) ; (Kersten, 1995); (Guyomard, Laroche, and Le Mouël, 1999b) (Guyomard et al., 1997), (Guyomard, Laroche, and Le Mouël, 1999a) ; (Laroche-Dupraz, 1998) par exemple). Les résultats de tous ces travaux montraient le rôle clé de la taille du contingent tarifaire appliqué aux bananes dollar. (Guyomard, Laroche, and Le Mouël, 1998)s'intéressaient en outre au système de distribution des licences d'importation pour analyser le partage de la rente liée au contingent tarifaire appliqué aux bananes dollars entre opérateurs, que ces derniers soient en situation de concurrence ou d'oligopole.

Dès sa mis en place en 1993, l'OCM de la banane a été attaquée au GATT puis à l'OMC par des pays d'Amérique Centrale et Latine, soutenus par les Etats-Unis. Ainsi, de 1993 à 2006, l'UE a été forcée de réformer à plusieurs reprises son OCM. Les travaux ont suivi cette actualité, les modèles existants, de même que de nouveaux modèles apparus entre-temps (Lorca and Pérez-Sanchez, 2004), (Spreen et al., 2004); (Arias et al., 2005), (Vanzetti, de Cordoba, and Chau, 2005) par exemple étant utilisés pour simuler les effets de chacune de ces réformes. La dernière réforme en date qui a consisté à remplacer l'ancien système de contingentement tarifaire par un droit de douane unique appliqué aux seules bananes dollar est sans doute celle qui a suscité le plus de travaux. Il est vrai que la fixation du niveau de ce droit de douane a suscité de nombreuses discussions, les différents fournisseurs de bananes de l'UE ayant des intérêts contradictoires à cet égard (les pays d'Amérique Centrale et Latine plaidant pour un droit de douane le plus faible possible, les pays ACP au contraire pour un droit de douane suffisamment élevé leur garantissant le maintien de leur accès au marché de l'UE). Tous les travaux qui ont été menés en toile de fond de ces discussions tentent de déterminer le droit de douane équivalent, c'est-à-dire le niveau du droit de douane qui laisse inchangée la situation des différents fournisseurs de l'UE par rapport à la politique précédente. Bien évidemment, les résultats divergent selon les auteurs, le droit de douane équivalent s'établissant par exemple à 64 euros/t selon (Borrell and Mauer, 2004), 182 euros/t selon (Guyomard and Le Mouel, 2003) et 300 euros par tonne pour la FAO (Arias, 2004 ) (Guyomard and Le Mouel, 2003) montrent également la sensibilité du droit de douane au taux de change Euro/dollar. (Anania, 2006; Arias et al., 2005). (Anania, 2006) illustre quant à lui l'importance du contingent antérieurement attribué aux bananes en provenance des ACP, et de son caractère contraignant, au regard du niveau du droit de douane équivalent. Pour l'heure et depuis janvier 2006, après avoir proposé un droit de douane de 230 euros/t, puis de 187 euros/t, l'UE applique un droit de douane de 176 euros/t. Mais la "guerre de la banane" n'est pas terminée, des voix s'étant déjà élevées contre ce niveau de droit de douane …

[7] GTAP : Global Trade Analysis Project. Ce projet est un réseau international de chercheurs et décideurs politiques qui mènent des analyses quantitatives en économie internationale. Ce réseau consiste notamment en l'élaboration d'une base de données commune et d'un modèle commun en équilibre général calculable. De ce fait, les liens entre l'agriculture et les autres secteurs de l'économie sont pris en compte par le modèle.

De ce fait, hormis le modèle CAPRI, il existe, à notre connaissance peu de travaux de simulation d'impact de la libéralisation sur les échanges ou les prix dans le secteur des fruits et légumes. Dans ce contexte, les travaux actuellement menés portent pour l'essentiel sur l'analyse du fonctionnement des outils de la protection, leur description et l'analyse des déterminants des échanges. Autant d'éléments qui alimentent toutefois le débat sur la libéralisation des échanges.

### 4.4.1. Les importations européennes et françaises de fruits et légumes : le poids des échanges intra-communautaires

Les importations de fruits et légumes représentent une part non négligeable de la demande française. Ainsi, en 2004, 61% de la demande française des fruits frais était couverte par des importations et 24% de la demande de légumes frais (Tableau 4-6). La part élevée d'importation de fruits correspond notamment au poids des fruits tropicaux non produits sur le territoire national.

| | Production [1] | Importation [2] | Exportation [3] | Consommation [4] | Taux d'importation [2]/[4] | Taux d'exportation [3]/[1] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| fruits | 3259 | 2862 | 1411 | 4710 | 61% | 43% |
| légumes | 6067 | 1670 | 835 | 6902 | 24% | 14% |
| F&L | 9326 | 4532 | 2246 | 11612 | 39% | 24% |

**Tableau 4-6.** Marché français de fruits et légumes - Année 2004 (milliers de tonnes)
(Source : Calculs des auteurs à partir de http://www.agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/fruitsetleg_2004.pdf)

Le commerce de fruits et légumes de l'Union Européenne (UE) est avant tout marqué par une prépondérance des échanges intra-communautaires. Ainsi, non seulement les pays européens sont les principaux fournisseurs du marché de l'UE, (près de 70% des importations de la zone, voir Tableau 4-7), mais ce marché représente aussi le principal débouché des exportations de ces pays (87,5%). Les Pays Méditerranéens (non UE) représentent derrière les Etats-Unis les principaux fournisseurs extra-communautaires de fruits et légumes de l'UE et il s'agit pour l'essentiel de produits en concurrence avec ceux des pays européens, mais complémentaires quant aux calendriers de production (Emlinger, Chevassus-Lozza, and Jacquet, 2006). Contrairement aux Etats-Unis, leur commerce est largement orienté vers le marché européen. Enfin, les produits de contre-saison représentent une caractéristique importante des importations de fruits et légumes. Ainsi, les pays de l'hémisphère Sud (Chili, Afrique du Sud notamment) fournissent près de 18% des importations européennes extra-communautaires.

| ***Fournisseurs*** | | Valeur (million de $) | Répartition des importations de l'UE15 | Part de l'UE15 dans les exportations du pays ou de la zone |
|---|---|---|---|---|
| ***Pays de l'Union Européenne*** | | **49 000** | **69,87%** | **87,50%** |
| ***Fournisseurs non européens*** | | **14 762** | **30,13%** | **14%** |
| ***dont*** | Nouveaux Pays Membres | 896 | 6,07% | 61,37% |
| | Pays Méditerranéens | 3 398 | 23,02% | 65,01% |
| | Pays en développement | 217 | 1,47% | 49,54% |
| | Pays de l'hémisphère Sud | 2 610 | 17,68% | 40,34% |
| | Etats Unis | 3 720 | 25,20% | 26,20% |
| | Chine | 252 | 1,71% | 10,33% |
| | Reste du Monde | 3 669 | 24,85% | 27,81% |
| | *total* | *14 762* | *100%* | |

**Tableau 4-7.** Principaux pays fournisseurs du marché européen de fruits et légumes (UE15) - Année 2004. Source : Comtrade d'après (Emlinger, Jacquet, and Petit, 2006a)

Pour la France, la part des importations de fruits et légumes provenant de l'UE15 (58%) est moins importante que pour les autres pays européens. Parmi les pays tiers, les pays méditerranéens sont les principaux fournisseurs du marché français (36% des importations françaises extra-communautaires).

La structure d'approvisionnement est très différente selon qu'il s'agit de légumes ou de fruits. Pour les légumes, 68% des importations françaises proviennent d'un autre pays européen (Espagne principalement) et les pays méditerranéens sont de loin les principaux fournisseurs non européens (60%). Par contre, pour les fruits, la part des fournisseurs européens est beaucoup plus faible (51%) et les pays de l'hémisphère sud vendent à la fois des produits tropicaux (bananes, ananas...) mais aussi des fruits de contre saison (pommes, poires). Les bananes et l'ananas représentent 18% des importations françaises.

| ***Fournisseurs*** | | Valeur (million de $) des importations de F&L de la France | Répartition (%) des importations de légumes de la France | Répartition (%) des importations de fruits de la France |
|---|---|---|---|---|
| ***Pays de l'Union Européenne*** | | **3293** | **68%** | **51%** |
| ***Fournisseurs non européens*** | | **2420** | **32%** | **49%** |
| ***dont*** | Nouveaux Pays Membres | 70 | 5% | 2% |
| | Pays Méditerranéens | 866 | 60% | 25% |
| | Pays de l'hémisphère Sud | 432 | 8% | 22% |
| | Etats Unis | 176 | 3% | 9% |
| | Chine | 66 | 6% | 1% |
| | Reste du Monde | 810 | 17% | 40% |
| | *total* | *2420* | *100%* | |

**Tableau 4-8.** Principaux pays fournisseurs du marché français de fruits et légumes(UE15) - Année 2004. Source : Comtrade d'après (Emlinger, Jacquet, and Petit, 2006a))

### 4.4.2. La protection tarifaire du marché européen : un système complexe et très spécifique

A la suite des accords de Marrakech signés en 1994, pour la majorité des fruits et légumes (comme pour les autres produits agricoles), les prélèvements variables aux frontières ont été supprimés et remplacés par une taxe *ad-valorem* à laquelle, pour certains produits, des montants spécifiques ont été rajoutés (souvent exprimés en Euros par 100 kg). Toutefois pour quinze produits– tomates, concombres, artichauts, courgettes, oranges, clémentines, mandarines, citrons, raisins, pommes, poires, cerises, pêches, abricots, prunes – la protection est définie de façon plus complexe et dépend du prix d'entrée du produit sur le marché européen. C'est le fameux système dit du prix d'entrée (Cf. Encadré 4-5). Ces quinze produits sont importants pour la production horticole en Europe. Ils représentent en effet près de 70% de la production en valeur des pays de l'UE15 et correspondent à près de la moitié de la consommation européenne totale des fruits et légumes (Emlinger, Jacquet, and Petit, 2006). Enfin, ils constituent 22,3% des importations européennes de fruits et légumes en provenance du reste du monde et 40,90% des échanges intra-européens. En outre, la protection du marché européen de F&L frais est définie de façon variable dans le temps (deux périodes au moins). La protection est la plus forte dans les périodes de forte production européenne (été-automne) et moins importante en hiver.

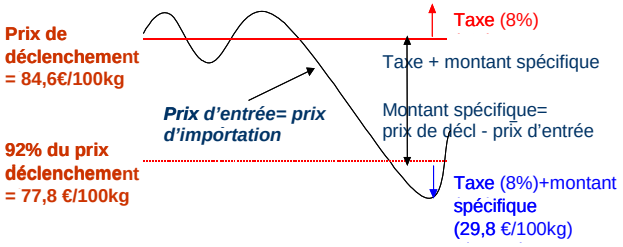
Enfin, parallèlement aux accords multilatéraux signés à l'OMC qui définissent les outils de base de la protection, l'UE a signé de nombreux accords préférentiels avec ses principaux partenaires commerciaux. La multitude de ces accords et leur enchevêtrement est souvent comparée à une boule de spaghettis (spaghetti bowl). Dans le secteur des F&L, à côté des accords pour les pays en développement (PMA ou ACP), les accords euro-méditerranéens sont d'une grande importance. Accords bilatéraux signés avec les pays du pourtour méditerranéen (dans le cadre du processus de Barcelone de 1995), ils offrent des préférences pour certains produits, à certaines périodes de l'année. Ces préférences pouvant être accordées à l'intérieur de contingents. Elles sont donc limitées à une

certaine quantité d'importation sur une certaine période de l'année. Souvent exemption ou réduction de droit de douane, la préférence allouée peut en outre, comme dans le cas du Maroc (pour les tomates et les oranges notamment) et d'Israël et de l'Egypte (pour l'orange), consister en une baisse du prix d'entrée, autorisant de la sorte les produits à entrer sur le marché européen à des prix très compétitifs (Encadré 4-5). Ce prix d'entrée préférentiel est appliqué dans le cadre de contingent d'importation.

**Encadré 4-5. Le système des prix d'entrée : le cas de la tomate**
(Chevassus-Lozza et al., 2007)

Dans le secteur des fruits et légumes, l'UE utilise un système de prix d'entrée qui conduit à faire varier la protection selon le niveau du prix d'importation (ou prix d'entrée) du produit. Au-dessus d'un certain prix de seuil (appelé prix de déclenchement) l'importateur paye uniquement une taxe ad-valorem (en % de la valeur du produit). Mais dès lors que son prix d'importation est inférieur à ce prix de seuil, un droit spécifique (en euros/kg) est ajouté à la taxe.

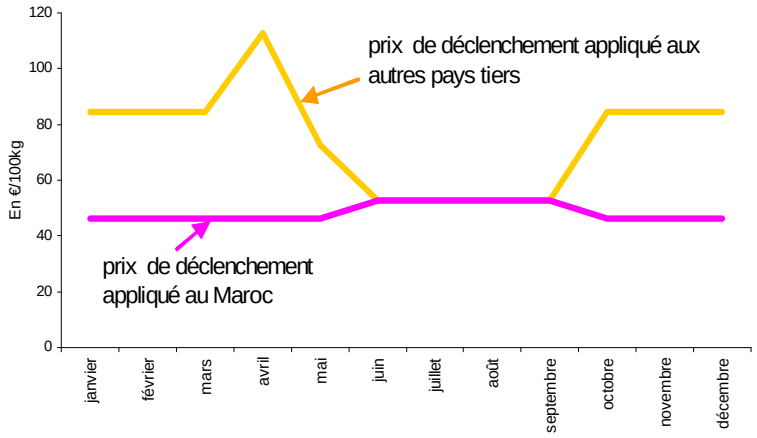
Ce système concerne quinze produits d'importance pour l'horticulture européenne, à savoir : tomates, concombres, artichauts, courgettes, oranges, clémentines, mandarines, citrons, raisins, pommes, poires, cerises, pêches, abricots, prunes. Ce système s'applique à tous les pays tiers entrant sur le marché européen.




Ainsi, si le prix d'importation (ou prix d'entrée) est supérieur à 84,6€/100kg, le pays tiers paye 8% de taxe ; en dessous de 77,8€/100kg, il paye 8% et un droit spécifique de 29,8€/100kg. Ainsi, l'équivalent ad valorem (poids des droits de douane ramené au prix) devient particulièrement fort, soit 47,1% juste en dessous de 77,8 €/100kg. (valeur de la protection en janvier).

Ce système est appliqué à tous les pays tiers à l'UE, dans le cadre multilatéral du tarif NPF de l'OMC. Certains pays bénéficient cependant de préférences commerciales à l'entrée du marché européen. Dans le cas des produits à prix d'entrée, ces préférences sont des exemptions ou des réductions de la taxe ad-valorem. Mais dans tous les cas, le pays bénéficiaire de la préférence doit payer les droits spécifiques, quand ils s'appliquent. Ainsi, la Turquie est exemptée de la taxe ad-valorem pour la tomate mais doit payer les mêmes montants spécifiques que les autres pays tiers.

Par contre, outre une taxe préférentielle, le Maroc a négocié un prix de déclenchement "préférentiel". Ainsi sur la période "novembre – mars", ce prix est de 46,1€ et donc largement inférieur au prix de 84,6€/100kg appliqué à tous les autres pays tiers. Ceci crée un avantage important pour le Maroc. La figure suivante met en évidence la différence de prix de déclenchement appliqué par l'UE au Maroc et aux autres pays tiers.



Ce système rend la mesure de la protection induite par ces différents outils de politique commerciale relativement délicate. Plusieurs questions doivent être prises en considération dès lors que l'on cherche à évaluer le degré de la protection du marché (Chevassus-Lozza et al., 2005). Ainsi, quel est le niveau pertinent de prix à prendre en compte pour mesurer la protection dans le cas du système de prix d'entrée ? A quel niveau d'agrégation se situer : celui du produit ou de l'ensemble du secteur? Celui de la saison ou de l'année ? Celui d'un pays partenaire de l'UE ou d'un groupe de pays ?

Proposant une mesure agrégée, (Chevassus-Lozza et al., 2005) estiment la protection du marché européen en 2004 (dans le cadre du régime NPF) à 13,6% pour l'ensemble des légumes frais et 14,2% pour l'ensemble des fruits frais. Ces indications montrent que, comparativement aux autres produits agricoles bruts ou transformés, la protection du marché européen est relativement faible. Ainsi, pour mémoire, la moyenne des droits NPF s'élève à 67% pour les produits laitiers, à 36% pour les produits de la viande ou 38% pour les céréales. Toutefois, ces agrégats cachent une grande hétérogénéité entre les produits, entre ceux peu ou pas taxés car non produits en Europe (noix de coco, mangue, goyave par exemple) et des produits très protégés par le système de prix d'entrée (ainsi pour la tomate, en janvier, à un prix de 77,8€/100kg soit 92% du prix de déclenchement, les droits de douane représentent 47,1% du prix).

Au-delà de la description et de la mesure de la protection, la question posée dans les différents articles est celle de l'impact de ces outils de protection sur les échanges. Dans la liste d'articles référencés, deux types de travaux peuvent être distingués : les premiers traitent de l'efficacité du système de prix d'entrée et notamment de l'incidence de ce mécanisme sur la gestion du marché européen ; les seconds analysent l'impact des accords actuels voire d'une plus grande libéralisation sur les flux d'échanges.

### 4.4.3. Quelle incidence du système de prix d'entrée sur les prix d'importation ?

Bien qu'au sein du milieu professionnel des débats sur l'efficacité et la pertinence d'un tel système soient nombreux, peu de travaux académiques étudient cette question. Citons néanmoins ceux de (Swinbank and Ritson, 1995), (Grethe and Tangermann, 1998), (Cioffi and dell'Aquila, 2004), (Chemnitz and Grethe, 2005), (Grethe, Nolte, and Tangermann, 2005),(Götz and Grethe, 2007) ou la thèse de doctorat actuellement en cours (Emlinger, 2007) Une précaution méthodologique forte s'impose à ce niveau.

La difficulté d'analyse provient du fait qu'au-delà du principe en lui-même, les modalités d'application du système sont complexes. En effet, le calcul des droits de douane à appliquer nécessite de connaître le prix d'importation des produits sur le marché communautaire. Or, la majorité des produits étant vendue en consignation[8], il est dans la pratique très difficile de déterminer la valeur des produits. Lors du passage en douane, les produits n'ont pas de valeur transactionnelle. Trois méthodes de dédouanement sont prévues par le règlement CE 3223/1994, dont nous n'expliquerons pas ici les détails (pour cela, voir (Grethe and Tangermann, 1998). Disons simplement qu'une méthode, la méthode dite de la valeur forfaitaire à l'importation (VFI) est couramment utilisée. Cette valeur est une moyenne journalière de prix de marchés représentatifs, calculée et publiée par la commission européenne. Ces données officielles, publiées tous les jours, servent de prix pour le dédouanement, sont elles-mêmes contestées par certains professionnels ou certains représentants des Etats Membres qui soulèvent la question de la bonne appréciation du prix réel auquel le produit d'importation pénètre dans la Communauté, ce qui conditionne la réalité des droits acquittés. Il en résulterait une méthode de dédouanement peu fiable, qui ne permet pas de réelle application du système du prix d'entrée. Bien évidemment, les recherches économiques conduites dans le domaine s'appuient (et ne peuvent s'appu-yer que) sur les données officielles disponibles, en l'occurrence la moyenne journalière des prix de marchés représentatifs. Leurs conclusions sont évidemment nécessairement dépendantes de ces données.

Partant d'une modélisation en équilibre partiel, (Martin and de Gorter, 1999), (Emlinger, 2007) montrent, d'un point de vue théorique, le fort impact du système du prix d'entrée (SPE) sur les

[8] Lors d'une vente en consignation, les exportateurs livrent leurs produits dans le pays importateur à un mandataire, qui se charge ensuite de les vendre aux différents acquéreurs.

importations dès lors que le prix d'importation passe en dessous de 92% du prix de déclenchement. Ce système permet une protection renforcée du marché européen vis-à-vis des importations de produits à bas prix (inférieurs à 92% du prix de déclenchement). Il a en revanche le même impact qu'un simple droit de douane, dès lors que le prix d'importation est supérieur au prix de déclenchement. Ce système de protection permet ainsi de limiter l'entrée de produits à prix faibles qui pourraient perturber le marché communautaire tout en laissant entrer sur le marché les produits de qualité dont les prix sont plus élevés. Comme le montrent également (Cioffi and dell'Aquila, 2004), le SPE doit théoriquement entraîner une certaine segmentation du marché européen en terme de qualité, les produits de basse qualité étant isolés de la concurrence internationale alors que les produits de prix élevés se retrouvent en compétition avec les produits importés. On peut citer, à titre d'exemple, les importations de cerises turques, vendues à des prix élevés et sur un segment de marché très différencié. Toutefois, (Grethe, Nolte, and Tangermann, 2005) relativisent ce résultat , en montrant, toujours d'un point de vue théorique, que, dans le cas d'un prix d'entrée préférentiel, les pays bénéficiaires peuvent alors vendre sur le marché européen des produits à bas prix et de moins bonne qualité qui ne pourraient pas être vendus au prix non préférentiel.

Les analyses empiriques cherchent à évaluer l'efficacité du système, le plus souvent pour un produit donné. Ainsi, par exemple,(Götz and Grethe, 2007) étudient le système dans le cas de l'orange. Les importations européennes non-communautaires sont très saisonnalisées et proviennent de deux grandes zones géographiques : en hiver, des pays de l'Hémisphère Nord (dont principalement le Maroc, Israël et l'Egypte) et en été, des pays de l'Hémisphère Sud. Le système des prix d'entrée est mis en place de décembre à fin mai et n'est donc appliqué qu'aux importations en provenance de l'Hémisphère Nord. Toutefois, le Maroc, l'Egypte et Israël bénéficient, dans la limite de contingents, de prix d'entrée préférentiel très bas, et d'une exemption totale de droits de douane. De l'analyse de (Götz and Grethe, 2007) il ressort que les valeurs forfaitaires du Maroc et d'Israël sont en fait largement supérieures au prix d'entrée non-préférentiel, révélant de la sorte que ces deux pays n'utilisent pas les préférences qui leur sont allouées et que le système des prix d'entrée préférentiel ne semble pas utile dans le cas de l'orange. Ils montrent, par comparaison, que dans le cas de la clémentine et de la tomate (deux produits pour lesquels il existe des prix d'entrée préférentiels), le système joue effectivement son rôle. Les valeurs forfaitaires en provenance du Maroc étant entre le prix de déclenchement et le prix préférentiel. L'analyse de (Chemnitz and Grethe, 2005) sur la tomate marocaine met en évidence d'une part l'efficacité du système du prix d'entrée mais aussi le fait que les contingents sont, pour ce produit, totalement remplis : aucun échange n'ayant lieu en dehors du contingent. Au-delà, les deux auteurs calculent les coûts de revient de la tomate marocaine et montrent que ces coûts sont inférieurs aux valeurs forfaitaires. Tenant compte des coûts de transport, ils concluent que les exportateurs marocains, même s'ils vendent moins sur le marché européen, bénéficient d'une rente induite par le système des prix d'entrée. En outre, ce système de prix d'entrée préférentiel alloué au Maroc dans le cadre de la tomate, offre à ce pays, une véritable marge préférentielle et les valeurs forfaitaires observées pour les importations marocaines sont effectivement largement inférieures à celles des principaux concurrents de ce pays (Turquie notamment) réduisant de façon très significative les importations en provenance d'autres origines (Chevassus-Lozza et al., 2007)

Ces résultats qui s'appuient sur les données officielles de la VFI, font l'objet de controverses du fait de la contestation de la validité des informations disponibles sur les conditions d'entrée des produits dans l'UE. Pour certains professionnels, il semblerait que, malgré le système des prix d'entrée, des importations à bas prix s'opèrent en provenance de pays présentant un avantage logistique à l'exportation de produits périssables. Pour des produits semi-périssables, l'importation en contre-saison de produits qui seraient ensuite stockés permettait d'introduire sur le marché européen des produits importés à bas prix.

### 4.4.4. Quelle incidence des accords préférentiels sur les échanges ?

Cette question permet d'ouvrir le débat sur l'impact potentiel d'une plus grande ouverture du marché européen sur les importations de fruits et légumes. Les préférences commerciales sont-elles effective-

ment exploitées par les pays bénéficiaires ? Ont-elles permis à ces pays de gagner des parts sur le marché de l'UE ?

Pour l'année 2004, (Chevassus-Lozza et al., 2005) estiment, à partir de l'exploitation des données de COMTRADE et de la base des tarifs TARIC de la Commission Européenne, que 55% des importations européennes extra-communautaires de F&L bénéficiaient d'une préférence commerciale (quelle que soit la forme de la préférence : réduction tarifaire, du prix d'entrée ou contingent) et 35% des importations sont vendues sans droit de douane. De l'analyse fine des accords préférentiels, il ressort que les produits faisant l'objet de préférences de la part de l'Union Européenne sont relativement plus exportés que les autres produits pour la plupart des pays fournisseurs de l'UE à l'exception des Pays les Moins Avancés. Toutefois cette spécialisation des exportations (notamment du Maroc, d'Israël et d'Egypte) sur les produits les moins taxés est-elle une conséquence des accords préférentiels, ou les négociations de ces accords ont-elles porté sur les produits de fortes spécialisations de ces pays ? Cette question, qui fait débat en économie internationale, a en fait peu de réponses claires mais on peut supposer que dans le cas de ces accords commerciaux bilatéraux, l'enjeu des négociations a surtout porté sur les produits "phares" des pays et ont de fait renforcer les spécialisations.

Néanmoins, si les produits faisant l'objet de préférences sont plus exportés que les autres, tous les produits bénéficiant d'une préférence ne sont pas forcément exportés. Ainsi, certains pays comme les Pays les Moins Avancés ou certains pays méditerranéens (comme le Liban) ont un accès à droit nul pour la quasi totalité de leurs produits et leurs exportations restent cependant faibles. De façon plus générale, les contingents tarifaires alloués dans le cadre des accords euro-méditerranéens sont loin d'être remplis (Emlinger, 2007).

Les travaux précédents soulignent l'importance des préférences dans les importations européennes de fruits et légumes. Pour autant, ces préférences ont-elles permis aux pays bénéficiaires d'améliorer leurs parts de marché ? (Nilsson, Lindberg, and Surry, 2007))[9] analysent, au moyen d'une décomposition de type "analyse à part de marché constante"[10] l'évolution des importations européennes en provenance des pays méditerranéens. Ils montrent que malgré les préférences accordées à ces pays et la croissance de la demande mondiale, leur capacité à gagner des parts de marché s'est détériorée. Ces auteurs expliquent en partie ce résultat par le renforcement des normes sanitaires et phytosanitaires à l'entrée du marché européen.

Cherchant à mesurer l'impact des protections tarifaires sur l'accès au marché européen, (Emlinger, Jacquet, and Petit, 2006) analysent, au moyen d'un modèle de gravité[11], les déterminants des importations européennes de fruits et légumes. Les auteurs de cet article montrent qu'au-delà de la compétitivité-coût et des protections tarifaires, d'autres éléments expliquent les échanges. Ainsi, les coûts de transport augmentent de manière significative le coût des échanges et ce d'autant plus que le produit est périssable. Cette importance des coûts de transport renforcent l'importance, dans le secteur des fruits et légumes, des échanges intra-nationaux. Ce résultat, mis en évidence par les estimations

[9] Ces travaux ont été menés dans le cadre d'un autre programme européen (MEDFROL) portant sur l'analyse des effets de la libéralisation des échanges agricoles entre l'union européenne et les pays méditerranéens sur l'agriculture européenne. Pour en savoir plus, voir le site du programme http://medfrol.maich.gr/pages/main

[10] La méthode dite "analyse à part de marché constante" ou "constant market share analysis" (CMSA) consiste en une décomposition comptable du taux de croissance des exportations d'un pays. Cette décomposition permet d'expliquer l'évolution des exportations d'un pays entre deux périodes par quatre effets :

- Un effet lié à l'évolution globale du marché mondial. En d'autres termes, les exportations du pays sont-elles expliquées par la seule croissance du marché mondial ?
- Un effet lié à l'évolution globale de la demande du marché vers lequel le pays exporte.
- Un effet lié à la composition sectorielle des exportations du pays. Est-il spécialisé sur des produits pour lesquels la demande mondial augmente ?
- Un effet lié à la performance propre du pays, les trois autres éléments ayant été pris en compte.

[11] Les modèles de gravité, basés sur des estimations économétriques, ont connu un vif succès en économie internationale depuis une quinzaine d'années. Initialement inspirés par la loi physique de l'attraction universelle (Cf. les premiers travaux de Bergstrand), ces modèles expliquaient les échanges bilatéraux entre les pays par la taille des pays et leur proximité. Les développements récents de ces modèles, basés sur les travaux d'Anderson et van Winccop, d'Evenett et Keller ou de Mayer et Head, introduisent les coûts d'échange dans la modélisation (coûts de transport, protection, barrières non tarifaires, barrières informelles…).

économétriques, souligne le fait que les pays s'approvisionnent avant-tout sur leurs marchés locaux. Ainsi, selon la FAO, seulement 10% de la production mondiale était exportée en 2003. Au-delà, il existe d'autres résistances aux échanges qui peuvent être expliquées par les contraintes de logistique ou le rôle des normes phytosanitaires.

### 4.4.5. Quelle incidence potentielle d'une plus grande libéralisation du marché européen ?

Concernant les négociations commerciales à l'OMC, peu de travaux portent directement sur le secteur des F&L, bien que les F&L soient dans la liste des produits sensibles. S'agissant des accords de l'Uruguay Round, les papiers ont surtout porté sur les nouveaux instruments de la protection européenne (système du prix d'entrée), déjà cités plus haut (Swinbank and Ritson, 1995) (Grethe and Tangermann, 1998) A partir d'un modèle d'équilibre général, (Rae, 2004) simule des réductions tarifaires dans le cadre de l'Uruguay Round. Il montre que les impacts sont assez faibles dans le secteur des F&L même si on peut s'attendre à une augmentation des exportations des pays d'Amérique centrale et latine, ainsi que des pays méditerranéens. Pourtant, concernant les pays méditerranéens mais aussi pour les pays Africains, l'enjeu principal est celui de l'érosion des préférences qui leur étaient initialement accordées. En effet, une ouverture plus grande des marchés accordée dans le cadre multilatéral limite de ce fait les avantages préférentiels accordés à certains pays. Les travaux issus du modèle CAPRI (2006) permettent de comparer l'impact pour les importations européennes d'une libéralisation totale des échanges avec les pays méditerranéens, avec une réduction des tarifs douaniers dans le cadre des négociations multilatérales à l'OMC. Dans le cas d'une libéralisation totale des échanges avec les Pays méditerranéens, les importations européennes et notamment de tomates augmenteraient fortement en provenance du Maroc et de la Turquie. Par contre, une libéralisation partielle des échanges entre l'UE et les Pays Méditerranéens associée à une ouverture multilatérale du marché européen dans le cadre de l'OMC réduirait de fait les préférences accordées aux pays méditerranéens et profiteraient à d'autres pays exportateurs comme la Chine et les pays balkaniques.

Au-delà de ce seul travail de simulation, les quelques discussions sont menées au niveau de produits spécifiques ; discussions dont les conclusions convergent avec les analyses présentées dans la partie précédente. Elles montrent que les tarifs ne sont pas les seuls déterminants de l'accès au marché européen ; d'autres éléments jouent comme résistance aux échanges.

Dans le cas de l'orange, (Götz and Grethe, 2007) anticipent un faible impact d'une plus grande libéralisation, notamment dans le cadre du processus actuel de Barcelone (accords euro-méditerranéens). Plusieurs éléments les mènent à cette conclusion. Tout d'abord, tant le Maroc qu'Israël, ces deux pays exploitent peu leurs préférences dans le cas de l'orange (faible taux de remplissage des contingents, Valeurs forfaitaires largement supérieures au prix d'entrée préférentiel). De ce fait, il apparaît que les éléments de la politique commerciale ne sont pas les seuls déterminants des exportations méditerranéennes ; d'autres facteurs déterminent les échanges. Ainsi par exemple, la production israëlienne d'oranges (de variété Shamouti) ne serait pas adaptée à la demande des consommateurs allemands notamment qui préfèrent les oranges de type navel, produites en Espagne. Selon l'hypothèse de (Cioffi and dell'Aquila, 2004), la suppression des prix d'entrée devrait permettre plus d'importations de produits de basse qualité. Toutefois d'après des enquêtes réalisées auprès d'entreprises israëliennes, (Götz and Grethe, 2007) montrent que les perspectives de développement de ce type de produits restent faibles, notamment parce que l'UE par son règlement 2200/96 réglemente la commercialisation des agrumes. Ainsi, les exigences de qualité minimum sont imposées en termes de calibre d'apparence externe voire d'uniformité. En outre, les exigences de type EUREPGAP encore plus restrictives conduiraient à augmenter la qualité des produits.

Ces résultats sur l'orange ne peuvent pas être généralisés à tous les produits : selon (Götz and Grethe, 2007) la suppression des prix d'entrée pour la clémentine, devrait conduire à une baisse des prix d'importation. Enfin, un résultat similaire pour la tomate devrait être trouvé, mais le potentiel d'exportation des pays méditerranéens est cependant limité du fait des contraintes importantes de ces pays en termes d'eau. Les capacités en irrigation dans certains pays sont, comme au Maroc, atteintes,

limitant ainsi la croissance des surfaces cultivées. Cette contrainte est une des principales difficultés mises en avant par les exportateurs marocains quant au développement de la production de tomates (Cf résultats du programme européen EU-MED AGPOL). Par contre, tel n'est pas le cas en Turquie, pays pour lequel la ressource en eau n'est pas limitée, et pour lequel la suppression du prix d'entrée pourrait stimuler les ventes à destination de l'UE . Pour conclure quant à l'efficacité de ce système de prix d'entrée, et la compétitivité réelle des pays exportateurs qui vendent leurs produits sur le marché européen, il conviendrait d'analyser les prix de production ou d'exportation ; données en fait inexistantes. Seuls quelques travaux d'étudiants (de l'IAMM principalement) permettent d'appréhender les coûts de production de certains pays pour certains produits.

Parallèlement à la baisse des droits de douane, l'importance croissante des normes sanitaires et phytosanitaires mises en évidence plus haut, devient un élément moteur de la régulation de l'accès au marché européen. Ces normes privées ou publiques peuvent devenir barrière à l'échange et limiter les conditions d'accès des pays tiers (notamment les moins développés) sur le marché européen. Il existe encore peu de travaux qui mesurent les effets sur l'accès au marché européen (voir l'analyse faite dans la partie III), mais cette question, devient un véritable champ de recherche pour comprendre les effets réels de la libéralisation des échanges. Ainsi, (Garcia-Alvarez-Coque, 2002) soulignait que le marché lui-même représentait un véritable enjeu pour les exportations de fruits et légumes, même en l'absence de barrières tarifaires. Seulement quelques pays, pas nécessairement ceux les mieux dotés d'un point de vue de la main d'œuvre ou des conditions climatiques, sont capables de satisfaire les exigences des consommateurs à haut revenu. La plupart de ces exigences ont des incidences sur les conditions de production. De ce fait la réduction des barrières tarifaires devient une condition nécessaire mais non suffisante pour améliorer les performances des pays exportateurs.

## Conclusion

En conclusion, plusieurs éléments ressortent de cette analyse :

**.** 40% de la demande française de fruits et légumes était, en 2004, satisfaite par les importations. Ces importations viennent pour l'essentiel d'autres pays européens, sauf pour les fruits exotiques ou de contre-saison

**.** La politique commerciale européenne et notamment le système des prix d'entrée est le principal outil de régulation du marché européen. Ce système ne concerne cependant que les produits d'importance pour la production européenne, les autres produits étant soit exemptés de taxes (produits exotiques) soit soumis uniquement à des taxes ad-valorem et des montants spécifiques.

**.** Les recherches sur l'impact du système des prix d'entrée, par lequel la protection du marché dépend du niveau des prix, s'appuient sur les données officielles publiées. Sur la base de ces informations, elles tendent à montrer que ce système de prix d'entrée limite les importations à bas prix et segmente le marché européen en l'isolant de la concurrence des produits de basse qualité.

**.** Les résultats des différentes études montrent que l'efficacité de ce système est différente selon les produits. Pour certains comme la tomate, la clémentine ou la courgette, ce système semble jouer vraiment son rôle ; tel ne semble pas être le cas pour l'orange ou la cerise. Toutefois, anticiper les effets sur les prix d'une élimination du système nécessiterait de connaître les coûts de production des pays exportateurs, analyses inexistantes pour l'instant.

**.** Les importations européennes extra-communautaires sont réalisées pour moitié dans le cadre d'accords préférentiels et 35% sont sans droit de douane. Mais les préférences commerciales ne sont pas toutes exploitées et par exemple les contingents tarifaires sont loin d'être remplis.

**.** Il ressort des travaux que la protection tarifaire n'est pas la seule contrainte dans l'accès au marché européen. D'autres résistances aux échanges existent : les normes sanitaires et phytosanitaires, les coûts de transport et de logistiques notamment. En outre, certains travaux pointent l'importance des contraintes structurelles – comme celles liées à l'eau - dans certains pays, limitant de la sorte le potentiel de croissance de la production de fruits et légumes dans certains pays.

**.** Ces contraintes limitent donc les effets d'une plus grande libéralisation. Il convient néanmoins de noter qu'aucun des travaux recensés dans cette note n'aborde le rôle potentiel que peut jouer la Chine sur le marché mondial des fruits et légumes. Pourtant, c'est le premier pays producteur et consommateur mondial de fruits et légumes.

## 4.5. Conclusion : quelles politiques publiques et privées pour un accroissement significatif de la consommation de F&L ?

Vincent Requillart et Louis-Georges Soler

Comme le montrent les recherches présentées dans le chapitre 1, la consommation de F&L induit des effets bénéfiques en matière de santé. L'accroissement de la consommation de F&L peut, pour cette raison, constituer un des objectifs d'une politique de santé publique visant à maîtriser l'extension de certaines pathologies. Encore faut-il, pour cela, dresser un bilan économique global des leviers d'action permettant de tendre vers cet objectif et évaluer les coûts et les gains associés à chacun d'entre eux. La discussion sur la légitimité et les modalités d'une intervention publique doit ainsi reposer sur un bilan économique intégrant :

- les gains et coûts de santé associés à divers niveaux de consommation de F&L,
- les coûts et l'efficacité des interventions publiques à mettre en œuvre pour rendre possible cette croissance de la consommation de F&L,
- les coûts et les gains pour les entreprises et les filières induits par ce développement de la consommation.

Les recherches économiques disponibles à ce jour sur le plan international ne permettent pas de dresser un tel bilan de façon parfaitement étayée. Concernant, tout d'abord, les impacts en matière de coûts/bénéfices de santé, quelques études proposent des évaluations chiffrées des effets attendus d'une croissance de la consommation moyenne de F&L au sein de la population. Il s'agit pour l'essentiel de travaux reposant sur des évaluations basées sur des démarches dont certaines limites ont été soulignées dans le chapitre 1 de ce rapport. On peut citer, à cet égard (Joffe and Robertson, 2007) qui évaluent à 26000 la diminution des décès avant l'âge de 65 ans qui résulterait, au niveau européen, d'une consommation de F&L à hauteur des recommandations nutritionnelles actuelles. On peut également citer (Veerman, Barendregt, and Mackenbach, 2006) qui évaluent l'impact d'une telle croissance de la consommation à 786 décès annuels en moins et une espérance de vie accrue de 33 jours pour les hommes et de 25 jours pour les femmes. Par ailleurs, (Cash, Sunding, and Zilberman, 2005) estiment à environ 1,3 million $ le coût d'une vie sauvée grâce une politique publique de soutien à la consommation de F&L. Selon ces auteurs, ce coût est inférieur au coût de nombreux autres programmes publics visant l'amélioration de la santé ou à épargner des vies humaines. Adoptant d'autres méthodologies, (de Kervadoué et al., 2006) ont tenté de chiffre les coûts de pathologies associés à des niveaux faibles de consommation de F&L. Ces travaux visant à évaluer les bénéfices/coûts de santé sur le plan économique restent cependant très préliminaires et devront être approfondis dans les années à venir.

Concernant l'offre de F&L, et plus largement l'économie de ces filières, quelles seraient les conséquences de l'application des recommandations nutritionnelles ? De premiers travaux ont été envisagés dans ce sens aux U.S.A. (Young and Kantor, 1999) Mais ces travaux restent très préliminaires et incomplets pour établir de façon précise les leviers d'action et leurs impacts. Pour cette raison, cette section a un statut quelque peu différent des précédentes. Celles-ci s'appuyaient autant que possible sur une revue des publications identifiées sur chacun des sujets traités. La présente section ne s'appuie pas directement sur de telles publications (elles sont quasi-inexistantes) mais sur des éléments d'analyse proposés par les auteurs. L'objectif est d'apporter quelques éléments pour nourrir les débats sur les politiques visant une croissance de la consommation de F&L. Pour cela, on essaie de cerner certains des enjeux soulevés par une telle croissance de la consommation et de préciser les analyses qui devraient être conduites pour contribuer aux réflexions qui doivent être menées dans ce sens par les pouvoirs publics et les responsables professionnels.

### 4.5.1. Quelle est l'ampleur des enjeux pour les filières fruits et légumes ?

Pour cerner les enjeux économiques soulevés par une croissance de la consommation de F&L, il faut pouvoir quantifier le déficit moyen à combler au niveau individuel, et, sur cette base, cerner ce que ce

déficit implique globalement comme volumes supplémentaires de F&L à mettre en marché. Deux difficultés apparaissent immédiatement.

Une première difficulté réside dans l'estimation des niveaux de la consommation actuelle de F&L, qui varie fortement selon les études, les sources de données et les catégories de produits prises en compte dans les calculs. Ce point est discuté dans le chapitre 2. Si l'on s'appuie sur les études citées dans ce chapitre, on peut admettre que la consommation individuelle moyenne en France est de l'ordre de 350 g/j, ce qui, au regard d'un objectif de consommation de F&L de 400 g/j, conduit à évaluer à 50 g/j par jour et par personne le déficit moyen à combler. C'est également cet ordre de grandeur qui est retenu dans les études de (Veerman, Barendregt, and Mackenbach, 2006) aux Pays-Bas (15% pour les fruits et 13% pour les légumes).

Une seconde difficulté réside dans la forte hétérogénéité des consommations des ménages, les niveaux variant sensiblement selon l'âge, les revenus ou l'éducation des consommateurs. Quelle perspective privilégier alors en matière de santé publique ? Faut-il viser, de façon ciblée, les petits consommateurs pour accroître prioritairement et massivement les niveaux de consommation d'une fraction de la population ou faut-il viser un accroissement de la consommation moyenne de l'ensemble des ménages (et dans ce cas 50g/j et par personne pour toute la population) ?

Certaines approches de santé publique (Rose, 2001) considèrent que les politiques les plus efficaces sont celles qui portent sur l'ensemble de la population. Le PNNS2, tout en gardant une perspective d'ensemble, insiste particulièrement sur le problème posé par les "petits consommateurs". Pour ce qui nous concerne ici, les deux perspectives sont équivalentes puisqu'elles supposent la mise en marché de quantités globalement identiques. Simplement, dans le second cas, l'accent est mis plus fortement sur les contraintes qui freinent la consommation des catégories sociales plus défavorisées. On essaie de tenir compte de cette dimension dans la suite de l'analyse.

Sur cette base, on peut estimer que les niveaux de consommation de F&L devraient être augmentés de 1 à 1,5 millions de tonnes par an. Dans la mesure où il s'agit là de quantités réellement consommées, c'est un besoin en volumes mis sur le marché forcément supérieur qui doit être considéré. Si on évalue à environ 40% l'écart entre les quantités mises en marché et les quantités réellement consommées (du fait des pertes), on peut considérer que l'atteinte de l'objectif de croissance de la consommation moyenne de toute la population impliquerait une croissance de 15 à 20 % des volumes de F&L commercialisés (à population constante). Un tel objectif, s'il était adopté par les pouvoirs publics, aurait forcément des effets sur le marché et les changements à mettre en oeuvre ne pourraient être envisagés que dans des dynamiques de long terme. Sur un horizon de 10 ans, il faudrait donc pouvoir tenir un taux de croissance annuel de la consommation de F&L de 1,5 à 2 % par an.

*A priori*, une telle croissance de la consommation de F&L peut être cherchée à travers deux grandes modalités que l'on peut résumer de la façon suivante :

- Une première modalité repose sur un changement des préférences et des comportements des consommateurs. Dans ce cas, l'accroissement de la consommation résulte fondamentalement de la croissance de la demande. Cette modification de la demande peut s'exprimer de deux façons : un accroissement de la disposition à payer de consommateurs déjà aujourd'hui sensibilisés aux qualités des F&L ; l'attraction de nouveaux consommateurs aujourd'hui non sensibles aux apports des F&L.
- Une seconde modalité repose, à comportements des consommateurs non modifiés (et donc à fonction de demande constante), sur une modification des caractéristiques de l'offre de F&L. Dans ce cas, les consommateurs ne sont pas supposés valoriser plus qu'aujourd'hui les bienfaits des F&L, mais leur niveau de consommation est influencé par les prix et la qualité des produits qui leur sont proposés. La baisse des prix et/ou l'augmentation de la qualité favorise ici un accroissement des volumes consommés.

En s'appuyant sur des travaux conduits ces dernières années, on peut cerner les enjeux soulevés par chacun de ces scénarios.

### 4.5.2. Une croissance de la consommation par l'augmentation de la demande ?

Partons de l'hypothèse que, pour répondre aux objectifs de santé publique, il faudrait atteindre un taux de croissance de la consommation de F&L de 1,5 à 2 % par an sur 10 ans. Si l'on examine le cas américain, confronté depuis longtemps à la question de l'obésité, il apparaît que les politiques mises en place ont permis une croissance de la consommation de F&L d'environ 15% en 25 ans, soit un taux de croissance moyen de 0,5% par an (Carman, Cook, and Sexton, 2004)

Viser une croissance 1,5 à 2% par an de la consommation suppose une augmentation de la demande encore plus forte. Une augmentation de la demande induit en effet une augmentation des prix qui freine la croissance des niveaux de consommation effective (cf. la première section de ce chapitre). En même temps, si la demande augmente, les prix s'accroissent ce qui attire de nouveaux producteurs. L'offre augmente alors, ce qui ralentit la hausse des prix. En prenant en compte ces divers éléments, quelle croissance de la demande est nécessaire pour atteindre les niveaux de consommation visée ?

On propose de premiers éléments de chiffrage dans l'encadré 4-6. Il ressort de cette approche qui devrait être approfondie dans le futur que sur 10 ans, la croissance de la demande devrait être de 2 à 4% par an. Celle-ci soulève deux questions importantes.

Tout d'abord, quels peuvent être les moteurs d'une telle croissance de la demande ? Un premier levier d'action repose sur les campagnes de communication et d'éducation conduites pour faire évoluer les comportements des consommateurs. Les travaux sur les impacts de ces campagnes montrent des effets possibles sur les niveaux de consommation (cf. Chapitre 3). Il reste à évaluer de façon précise les impacts, sur les diverses catégories de la population, des campagnes comme celles conduites dans le cadre du PNNS ou encore des actions de promotion de la consommation par les filières F&L. Elles semblent à ce stade toucher de façon plus forte les catégories les moins éloignées des niveaux de consommation recommandés. Un second levier réside dans l'augmentation des revenus. Dans le chapitre 2, les travaux présentés font état d'élasticités-revenus de 0,3 à 0,9 selon les catégories de consommateurs, les niveaux étant plus élevés (au moins dans le cas des fruits) pour les catégories les plus pauvres.

En tout état de cause, il faudrait pouvoir évaluer comment la combinaison des politiques d'information, de la croissance des revenus et des innovations-produits peut affecter la demande. Cette analyse n'a pas été conduite à ce jour. Si les évaluations permettaient de considérer qu'une croissance de demande telle que la consommation puisse croître de 1.5 à 2 % par an peut être ainsi atteinte, et cela à des coûts publics ou privés modérés, des interventions visant à jouer sur l'offre de F&L pour des raisons de santé publique ne seraient pas nécessairement justifiées. A l'inverse si l'intervention sur la demande ne permet pas de garantir des taux de croissance de la consommation à hauteur des enjeux de santé publique, des interventions sur les caractéristiques de l'offre peuvent être justifiées. Des travaux restent à conduire pour véritablement étayer ce point.

Une seconde question importante a trait à l'hétérogénéité des niveaux de consommation selon les types de consommateurs. Comme le montrent les travaux présentés dans le chapitre 2, la consommation de F&L est sensiblement plus faible dans les catégories à plus faibles revenus. Dans ces catégories de la population, l'élasticité-prix est plus faible que dans les catégories sociales moins défavorisées, mais la réponse de la demande aux politiques d'information semble l'être également. Il faut alors prendre garde aux effets différenciés des interventions visant à accroître la demande de F&L. Il est en effet possible que les politiques générales d'information agissant sur la demande induisent, simultanément, une croissance de la consommation totale de F&L, mais du fait de la hausse des prix liée à la croissance de la demande, une diminution de la consommation de F&L pour les catégories aux revenus les plus faibles (et les plus déficitaires en F&L). En voulant accroître la consommation totale de F&L, on aurait alors augmenté les disparités dans les niveaux de consommation selon les catégories sociales ou les niveaux d'éducation. C'est cette difficulté majeure qui plaide en faveur d'une action sur l'offre.

**Encadré 4-6. Taux de croissance de la demande et augmentation effective de la consommation**
(Sources : calculs des auteurs)

Une augmentation de la demande (par exemple via une campagne de publicité) se traduit par un 'déplacement vers le haut' de la fonction de demande. Cette augmentation de la demande entraîne une augmentation de la consommation du bien mais aussi une hausse du prix (voir encadré chapitre section 1 .2). Cette hausse de prix vient donc limiter l'augmentation de la consommation effective. La hausse du prix consécutive à l'augmentation de la demande sera d'autant moins forte que l'élasticité de l'offre est grande. De plus une hausse donnée du prix aura un effet négatif sur la consommation d'autant plus fort que la demande est élastique. On distingue ainsi augmentation effective de la consommation (qui intègre les ajustements prix) de l'augmentation de la demande (que l'on mesure à prix constant).

Concernant les F&L frais, les études présentées dans le chapitre 2 conduisent à retenir des niveaux d'élasticités prix de la demande compris entre -0,8 et -1,2. Si l'on retient une valeur de -1, une augmentation de la consommation effective de F&L de 15 % suppose une croissance de la demande de 23 à 32 %. En rythme annuel sur 10 ans, cela correspond à des taux de croissance de la demande variant de 2,1 à 2,8 % par an. Pour atteindre une croissance de la consommation de 20% au bout de 10 ans, le rythme annuel de croissance doit atteindre 2,8% à 3,7%.

| | Croissance de la consommation | |
|---|---|---|
| | 15% | 20% |
| Elasticité de l'offre | | |
| Elasticité = 1 | 2,8 % | 3,7 % |
| Elasticité =1,5 | 2,4 % | 3,1 % |
| Elasticité =2 | 2,1 % | 2,8 % |

Tableau : Taux annuel de croissance de la demande
pour atteindre une croissance effective de la consommation de 15 ou 20% en 10 ans

### 4.5.3. Une croissance de la consommation par une modification de l'offre de fruits et légumes ?

Si l'on raisonne maintenant à fonction de demande inchangée (les consommateurs continuent à apprécier comme aujourd'hui la valeur attachée à la consommation de F&L), est-il possible de faire évoluer les consommations en jouant sur les critères qui conditionnent les décisions d'achat ? Les travaux recensés dans le chapitre 2 montrent que ces décisions sont influencées par les caractéristiques de l'offre de F&L, principalement par les variables de qualité et de prix. Qu'implique alors la recherche d'une croissance de la consommation de F&L par une action sur ces variables d'offre ?

***L'action par les prix***

Rappelons qu'il n'y a pas, *a priori*, de raison pour que les F&L échappent à la règle selon laquelle les prix influent sur les quantités achetées par les consommateurs. Les travaux présentés dans le Chapitre 2 évaluent les élasticités-prix entre -0,8 et -1,2 pour le marché des F&L. En outre, si l'on raisonne sur les dynamiques de long terme, il est important de rappeler que ce sont, non seulement ces élasticités-prix par produits qu'il faut considérer, mais aussi la structure relative des prix des divers types d'aliments, dont les F&L, et les contraintes économiques que cette structure des prix induit sur l'adoption d'un modèle alimentaire plus conforme aux recommandations nutritionnelles. Les travaux qui croisent des analyses économiques et nutritionnelles sur la composition des rations alimentaires apportent des éléments intéressants sur ce plan. Ces travaux (Darmon, 2004) et (Drewnowski and Darmon, 2005), (Drewnowski, Darmon, and Briend, 2004) montrent que :

- comparés à d'autres aliments, les F&L permettent des apports en micronutriments peu coûteux mais, à l'inverse, des apports en énergie très coûteux ;

- pour cette raison, une ration équilibrée sur le plan nutritionnel (pauvre en énergie et riche en micronutriments), mais sous contrainte d'un apport calorique suffisant pour couvrir les besoins énergétiques, est systématiquement plus coûteuse qu'une ration fondée sur des aliments riches en énergie et pauvres en micronutriments ;
- même si le consommateur est parfaitement conscient des « bons » choix alimentaires à privilégier, ses contraintes de revenus peuvent le limiter dans l'adoption d'un mode de consommation conforme aux recommandations nutritionnelles.

Si l'on admet alors que les prix des F&L sont un des éléments qui conditionnent, au moins partiellement, les niveaux d'achat et l'équilibre nutritionnel de la diète, la question à examiner est celle de l'ampleur des ajustements à opérer si la croissance de la consommation passe par une baisse des prix des F&L.

Dans l'encadré 4-7, on propose quelques éléments pour quantifier ces ajustements à opérer. Cette première approche fait apparaître comme nécessaires des baisses de prix correspondants à des gains de productivité de 2 à 3.6 % pan an. Ces gains ne sont pas hors de portée de la filière si l'on en juge par les gains obtenus entre 1991 et 2004. Mais rappelons que ces gains ont nettement fléchi au cours de la période récente et, surtout, qu'ils n'ont été que partiellement transmis vers l'aval des filières pour contribuer au maintien des revenus familiaux, dans un secteur secoué par des crises importantes depuis le début des années 90 (et ne bénéficiant pas de soutiens directs aux revenus comme d'autres secteurs agricoles). Notons également que cela supposerait que (1) les gains de productivité soient de même niveau en aval des filières, (2) les acteurs en aval les transmettent également par des baisses de prix au niveau des consommateurs.

**Encadré 4-7. Gains de productivité, baisse de prix et augmentation effective de la consommation**
(Sources : calculs des auteurs)

Une baisse des coûts de production ou de distribution se traduit par un 'déplacement vers le bas' de la fonction d'offre. A fonction de demande inchangée, cette baisse des coûts et donc des prix (on suppose ici des profits constants pour les agents) entraîne une augmentation de la consommation. Cette dernière sera d'autant plus forte que l'élasticité de la demande sera importante. L'augmentation attendue de la consommation passe donc uniquement par la baisse des prix. Si l'on retient une valeur de -1 pour l'élasticité prix de la demande, une augmentation de la consommation effective de F&L de 15 % suppose une baisse de coûts (mesurée à production constante) comprise entre 19 et 25% selon l'élasticité de l'offre. La baisse des coûts nécessaire pour atteindre une augmentation de la consommation de 20% est comprise entre 24 et 30%.

Concernant les F&L frais, les études présentées dans le chapitre 2 conduisent à retenir des niveaux d'élasticités prix de la demande compris entre -0,8 et -1,2. Si l'on retient une valeur de -1, une augmentation de la consommation effective de F&L de 15 % suppose une croissance de la demande de 23 à 32 %. En rythme annuel sur 10 ans, cela correspond à des gains de productivité compris entre 2,1 et 2,8 % par an. Pour atteindre une croissance de la consommation de 20% au bout de 10 ans, le rythme annuel de gains de productivité doit atteindre 2,7% à 3,6%.

| | Croissance de la consommation | |
|---|---|---|
| | 15% | 20% |
| Elasticité de l'offre | | |
| Elasticité = 1 | 2,8 % | 3,6 % |
| Elasticité =1,5 | 2,3 % | 3,0 % |
| Elasticité =2 | 2,1 % | 2,7 % |

Tableau : Taux annuel des gains de productivité pour atteindre une croissance effective de la consommation de 15 ou 20% en 10 ans (calcul des auteurs)

***L'action par la qualité et l'innovation-produit***

La croissance de la consommation peut aussi passer par une amélioration de la qualité/sécurité des produits ou encore par le développement de nouveaux produits.

Le cas américain montre bien la place de ces démarches dans la croissance de la consommation de F&L. Si l'on examine les supports de la croissance de la consommation aux U.S.A., il ressort les points suivants (Carman, Cook, and Sexton, 2004)

- la croissance de la consommation y a été plus forte dans le secteur du frais que du transformé et plus forte dans le secteur des légumes que des fruits ;
- le développement du frais repose sur le développement du "fresh-cut" (produits frais conditionnés, lavés, parés et/ou pré-découpés), facilitant la préparation et l'usage des produits ;
- cette évolution s'est traduite par une forte croissance du nombre des références-produits dans les rayons de F&L des distributeurs (en moyenne, une croissance de 133 à 350 références dans les rayons F&L des supermarchés entre 1981 et 2001).

L'augmentation de la qualité ou le développement de nouveaux produits, s'ils peuvent aider à une croissance de la consommation, soulèvent néanmoins plusieurs questions.

L'augmentation des niveaux de qualité/sécurité des produits peut augmenter les coûts de production et de distribution ce qui peut conduire à une élévation des prix finaux. Si elle s'applique à l'ensemble de l'offre sans pour autant que les gains de productivité soient transmis jusqu'au marché final pour en amoindrir les effets sur les prix de détail, une fraction des consommateurs peut être attirée par des produits de qualité plus élevée, mais de l'autre, l'augmentation des prix peut réduire les achats d'autres consommateurs. Si l'amélioration de la qualité s'applique à seulement une partie de l'offre, elle participe alors aux démarches de segmentation déjà en cours de mise en place (cf. section 2 de ce chapitre).

Pour ce qui concerne les "nouveaux" produits, il faut noter qu'ils se positionnent généralement, au moins dans un premier temps, sur des niveaux de prix plus élevés. C'est très largement le cas, par exemple, des produits de 4$^{e}$ et 5$^{e}$ gammes. Ils apparaissent alors plus comme des outils de différenciation et de segmentation des marchés que comme des vecteurs d'une modification profonde des niveaux de consommation.

En outre, dès lors qu'ils sont fortement créateurs de valeur, ces produits ont de fortes chances de basculer dans une logique plus "industrielle" : portés généralement à l'origine par des PME, ils pourraient alors entrer dans les portefeuilles de produits de groupes industriels de l'appertisé ou du surgelé. Dans un contexte marqué par une forte concentration et une forte intensité concurrentielle, on pourrait s'attendre alors :

- au développement de stratégies de marques très poussées et une entrée en force des MDD,
- à une organisation de l'approvisionnement fondée sur des relations contractuelles pour garantir les volumes et la qualité,
- un risque de recours croissant à des importations (comme c'est de plus en plus le cas pour bon nombre de produits F&L transformés), sauf si les caractéristiques spécifiques de la matière première imposent des délais courts entre récolte et transformation (pour les produits qui restent assez proches du frais).

### 4.5.4. Faire évoluer la segmentation du marché ?

Comment finalement favoriser la croissance des quantités totales de F&L consommées par l'ensemble de la population (dans un contexte dans lequel la valeur nutritionnelle des F&L n'a été que partiellement "internalisée" par les consommateurs) sans pénaliser les producteurs et les filières ?

Soulignons encore une fois que les recherches conduites jusqu'à présent ne permettent que de donner des réponses partielles et proposer des pistes de travail qui devraient être approfondies dans le futur. Elles permettent de dégager cependant des hypothèses qui pourraient être explorée par les pouvoirs publics et les professionnels.

Si l'on s'inscrit dans une perspective de croissance de la consommation de F&L en augmentation de 15 à 20% dans la prochaine décennie, il ressort en effet que :

- ni les politiques visant à agir seulement sur la demande (qui ne semblent pas modifier les comportements à hauteur de ces enjeux et qui, de plus, peuvent induire des effets négatifs sur les catégories les plus contraintes sur le plan économique),
- ni celles visant uniquement la baisse des prix des F&L (qui peuvent pénaliser les revenus des entreprises des filières),
- ni celles visant seulement l'amélioration des niveaux de qualité ou l'innovation-produit,

ne paraissent pouvoir, si l'une ou l'autre est mise en œuvre exclusivement, permettre d'atteindre les objectifs de consommation énoncés.

C'est plus probablement un "*policy-mix*" combinant ces trois leviers d'action qui peut permettre d'espérer des hausses significatives de consommation, tout en assurant un maintien des revenus des producteurs. Il reste alors à savoir précisément comment les dimensionner pour qu'ils interagissent de façon efficace. Une piste de réflexion, d'ailleurs déjà engagée, par les professionnels et les pouvoirs publics, concerne l'évolution de la segmentation du marché (cf. Encadré 4-8).

### 4.5.5. Conclusion

Le secteur des F&L frais a réalisé des efforts importants d'adaptation au cours des 15 dernières années. Les gains de productivité ont ainsi été supérieurs à bon nombre d'autres secteurs agricoles, dans un contexte où les exigences sanitaires et qualitatives, portées par des objectifs d'assurance des consommateurs et de segmentation du marché, se sont notablement renforcées.

Concernant précisément les prix des F&L, les travaux de recherche conduites sur le plan international et présentés dans les sections précédentes permettent d'identifier certains des facteurs qui ont pu influer sur l'évolution des prix de détail :

- niveaux et répartition des gains de productivité (en relation avec la question des soutiens publics au secteur) ;
- organisation des relations producteurs-distributeurs et intensité de la concurrence sur les marchés de détail ;
- segmentation du marché et démarches pour la qualité et la sécurité des produits ;
- modalités des échanges sur les marchés internationaux.

Les recherches disponibles à ce jour en France ne permettent pas de quantifier les impacts de certains de ces facteurs et surtout, ne permettent pas préciser leur part relative dans la formation des prix de détail. Pour autant, ces divers points représentent des pistes sur lesquelles de nouveaux travaux devraient être conduits pour éclairer plus précisément les politiques à mener.

L'évolution des niveaux de consommation de F&L rappelée dans les chapitres précédents paraît en décalage par rapport aux objectifs de santé publique et viser une croissance de la consommation totale de F&L de 15 à 20% supérieure à celle d'aujourd'hui, signifierait une rupture de tendance par rapport aux 15 dernières années. Elle supposerait une politique volontariste et de long terme qui doit, en tout état de cause, tenir compte, à la fois, des impacts de santé et des effets sur les entreprises et les filières. A cet égard, il faudrait pouvoir disposer d'un bilan global comparant les gains de santé potentiellement permis par la croissance de la consommation de F&L et les coûts des transformations à opérer, tant pour les pouvoirs publics (campagnes de communication, politiques de soutiens) que pour les opérateurs privés. Ce bilan n'est pas disponible à ce jour.

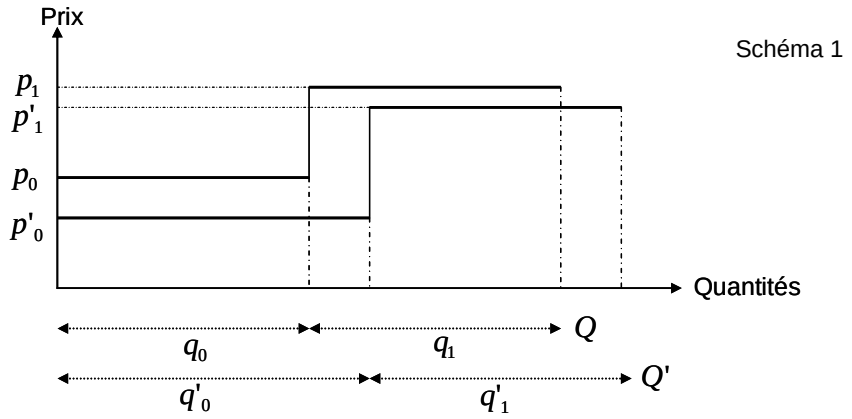
Si l'on admet que le solde peut être positif, la question se pose des stratégies à mettre en œuvre pour promouvoir une croissance de la consommation sans pénaliser les entreprises et les filières de F&L. *A priori*, cette croissance peut résulter de deux types d'action :

- une augmentation de la demande, par une sensibilisation accrue des consommateurs aux bénéfices des F&L (afin d'accroître leurs dispositions à payer les F&L et augmenter le nombre) ;

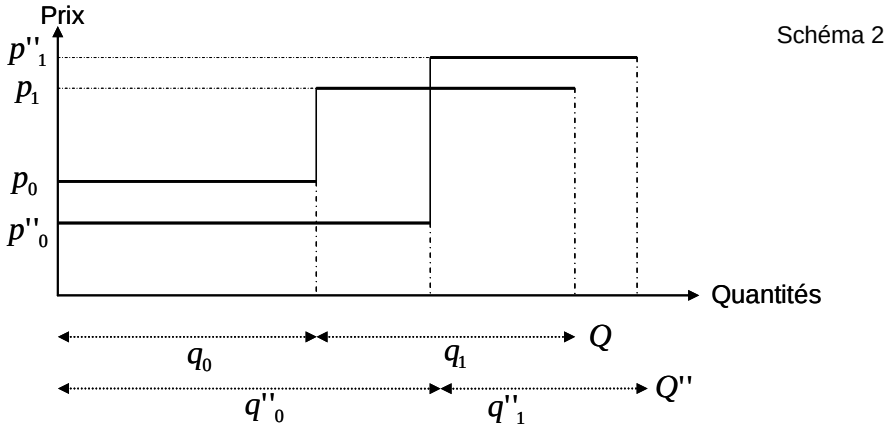
- une modification de l'offre qui peut porter sur les prix, particulièrement sur les segments de produits "génériques", une augmentation de la qualité et/ou le développement d'innovations.

**Encadré 4-8. Une évolution de la segmentation du marché pour accroître les quantités consommées ?**

Considérons un marché composé de deux segments différenciés en qualité et en prix. Le premier segment est vendu à un prix $p_0$ pour une quantité $q_0$, le second à un prix $p_1$ pour une quantité $q_1$. Si le prix du segment de moindre qualité baisse ($p'_0$), la quantité écoulée sur ce segment augmente ($q'_0$), et à qualité constante, la quantité ($q'_1$) et le prix ($p'_1$) du segment de qualité plus élevée baissent aussi (cf. schéma 1). Au total, néanmoins, les quantités consommées augmentent (passage de $Q$ à $Q'$). Ainsi la baisse du prix du segment de qualité moindre (qui peut permettre de toucher les catégories à plus faibles revenus) influence le prix du segment différencié, mais au total accroît les niveaux de consommation.




Le problème, dans ce cas de figure, réside dans la baisse des gains des producteurs qui écoulent le produit de qualité plus élevée. Une réaction possible pour les filières est de modifier les caractéristiques des biens de façon à accroître la qualité du produit différencié. Dans ce cas où la baisse du prix $p_0$ est ainsi accompagnée d'une hausse de la qualité du produit différencié (innovation qualitative), la quantité écoulée sur le segment de moindre qualité augmente plus fortement ($q''_0$), celle écoulée sur le segment de qualité plus élevée baisse plus sensiblement, mais son prix s'élève ($p''_1$) (cf. schéma 2). Dans ce cas, les profits des producteurs du segment de qualité haute sont améliorés. A l'équilibre cependant, la baisse du prix du segment de qualité moins élevée, bien qu'associée à une augmentation de la qualité du segment différencié, ne permet pas forcément de retrouver les profits initiaux.




Il faut, pour cette raison, accompagner la baisse du prix du produit de base et la remontée de la qualité du produit différencié d'une intervention sur la demande. Une croissance de celle-ci est nécessaire pour garantir une augmentation de la consommation totale et un maintien des profits de la filière.

Au vu des travaux disponibles, qui, rappelons-le, restent très incomplets, aucun de ces leviers d'action ne semble pouvoir permettre, à lui seul, l'atteinte des objectifs (i) de consommation accrue pour l'ensemble de la population et (Kilmer and Stevens) de maintien des revenus des producteurs et des filières.

Dans cette perspective, les réflexions à venir devraient porter prioritairement sur :

- *L'intégration de l'objectif de croissance des quantités consommées dans les politiques de soutien des filières de F&L*. L'enjeu majeur est ici de proposer des mesures favorisant un plus grand transfert des gains de productivité vers les consommateurs (ce qui a été rendu possible par les politiques de soutien appliquées aux autres secteurs de l'agriculture).
- *Une analyse des possibilités d'évolution de la segmentation du marché*, en poursuivant simultanément deux objectifs :
  - Une baisse des prix sur les segments de produits génériques, *via* une adaptation des standards publics ou privés qui définissent les caractéristiques requises (calibres, homogénéité des lots…) pour accéder au marché (sans bien sûr diminuer les niveaux des exigences sur le plan sanitaire), ou *via* une plus grande ouverture des échanges commerciaux internationaux si les effets d'une telle ouverture étaient confirmés.
  - Une meilleure maîtrise de la dimension qualitative sur les segments de produits différenciés, ce qui implique un renforcement des modalités de coordination entre producteurs et entre opérateurs aval au sein des filières.
- *Un maintien des politiques d'information publiques et privées pour la promotion de la consommation de F&L*, sous réserve de la confirmation, par les évaluations qui doivent être conduites, de leurs effets sur la demande.

# Références bibliographiques


Anania, G. (2006). The 2005 WTO arbitration and the new EU import regime for bananas: a cut too far? *European Review of Agricultural Economics* **33**(4)**,** 449-484.

Antle, J. M. (1999). Benefits and costs of food safety regulation *Food Policy* **24**(6)**,** 605-623.

Arias, P., Hallam, D., Hubbard, L., and Liu, P. (2005). The elusive tariff equivalent for EU banana market. *FAO Commodity Market Review*(2005/2006)**,** 107-124.

Arias, P., Dankers, C., Liu, P., and Pilkauskas, P. (2004). "L'économie mondiale de la banane 1985-2002." Etudes FAO sur les produits FAO.

Arnade, C., and Pick, D. (2000). Seasonal Oligopoly Power: The Case of the US Fresh Fruit Market. *Applied Economics* **32**(8)**,** 969-977.

Aubertot, J. N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J. J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savin, I., and Voltz, M. (2005). "Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective." INRA-Cémagref, Paris.

Bao, H., and Zhang, Q. (2004). The authentification system on quality agricultural products in Japan will affect Chinese vegetable exports and the strategies of China. *China Vegetables* **3**(1-2).

Batt, P. J. (2006). Fulfilling customer needs in agribusiness supply chains. *Acta Agriculturae* (699)**,** 83-89.

Bazoche, P., Giraud-Heraud, E., and Soler, L. G. (2005). Premium private labels, supply contracts, market segmentation, and spot prices. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* **3**(1)**,** Article 7.

Behr, H. C. (1990). An evaluation of alternative EC-market policies for fruit and vegetables. *European Review of Agricultural Economics* **17**(1)**,** 1-17.

Bergès-Sennou, F., Bontems, P., and Réquillart, V. (2004). Economics of private labels : a survey of literature. *Journal of Agricultural and Food Industrial Organization* **2**(1)**,** 1-23.

Bignebat, C., and Codron, J. M. (2006). Innovations organisationnelles et contrôle de la qualité sanitaire dans la filière fruits et légumes. *INRA Sciences Sociales*(5-6)**,** 1-4.

Bollen, A. F. (2005). Traceability in fresh produce supply chains. *Acta Horticulturae*(687)**,** 279-288.

Borrell, B., and Mauer, M. (2004). EU banana drama: not over yet .New distortions from a hightariff-only policy, pp. 40 p. Centre for International Economics.

Borrell, B., and Maw-Cheng, Y. (1992). EC Bananarama 1992 : the sequel - the EC Commission proposal. *In* "Policy Research Working Paper Series", pp. 27 p. World Bank.

Bouhsina, Z., Codron, J. M., and Hernandez-Sanchez, A. (2002). Les déterminants de l'adoption des standards génériques : le cas de la filière française des fruits frais". *Economies et Sociétés* **36**(9-10)**,** 1617-1632.

Britz, W., Junker, F., and Weissleder, L. (2006). Quantitative assessment of EU-Mediterranean trade liberalization using the CAPRI modelling system. Eu-Med AgPol, Deliverable (24) October 2006.

Brousseau, E., and Codron, J. M. (1998). La complémentarité en formes de gouvernance : le cas de l'approvisionnement des grandes surfaces en fruits de contre saison. *Economie Rurale*(245-246)**,** 75-83.

Butault, J. P. (2006). La baisse des revenus et l'essoufflement de la productivité dans l'agriculture française depuis 1998. *INRA Sciences Sociales Recherches en Economie et Sociologie Rurales*(2)**,** 1-8.

Butault, J. P., Delame, N., and Rousselle, J. M. (1995). La productivité dans l'agriculture française varie beaucoup selon les produits. *INRA Sciences Sociales*(3)**,** 1-4.

Buzby, J. C., and Crutchfield, S. R. (1999). New juice regulations underway. *Food Review* **22**(2)**,** 23-25.

Carman, H. F., Cook, R., and Sexton, R. J. (2004). Marketing California's Agricultural Production. *In* "California Agriculture: Dimensions and Issues", pp. 91-119. AGMRC. Agricultural Marketing Resource Center.

Cash, S. B., Sunding, D. L., and Zilberman, D. (2005). Fat Taxes and Thin Subsidies: Prices, Diet, and Health Outcomes. *Acta Agriculturae Scandinavica - Section C : Economy* **2**(3-4)**,** 167-174.

Chabaud, D., and Codron, J. M. (2005). How to integrate the specificities of some food departments into a retail store organization?: Lessons and limits of the Aokian theory of the firm. *International Journal of Retail & Distribution Management* **33**(8)**,** 597-617.

Chassard, M., and Chevalier , B. (2007). Un large éventail de revenus agricoles. *In* "L'agriculture, nouveaux défis", pp. 31-45. INSEE, Paris.

Chemnitz, C., and Grethe, H. (2005). EU trade preferences for Moroccan tomato exports - Who benefits ? *In* "99th seminar of the European Association of Agricultural Economists (EAAE)", pp. 16 p. EAAE, Copenhagen.

Chevassus-Lozza, E., Gallezot, J., Harel, M., and Persillet, V. (2005). The protection of the European Market in the Fruit and Vegetable sector. The agreements between EU and Mediterranean Countries. Eu-Med AgPol Report Deliverable, august 2005.

Chevassus-Lozza, E., Jacquet, F., Persillet, V., Tozanli, S., and Harel, M. (2007). Impact d'une libéralisation du commerce agricole entre l'Union européenne et la Turquie. *Notes et Etudes Economiques*(28)**,** 75-103.

Cioffi, A., and dell'Aquila, C. (2004). The Effects of Trade Policies for Fresh Fruit and Vegetables of the European Union. *Food Policy* **29**(2)**,** 169-185.

Codron, J. M. (1992). The Southern hemisphere and the expansion of world trade in temperate fruits. *Agribusiness* **8**(6)**,** 585-600.

Codron, J. M., Farès, M., and Rouvière, E. (2006). Le contrôle sanitaire des fruits et légumes : les conventions d'autocontrôle des importateurs français. *Economies et Sociétés*(28)**,** 599-612.

Codron, J. M., Farès, M., and Rouvière, E. (2007). From public to private safety regulation. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology* **6**(3)**,** 415-427.
Codron, J. M., Giraud-Heraud, E., and Soler, L. G. (2005a). Minimum quality standards, premium private labels, and European meat and fresh produce retailing. *Food Policy* **30**(3)**,** 270-283.
Codron, J. M., Giraud-Heraud, E., and Soler, L. G. (2005b). Nouvelles stratégies de la grande distribution dans le secteur alimentaire. *Revue Française du Marketing,* (203)**,** 83-94.
Codron, J. M., Grunert, K., Giraud-Heraud, E., Soler, L. G., and Regmi, A. (2005). Retail sector responses to changing consumer preferences : the European experience. *Agriculture information bulletin* (794)**,** 32-46.
Codron, J. M., Habib, R., Jacquet, F., and Sauphanor, B. (2003). Bilan et perspectives environnementales de la filière arboricole fruitière. *Dossiers de l'Environnement de l'INRA*(23)**,** 31-68.
Codron, J. M., and Lauret, F. (1993). "Les fruits." Economica, Paris (FRA).
Codron, J. M., Sterns, J. A., and Reardon, T. (2003). Strategic choices in produce marketing : issues of compatible use and exclusion costs. *Journal of Food Distribution Research* **34**(3)**,** 1-12.
Codron, J. M., Sterns, J. A., and Vernin, X. (2002a). Grande distribution et agriculture raisonnée dans la filière fruits et légumes frais, pp. 29 p. INRA-CTIFL, Paris.
Codron, J. M., Sterns, J. A., and Vernin, X. (2002b). Production fruitière intégrée : la grande distribution s'y intéresse de près. Etudes sur les motivations et attitudes des enseignes françaises. *Infos CTIFL*(180)**,** 16-19.
Compes Lopez, R. (2002). Trustworthy attributes, norms and certification. Comparison of standards for vegetables. *Economia Agraria y Recursos Naturales* **2**(1 )**,** 115-130.
Crespi, J., and Marette, S. (2001). How should food safety certification be financed ? *American Journal of Agricultural Economics* **83**(4)**,** 852-861.
Darmon, N. (2004). Energy-dense diets are associated with lower diet costs: a community study of French adults. *Public Health Nutrition* **7**(1)**,** 21-27.
de Fontguyon, G., Giraud-Heraud, E., Rouached, L., and Soler, L. G. (2002). Segmentation de l'offre et relations entre producteurs et distributeurs. Quelles stratégies de la grande distribution après la crise de la "vache folle" ? *INRA Sciences Sociales*(2-02)**,** 1-6.
de Fontguyon, G., Giraud-Heraud, E., Rouached, L., and Soler, L. G. (2003). Qualité des produits alimentaires et marques de filières. *Sociologie du Travail* **45**(1)**,** 77-94.
de Kervadoué, J., Hercberg, S., Cznernichow, S., Lévy, P., and Wallet-Wodka, D. (2006). Nutrition et économie de la santé. Recherche pour le compte de la Direction Générale de la Santé, CNAM; Chaire d'économie et Gestion des services de santé. mars 2006.
DEFRA (2004). Investigation of the determinants of farm-retail price spreads. DEFRA.
Dimitri, C. (2003). Agricultural marketing institutions: a response to quality disputes. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* **1**(1)**,** Article 17.
Dimitri, C., Tegene, A., and Kaufman, P. R.(2003). U.S. fresh produce markets - marketing channels, trade practices, and retail pricing behavior. US Department of Agriculture Economic Research Service (ERS-NASS).
Drewnowski, A., and Darmon, N. (2005). Food Choices and Diet Costs: an Economic Analysis. *Journal of Nutrition* **135**(4)**,** 900-904.
Drewnowski, A., Darmon, N., and Briend, A. (2004). Replacing Fats and Sweets With Vegetables and Fruits-A Question of Cost. *American Journal of Public Health* **94**(9)**,** 1555-1559.
Eckes, P. E. (2003). Improved safety, quality and fairness in the fruit juice market via industrial self-control. *Fruit Processing* **13**(4)**,** 257-259.
Emlinger, C. (2007). Impact de la libéralisation des échanges de fruits et légumes dans la zone méditerranéenne. Thèse de doctorat en cours. Ecole doctorale "Economie et Gestion de Montpellier". SupAgro. A paraître.
Emlinger, C., Chevassus-Lozza, E., and Jacquet, F. (2006). Access of Mediterranean Countries to the EU fruit and vegetable market: a gravity model assessment. *In* "7th European Trade Study Group Conference", WIIW Universität Vien, Austria.
Emlinger, C., Jacquet, F., and Petit, M. (2006a). Enjeux de la libéralisation agricole dans la zone méditerranéenne. *Région et Développement*(23)**,** 41-72.
Frey, G., and Manera, M. (2005). Econometric models of assymetric price transmission. *In* "Note di Lavoro 100.2005", pp. 85 p. The Fondazione Eni Enrico Mattei.
Fulponi, L., Giraud-Heraud, E., Hammoudi, H., and Valceschini, E. (2006). Sécurité sanitaire et normes collectives de distributeurs : impact sur les filières et l'offre alimentaire. *INRA Sciences Sociales*(5-6)**,** 1-4.
Garcia-Alvarez-Coque, J. M. (2002). Agricultural trade and the Barcelona Process: is full liberalisation possible? *European Review of Agricultural Economics* **29**(3)**,** 399-422.
Garcia-Alvarez-Coque, V., Martinez-Gomez, and Villanueva, M. (2006). Modelling Euro-Mediterranean Agricultural Trade, TradeAG Working Paper (2006-05).
Garcia Martinez, M., Fearne, A., Caswell, J. A., and Henson, S. (2007). Co-regulation as a possible model for food safety governance: Opportunities for public–private partnerships. *Food Policy* **32**(3)**,** 299-314.
Garcia Martinez, M., and Poole, N. (2004). The development of private fresh produce safety standards: implications for developing Mediterranean exporting countries. *Food Policy* **29**(3)**,** 229-255.
Gardner, B. (2003). US food quality standards: Fix for market failure or costly anachronism? *American Journal of Agricultural Economics* **85**(3)**,** 725-730.

Garnier, G. (2000). Modes de négociation dans le secteur agroalimentaire: Efficacité des réformes réglementaires: Une application au cas des légumes transformés. *Economie et Prévision*(145)**,** 131-143.
Gellynck, X., Januszewska, R., Verbeke, W., and Viaene, J. (2005). Firm's costs of traceability confronted with consumer requirements, pp. 12 p. Ghent University - Department of Agricultural Economics.
Giraud-Heraud, E., Hammoudi, H., and Soler, L. G. (2005). Retailer-led regulation of food safety : back to spot markets ? *In* "11. International congress of the EAAE : The future of rural Europe in the global agri-food system", pp. 17 p. EAAE, European Association of Agricultural Economists, La Haye (NLD), Copenhague (DNK), 2005/08/24;2005/08/27.
Giraud-Heraud, E., Rouached, L., and Soler, L. G. (2006). Private labels and public quality standards : how can consumer trust be restored after the mad cow crisis ? *Quantitative Marketing and Economics* **4**(1)**,** 31-55.
Glemot, C. (2000). Enjeux et outils de la traçabilité. Aux stades production et expédition. *Infos-Ctifl*(166)**,** 24-28.
Gorny, J. R. (2005). Leveraging innovative fresh-cut technologies for competitive advantage. *Acta Horticulturae*(687)**,** 141-148.
Götz, L., and Grethe, H. (2007). The EU Import Regime for Oranges - Much Ado about Nothing? *Journal of International Agricultural Trade and Development* **3**(1).
Grethe, H., Nolte, S., and Tangermann, S. (2005). Evolution, Current State and Future of EU trade Preferences for Agricultural Products from North-African and Near-East Countries. *Journal of International Agricultural Trade and Development* **1**(2)**,** 109-133.
Grethe, H., and Tangermann, S. (1998). The EU import regime for fresh fruit and vegetables after implementation of the results of the Uruguay Round. *In* "Diskussionsbeitrag - Institut fur Agrarokonomie der Universitat Gottingen".
Guyomard, H., Herrard, N., Laroche, C., and Le Mouël, C. (1997). L'Organisation commune de marché de la banane dans l'Union européenne : impact de la taille du contingent tarifaire appliqué aux bananes dollar et non traditionnelles ACP. *Economie et Prévision*(127)**,** 15-32.
Guyomard, H., Laroche, C., and Le Mouël, C. (1998). Marché contingenté à l'importation et marché des droits à importer en concurrence imparfaite : le cas de la banane dans l'Union européenne. *Economie Rurale*(243 Modélisation des marchés agricoles)**,** 47-55.
Guyomard, H., Laroche, C., and Le Mouël, C. (1999a). An economic assessment of the Common market organization for bananas in the European Union. *Agricultural Economics* **20**(2)**,** 105-120.
Guyomard, H., Laroche, C., and Le Mouël, C. (1999b). Impacts of the common market organization for bananas on European union markets, international trade, and welfare. *Journal of Policy Modeling* **21**(5)**,** 619-631.
Guyomard, H., and Le Mouel, C. (2003). The New Banana Import Regime in the European Union: A quantitative Assessment. *The Easty Centre Journal of International Law and Trade Policy* **4**(2)**,** 143-161.
Hassan, D., Ossard, H., and Réquillart, V. (2000). Effet d'un prix minimum sur le marché d'un bien différencié. Le cas de la pomme dans l'Union européenne. *Economie Rurale, "Les signes officiels de qualité. Efficacité, politique et gouvernance"*(258)**,** 69-68.
Hassan, D., and Simioni, M. (2004). Transmission des prix dans la filiere des fruits et legumes: une application des tests de cointegration avec seuils. *Economie Rurale*(283/284)**,** 27-46.
Havinga, T. (2006). Private regulation of food safety by supermarkets. *Law &Policy* **28**(4)**,** 515-533.
Henson, S., and Caswell, J. (1999). Food safety regulation: an overview of contemporary issues. *Food Policy* **24**(6)**,** 589-603.
Henson, S., and Hooker, J. H. (2001). Private sector management of food safety : public regulation and the role of private controls. *International Food and Agribusiness Management Review* **4**(1)**,** 7-17.
Henson, S., Loader, R., and Traill, B. (1995). Contemporary Food Policy Issues and the Food-Supply Chain. *European Review of Agricultural Economics* **22**(3)**,** 271-281.
Hernandez-Sanchez, A., Bouhsina, Z., and Codron, J. M. (2004). The impact of HACCP and ISO 9000 adoption on French fresh fruit industry organization. *In* "Quality assurance, risk management and environmental control in agriculture and food supply networks", pp. 79-88. Universitat Bonn-ILB, Bonn Germany.
Hingley, M. (2000). Innovation in supply chain relationships: experience from UK fresh produce industry suppliers and multiple retailer buyers. *In* "Chain management in agribusiness and the food industry. Proceedings of the Fourth International Conference Wageningen, 25-26 May 2000.", Wageningen Netherlands.
Hobbs, J. E., and Kerr, W. A. (1992). Costs of monitoring food safety and vertical coordination in agribusiness: what can be learned from the British Food Safety Act 1990? *Agribusiness (New York)* **8**(6)**,** 575-584.
Hobbs, J. E., and Young, L. M. (1999). Increasing vertical linkages in agrifood supply chains: a conceptual model and some preliminary evidence. *In* "Research Discussion Paper -", pp. 22 pp. Montana State University-Bozeman.
Holleran, E., Bredahl, M. E., and Zaibet, L. (1999). Private incentives for adopting food safety and quality assurance. *Food Policy* **24**(6)**,** 669-683.
Hubbell, B. J., and Carlson, G. A. (1998). Effects of insecticide attributes on within-season insecticide product and rate choices: The case of US apple growers. *American Journal of Agricultural Economics* **80**(2)**,** 382-396.
Hutin, C. (1997). Productivité et revenu en arboriculture et en maraichage. *Infos CTIFL*(128)**,** 16-20.
Jaffee, S., and Masakure, O. (2005). Strategic use of private standards to enhance international competitiveness: vegetable exports from Kenya and elsewhere. *Food Policy* **30**(3)**,** 316-333.
Joffe, M., and Robertson, A. (2007). The potential contribution of increased vegetable and fruit consumption to health gain in the European Union. *Public Health Nutrition* **4**(4)**,** 893-901.

Kersten, L. (1995). Impacts of the EU banana market regulation on international competition, trade and welfare. *European Review of Agricultural Economics* **22**(3)**,** 321-335.
Khurana, S. C. (2003). Building the better fruit and vegetable chains - safety and quality. *Agricultural Marketing* **46**(3)**,** 39-46.
Kilmer, R. L., and Stevens, T. J., III (2002). Supply chains: linked to safer food? *Choices. The Magazine of Food, Farm, and Resources Issues*(No.Fall).
Laroche-Dupraz, C. (1998). Politique de restriction des importations et gestion des droits à importer : Le cas de la banana dans l'UE. Thèse de doctorat, ENSA Rennes.
Liu, Y., Chen, J., Zhang, X., and Kamphuis, B.(2004). The vegetable industry in China - developments in policies, production, marketing and international trade. Landbouw-Economisch Instituut (LEI).
Loader, R., and Hobbs, J. E. (1999). Strategic responses to food safety legislation. *Food Policy* **24**(6)**,** 685-706.
Lorca, A., and Pérez-Sanchez, J. L. (2004). Estimation of the tariff only level to replace the current European protection system for the banana market., pp. 148 p. AGREEM. Asociacion Grupo de Estudios Europeos y Mediterraneos.
Martin, E., and de Gorter, H. (1999). The agreement on agriculture and the CAP: The reform of the fruit and vegetable common market organization. *American Journal of Agricultural Economics* **81**(5)**,** 1283-1283.
Martinez, M. G., Fearne, A., Caswell, J. A., and Henson, S. (2007). Co-regulation as a possible model for food safety governance: opportunities for public-private partnerships. *Food Policy* **32**(3)**,** 299-314.
Mollard, A., Chatellier, V., Codron, J. M., Dupraz, P., and Jacquet, F. (2003). L'agriculture contre l'environnement ? Diagnostic, solutions et perspectives économiques. *Annales des Mines. Responsabilité et Environnement*(30)**,** 37-59.
Montigaud, J.-C. (2000). Internationalisation des filieres fruits et légumes: Le cas de la Compagnie Fruitière *Economies et Sociétés* **34**(10-11)**,** 223-239.
Nilsson, F. O. L., Lindberg, E., and Surry, Y. (2007). Are the Mediterranean Countries Competitive in Fresh Fruit and Vegetable Exports? *Food Economics* **4**(A paraître).
Otsuki, T., Wilson, J. S., and Sewadeh, M. (2001). Saving Two in a Billion: Quantifying the Trade Effect of European Food Safety Standards on African Exports. *Food Policy* **26**(5)**,** 495-514.
Picchi, A. (2002). Marketing times in the fruit and vegetable sector. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* **64**(1)**,** 13-18.
Ponsoda, C., and Glemot, C. (2005). Maîtrise de la qualité des fruits et légumes. Les démarches d'auto-contrôle des importateurs. *Infos-Ctifl*(214)**,** 24-29.
Rae, A. N. (2004). International trade in fruits and vegetables: barriers to trade, WTO proposals for reform and modelling alternative outcomes. *Acta Horticulturae*(No.655).
Raynaud, E., Sauvee, L., and Valceschini, E. (2005). Alignment between Quality Enforcement Devices and Governance Structures in the Agro-food Vertical Chains. *Journal of Management and Governance* **9**(1)**,** 47-77.
Rey, J., and Tirole, P. (2000). "Régulation des relations entre fournisseurs et distributeurs." Conseil d'analyse économique Paris.
Richards, T. J., and Patterson, P. M. (2003). Competition in fresh produce markets: an empirical analysis of marketing channel performance. *In* "Contractor and Cooperator Report - US DA (ERS-NASS), Washington USA.
Richards, T. J., and Patterson, P. M. (2005). Retail price fixity as a facilitating mechanism. *American Journal of Agricultural Economics* **87**(1)**,** 85-102.
Rose, G. (2001). Sick individuals and sick populations. *International Journal of Epidemiology* **30**(3)**,** 427-432.
Schepers, H., Van Henten, E., Bontsema, J., and Dijksterhuis, G. (2004). Tactics of quality management and promotions: winning consumers for fresh exotic produce. *In* "Dynamics in chains and networks: Proceedings of the sixth International Conference on chain and network management in agribusiness and the food industry, Ede, 27-28 May 2004", pp. 566-580. Wageningen Academic Publishers, Netherlands.
Sexton, R., Zhang, M., and Chalfant, J. (2005). Grocery Retailer Behavior in Perishable Fresh Produce Procurement. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* **3**(1)**,** Article 6.
Sexton, R. J., and Zhang, M. X. (1996). A model of price determination for fresh produce with application to California iceberg lettuce. *American Journal of Agricultural Economics* **78**(4)**,** 924-934.
Shelford, J. (2004). Impact of Contracting in Fresh Produce. *In* "Ensuring a healthy food supply". USDA United States Department of Agriculture, Arlington, Virginie.
Silva, M. M. d., Silva, L. M. d., and Salema, J. P. (2004). Using information systems to increase food quality and safety in the Portuguese market for fruits and vegetables. *In* "Dynamics in chains and networks: Proceedings of the sixth International Conference on chain and network management in agribusiness and the food industry", pp. 184-191. Wageningen Academic Publishers, Ede.
Spreen, T. H., Paggi, M., Flambert, A., and Jauregui, C. (2004). Implications of change in the EU banana trade regime on world banana trade. Food and Resource Economics Department, University of Florida.
Stiglitz, J. (1984). Price rigidities and market structure. *American Economic Review* **74**(2)**,** 350-355.
Swinbank, A., and Ritson, C. (1995). The Impact of the Gatt Agreement on Eu Fruit and Vegetable Policy. *Food Policy* **20**(4)**,** 339-357.
Unnevehr, L. J., and Jensen, H. H. (1999). The economic implications of using HACCP as a food safety regulatory standard. *Food Policy* **24**(6)**,** 625-635.

Van Kooten, O., and Schepers, H. E. (2006). Profitability of 'ready-to-eat' strategies: Towards modelassisted negotiation in a fresh-produce chain, pp. 1-16. Springer.

Vanzetti, D., de Cordoba, S. F., and Chau, V. (2005). Banana split: How EU policies divide global producers. . *In* "Policy issues in international trade and commodities study series, 31", pp. 27 p. Trade Analysis Branch, UNCTAD Geneva.

Veerman, J. L., Barendregt, J. J., and Mackenbach, J. P. (2006). The European Common Agricultural Policy on fruits and vegetables: exploring potential health gain from reform. *European Journal of Public Health* **16**(1)**,** 31-35.

Verbic, M. (2006). Discussing the parameters of preservation of perishable goods in a cold logistic chain model. *Applied Economics* **38**(2)**,** 137-147.

Vernin, X., and Paganini, E. (2006). Les signes officiels de qualité: impact et enjeux pour la filière. *Infos-Ctifl*(218)**,** 10-13.

Vorst, J. G. A. J. v. d. (2004). Performance levels in food traceability and the impact on chain design: results of an international benchmark study. *In* "Dynamics in chains and networks: Proceedings of the sixth International Conference on chain and network management in agribusiness and the food industry", pp. 175-183. Wageningen Academic Publishers..

Weatherspoon, D., Allen, J., and Reardon, T. (2002). Supermarket strategies for international procurement of fresh produce: seeking diversity while assuring quality and safety. *In* "Paradoxes in food chains and networks. Proceedings of the Fifth International Conference on Chain and Network Management in Agribusiness and the Food Industry", pp. 1054-1064. Wageningen Academic Publishers.

Wiegand, G., Sessler, B., and Becker, T. (2005). Controlled integrated production of fruit and vegetables: a comparison of production guidelines and checking procedures in Europe. *Eurochoices* **4**(1)**,** 38-45.

Woods, M., Thornsbury, S., Raper, K., Weldon, R., and Wysocki, A. (2003). Food safety and fresh strawberry markets. *In* "Staff Paper - Department of Agricultural Economics, Michigan State University", pp. 16 p. Michigan State University Department of Agricultural Economics, East Lansing USA.

Young, C. E., and Kantor, S. L. (1999). Moving Toward the Food Guide Pyramid: Implications for U.S. Agriculture. USDA Agricultural Economic Report No. (AER779)

Zhou, Q., Chen, C., and Xu, M. (2003). A study for improving the marketing competitiveness of advanced protected horticultural production organizations. *Acta Agriculturae Shanghai* **19**(4)**,** 5-10.

Zuurbier, P. J. P. (1999). Supply Chain Management in the Fresh Produce Industry: A Mile to Go? *Journal of Food Distribution Research* **20**(1)**,** 20-30.

## 1.5. Conclusions générales

### La consommation de F&L en France : éléments de contexte

D'après les données des bilans alimentaires établis par la FAO, les disponibilités totales en France en 2005, atteignaient 145 kg par personne pour les légumes et 84 kg pour les fruits. Ces quantités n'incluent pas les pommes de terre, qui sont en dehors du périmètre de l'expertise. Cette estimation correspond à l'ensemble des utilisations de fruits et légumes sur le territoire national, quelles que soient les formes et les lieux de consommation (frais, transformé, à domicile, au restaurant…). Elle inclut les quantités qui seront perdues aux divers stades de la transformation, de la distribution et de la préparation finale des aliments. Elle fournit donc une estimation par excès des quantités effectivement ingérées par les consommateurs.

Ces disponibilités totales par personne pour l'ensemble des fruits et des légumes (hors pommes de terre et féculents) apparaissent régulièrement croissantes depuis la fin des années 70, avec depuis le début des années 2000, une consommation apparente de légumes stable, et une consommation de fruits qui augmente légèrement. Les données de la Comptabilité Nationale montrent une stabilité de la consommation apparente des légumes frais, mais une légère croissance de celle des conserves et du surgelé. Pour les fruits, ce sont aussi les produits transformés, et en particulier les jus, qui expliquent l'augmentation de la consommation apparente depuis le début des années 90. En 2004, les données des Comptes Nationaux estiment la consommation totale de légumes à 125 kg par personne et par an (92 kg pour les légumes frais et 33 kg pour les conserves et le surgelé), et la consommation de fruits à 63 kg pour les fruits frais, 7 kg pour les fruits transformés et 23 litres pour les jus de fruits et les nectars[1].

**Les repères de consommation : 400 g ou 5 portions par jour ?**

La mise en place aux Etats-Unis du programme "5 A Day for Better Health" par le NCI (National Cancer Institute) en 1991, à la suite du programme développé en Californie depuis 1988, a fait du repère de consommation "au moins 5 fruits et légumes par jour" un objectif de santé publique largement diffusé. La recommandation de consommer au moins 5 portions (servings) de fruits et légumes par jour est cependant beaucoup plus ancienne, puisqu'elle apparaît déjà dans le guide alimentaire de l'USDA (US Department of Agriculture) de 1916. Dans son rapport d'évaluation du programme "5 A Day for Better Health", le NCI reconnaît qu'à côté des justifications scientifiques, la commodité du repère a joué un rôle.

Parallèlement, dès 1990, les recommandations de l'OMS ont mis en avant le repère de 400 g par jour, comme minimum de consommation souhaitable. Ces deux repères aboutissent à une portion théorique de 80 g, peu contestable sur le plan arithmétique, mais ne correspondant pas toujours aux quantités effectivement ingérées par occasion de consommation. C'est en tout cas ce qui ressort de l'analyse des enquêtes de consommation françaises réalisée dans une étude commune de l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) et de l'INPES (Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé). Les portions effectives dépassent en général 80 g (130 à 170 g pour les adultes selon l'âge d'après l'enquête INCA 1), ce qui fait que la consommation est plus proche des recommandations lorsqu'elles sont mesurées en quantités que lorsqu'elles sont évaluées en portions ou en fréquences de consommation.

Le repère de consommation du Plan National Nutrition Santé 2, "au moins 5 fruits et légumes par jour", retient la fréquence de consommation dans ses recommandations, ainsi que dans son objectif de réduction du nombre de petits consommateurs (définis par une consommation inférieure à 3,5 portions par jour). Le dernier rapport conjoint de la FAO et de l'OMS sur la prévention des maladies chroniques (2003) formule ses recommandations uniquement en termes de quantités (au moins 400 g de fruits et légumes par jour). Le repère en fréquence facilite la diffusion des recommandations nutritionnelles, mais il ne faut pas perdre de vue que les deux repères correspondent à des estimations différentes de la prévalence de la sous-consommation dans la population française.

[1] Alors que les bilans de la FAO évaluent les produits en "équivalents primaires", les données de la Comptabilité Nationale portent sur les produits tels qu'ils sont commercialisés, d'où des écarts selon que la transformation entraîne des pertes, ce qui est le cas général, ou au contraire des ajouts (l'eau et le sucre dans les nectars par exemple), par ailleurs les données de la FAO ne permettent pas de prendre en compte le raisin de table qui est agrégé avec le raisin vinifié.

Pour les légumes comme pour les fruits, les volumes consommés ont augmenté surtout pour les produits transformés du fait de l'évolution des modes de vie privilégiant l'économie de temps et aussi du fait d'un écart de prix croissant par rapport aux produits frais. De 1960 à 2005, les prix des légumes frais à la consommation ont en effet augmenté de 40% de plus que la moyenne des prix alimentaires, alors que ceux des légumes transformés ont baissé de 40% par rapport à cette moyenne. Dans le cas des fruits, l'écart de prix entre les produits frais et transformés est de moindre ampleur ; il n'apparaît qu'à la fin des années 80, et résulte pour l'essentiel de la baisse du prix des jus de fruits.

L'évaluation des quantités effectivement consommées par les individus, qui repose essentiellement sur une enquête nationale représentative datant de 1999 (INCA 1), met en évidence un niveau de consommation moyen (350 g/jour) inférieur aux recommandations nutritionnelles (400 g/jour). Par ailleurs, les fréquences de consommation, dont l'estimation est confortée par les données du baromètre santé nutrition réalisé en 2002, sont faibles (moins de 3,5 portions par jour) pour une majorité de la population (59% des femmes et 64% des hommes). Ces différentes observations sont à l'origine des recommandations du deuxième Plan National Nutrition Santé relatives à la nécessité d'augmenter la consommation des fruits et légumes, et en particulier celle des petits consommateurs. Elles sont renforcées par les résultats récents de l'enquête CCAF (Comportement et Consommation Alimentaire en France), réalisée en 2002-2003, et par les tendances du marché qui ne mettent en évidence aucune augmentation de la consommation.

## 1. Relations entre la Consommation de F&L et la santé

L'alimentation et les habitudes de vie ont un rôle important dans la prévention des maladies. La mise en évidence au laboratoire de possibles effets protecteurs de nombreux constituants des fruits et légumes a stimulé un intérêt particulier pour l'étude de leurs propriétés cliniques et pour préciser la nature de la relation entre la consommation de F&L et les principales maladies chroniques.

### *Apports en micronutriments*

Les F&L sont une source alimentaire de vitamines, minéraux, fibres et de microconstituants variés. Ils constituent ainsi un groupe d'aliments important pour satisfaire la couverture des besoins nutritionnels définis dans les "apports nutritionnels conseillés" (ANC). Les données épidémiologiques françaises de l'enquête INCA1 montrent, qu'à leur niveau de consommation actuel (350 g/jour), les F&L contribuent à la couverture des besoins à hauteur de 39% pour les fibres, 38% pour la vitamine A, 42% pour la vitamine B9, 73% pour la vitamine C, 29% pour le potassium et 22% pour le magnésium. Ces estimations doivent cependant être considérées comme des ordres de grandeur car elles sont fondées sur les résultats d'une seule enquête de consommation et sur des tables de composition chimique des aliments qui ne prennent que partiellement en compte la très forte variabilité de la composition nutritionnelle des fruits et légumes.

### *Réduction des apports énergétiques*

De par leur contenu élevé en eau et leur teneur limitée en matière grasse, les F&L présentent une densité énergétique réduite - à poids égal, ils apportent moins de calories que la plupart des autres aliments tout en contribuant aux sensations de rassasiement et de satiété qui facilitent le contrôle des prises alimentaires. Des expériences contrôlées de courte durée ont montré que la densité énergétique des aliments déterminait les apports énergétiques de l'alimentation. Cependant, les expériences à plus long terme montrent que la consommation spontanée de F&L a un impact faible sur le poids (lorsqu'il n'y a pas d'objectif de perte de poids). En revanche, elle facilite la réduction des apports énergétiques lorsqu'elle est associée à un régime hypolipidique (chez des personnes atteintes d'obésité ou désirant perdre du poids). Dans le contexte général de déséquilibre de la balance énergétique qui prévaut dans la plupart des pays développés et dans un nombre croissant de pays en transition économique rapide, la consommation de F&L pourrait ainsi contribuer à la diminution de la ration calorique.

***Protection contre les pathologies chroniques***

Historiquement, des études cas-témoins ont mis en évidence des consommations de fruits et légumes (généralement) plus faibles chez des patients atteints de maladies cardiovasculaires ou de cancers que chez des témoins indemnes de ces pathologies. Ces observations ont conduit les autorités américaines à lancer au début des années 90 une campagne de promotion de la consommation de "5 fruits et légumes par jour" (cf. Encadré) pour répondre au déficit de consommation observé dans la population américaine. Les études nutritionnelles cas-témoins posent toutefois des problèmes méthodologiques, justifiant la réalisation d'autres types d'études épidémiologiques.

Les techniques d'épidémiologie nutritionnelle ont considérablement progressé au cours des trois dernières décennies, tant sur le plan des protocoles expérimentaux que des méthodes de recueil des consommations alimentaires et des moyens diagnostiques. Ces progrès se sont traduits par une meilleure connaissance des relations entre les habitudes alimentaires et la survenue des principales pathologies chroniques. On distingue classiquement les études d'observation (ou prospectives), permettant de révéler des corrélations entre facteurs, et les études d'intervention, permettant en principe de révéler des causalités.

La mise en évidence d'un rôle possible des F&L dans la prévention des principales maladies chroniques repose sur l'observation des habitudes alimentaires et de leurs conséquences sur la santé dans des enquêtes épidémiologiques prospectives. En règle générale, ces enquêtes montrent des associations favorables entre la consommation de F&L et la prévention des maladies vasculaires, de certaines formes de cancer et du vieillissement cérébral pathologique (en particulier maladie d'Alzheimer). Pour les cancers et les maladies vasculaires, les relations semblent plus marquées avec les fruits qu'avec les légumes. Cependant, dans la population générale, les consommateurs de F&L présentent majoritairement un mode de vie plus sain que les non-consommateurs, ce qui peut expliquer une partie des bénéfices observés.

Ces observations sont confortées par l'identification de mécanismes d'action plausibles obtenus au laboratoire, mais non démontrés chez l'Homme pour l'instant. Des effets sur des facteurs de risque avérés de certaines pathologies ont également été recherchés. Le plus probant est l'effet bénéfique de la consommation de F&L sur la pression artérielle, statistiquement significatif mais d'ampleur modeste. Compte tenu du lien étroit entre pression artérielle et risque cardiovasculaire, et de la prévalence élevée de l'hypertension artérielle dans la population, une diminution même très minime de la pression artérielle pourrait se traduire par un bénéfice cardiovasculaire notable à l'échelle d'une population, lequel reste toutefois à démontrer. A l'opposé des apports alimentaires, la supplémentation pharmacologique avec les vitamines E, A et le β-carotène à dose élevée a montré des effets délétères chez l'homme.

Il faut noter que les 4 essais de prévention nutritionnelle avec des fruits et légumes publiés à ce jour n'ont pas mis en évidence d'effets protecteurs des F&L sur le cancer et les maladies vasculaires. La portée de ces résultats négatifs doit toutefois être nuancée du fait de limites méthodologiques : certains essais n'ont pas produit de modification des comportements alimentaires suffisante pour tester les effets des F&L dans les conditions expérimentales anticipées ; d'autres concernaient des pathologies déjà évoluées (antécédent de cancer ou d'angine de poitrine).

Au total, notre connaissance sur les effets des fruits et des légumes sur la survenue des principales pathologies chroniques est incomplète ou limitée. A l'heure actuelle, il n'y a pas de preuve expérimentale directe que la consommation de fruits et légumes soit responsable, *per se*, d'une diminution des principales pathologies chroniques, mais il n'y a pas non plus de preuve que ces effets n'existent pas.

***Intolérances individuelles aux fruits et légumes***

Les allergies aux fruits et légumes sont des réactions pathologiques rares mais parfois très graves. Il semble exister une progression du nombre de ces allergies, qui représentent maintenant près de 60% des cas d'allergies alimentaires tous âges confondus. L'anaphylaxie sévère est très rare ; elle est due

essentiellement à l'arachide et à des fruits à coque. Le syndrome d'allergie orale (OAS) qui touche préférentiellement la bouche et la gorge se développe chez certains sujets présentant une allergie à certaines protéines des fruits, légumes et noix et au pollen.

***Risques toxiques liés à la consommation de fruits et légumes***

La présence de **résidus de pesticides** sur ou dans les F&L ainsi que la détection chez certains sujets de métabolites de pesticides (comme les insecticides organophosphorés), qui ont pu être reliés à la consommation de F&L, indiquent la réalité de l'exposition aux pesticides à travers la consommation de F&L. Cette exposition a lieu notamment lorsqu'ils sont consommés frais sans aucune préparation préalable. Cependant ces expositions ne préjugent pas d'un risque encouru. L'évaluation du risque des pesticides pour la santé est complexe ; elle dépend de l'état des connaissances sur le danger des pesticides, des valeurs toxicologiques de référence et des méthodologies d'évaluation de l'exposition disponibles, qui ne sont pas toujours consensuelles. Le renforcement progressif de la réglementation, l'exclusion du marché des substances préoccupantes et l'harmonisation européenne des limites maximales autorisées sur les denrées alimentaires ont pour objectif de renforcer la sécurité du consommateur.

Des doses d'exposition potentiellement préoccupantes ont été mises en évidence, elles concernent le risque aigu. Elles sont liées à l'existence d'échantillons fortement contaminés, qui ne représentent qu'une très faible part des échantillons dont les concentrations en résidus dépassent les LMR (limites maximales de résidus). L'élimination effective du marché des produits dépassant les LMR, notamment après harmonisation européenne, pourrait permettre de réduire l'ingestion des résidus de pesticides à des doses inférieures aux doses toxicologiques de référence. Il faut toutefois garder à l'esprit que les LMR peuvent être révisées à la lumière de nouvelles données ou informations, notamment lorsque les évaluations pourront prendre en compte l'exposition simultanée à plusieurs pesticides.

L'évaluation du risque lié aux nitrates contenus dans les légumes est complexe. La toxicité des nitrates en eux-mêmes est faible mais ils sont en partie transformés dans l'organisme en nitrites puis en nitrosamines, composés reconnus comme cancérogènes. Il est toutefois possible que cette conversion des nitrates ingérés *via* les fruits et les légumes soit moindre que pour ceux contenus dans l'eau, les anti-oxydants contenus dans les F&L pouvant inhiber cette transformation. En tout état de cause, le passage pour un individu du statut de faible consommateur (environ 200 g/jour) à celui de fort consommateur de F&L variés (environ 400 g/jour) n'induira pas un dépassement des doses toxicologiques de référence. En revanche, l'exposition moyenne aux nitrates est en augmentation, l'important rejet de nitrates dans l'environnement depuis plus de 50 ans entraînant des concentrations croissantes dans l'eau et dans les aliments.

La question peut se poser des risques encourus par certaines catégories de population, notamment les personnes âgées et les femmes enceintes ou en âge de procréer ainsi que pour les enfants qui sont exposés, du fait de leur faible poids, à de plus fortes doses par unité de poids corporel.

***Bilan de l'intérêt de la consommation de F&L***

L'observation des habitudes alimentaires dans des études épidémiologiques prospectives montre une association entre la consommation de F&L et la santé. Ces résultats doivent toutefois être nuancés car ces études comportent des facteurs de confusion liés au fait qu'il est très difficile de séparer les habitudes de consommation de F&L d'autres facteurs du mode de vie. Les essais de prévention les plus récents disponibles n'ont pas permis d'établir un lien de causalité entre cette consommation de F&L et la prévention des pathologies. Si on dispose de différents arguments en faveur d'un effet bénéfique des F&L dans la prévention de certaines pathologies, la démonstration formelle reste à faire. L'impact favorable mais discret de la consommation de F&L sur la pression artérielle pourrait induire un bénéfice sur le plan vasculaire à l'échelle d'une population.

Les F&L sont une source importante de fibres, vitamines et minéraux nécessaires au bon fonctionnement des principales fonctions physiologiques de l'organisme. Les données de consommation

alimentaire montrent un déficit d'apports de certains de ces composés par rapport aux apports nutritionnels conseillés. Les F&L représentent la source alimentaire quasi exclusive de certains de ces nutriments. A ce titre, la consommation de F&L ne peut être qu'encouragée.

Il faut noter que cette consommation s'accompagne d'une exposition aux pesticides et aux nitrates. Cette exposition varie considérablement selon les F&L et leurs traitements préalables. Le statut de fort consommateur de F&L, dès lors que ces F&L sont diversifiés, ne devrait pas conduire à une exposition aux pesticides et aux nitrates dépassant les doses toxicologiques.

Enfin, de par leur densité énergétique réduite, les F&L contribuent à réduire la densité énergétique de l'alimentation. Envisager la consommation de fruits et légumes en substitution d'aliments plus denses sur le plan calorique ou moins riches sur le plan des micro-nutriments apparaît donc comme une stratégie raisonnable pour rééquilibrer les apports caloriques de l'alimentation. Il semble toutefois que cette stratégie soit plus efficace si elle est comprise par le consommateur et volontaire.

Au total, malgré l'absence de preuve expérimentale d'une causalité de la consommation de F&L sur les pathologies, les bénéfices nutritionnels potentiels observés dans les enquêtes de population conduisent à préconiser une augmentation de la consommation de F&L pour les faibles consommateurs. L'ESCo ne remet ainsi pas en question les recommandations du PNNS de consommer au moins 5 fruits et légumes par jour dans la population générale et d'augmenter les apports des petits consommateurs. En l'état des connaissances, les bénéfices attendus sont principalement le rééquilibrage des apports de vitamines, de fibres et de minéraux d'une partie de la population, et plus particulièrement de celle des faibles consommateurs.

## 2. Les déterminants de la consommation et les actions d'intervention

Afin de comprendre pourquoi le niveau de la consommation demeure insuffisant en dépit d'une large diffusion des recommandations alimentaires, l'ESCo a passé en revue les principaux déterminants économiques, socio-démographiques et sensoriels de la consommation, puis s'est intéressée aux résultats et à l'évaluation des interventions visant à accroître la consommation.

#### *Les caractéristiques individuelles associées à la consommation*

De nombreux facteurs socio-démographiques sont corrélés à la consommation des F&L : le sexe, l'âge, la composition du ménage, l'origine ethnique, l'éducation, le statut social.

Parmi tous ces facteurs, l'âge ressort clairement comme l'un des plus importants. La consommation augmente avec l'âge chez les adultes, comme chez les enfants qui sont généralement de faibles consommateurs. Le niveau peu élevé de la consommation des enfants, en particulier pour les légumes, est directement lié à leurs caractéristiques sensorielles et à leur faible densité énergétique. Chez les adultes, les effets de génération sont très marqués, en particulier pour les produits frais. Ces effets sont structurels et donc porteurs d'une baisse tendancielle de la consommation dans les années qui viennent, si rien n'est fait pour modifier les comportements des jeunes générations.

Le statut socio-économique est le deuxième facteur clé : toutes les études dans tous les pays (à l'exception des pays traditionnellement très forts consommateurs) mettent en évidence un très fort effet du revenu et du niveau d'éducation sur la consommation. Les fruits et légumes sont un "marqueur social" important.

Ces deux effets combinés définissent clairement la cible principale des actions d'intervention : les jeunes générations, et en particulier celles des milieux modestes et peu éduqués. Il y a convergence des publications dans ce domaine et un consensus assez large sur ce constat, renforcé par les résultats montrant que les préférences pour les fruits et légumes se forment dès la petite enfance et sont ensuite très stables.

***Les déterminants économiques de la consommation***

Les fruits et légumes représentent 12% du budget alimentaire des ménages, soit moins que la viande (23%) et les produits céréaliers (16%), mais autant que les produits laitiers. L'élasticité de la consommation de F&L par rapport à la dépense alimentaire totale est légèrement supérieure à un, ce qui signifie qu'un accroissement de 1% du budget alimentaire entraînerait une augmentation des dépenses pour les F&L supérieure à 1%. En cas d'accroissement du budget alimentaire, les ménages accorderaient donc une certaine priorité aux fruits et légumes. La comparaison des élasticités montre cependant que la priorité serait encore plus élevée pour la viande et le poisson. Il reste que, plus globalement, les élasticités montrent aussi que le budget consacré à l'alimentation n'est lui-même pas vraiment une priorité lorsque le revenu des ménages augmente.

En France, les élasticités par rapport aux prix de la consommation placent également les fruits et plus encore les légumes parmi les aliments sensibles. Le prix des fruits et légumes peut être vu comme un obstacle à la consommation. Le prix des produits frais qui constituent l'essentiel de la consommation a augmenté en effet beaucoup plus vite que l'ensemble des prix alimentaires, et par ailleurs les fruits et légumes, dans leur ensemble, apparaissent plus chers que les autres produits alimentaires, surtout si l'on considère le prix de la calorie.

Ces observations expliquent pourquoi la consommation des fruits et légumes est fortement corrélée au niveau de revenu des ménages. Cependant, une baisse des prix des fruits et légumes ne serait pas forcément suffisante pour augmenter la consommation des ménages les plus pauvres. En effet, bien que fortement sous-consommatrices, les populations très défavorisées ne placent pas les fruits et légumes dans leurs priorités budgétaires.

***Perceptions, attitudes, préférences et choix de consommation***

Les facteurs économiques ne sont pas le seul obstacle au développement de la consommation des fruits et légumes. Les perceptions et les attitudes des consommateurs influent fortement sur leurs préférences et sur leurs choix.

Les déterminants sensoriels jouent évidemment un rôle majeur dans la formation des préférences, en particulier chez les enfants. Même si l'on ne dispose pas d'étude hiérarchisant l'ensemble des facteurs, il apparaît que les facteurs sensoriels jouent souvent un rôle plus important que les croyances relatives à la santé par exemple. Les facteurs sensoriels (aspect, texture, odeur, amertume, acidité…) sont en particulier un motif prépondérant de rejet d'un produit, quelles que soient par ailleurs ses autres caractéristiques.

La prise en compte de l'ensemble des dimensions des choix, à travers le concept de "valeur pour le consommateur", permet de ne pas limiter l'analyse de la formation des préférences à sa dimension purement cognitive. Ce type d'approche confirme la prépondérance de la valeur hédonique (le plaisir) de la consommation sur sa valeur "instrumentale" (c'est-à-dire ses effets utilitaires, par exemple sur la santé). La valeur santé des fruits et légumes est reconnue, mais limitée et contrebalancée par des effets négatifs (faible valeur calorique, allergénicité…). Au-delà des aspects utilitaires, la valeur symbolique et la valeur sociale de la consommation des fruits et légumes sont très peu étudiées, de même que les situations de consommation, alors qu'il s'agit de dimensions essentielles pour comprendre les comportements des consommateurs. L'expression de soi (l'image donnée à travers la consommation), le partage et la conformité aux normes sociales sont, en effet, des facteurs très puissants d'acceptabilité ou de rejet des produits alimentaires. Compte tenu de la multiplicité des obstacles à la consommation (prix, commodité, investissement en temps et en savoir-faire), très fortement ressentie par les jeunes générations, on mesure l'importance d'une meilleure compréhension des mécanismes qui permettraient de valoriser les dimensions hédonique, instrumentale, symbolique et sociale de la consommation des fruits et légumes, jusqu'ici assez peu prises en compte.

***Les interventions et leur évaluation***

Deux types d'interventions peuvent être distinguées : celles qui visent l'individu, ses préférences, ses motivations dans l'espoir d'un changement de comportement et celles qui touchent son environnement.

Les interventions visant uniquement les préférences des consommateurs (éducation, marketing informationnel) améliorent les connaissances et les attitudes, mais ont un faible impact sur les comportements, sauf lorsqu'elles sont très ciblées (enfants), relayées par plusieurs acteurs, et qu'elles font l'objet de mesures d'accompagnement. L'amélioration des connaissances et des attitudes est toutefois un préalable nécessaire, mais n'induit pas forcément le passage à l'acte, compte tenu des contraintes de l'environnement du consommateur ou par le fait que les F&L ne font pas partie du répertoire alimentaire des populations ciblées. Les recommandations en termes de fréquence de consommation sont plus efficaces que celles portant uniquement sur l'accroissement des quantités. C'est ainsi que la recommandation "5 par jour" est pertinente car les variations interindividuelles sont plus liées à la fréquence qu'à la taille des portions. Cette recommandation n'est cependant pas toujours bien comprise par le consommateur.

Bien que sensibles à l'information nutritionnelle, les populations défavorisées sont souvent dans l'incapacité pratique de mettre en œuvre les recommandations. Celles-ci doivent s'accompagner d'actions sur leur environnement (offre, prix), faute de quoi elles resteront lettre morte.

Peu de travaux permettent d'évaluer rigoureusement les interventions sur l'environnement du consommateur. Elles apparaissent néanmoins plus efficaces que les actions dirigées vers les préférences des individus. Les interventions en milieu scolaire sont encourageantes, surtout lorsqu'elles sont complétées par des actions sur la famille. Les interventions sur les prix sont efficaces à court terme en milieu contrôlé, c'est-à-dire lorsque les possibilités de substitutions sont limitées (restaurant, cantine). La distribution de bons alimentaires à destination des populations défavorisées (programme des *food stamps* aux Etats-Unis) n'est efficace sur la consommation de F&L que quand elle est complétée par de l'éducation nutritionnelle visant des populations culturellement homogènes.

Assez logiquement, il semble bien que les interventions efficaces sont celles qui prennent en compte l'ensemble des dimensions et des contraintes de la consommation, en agissant à la fois sur les préférences des individus et sur leur environnement. Il faut souligner que les interventions combinées les plus efficaces sont celles qui sont locales (à l'échelle d'une ville par exemple ou d'une communauté). Toutefois, beaucoup reste à faire, en particulier au niveau méthodologique, pour évaluer rigoureusement l'impact global de ces interventions.

## 3. Les sources de variabilité des qualités nutritionnelles

Le constat que la modification des habitudes alimentaires et l'augmentation de la consommation de fruits et légumes ne sont pas aisées, peut suggérer de privilégier l'augmentation des teneurs en phytonutriments des F&L. Ces teneurs varient avec l'espèce, mais sont aussi, au sein de chaque espèce, modulées par de nombreux facteurs. Les principales sources de variations sont inhérentes aux végétaux, d'ordre physiologique ou génétique, ou au contraire dépendantes des conditions environnementales, des techniques culturales, et enfin des conditions de conservation et de transformation après récolte.

Autant les données présentées ci-dessus peuvent être globales pour un ou des fruits et légumes, autant les études sur les teneurs en micronutriments sont effectuées à une échelle beaucoup plus fine (une ou des molécules, pour un matériel végétal, et souvent un facteur spécifique).

***Variations physiologiques et variabilité génétique de la composition en micronutriments***

La teneur de la plupart des composés évolue au cours du développement des organes, certains s'accumulant jusqu'à la maturation (des caroténoïdes, par exemple) alors que d'autres diminuent (la vitamine C par exemple). Elle peut différer fortement suivant les organes : beaucoup de métabolites

secondaires (auxquels appartiennent les composés à valeur nutritionnelle) jouent dans les végétaux un rôle protecteur contre les agressions de l'environnement (température, lumière) ou des pathogènes et sont donc souvent en plus grande concentration dans la peau des fruits ou dans les feuilles externes des légumes à feuilles. Il n'existe pas de relation systématique entre les teneurs en différents métabolites secondaires. Néanmoins, on observe souvent une relation négative entre taille des fruits et teneur en matière sèche, et par conséquent entre teneurs en composés bioactifs et taille des fruits.

Les nombreuses études comparant les teneurs en un (ou quelques) composé(s) chez plusieurs variétés d'une même espèce, cultivées dans les mêmes conditions, montrent une grande gamme de variation. Des variations du simple au double ou au triple sont fréquemment observées, mais les écarts peuvent être beaucoup plus importants, de 1 à 10, dans certains cas. Ces résultats relativisent la pertinence des valeurs moyennes figurant dans les tables de composition des aliments, acquises sur quelques échantillons.

Jusqu'à présent, la sélection des fruits et légumes a surtout pris en compte des objectifs de productivité, d'adaptation aux conditions pédoclimatiques, de résistance aux bioagresseurs et de qualité commerciale (aspect des produits, tenue post-récolte). La qualité nutritionnelle n'a que rarement été un critère de sélection direct, sauf pour contre-sélectionner des aspects défavorables, liés à des facteurs anti-nutritionnels (chez les légumineuses) ou à des caractéristiques gustatives défavorables (composés responsables de l'amertume du concombre, glucosinolates des choux, par exemple). Cette sélection pour la productivité n'a pas systématiquement réduit la valeur nutritionnelle des F&L. La comparaison entre variétés anciennes et modernes ne donne pas de résultats généralisables. Notamment lorsque les composés sont liés à la couleur (cas de plusieurs caroténoïdes), la sélection n'a pas beaucoup modifié les compositions, la couleur figurant parmi les principaux critères de choix des consommateurs.

Si la qualité organoleptique constitue d'ores et déjà un nouvel enjeu pour les sélectionneurs, la compétition pour les marchés nationaux ou internationaux peut rendre attractive la sélection pour de nouvelles propriétés, notamment nutritionnelles. De la variabilité génétique existe, parmi les variétés cultivées et chez les plantes sauvages apparentées, et les apports de la génomique élargissent les moyens techniques de connaissance des gènes impliqués et d'amélioration génétique. Des laboratoires de recherche testent des variétés OGM présentant des teneurs accrues en composés tels que caroténoïdes, flavonoïdes ou folates ; aucune n'est commercialisée pour l'instant.

### *Effets des conditions de culture*

Les facteurs physiques du milieu, les interventions culturales ou les modes de production induisent des variations dans le contenu en composés bioactifs des F&L, mais la gamme de variation d'origine climatique ou agronomique, avec des teneurs variant du simple au double, apparaît de (bien) moindre amplitude que celle attribuée à la génétique. De plus, les résultats sont souvent contradictoires et n'autorisent pas à tirer des conclusions définitives ou des lois générales. Les effets des facteurs de l'environnement sur la régulation des voies de synthèse des métabolites secondaires sont complexes et encore très mal connus - contrairement à ce qui se passe pour le métabolisme primaire.

Même si l'on parvenait à analyser de façon fine l'effet de tel ou tel facteur sur la synthèse de ces composés en situation très contrôlée, la transposition des résultats en condition de production serait extrêmement délicate en raison des fluctuations temporelles souvent importantes de ces facteurs.

En l'état actuel des connaissances, aucun mode de production, biologique, intégré ou conventionnel, ne présente d'avantage ou de désavantage particulier en matière d'accumulation des composés bioactifs ; il en est de même pour les modes de conduite, en plein champ ou hors sol.

### *Impacts de la conservation et des transformations*

Le choix des procédés appliqués pour conserver ou stabiliser les F&L a été guidé par des considérations d'hygiène, de stabilité et d'aspect, avec une préservation ou une mise en valeur des qualités organoleptiques. Les teneurs en micronutriments n'ont donc pas plus été au cœur de l'innovation "procédés" qu'elles n'ont pu l'être pour la sélection, sauf en cas d'enjeux de goût (désamérisation des jus d'agrumes) ou de couleur.

Si les données existantes ne permettent pas d'établir, de façon systématique, le bilan intégré des effets des traitements, les analyses fournissent quelques grandes tendances concernant la vulnérabilité des micro-nutriments et les effets des différentes gammes de produits.

**La vulnérabilité des composés** dépend de leur sensibilité à l'oxydation, de leur solubilité dans l'eau (lessivage lors du lavage ou d'une cuisson dans une eau non conservée), leur localisation dans les organes (l'épluchage élimine les nombreux phytonutriments ayant des concentrations supérieures dans les parties externes)... Ainsi, améliorer l'ingestion de micronutriments peut s'avérer incompatible avec d'autres objectifs : peler les fruits pour limiter les risques d'ingestion de résidus de pesticides fait perdre les micronutriments présents dans la peau.

Globalement, deux groupes de nutriments peuvent être distingués : des molécules vulnérables (folates, vitamine C, glucosinolates, anthocyanes) et des molécules plutôt stables (fibres, caroténoïdes, autres polyphénols). Ces composés seront donc plus ou moins préservés dans les différentes gammes (frais, appertisé, surgelé…).

**Les impacts des différentes gammes** sur les caractéristiques nutritionnelles des produits sont liés aux traitements appliqués, mais aussi à des contraintes imposées par la logistique. Le stockage des produits frais conduit à des pertes importantes pour les nutriments et produits fragiles ; les stockages prolongés impliquent généralement l'utilisation de produits phytosanitaires, malgré une recherche active de solutions alternatives. En règle générale, dans les tissus végétaux sensibles, et pour un produit transformé de 2$^{e}$ ou 3$^{e}$ gamme (appertisé ou surgelé), la stabilisation effectuée dans les heures suivant la récolte permet d'apporter au consommateur des teneurs en micronutriments plus élevées que celles qu'il pourra trouver dans un produit certes "frais" mais ayant subi une chaîne logistique d'environ une semaine, des transports ultérieurs avec ruptures de chaîne du froid puis une conservation au domicile. Pour les composés oxydables, la stabilité en cours de conservation peut être meilleure en appertisé qu'en surgelé, la boîte métallique permettant, contrairement à l'emballage plastique, une exclusion totale de l'oxygène.

En fait, il ne s'agit pas d'opposer produits frais et transformés, mais de prendre en compte l'ensemble de l'itinéraire suivi par le fruit ou le légume, depuis sa date de récolte jusqu'à la préparation domestique, de façon à intégrer les différentes opérations unitaires et leur séquence.

***Les voies d'amélioration des caractéristiques nutritionnelles des F&L***

La variabilité génétique est le facteur majeur de variation des teneurs en métabolites secondaires des F&L, mais la sélection génétique est intrinsèquement une voie de long terme (jusqu'à 20 ans pour avoir des vergers en production), surtout si le recours à la transgenèse n'est pas une option retenue. Outre des problèmes éventuels d'inscription au catalogue ou de réglementation, la création de variétés enrichies en nutriments particuliers nécessiterait de s'assurer que les F&L présentant des valeurs extrêmes restent dans le type attendu et ne conduisent pas à des risques toxiques ou à des rejets par le consommateur.

Les facteurs de l'environnement peuvent aussi faire varier, dans une moindre mesure, les teneurs en micronutriments, et cette approche est potentiellement nettement plus rapide, surtout pour des plantes annuelles. Toutefois, les mécanismes d'action de ces facteurs restent mal connus, et il ne faut pas négliger la pesanteur des habitudes et des infrastructures préexistantes.

Les pertes en cours de stockage et de transformation sont très variables selon l'itinéraire suivi. Les transformations industrielles de type appertisé ou surgelé permettent de disposer toute l'année de F&L variés ; elles permettent globalement une bonne préservation des qualités organoleptiques et nutritionnelles. Cependant, les différentes gammes ne se prêtent pas à tous les usages culinaires, surtout pour les fruits.

Il semble difficile de s'engager dans des voies très ciblées tant que persistent de fortes incertitudes sur l'intérêt nutritionnel des différents composés. Quelques rares phytonutriments (glucosinolates, chalcones, tannins) ont un goût jugé désagréable par de nombreux consommateurs ; en augmenter les concentrations pourrait être contre-productif. Augmenter la synthèse et la préservation des

micronutriments constitue un objectif plus ou moins important selon que le bénéfice attendu de la consommation de F&L repose sur l'ingestion de composés fragiles ou plus stables, ou principalement sur la faible densité énergétique des produits. Dans ce dernier cas, d'autres critères (goût, praticité, prix...) peuvent devenir prédominants dans l'intérêt relatif des différentes gammes et les choix des consommateurs.

## 4. Les filières fruits et légumes face aux enjeux de santé publique

Pour atteindre les objectifs de santé publique, l'offre de fruits et légumes doit être en mesure de permettre une augmentation significative de la consommation. L'ESCo a examiné les implications de cet objectif pour les filières, en insistant particulièrement sur la question des prix et de la segmentation des marchés, et en examinant également la gestion de la sécurité sanitaire et des échanges internationaux. Au final, la littérature scientifique disponible ne permet pas d'établir un bilan économique complet des implications d'une politique de santé publique volontariste sur les filières des fruits et légumes. Elle permet toutefois d'explorer certaines de ses implications et d'identifier les questions qui doivent être traitées pour établir un tel bilan.

***Gains de productivité et soutiens publics***

Le secteur des F&L frais a réalisé des efforts importants d'adaptation au cours des 15 dernières années. Les gains de productivité, entre 1991 et 2004, ont ainsi été supérieurs à ceux de bon nombre d'autres secteurs agricoles, en particulier avant 1998, dans un contexte où les exigences sanitaires et qualitatives se sont notablement renforcées. Cependant, la baisse des prix, en aval des producteurs, a été moins forte dans le secteur des F&L frais que pour divers autres produits agricoles : les gains de productivité n'ont été, en effet, que partiellement transmis vers l'aval. Il faudrait évaluer de façon plus complète l'impact sur les prix des F&L des politiques publiques menées dans ce secteur, mais il apparaît que l'absence de soutiens directs a empêché, en tous cas à hauteur de ce qui pu se faire dans d'autres secteurs agricoles, le transfert des gains de productivité vers l'aval et les consommateurs. L'absence de soutiens publics ne permettant pas, en même temps, la baisse des prix de vente et le maintien des revenus d'une fraction des producteurs, en particulier après la forte chute du début des années 90, les gains de productivité ont été plutôt maintenus en amont. Malgré cette évolution, le secteur reste marqué par une forte hétérogénéité, une fraction significative dégageant de faibles revenus.

Les recherches conduites sur les relations producteurs-distributeurs sont encore peu nombreuses en France. La concentration de la grande distribution (qui écoule une très grande partie des F&L frais), vis-à-vis d'un secteur amont relativement peu concentré, aurait pu aboutir à un transfert plus important des gains de productivité de l'amont vers l'aval. Cela ne semble pas s'être effectué.

Le recours à des produits importés n'étant pas facilité par la politique commerciale de l'Union européenne dans les secteurs soumis à une forte concurrence étrangère, il n'a pu constituer une alternative pour faire pression sur les prix des F&L produits au niveau national (ce recours a néanmoins crû sensiblement au cours de la période récente). Le système des prix d'entrée est le principal outil de cette régulation du marché européen. Il ne concerne que les produits d'importance pour la production européenne, les autres produits étant soit exemptés de taxes (produits exotiques), soit soumis uniquement à des taxes *ad-valorem* et des montants spécifiques. Ce système des prix d'entrée, par lequel la protection du marché dépend du niveau des prix, paraît avoir limité les importations à bas prix et contribué à segmenter le marché européen en l'isolant de la concurrence des produits d'entrée de gamme. La question de savoir si ce dispositif a pu freiner la pression sur les prix, particulièrement sur les segments de produits "génériques" d'entrée de gamme fait encore l'objet de controverses. Par ailleurs, en l'absence de modèles d'équilibre du secteur, il est difficile de simuler les effets globaux d'une modification du régime des prix d'entrée et ses impacts sur l'offre de produits génériques.

Le secteur des F&L transformés s'inscrit dans des logiques économiques différentes du secteur des F&L frais. Des relations contractuelles régissent généralement les relations entre l'amont agricole et

l'industrie de transformation, même si un recours croissant à des produits importés peut être noté au cours des dernières années. Comme dans l'ensemble du secteur agroalimentaire, les prix de détail et le partage de la valeur sont influencés par le degré de concentration des entreprises industrielles et de distribution et par les réglementations en vigueur sur la distribution et les relations entre industrie et distribution. Les stratégies de marques et d'innovation tiennent une place majeure. Les marques de distributeurs sont nettement plus développées que pour la moyenne des produits de l'agro-alimentaire.

***Segmentation du marché, qualité et sécurité des produits***

D'une façon générale, la création de valeur dans le secteur des F&L frais a plutôt été recherchée par le biais d'une croissance de la segmentation du marché final, élargissant la gamme des produits offerts aux consommateurs. Cette segmentation repose sur des critères de calibres, de variétés, de conditionnement ou encore de modes de production.

La segmentation croissante de l'offre de F&L frais disponible dans les rayons de la Grande Distribution, a entraîné une certaine modification des modalités d'approvisionnement, avec au moins sur certains segments, l'instauration de relations de nature plus contractuelle avec des Organisations de Producteurs. Ces démarches ont visé une "discrimination" plus efficace des consommateurs, en différenciant des segments de marché, de façon à mieux positionner les produits au regard des dispositions à payer des diverses catégories de consommateurs.

Bien que la segmentation croissante du marché constitue un trait majeur de l'évolution de l'offre depuis une dizaine d'années, ses effets sur la demande n'ont cependant pas été analysés de façon détaillée. Quelques études spécifiques suggèrent qu'elle a contribué à une hausse du prix moyen des fruits et légumes frais, sans nécessairement accroître la consommation totale de F&L. Ces démarches de segmentation ont été souvent conduites à l'initiative des enseignes de la distribution, souvent à travers la création de marques propres (MDD). On note ainsi une faible présence de marques de producteurs dans ce secteur et les Signes Officiels de Qualité restent à ce jour peu développés. Pour cette raison, il est probable que la valeur dégagée par les démarches de segmentation a été, pour une large part, captée par les distributeurs.

Sur le plan sanitaire, la dernière décennie s'est caractérisée par le renforcement de la réglementation publique et le développement de normes privées visant à améliorer les garanties données aux consommateurs. S'est mis en place ainsi, dans de nombreux pays, un système de "co-régulation" public/privé des questions sanitaires. La grande distribution a investi le domaine sanitaire, à travers l'imposition de normes, individuelles ou collectives, qui viennent se rajouter aux obligations réglementaires. La multiplication des standards et normes, ainsi que leurs impacts sur l'accès à certains marchés, sont identifiés comme des facteurs pouvant influer sur le partage de la valeur au sein des filières. Les bilans économiques des différentes modalités de régulation de la qualité sanitaire sont cependant rares et reposent essentiellement sur des données qualitatives. Seul l'effet des normes sanitaires sur les échanges internationaux a fait l'objet de quelques travaux qui ont mis en évidence leur rôle de barrière à l'entrée et leur fort impact sur les exportations, en particulier celles des pays en développement. En revanche, l'effet des mesures sanitaires sur les prix et la consommation n'a pas été évalué, pas plus que n'ont été analysés les critères économiques du choix des seuils de sécurité. Les évaluations sur la base d'analyses coût/bénéfice sont encore peu satisfaisantes, en particulier du fait de la difficulté à évaluer les effets sur la santé humaine. La nécessité de développer des méthodes permettant d'évaluer et de comparer les actions de gestion de la qualité sanitaire apparaît clairement.

***Le bilan global reste à établir***

Les éléments rassemblés (maintien d'une partie des gains de productivité en amont, segmentation croissante du marché, renforcement des normes sanitaires, limitation des importations des variétés les moins chères) permettent d'expliquer l'évolution sur le long terme des prix de détail des fruits et légumes frais.

Infléchir ces tendances dans un sens plus en accord avec les objectifs de santé publique suppose la mise en œuvre d'une politique volontariste pour parvenir à augmenter la consommation de 15 à 20% par rapport à son niveau actuel. L'état des recherches ne permet pas d'établir un bilan rigoureux des implications d'une telle politique, en particulier en termes de coût et de bénéfice aussi bien pour la collectivité que pour le secteur des fruits et légumes. Les connaissances disponibles permettent toutefois d'esquisser un cadre pour analyser les enjeux. Elles permettent de souligner les difficultés à atteindre les objectifs de santé par des politiques exclusivement axées sur la stimulation de la demande. Outre la difficulté à assurer une croissance de la demande à hauteur des enjeux de santé, une action orientée exclusivement vers les préférences des consommateurs pourrait entraîner une hausse des prix qui serait défavorable aux consommateurs les plus modestes et accentuerait les inégalités de consommation que la politique alimentaire vise à combler. La nécessité d'accroître la consommation de F&L tout en assurant le maintien des gains des filières concernées, oriente vers l'utilisation simultanée de l'ensemble des leviers d'action, en complétant les politiques d'information par des politiques d'offre. Une piste de réflexion, suggérée dans cette optique, réside dans un élargissement de la gamme des segments offerts aux consommateurs, en associant, d'un côté, une baisse des prix sur les segments des produits génériques et, d'un autre côté, l'amélioration de la qualité sur les segments de produits différenciés.

## Les besoins prioritaires de recherche

L'ESCo a mis en évidence des lacunes dans les connaissances scientifiques actuelles, ainsi que dans les données disponibles pour conduire les recherches.

### Les impacts de la consommation de F&L sur la santé

Différents axes de recherche peuvent être envisagés :

. Sur le plan purement clinique, il semble important de préciser les propriétés de la consommation de fruits et légumes vis-à-vis des facteurs de risque ou des marqueurs de risque des principales pathologies, à partir d'essais cliniques rigoureux et conduits selon les règles de l'art.

. Les résultats de ces essais cliniques, conduits dans des conditions strictes, devront ensuite être validés dans des interventions communautaires plus larges.

. Si possible, il serait souhaitable de mettre en place des essais d'intervention susceptibles d'apporter les preuves d'un l'effet protecteur des F&L sur les principales pathologies. Compte tenu des contraintes statistiques et des bénéfices attendus, ces enquêtes nécessitent des cohortes importantes et devraient être envisagées à l'échelle européenne.

. Les mécanismes d'action et les propriétés des constituants des fruits et légumes doivent encore être explorés pour mieux comprendre les voies physiopathologiques impliquées dans la protection.

. Les méthodes d'estimation du risque doivent encore être améliorées. Il s'agit en particulier de développer les algorithmes prédictifs d'exposition et de contamination qui tiennent compte au mieux des particularités d'exposition et de la rareté des événements.

. Enfin, il semble important de déterminer avec précision le degré de contamination par les produits phytosanitaires de la population et de connaître la contribution des différentes voies d'exposition possibles.

### Les sources de variabilité des qualités nutritionnelles

. La qualité des fruits et légumes est déterminée à la fois par le potentiel génétique et par les facteurs de l'environnement, dont les effets respectifs sont difficiles à séparer dans les essais au champ. Il est donc important de poursuivre et amplifier les recherches visant à expliciter et modéliser les interactions entre génotypes et environnements pour les divers critères de qualité des produits.

. La régulation des voies de synthèse des métabolites secondaires est très mal connue ; il serait souhaitable d'augmenter l'effort de recherche en écophysiologie, afin de proposer des modèles intégrant le fonctionnement du métabolisme secondaire et plus seulement celui du métabolisme primaire.

. La connaissance des micronutriments dans les produits transformés et surtout de leur variabilité reste trop parcellaire ; les bases de données existantes sur la composition des produits ne reflètent pas la grande variabilité mise en évidence dans l'expertise. Pour connaître vraiment l'impact du stockage et de la transformation sur la teneur des micronutriments des F&L arrivant au consommateur, il est essentiel de passer des études d'étapes individuelles à un suivi intégré de l'ensemble de la chaîne, de la récolte à la préparation finale des produits. La piste de recherche à privilégier est l'étude des mécanismes en jeu, visant l'élaboration de modèles généralisables, validée par des études de cas suivant une même matière première le long de ses circuits potentiels.

. Des recherches en cours sur les procédés, par exemple des traitements thermiques innovants, devraient permettre le développement de nouveaux produits facilitant l'accès des consommateurs, par exemple des produits plus proches du frais et conservés hors chaîne du froid.

. Plus globalement, la qualité organoleptique est un facteur majeur de la consommation de F&L. Il est donc essentiel de poursuivre des travaux sur les déterminants de cette qualité et de son maintien tout au long de la filière.

**Les déterminants de la consommation et les actions d'intervention**

Les déterminants d'ordre individuel de la consommation de F&L au domicile sont assez bien connus. En revanche, on manque d'éléments sur les points suivants :

**.** Etude de la consommation hors du domicile : on ne connaît pas la place des F&L au sein de l'alimentation non domestique, ni les différences entre la restauration collective (cantines scolaires, entreprises) et la restauration commerciale (fast-foods, restaurants traditionnels). Or, du fait des possibilités d'y modifier l'offre, la restauration est un lieu privilégié d'interventions, permettant en outre de cibler des populations spécifiques.

**.** Etude de l'accessibilité physique (répartition spatiale de l'offre, densité commerciale…) : plusieurs études dans les pays anglo-saxons montrent que c'est un facteur limitant la consommation. Pour vérifier cette hypothèse dans le cas français, des études au niveau local sont nécessaires pour étudier les disparités d'implantation commerciale selon les quartiers.

**.** Les dimensions non directement utilitaires de la consommation des fruits et légumes ont été très peu étudiées (valeur symbolique et sociale, valeur de partage, analyse des situations de consommation…). Ces aspects devraient être analysés pour mieux identifier les moyens de lever les obstacles à l'accroissement de la consommation.

**.** L'étude de l'ensemble des dimensions de la consommation pourrait déboucher sur l'établissement de typologies en fonction de la manière dont les différentes caractéristiques des fruits et légumes, y compris les caractéristiques sensorielles, sont hiérarchisées dans les choix des consommateurs.

**.** La multiplication des actions visant à augmenter la consommation des fruits et légumes rend indispensable le développement de méthodes d'évaluation des interventions, et en particulier de méthodes reposant sur des expériences contrôlées.

**Les filières fruits et légumes face aux enjeux de santé publique**

Différentes questions importantes pour évaluer les implications d'une politique d'accroissement de la consommation pour le secteur des fruits et légumes sont peu ou pas traitées dans la littérature scientifique :

**.** Contrairement à d'autres grands secteurs de la production agricole (céréales, lait, viande), le secteur des fruits et légumes ne dispose pas de modèles d'équilibre de marché. Des travaux dans cette optique devraient être développés pour permettre l'analyse de mesures de politique économique. Des recherches sur la gestion du risque et l'analyse des décisions de production à court terme et à long terme devraient également être entreprises pour compléter la modélisation du secteur.

**.** Les questions de la structure des marges dans les filières de F&L, de la transmission des prix, ou encore la question des pouvoirs de marché dans la formation des prix de détail, doivent faire l'objet d'investigations plus approfondies dans le cas européen, et français en particulier. Compte tenu de l'importance croissante de la segmentation de l'offre sur le marché des fruits et légumes, il faudrait étudier les stratégies de différenciation et évaluer leurs conséquences sur l'évolution des prix et de la demande.

**.** Les effets des modalités des échanges commerciaux sur les prix des produits importés doivent faire l'objet d'approfondissements. Dans cette optique, la question de la nature et de la fiabilité des données disponibles pour évaluer ces effets, tout particulièrement ceux du Système du Prix d'Entrée, doit être précisée. De façon plus générale, les méthodes d'évaluation des coûts et des bénéfices de l'augmentation de la consommation des fruits et légumes et des actions sur l'offre doivent être développées.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
147, rue de l'Université • 75338 Paris cedex 07
Tél : + 33(0)1 42 75 90 00 • Fax : + 33(0)1 47 05 99 66
www.inra.fr