HAL open science

# Protéines animales/végétales présent - futur

Didier Remond

## To cite this version:

Didier Remond. Protéines animales/végétales présent - futur. Université d'été de Nutrition 2017, Centre de Recherche en Nutrition Humaine (CRNH). FRA., Sep 2017, Clermont-Ferrand, France. hal-01592227

**HAL Id: hal-01592227**

**https://hal.science/hal-01592227v1**

Submitted on 4 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Université D'Eté de Nutrition 2017

**Santé publique**

**Impact santé des procédés et groupes alimentaires**

**Médecine 4P**

**Vers de nouvelles sources de protéines**

## 20 et 21 Septembre
## Centre Diocésain de Pastorale
## Clermont-Ferrand

CRNH
CENTRE DE RECHERCHE EN NUTRITION HUMAINE
AUVERGNE

www.univete-crnh-auv.fr

# Comité d'organisation et scientifique

Y. Boirie, L. Bruchet, F. Caldefie-Chezet, J. Cholet, P. Duché,

P. Genin, C. Malpuech-Brugère, N. Meunier, M. Miguet,

S. Pastourel, R. Richard, E. Rock, L. Wittrant

# Liste des intervenants

Yves-Jean Bignon, Clermont-Ferrand

Eric Birlouez, Paris

Jean-Michel Chardigny, Paris

Hugo De Vries, Montpellier

Anthony Fardet, Clermont-Ferrand

Laurent Gerbaud, Clermont-Ferrand

Sabine Houdart, Paris

Lise Laclautre, Clermont-Ferrand

Irène Margaritis, Paris

Philippe Michaud, Clermont-Ferrand

Peggy Pinard, Paris

Didier Rémond, Clermont-Ferrand

Catherine Renard, Avignon

Edmond Rock, Clermont-Ferrand

Sylvie Rousset, Clermont-Ferrand

# Programme

## Mercredi 20 Septembre

### Santé publique
*Modérateur : Corinne Malpuech-Brugère*

10h Actualisation des repères de consommations alimentaires pour la population française
*Irène Margaritis, Paris*

10h45 Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 3 (INCA 3)
*Peggy Pinard, Paris*

11h30 Etiquetage nutritionnel : analyse de pertinence en matière de nutrition
*Sabine Houdart, Paris*

12h15 Actualités réglementaires en Recherche Clinique
*Lise Laclautre, Clermont-Ferrand*

### Impact Santé des procédés et groupes alimentaires : focus sur la classification NOVA des aliments
*Modérateur : Edmond Rock*

14h Une brève histoire de la transformation des aliments, des origines à l'ère industrielle
*Eric Birlouez, Paris*

14h45 Les procédés alimentaires : aspects technologiques et conséquences physico-chimique sur les aliments
*Catherine Renard, Avignon*

15h30 *Pause*

16h La classification NOVA : définition et impacts santé
*Edmond Rock et Anthony Fardet, Clermont-Ferrand*

16h45 Ultra-processing : technologies innovantes d'atténuation
*Hugo de Vries, Montpellier*

## Jeudi 21 Septembre

### Médecine 4P -Médecine personnalisée
*Modérateurs : Ruddy Richard et Yves-Jean Bignon*

9h Introduction Générale - Historique de la médecine 4P
*Yves-Jean Bignon, Clermont-Ferrand*

9h45 Thermalisme : études montrant l'intérêt du thermalisme dans la prise en charge
*Yves-Jean Bignon, Clermont-Ferrand*

*10h15 Pause*

10h45 Médecine connectée
*Sylvie Rousset, Clermont-Ferrand*

11h30 Médecine 4P- Médecine personnalisée, évaluer les actions et leurs retombées : des habits neufs pour un problème ancien?
*Laurent Gerbaud, Clermont-Ferrand*

### Vers de nouvelles sources de protéines
*Modérateur : Stéphane Walrand*

14h Stratégie, politique et management des sources, complémentarité des sources actuelles et futures Panorama des différentes sources potentielles
*Jean-Michel Chardigny, Paris*

14h45 Protéines animales/ végétales présent-futur
*Didier Rémond, Clermont-Ferrand*

*15h30 Pause*

16h Autres protéines issues des algues
*Philippe Michaud, Clermont-Ferrand*

16h45 Autres source de protéines : les insectes
*Jean-Michel Chardigny, Paris*

**19h Conférence Grand Public**
**UFR Médecine et Pharmacie, Auditorium**
**28 place Henri Dunant**
**«Les protéines : quel futur?»**
***Jean-Michel Chardigny, Philippe Michaud, Didier Rémond***

# Sommaire

## Mercredi 20 Septembre


- ✓ Matin : Santé publique

Actualisation des repères de consommations alimentaires pour la population française ..... 6

Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 3 (INCA 3) ..... 8

Analyse de la pertinence en matière de nutrition de systèmes d'information nutritionnelle destinés au consommateur ..... 13

Actualités réglementaires en Recherche Clinique ..... 15

- ✓ Après-midi : Impact santé des procédés et groupes alimentaires : focus sur la classification NOVA des aliments

Brève histoire de la transformation des aliments, des origines à l'ère industrielle ..... 16

Procédés alimentaires : aspects technologiques et conséquences physico-chimiques sur les aliments ..... 24

Classification NOVA : degré de transformation des aliments et santé ..... 31

Food-processing : technologies innovantes et douces d'atténuation ..... 42


## Jeudi 21 Septembre


- ✓ Matin : Médecine 4P - Médecine personnalisée

Introduction générale - Historique de la médecine 4P ..... 45

Thermalisme : études montrant l'intérêt du thermalisme dans la prise en charge ..... 45

Médecine connectée ..... 46

Médecine 4P – Médecine personnalisée, évaluer les actions et leurs retombées : des habits neufs pour un problème ancien ? ..... 49

- ✓ Après-midi : Vers de nouvelles sources de protéines

Stratégie, politique et management des sources, complémentarité des sources actuelles et futures. Panorama des différentes sources potentielles ..... 56

Protéines animales/végétales présent - futur ..... 58

Les microalgues : une source pour l'alimentation ..... 59

Autres sources de protéines : les insectes ..... 62

# Actualisation des repères de consommations alimentaires pour la population française

**Irène Margaritis**, Paris

✉ irini.margaritis@anses.fr

## *Biographie*

Irène Margaritis est chef de l'Unité d'évaluation des risques nutritionnels à l'Agence nationale chargée de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), en qualité de professeur détaché depuis 2006. L'unité est en charge du dispositif de Nutrivigilance depuis 2010. Auteur de publications internationales, d'ouvrages destinés aux scientifiques, praticiens et étudiants, dans les domaines de la physiologie de l'exercice et de la nutrition humaine, ses travaux de recherche ont principalement porté sur les réponses adaptatives des systèmes antioxydants modulés par les apports alimentaires, l'activité physique et les stress environnementaux. Elle a dirigé la Faculté des Sciences du Sport de l'Université Nice Sophia-Antipolis de 2000 à 2006.

## *Résumé de l'intervention*

L'évolution des données scientifiques au cours des dix dernières années a permis une révision des repères de consommations alimentaires et d'activité et, plus généralement, du socle scientifique permettant d'asseoir les objectifs de santé publique en lien avec l'alimentation et l'activité physique. L'Anses a publié cette année l'actualisation des repères de consommations alimentaires pour la population française adulte[1]. Ce travail a visé pour la première fois à élaborer des repères de consommation pour les principaux groupes d'aliments visant à satisfaire les besoins nutritionnels de la population adulte, tout en intégrant les enjeux associés à la présence de certains contaminants dans l'alimentation. L'avis de l'Agence conduit à des évolutions fortes, notamment la plus grande place à donner aux légumineuses, aux produits céréaliers peu raffinés, aux légumes, aux fruits, ainsi qu'à certaines huiles végétales en insistant sur la nécessité de limiter la consommation de viandes, hors volailles, et plus encore de charcuteries et de boissons sucrées[2]. Les références nutritionnelles des vitamines et minéraux et macronutriments, ont été mises à jour[3]. Un outil d'optimisation intégratif a été déployé afin d'identifier une combinaison de consommation de 32 groupes d'aliments répondant aux besoins nutritionnels de la population adulte, prévenant le risque de maladies chroniques[4] et limitant l'exposition aux contaminants, en intégrant 41 références nutritionnelles et une centaine de contaminants. Le travail de l'Anses sera décliné pour d'autres groupes de population définis selon des critères physiologiques (âge, sexe, niveaux d'activité physique, etc.) ou relatifs aux comportements alimentaires particuliers (évictions, intolérances, etc). Il sera complété par une évaluation des effets sur la santé des fréquences ou de la structuration des prises alimentaires, ainsi que des contextes de consommation.

## Bibliographie

[1] Avis et Rapport de l'Anses relatifs à l'Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires
https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-1.pdf

[2] Avis et Rapport de l'Anses relatifs à l'Actualisation des repères du PNNS : établissement de recommandations d'apport en sucres
https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0186Ra.pdf

[3] Avis et Rapport de l'Anses relatifs à l'Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles
https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-2.pdf

[4] Rapport de l'Anses relatif à l'Actualisation des repères du PNNS : étude des relations entre consommation de groupes d'aliments et risque de maladies chroniques non transmissibles
https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-3.pdf

# Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 3 (INCA 3)

**Peggy Pinard**, Paris

✉ peggy.pinard@anses.fr

## *Biographie*

Ingénieur agronome et titulaire d'un doctorat en Santé Publique et Epidémiologie nutritionnelle, Peggy Pinard travaille depuis 2011 au sein de l'unité « Méthodologie et Etudes » de la Direction de l'Evaluation des Risques (DER) de l'Anses (Agence Nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) en tant que chargée de projet scientifique et technique en épidémiologie nutritionnelle. Ses principales missions sont de contribuer à l'élaboration des études nationales des consommations alimentaires (les études INCA, qui constituent une base de données sur les habitudes et les consommations alimentaires des français) et des études de l'alimentation totale (études EAT, qui constituent une base de données sur la contamination des aliments en diverses substances chimiques) ; et d'en exploiter les données pour la production d'avis scientifiques dans le domaine de l'évaluation des risques nutritionnels (apports en vitamines, acides gras essentiels, etc.) et sanitaires (exposition aux métaux lourds, résidus de pesticides, toxines, etc.) liés à l'alimentation.

## *Résumé de l'intervention*

**Présentation des principaux résultats de l'Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 3 (INCA3)**

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) est notamment chargée d'évaluer les risques et bénéfices sanitaires et nutritionnels liés à l'alimentation en France. Pour remplir cette mission, elle réalise, à intervalles réguliers, des études individuelles nationales des consommations alimentaires (INCA) afin de disposer de données aussi détaillées que possible sur les consommations et habitudes alimentaires des individus vivant en France. Deux études précédentes ont été conduites en 1998-1999 (INCA1) et en 2006-2007 (INCA2). L'étude INCA3 a permis d'actualiser les données de consommations et d'habitudes alimentaires pour un échantillon représentatif de la population, de la naissance à 79 ans, vivant en France métropolitaine en 2014-2015. Croisée avec la table de composition nutritionnelle du CIQUAL, elle a également permis d'estimer les apports nutritionnels de la population et d'en identifier les principaux groupes d'aliments vecteurs. L'étude fournit également des données sur le statut pondéral de la population, les comportements actifs et sédentaires, la consommation des compléments alimentaires, les habitudes et pratiques potentiellement à risques microbiologiques ou physico-chimiques, la connaissance des

repères alimentaires et les comportements de la population en matière d'alimentation (achats et origine des aliments, sources d'information, lecture des étiquettes, etc.).

**Consommations alimentaires et apports nutritionnels**

Les consommations d'aliments et de boissons ont été recueillies sur 3 jours non-consécutifs (2 jours de semaine et 1 jour de week-end) répartis sur environ 3 semaines, par la méthode des rappels de 24h pour les individus âgés de 15 à 79 ans et par la méthode de l'enregistrement de 24h (via un carnet alimentaire) pour les individus âgés de 0 à 14 ans.

Sur les deux ou trois jours étudiés, environ 80% des enfants et 70% des adultes ont pris leurs petits déjeuners, déjeuners et dîners chaque jour et 62% des enfants ont pris également un goûter quotidiennement. Cette régularité est moindre chez les adolescents (15-17 ans), les jeunes adultes (18-44 ans) et les individus de faible niveau d'étude (ou celui de leur représentant). Par ailleurs, 1 enfant sur 10 et environ 1 adulte sur 3 a consommé quotidiennement des aliments ou des boissons (y compris l'eau) en dehors des quatre repas principaux (dont le goûter). La consommation hors domicile concerne principalement le déjeuner et les collations, elle est plus fréquente chez les hommes, les jeunes adultes et les individus de niveau d'étude supérieur.

En moyenne, les enfants âgés de 0 à 10 ans consomment 1,6 kg d'aliments et de boissons par jour. Cette quantité s'élève à 2,2 kg pour les adolescents âgés de 11 à 17 ans et 2,9 kg pour les adultes âgés de 18 à 79 ans. Les boissons représentent plus de la moitié de cette ration journalière. Aussi bien chez les enfants que chez les adultes, les groupes des fruits, des légumes et des yaourts et fromages blancs représentent trois des cinq premiers groupes contributeurs à la ration journalière d'aliments (hors boissons), dans des proportions variables selon la tranche d'âge. Ils sont complétés par les viennoiseries, gâteaux et biscuits sucrés, ainsi que les pâtes et autres céréales chez les enfants et les adolescents, et par le pain et les soupes chez les adultes. Par ailleurs, l'eau représente la moitié des boissons consommées par les individus, suivie par les boissons à base de lait pour les enfants, les boissons rafraichissantes sans alcool (BRSA, hors jus de fruits) pour les adolescents et les boissons chaudes pour les adultes. Quel que soit l'âge, la ration alimentaire totale est plus élevée chez les individus de sexe masculin que chez ceux de sexe féminin. La contribution des groupes d'aliments à cette ration totale diffère selon le sexe, principalement à l'âge adulte. En effet, les hommes accordent une part plus importante dans leur ration alimentaire aux légumineuses, viandes hors volailles, sandwichs et pâtisseries salées, charcuteries, pommes de terre, fromages, entremets et crèmes desserts, produits céréaliers raffinés (pain, pâtes et autres céréales), et boissons alcoolisées ; et les femmes aux compotes et fruits au sirop, soupes et bouillons, yaourts et fromages blancs, volailles et boissons chaudes. Chez les enfants, comme chez les adultes, une consommation une fois et demie moins élevée de fruits et deux fois plus élevée de BRSA est constatée chez les individus ayant un niveau d'étude primaire ou collège (ou leur représentant) comparativement à ceux ayant au moins un niveau bac+4. Par rapport aux consommations observées dans l'étude INCA2, on constate que les aliments sont davantage

consommés sous une forme transformée que sous une forme brute. Par ailleurs, la moitié des aliments transformés sont d'origine industrielle.

L'apport énergétique total (AET) suit globalement les mêmes variations selon l'âge que la ration alimentaire. Il s'élève à 1 504 kcal/j chez les enfants âgés de 0 à 10 ans, 1 974 kcal/j chez les adolescents âgés de 11 à 17 ans et 2 114 kcal/j chez les adultes âgés de 18 à 79 ans. L'AET augmente progressivement de 0-11 mois à 18-44 ans, pour atteindre 2 200 kcal/j, puis diminue notamment chez les 65-79 ans (1 900 kcal/j). La ration plus élevée chez les individus de sexe masculin se répercute également au niveau des apports énergétiques, avec un AET supérieur à celui des individus de sexe féminin d'environ 10% chez les enfants, 17% chez les adolescents et 38% chez les adultes. Les quatre grandes catégories d'aliments que sont les produits céréaliers, les produits laitiers, les viandes, poissons et oeufs (VPO) et les fruits et légumes contribuent au total à plus de la moitié des apports en énergie (environ 55%), quel que soit l'âge. Les viennoiseries, pâtisseries, gâteaux et biscuits sucrés ainsi que les sandwichs, pizzas, tartes, pâtisseries et biscuits salés sont aussi des contributeurs majeurs à l'apport énergétique. Les glucides contribuent à un peu moins de la moitié de l'apport énergétique sans alcool (AESA), les lipides à un tiers et les protéines à environ un sixième. Les apports en sel s'élèvent à 4,4 g/j chez les 0-10 ans, 6,5 g/j chez les 11-17 ans et 8 g/j chez les adultes (7 g/j chez les femmes et 9 g/j chez les hommes, contre 6,5 g/j et 8 g/j recommandé respectivement). Les apports moyens en fibres sont également inférieurs aux recommandations de l'Anses (20 g/j chez l'adulte contre 30 g/j recommandés).

**Compléments alimentaires**

Le taux de consommateurs de compléments alimentaires (CA), sur les 12 derniers mois, est de 14% chez les enfants de 3 à 17 ans et de 22% chez les adultes de 18 à 79 ans. Ce taux est multiplié par deux entre un niveau d'étude primaire ou collège et un niveau d'étude supérieur au bac. Chez les adultes, il est également plus élevé chez les femmes (+ 9 points) et chez les individus de 18 à 44 ans (+10 points par rapport à ceux de 65 à 79 ans). Une saisonnalité de consommation est aussi observée, avec une consommation plus élevée en hiver. Sur la base d'une définition plus large incluant les médicaments sources de nutriments (définition retenue dans l'étude INCA2), le taux de consommateurs de CA a nettement progressé entre 2006-2007 et 2014-2015 aussi bien chez les enfants de 3 à 17 ans (passant de 12% à 19%) que chez les adultes (passant de 20% à 29%).

**Activité physique et sédentarité**

Environ un quart des enfants âgés de 3 à 10 ans pratique une activité physique 5 jours par semaine et utilise un moyen de transport actif pour se rendre à l'école. Un tiers des adolescents de 11 à 17 ans pratique au moins 60 min par jour d'activité physique, comme recommandé par l'OMS. Chez les adultes de 18 à 79 ans, 63% atteignent un équivalent d'au moins 150 min par semaine d'activité physique, comme recommandé par l'OMS. Entre 11 et 64 ans, les hommes sont plus actifs que les femmes. Les adultes sont moins nombreux à avoir

un niveau d'activité physique avec l'avancé en âge, et lorsqu'ils ont un niveau d'étude plus faible. Environ un quart des enfants de 3 à 10 ans, la moitié des adolescents de 11 à 14 ans et les deux tiers des adolescents de 15 à 17 ans passent plus de 3 h par jour devant un écran. Plus de 80% des adultes passent plus de 3 h par jour dans une activité sédentaire. Chez les enfants, le temps d'écran s'accroit avec l'âge et diminue avec le niveau d'étude du représentant. Inversement, chez les adultes, le temps sédentaire diminue avec l'âge et augmente avec le niveau d'étude. Au final, environ un tiers de la population des enfants et des adultes a un comportement associant l'inactivité physique et la sédentarité.

**Statut pondéral**

Les prévalences observées pour la maigreur, le surpoids et l'obésité sont respectivement de 11%, 13% et 4,0% chez les enfants âgés de 0 à 17 ans et de 3,2%, 34% et 17% chez les adultes âgés de 18 à 79 ans. Dans l'ensemble de la population, la prévalence du surpoids, et plus encore celle de l'obésité, diminuent quand le niveau d'étude augmente. Entre les deux classes extrêmes (niveau d'étude primaire ou collège et niveau d'étude bac+4 ou plus), le taux d'obésité est ainsi divisé par trois chez les enfants et par deux fois et demie chez les adultes. Par rapport à la situation décrite par l'étude INCA2 (2006-2007), les prévalences de surpoids et d'obésité sont stables chez les enfants de 3 à 14 ans. En revanche, on observe des prévalences plus élevées du surpoids chez les adolescents de 15 à 17 ans (passant de 9% à 15%), et de l'obésité chez les adultes (passant de 12% à 17%).

**Connaissances des repères PNNS**

Comparés aux adultes, les adolescents de 11 à 17 ans sont plus nombreux à connaître les repères sur les fruits et légumes, les produits laitiers et les féculents. A l'inverse, les adultes sont plus nombreux à connaître les repères sur le poisson et sur l'activité physique. Enfin, environ la moitié des adolescents et adultes connaissant le repère sur les viande/poisson/oeuf (VPO). Chez les adultes, les femmes sont plus nombreuses à connaître les repères alimentaires que les hommes, qui connaissent cependant mieux le repère sur l'activité physique. La connaissance des repères sur les fruits et légumes et sur les produits laitiers est plus faible chez les individus plus âgés, tandis qu'elle est plus importante pour le poisson et l'activité physique. Les individus ayant (lui ou son représentant) un niveau d'étude primaire ou collège sont moins nombreux à connaître le repère sur le poisson. Depuis le Baromètre santé nutrition de 2008, on observe une diminution de la connaissance du repère VPO et du repère produits laitiers (chez les adultes). La connaissance du repère sur l'activité physique a diminuée chez les adolescents, mais augmenté chez les adultes. Le repère sur les féculents reste le moins bien connu depuis 2008 aussi bien chez les adolescents que chez les adultes.

**Conclusions et recommandations de l'Anses**

Au travers des nombreuses thématiques abordées dans l'étude, des disparités importantes de comportements au sein de la population apparaissent notamment en fonction du sexe, de l'âge et du niveau socio-économique. La connaissance de cette diversité des comportements

alimentaires au sein de la population métropolitaine souligne la nécessité de tenir compte de l'hétérogénéité des comportements au sein de la population pour évaluer les risques et bénéfices liés à l'alimentation. Cette diversité doit également être prise en compte au moment de la communication des risques et des messages de prévention pour s'assurer que les populations les plus concernées soient correctement sensibilisées.

Le recours à une alimentation transformée et complexe, notamment chez les enfants et les jeunes adultes, peut rendre difficile la compréhension et l'applicabilité des messages de prévention basés sur des groupes d'aliments bruts ou peu transformés. Afin de favoriser une appropriation correcte des repères alimentaires du Programme national nutrition santé (PNNS) par l'ensemble des individus, la communication sur les nouveaux repères alimentaires établis en 2017 par le Haut conseil de santé publique (HCSP) sur la base de l'avis 2012-SA-0103 de l'Anses devra donc prendre en compte d'une part les moyens d'expression les plus compréhensibles pour le consommateur (formats d'expression et base temporelle), et d'autre part la tendance à une alimentation de plus en plus complexe et transformée observée dans l'étude INCA3. Par ailleurs, l'Anses souligne l'importance d'évaluer l'efficacité des campagnes de communication qui seront mises en œuvre, compte tenu des observations faites sur la mauvaise connaissance des repères PNNS, à l'exception de celui sur les fruits et légumes.

L'augmentation de moitié du nombre de consommateurs de compléments alimentaires entre 2006-2007 (étude INCA2) et 2014-2015 (étude INCA3) renforce l'intérêt du dispositif de nutrivigilance mis en place en 2009 par l'Anses et visant à améliorer la sécurité du consommateur en identifiant les éventuels effets indésirables liés à la consommation de ces produits.

Le statut pondéral et les niveaux d'activité physique et de sédentarité de la population vivant en France métropolitaine restent inadaptés malgré les plans nationaux mis en œuvre depuis 2001. Les efforts mis en œuvre dans le cadre de la politique nationale doivent donc être renforcés, notamment à destination des catégories sociales les moins favorisées. Ces efforts doivent porter à la fois sur l'amélioration de l'alimentation d'un point de vue nutritionnel et sur la promotion de l'activité physique. Compte tenu de la situation préoccupante sur les comportements sédentaires, l'Anses recommande que cette politique soit également déclinée par un repère spécifique sur la réduction des comportements sédentaires, parallèlement à la promotion d'une activité physique régulière.

**Source : Avis et rapport INCA3 – Juin 2017.**

**Disponible sur : https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0234Ra.pdf**

# Analyse de la pertinence en matière de nutrition de systèmes d'information nutritionnelle destinés au consommateur

**Sabine Houdart,** Paris

✉ sabine.houdart@yahoo.fr

## *Biographie*

Chargé de projets à l'unité d'évaluation des risques liés à la nutrition.

Ingénieur AgroparisTech.

## *Résumé de l'intervention*

Unité d'évaluation des risques liés à la nutrition – Direction d'évaluation des risques

L'Anses (Agence nationale chargée de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) a publié un avis relatif à l'analyse de la pertinence en matière de nutrition de systèmes d'information nutritionnelle (SIN) destinés au consommateur (Anses 2017a). Les SIN sont des formes visuelles (logos, couleurs, graphiques, etc.) proposant au consommateur une information nutritionnelle synthétique sur la face avant des emballages, en complément de la déclaration obligatoire figurant depuis décembre 2016 en face arrière de tous les produits pré-emballés. Reprenant les dispositions du règlement européen INCO, la loi 2016-41 de modernisation de notre système de santé prévoit le déploiement, sur la base du volontariat, d'un système unique à l'échelle nationale permettant de « faciliter le choix du consommateur au regard de l'apport en énergie et en nutriments à son régime alimentaire». Différents systèmes, « nutri-repères », « nutri-couleurs », « nutri-score » (5C), « Health Star Rating » (HSR) et le système « SENS » ont été inclus dans l'évaluation de l'Agence.

Ce travail a consisté à évaluer l'impact potentiel de la mise en œuvre de tels systèmes sur la réduction de l'incidence de certaines pathologies dans l'ensemble de la population, par l'intermédiaire de ses effets sur les choix alimentaires. Ce nouvel avis complète les travaux publiés par l'Agence en 2016 relatifs à l'évaluation de la faisabilité de calcul d'un score nutritionnel (Anses, 2016). L'Agence conclut qu'en l'état actuel des connaissances, la pertinence nutritionnelle dans une perspective de santé publique des SIN examinés n'est pas démontrée.

Dans le cadre du déploiement prévu par la réglementation de l'étiquetage nutritionnel, la mise en œuvre d'un SIN pertinent apparaît donc comme une mesure d'accompagnement, dans le continuum nécessaire entre actions d'éducation, d'information et d'encadrement réglementaire. Compte tenu des enjeux attendus de la mise en œuvre d'un SIN, l'Anses insiste

sur la nécessité de disposer d'un suivi et d'une évaluation régulière des impacts du système d'étiquetage qui a été retenu (Anses, 2017b).

## *Bibliographie*

Anses (2016) Faisabilité de la classification des aliments selon l'algorithme proposé par la FCD Comparaison des résultats obtenus à ceux du système 5-C intégrant les ajustements du HCSP. Rapport d'appui scientifique et technique, mars 2016

Anses (2017a) Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « l'analyse de la pertinence en matière de nutrition de systèmes d'information nutritionnelle destinés au consommateur ». Saisine 2016-SA-0017, 31 janvier 2017.

Anses (2017b) Note de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au projet d'arrêté fixant la forme de la présentation complémentaire à la déclaration nutritionnelle recommandée sur les denrées alimentaires. Saisine 2017-SA-0091, 10 mai 2017.

# Actualités réglementaires en Recherche Clinique

**Lise Laclautre**, Clermont-Ferrand

✉llaclautre_perrier@chu-clermontferrand.fr

# Brève histoire de la transformation des aliments, des origines à l'ère industrielle

**Eric Birlouez**, Paris

✉ ericbirlouez@wanadoo.fr

## *Biographie*

Ingénieur agronome (AgroParisTech) et sociologue, Eric BIRLOUEZ exerce une activité de consultant indépendant (études et conseil dans les secteurs de l'agriculture et de l'alimentation). Parallèlement, il enseigne l'histoire et la sociologie de l'alimentation au sein d'écoles d'ingénieurs et d'universités, en France et à l'étranger. Eric BIRLOUEZ est également formateur, auteur et conférencier : il a publié une douzaine d'ouvrages grand public et de nombreux articles sur l'alimentation et les aliments dont il examine les dimensions culturelles, sociales, historiques et symboliques.

## *Résumé de l'intervention*

Il est fréquent de lire que la transformation des aliments a débuté lorsque l'homme a commencé à produire lui-même sa nourriture en devenant agriculteur et éleveur (cette rupture a eu lieu pour la première fois au Proche-Orient, il y a 11 500 ans). En réalité, les premières transformations alimentaires sont beaucoup plus anciennes. Bien avant d'être appliquées aux denrées agricoles, elles ont concerné les aliments « sauvages » que nos lointains ancêtres cueillaient, ramassaient, pêchaient ou chassaient. Les hommes du Paléolithique pratiquaient déjà la cuisson, le séchage et le fumage, le salage et la conservation par le froid, et sans doute la fermentation. Un des objectifs de ces transformations était commun : retarder la putréfaction de l'aliment. La consommation différée des excédents ponctuels de nourriture représentait en effet un enjeu vital : aux moments de relative abondance pouvaient succéder de longues périodes de manque.

Un des tous premiers moyens de conservation et, en premier lieu, d'assainissement des aliments a consisté à les faire cuire. Cette cuisson a été pratiquée bien avant que les hommes ne sachent produire eux-mêmes le feu (sa domestication est estimée à - 400 000 ans). Ils pouvaient en effet récupérer les braises issues d'arbres frappés par la foudre ou de feux de savane spontanés, de tourbières en combustion ou produites à la suite d'éruptions volcaniques (la grotte de Swartkrans, en Afrique du Sud, a révélé l'utilisation de *feu d'origine naturelle* il y a 1,4 million d'années). Un des bénéfices majeurs de la cuisson a été de rendre la mastication et la digestibilité des aliments plus aisées. Selon certains paléoanthropologues, elle aurait même favorisé le développement cérébral des représentants du genre Homo. Le passage à l'aliment cuit aurait en effet « libéré » une grande part de l'énergie considérable jusqu'alors nécessaire à la mastication et à la digestion des nourritures crues ; cette énergie

devenue disponible aurait alors permis le développement du cerveau, organe grand consommateur d'énergie.

Les premières transformations alimentaires ont parfois permis de rendre certains végétaux tout simplement… comestibles. Ce fut le cas, par exemple, avec le manioc amer qui, sans traitement adéquat, est hautement toxique pour l'homme (en raison de la présence de glucosides cyanogènes qui, lorsque les cellules sont endommagées, libèrent de l'acide cyanhydrique). Les indiens de l'Amazonie ont été les premiers à mettre au point des techniques combinées de trempage de la racine, de fermentation, de cuisson dans l'eau et de séchage permettant de lui ôter toute toxicité.

**Séchage, fumage et salage…**

Ces trois procédés ancestraux - et toujours utilisés - de transformation des aliments sont parfois associés entre eux. Outre la conservation et le stockage des aliments en excès, ils permettaient aux populations nomades de se déplacer avec leurs provisions. Par ailleurs, ces techniques confèrent aux aliments des goûts particuliers, souvent appréciés (celui du sel, du fumé ou encore du sucre dans le cas des fruits séchés).

Le séchage est sans doute la technique de conservation de longue durée la plus ancienne (le séchage des poissons et du gibier a probablement été pratiqué bien avant l'avènement de l'agriculture et de l'élevage). Le séchage a également été appliqué aux fruits sauvages, aux céréales cultivées et aux produits laitiers (après la domestication des brebis, mouflons et aurochs). Il peut être réalisé à l'air libre, sous l'action du vent et du soleil, ou dans un local clos sous l'effet de la chaleur dégagée par un feu. Les paysans des Andes péruviennes ont mis au point des procédés ingénieux de déshydratation des pommes de terre qui leur permettent de conserver celles-ci pendant vingt ans ! Une des techniques consiste, lors des mois d'hiver, à déposer les tubercules à l'air libre sur une couche de paille ou de roseaux secs de façon à les exposer au gel nocturne des hauts plateaux (- 10°C). Le lendemain, les femmes foulent de leurs pieds nus ces papas en cours de décongélation, ce qui permet d'en détacher la peau et d'en extraire la fraction liquide. Le résidu solide est récupéré puis plongé dans un ruisseau pendant une à deux semaines, ce qui élimine les alcaloïdes toxiques qu'il contient. Après égouttage, les tubercules sont séchés au soleil. Ils se couvrent alors d'une croûte blanche, d'où l'appellation de *chuño* blanco donnée au produit final.

Le séchage s'inscrit parfois dans une dimension sociale et revêt une fonction symbolique. L'anthropologue Isabelle Bianquis a montré qu'en Mongolie les aliments séchés sont dévalorisés car « usés » par le temps. C'est la raison pour laquelle ils sont uniquement consommés au sein de la famille. A contrario, les produits frais, non transformés, sont perçus comme neufs : ce sont eux que l'on offre aux personnes que l'on désire honorer.

Outre la cuisson et le séchage, l'utilisation du feu a également permis – peut-être dès la fin du Paléolithique supérieur - le fumage des viandes et des poissons. Plus tard, les produits de charcuterie ont également bénéficié de ce procédé… comme cela est encore pratiqué dans les tuyés de certaines fermes du Haut-Doubs, en Franche-Comté. Situées au centre de la pièce

principale, ces immenses cheminées concentrent la fumée produite par les bûches de sapin, d'épicéa et de genévrier flambant dans l'âtre. Suspendus à des perches transversales, jambons, pièces de lard et saucisses « de Morteau » sont fumés lentement pendant de longues semaines. La fumée, on le sait aujourd'hui, contient des agents bactéricides qui, en plus de la déshydratation induite par la chaleur, contribuent à la conservation de l'aliment (mais elle renferme aussi des hydrocarbures aromatiques polycycliques nocifs pour la santé). Le goût des produits fumés est apprécié depuis longtemps : les Romains de l'Antiquité amélioraient la saveur de leurs fromages de brebis en les fumant avec des herbes et des branches odorantes. Aujourd'hui encore, certains habitants des Caraïbes et d'Amérique du sud pratiquent le boucanage : la viande chassée, placée sur une claie de bois (le boucan) est rôtie et fumée en même temps.

La pratique de la salaison est, elle aussi, fort ancienne. Plusieurs sites, localisés en Europe, attestent en effet de l'exploitation du sel dès le début du VI° millénaire avant notre ère (le précieux ingrédient était alors récupéré en faisant bouillir l'eau de sources salées). La technique de la salaison emprunta deux voies : l'une consistait à recouvrir l'aliment de sel, l'autre à le plonger dans une saumure, mélange d'eau et de sel. Dès le II° siècle av. J.-C., les Gaulois étaient réputés pour la qualité de leurs salaisons de porcs. Chaque année, celles-ci étaient expédiées en quantités considérables au-delà des Alpes pour approvisionner les habitants de Rome ainsi que les légions. Ces charcuteries gauloises étaient parfois fumées. Cette combinaison du fumage et du salage a été attestée à différentes époques et dans de très nombreux endroits. Dans son Histoire naturelle, l'encyclopédiste latin Pline l'Ancien (1er siècle) évoque ainsi les habitants d'Abyssinie (Ethiopie) qui salent et fument les sauterelles qui, chaque printemps, traversent par millions leur territoire. Avec l'essor démographique du milieu du Moyen Âge en Europe, l'accroissement des besoins en sel pour la conservation des aliments - entre autres des harengs, nourriture essentielle des jours « maigres » pour le peuple - fit de cet or blanc une denrée hautement stratégique, une marchandise au commerce très lucratif ainsi qu'un instrument politique et fiscal (gabelle) de premier plan.

Comme le sel, le sucre peut être utilisé pour « capturer » l'eau contenue dans les aliments et priver ainsi les bactéries et levures de cet élément vital. En Europe, les fruits confits dans le sucre sont apparus à la Renaissance, accompagnant et renforçant l'essor de la consommation du sucre par les élites sociales. Lorsque Catherine de Médicis se rend à Metz avec son fils, le jeune roi Charles IX en 1568, la ville lui offre une spécialité locale : des mirabelles confites dans le sucre.

La torréfaction est un type de transformation par la chaleur qui, appliqué à des produits comme le café ou le cacao, permet la formation d'une partie de leurs arômes spécifiques. Ce sont les Mayas établis dans la péninsule du Yucatan qui, il y a 2600 ans (au moins), ont été les premiers à torréfier les fèves du cacaoyer et à élaborer le breuvage que nous nommons chocolat. Ce dernier est le résultat d'un processus complexe de transformation de la matière première. Les Mayas faisaient d'abord fermenter puis sécher les graines du cacaoyer. Celles-ci étaient ensuite grillées (torréfiées), puis écrasées. La pâte obtenue était alors délayée dans

de l'eau bouillante, puis le mélange battu vigoureusement avec des branchettes de façon à former une mousse légère. À cette boisson, les Mayas ajoutaient, pour l'épaissir et l'aromatiser, des ingrédients variés : de la farine de maïs, de la vanille, du piment, du musc et même, parfois, des champignons hallucinogènes. Ce chocolat faisait partie des offrandes destinées aux divinités. Les élites Mayas consommaient ce « breuvage des dieux » lors de rituels religieux rythmés par des danses, des invocations aux divinités et des sacrifices humains.

Le froid a lui aussi été utilisé pour conserver les aliments. Lors des périodes glaciaires et sous certaines latitudes, les hommes préhistoriques ont pu manger la viande d'animaux que la glace avait emprisonnés. Ils ont également constaté que l'exposition au froid intense des gibiers et poissons qu'ils avaient capturés permettait de conserver ceux-ci. Les habitants des pays chauds ont eux aussi compris très tôt l'intérêt de la réfrigération : des glacières, fosses creusées dans le sol et remplies de glace et de neige, ont été utilisées par les Grecs puis par les Romains.

**La fermentation : une transformation ancestrale aux multiples bienfaits**

Depuis 10 000 ans (voire beaucoup plus selon certains auteurs), l'homme a su tirer un très grand profit d'un processus naturel de transformation des aliments : la fermentation. Résultant de l'activité de micro-organismes vivants (bactéries, levures, champignons), la fermentation peut concerner une très grande diversité de matières premières, végétales comme animales : du phoque chez les Inuits du Canada au chou des Alsaciens et des Coréens, de la panse de caribou des Amérindiens à celle de la brebis chez les Ecossais, en passant par le lait chez les peuples nomades d'Asie centrale, le soja des Asiatiques et le hareng des Scandinaves. Le processus aboutit à une variété tout aussi considérable de produits finis : pain, fromage, yaourts et autres laits fermentés, charcuterie, poissons fermentés, légumes fermentés, condiments et sauces (à base de viscères de poisson comme le garum des Romains et le nuoc-mam vietnamien)… sans oublier l'hydromel (la première boisson alcoolisée de l'humanité), la bière, le vin, le chocolat, certains thés….

Les produits fermentés sont universels. Tous les peuples et civilisations, sur tous les continents ont mis au point ce type d'aliments et/ou de boissons. Aujourd'hui, sur l'ensemble de la planète, plus de 5000 aliments fermentés ont été identifiés, ce qui donne une idée de l'immensité des savoir-faire empiriques mobilisés par les hommes. Ces produits sont éminemment culturels et identitaires : tel aliment fermenté peut être considéré comme délicieux par un peuple et répugnant par un autre… et inversement. La fermentation présente de multiples bienfaits, souvent sous-estimés aujourd'hui : elle rend la nourriture plus sûre (en neutralisant les micro-organismes pathogènes), elle permet de conserver longtemps les aliments, elle en améliore les qualités nutritionnelles (les micro-organismes produisent in situ certaines vitamines et acides aminés essentiels) et elle accroît la digestibilité de certains aliments (p.ex. le lait lorsqu'il est transformé en yaourt). La fermentation crée aussi de nouveaux goûts, couleurs et textures. Elle a permis aux humains vivant dans des conditions

extrêmes de diversifier leur régime alimentaire malgré des ressources peu variées (limitées aux poissons et mammifères marins dans le cas des Inuits). Ultime atout de la fermentation : elle est accessible aux plus pauvres des habitants de la planète.

Dès que l'homme eut du lait à sa disposition (il y a 10 500 ans, lorsqu'il commença à domestiquer certaines espèces de mammifères sauvages), il ne manqua pas d'observer l'apparition de fermentations spontanées qui, sous certaines conditions, transformaient le produit de la traite en lait fermenté ou en caillé, précurseur du fromage. Progressivement, les éleveurs mirent au point des techniques pour maîtriser la fermentation du précieux liquide. Des traces de lait fermenté ont récemment été identifiées sur des poteries mises au jour en Lybie et datées de 9000 ans. On sait également avec certitude que des hommes ont mangé du fromage il y a 7200 ans, sur le territoire actuel de la Pologne. On y a retrouvé des fragments de poterie percés de petits trous ayant précisément cet âge. Après analyse chimique, ces tessons se sont révélés être des morceaux de faisselles, c'est-à-dire de moules à fromage (le moule donnant une forme au caillé, on créa en français le mot formage qui devint fromage).

Les Grecs et les Romains considéraient que le fromage, à l'instar d'autres aliments fermentés comme le pain et le vin, était une nourriture d'homme « civilisé ». Ces produits avaient en effet été transformés par le génie de l'homme à partir d'aliments bruts (lait, céréales, jus de raisin). A contrario, le lait et la viande étaient considérés comme nourritures de « barbares » et, pour cette raison, dévalorisés.

Jusqu'au début du XIX° siècle, la transformation des aliments est quasi-exclusivement réalisée dans un cadre domestique et artisanal. Elle fait appel à des savoirs totalement empiriques et à des savoir-faire ancestraux perfectionnés au fil des millénaires. Quelques fabriques alimentaires font néanmoins leur apparition en Europe à partir du XVII° siècle. A Venise, dans le quartier de l'arsenal, un site proto-industriel produisait chaque année 4700 tonnes de biscuits destinés aux marins. A la fin du siècle, dans plusieurs ports et régions de France, des installations de grande taille transformaient les produits importés des colonies comme la canne à sucre et le cacao.

**Révolution industrielle et transformation des aliments**

L'industrie agro-alimentaire apparaît dès le début de la révolution industrielle. Cette émergence et ce développement rapides de l'alimentation « industrielle » s'expliquent par une combinaison de multiples facteurs : forte croissance de la population, accélération de l'urbanisation (il faut nourrir, avec des produits sûrs et conservables, des bouches toujours plus nombreuses, en particulier dans les villes), modification des rythmes de vie (en ville, le temps disponible pour la préparation des repas est réduit), dynamisme de l'innovation technique, avancées des sciences (chimie, physique, biologie…), division internationale du travail (les colonies produisent des aliments bruts que les progrès des transports permettent d'acheminer vers l'Europe), etc.

Dans l'univers de la transformation des aliments, une première – et considérable - révolution est celle de la conserve. En 1795, Nicolas Appert, un confiseur champenois installé à Paris, fait la démonstration que des aliments placés dans des bocaux de verre fermés hermétiquement puis immergés quelques dizaines de minutes dans l'eau bouillante peuvent se conserver pendant des années. Vers 1810, une fabrique britannique remplace les bouteilles de verre, trop fragiles et trop petites, par des boîtes en fer-blanc (mais il faudra attendre 1858 pour qu'un ouvre-boîte pratique soit enfin inventé !).

L'innovation technologique que représente l'appertisation est aussitôt appliquée à toutes sortes de denrées périssables : viandes, poissons, fruits, légumes, lait... L'industrie du lait en boîte et du lait condensé se développe rapidement : la stérilisation élimine le risque sanitaire lié à la consommation du lait frais, très sensible à la contamination bactérienne. En 1867, Henri Nestlé, un chimiste allemand installé en Suisse met au point une farine lactée destinée aux enfants en bas-âge. Peu de temps après, les américains inventent le corned-beef, une conserve de viande.

Plus d'un demi-siècle après l'appertisation, apparaît un autre type de traitement industriel des aliments par la chaleur : la pasteurisation. Il résulte des travaux de Louis Pasteur sur le rôle des micro-organismes et reprend, en l'adaptant, sa proposition d'un procédé de chauffage permettant de lutter contre les « maladies du vin ».

Tous les secteurs alimentaires bénéficient de la révolution industrielle. Ceux de la meunerie-boulangerie et de la vinification figurent parmi les premiers. Dans les moulins, la machine mue par la vapeur remplace la force de l'eau ou du vent ; les meules de pierre sont remplacées par des cylindres de fer, ce qui accroît la productivité du travail de mouture. En 1836, Jean-Antoine Menier rachète à Noisiel (Seine-et-Marne) un moulin à farine qu'il transforme en une usine d'où vont sortir les premières tablettes de chocolat.

Avec la conserverie, l'extraction du sucre de betterave est l'une des nouvelles activités industrielles de transformation alimentaire à voir le jour dès le début du XIX° siècle. En 1806, Napoléon décide d'instaurer un « blocus continental ». L'objectif est de mettre l'économie britannique à genoux en empêchant les Anglais de vendre leurs marchandises aux autres pays européens. Parmi les denrées interdites d'entrée sur le Vieux Continent figure le sucre de canne en provenance des Antilles. Pour pallier la pénurie, l'Empereur encourage la recherche de produits de substitution. Six années plus tard (1812), Benjamin Delessert met au point un procédé d'extraction du sucre de betterave dans sa fabrique de Passy. Comme cela avait été le cas avec l'appertisation, l'innovation technique est ici à l'origine de la naissance d'un pan entier de l'industrie alimentaire.

A partir du milieu du XIX° siècle, la conservation par le froid connaît un fort développement. En 1876, le navire « Le Frigorifique » transporte de Buenos Aires à Rouen une cargaison de viande congelée. La surgélation est mise au point en 1929… mais il faudra attendre les années 1960 pour que les Français mangent du poisson surgelé et dix années de plus pour qu'ils commencent à s'équiper de congélateurs domestiques.

Au début du XX° siècle, de nouveaux produits font leur apparition. Leur promesse : faire gagner à la ménagère le maximum de temps sur la préparation de ses repas. Emblématique de ces innovations, le bouillon Kub est inventé en 1908 par le Suisse Julius Maggi. Quelques années après, la Confiserie Franco-Russe propose à ses clients des entremets rapides à préparer. Soupes en sachet et café moulu sont d'autres exemples précurseurs de ces « produits-services ». Au nombre des aliments « prêts à manger », les yaourts industriels occupent une place de tout premier plan. Leurs atouts santé ont été mis en évidence par un bactériologiste ukrainien, le Professeur Metchnikoff. Sur la base de ces travaux scientifiques, Isaac Carasso, un médecin barcelonais décide, en 1919, de développer des process industriels de fabrication des yaourts. L'entreprise qu'il crée porte le nom de Danone (Danon était, en catalan, le diminutif de Daniel, le prénom de son fils). En 1921, un industriel du Jura, Léon Bel, utilise lui aussi le lait comme matière première pour créer les célèbres portions de Vache qui Rit.

Après la 2° guerre mondiale, l'industrie alimentaire reprend son expansion. Elle recourt à des technologies de pointe : traitement thermique UHT, micro-filtration (lait), chauffage ohmique, ionisation, séchage sous vide, hautes pressions, lyophilisation, etc. Elle mobilise de plus en plus les sciences fondamentales (biologie, microbiologie, chimie, physique) et celles dites « de l'ingénieur » (génie des procédés, automatismes…). La hausse continue de la population, la poursuite de l'urbanisation ainsi que la mondialisation croissante des échanges de denrées incitent les industriels à renforcer toujours davantage la sécurité sanitaire et la conservation des aliments.

L'industrie alimentaire recourt également à la physico-chimie pour tenter d'améliorer les qualités sensorielles des aliments (ou pour masquer les défauts). Pour cela, elle utilise des additifs chimiques (édulcorants, exhausteurs de goût, gélifiants et agents texturants divers) et de nouveaux procédés de fabrication (comme la cuisson-extrusion qui confère un caractère craquant et croustillant aux céréales de petit-déjeuner). Les transformations industrielles permettent aussi de créer de nouveaux produits et de nouveaux usages (produits de snacking, produits « allégés » ou « fonctionnels », etc).

De plus en plus, l'industrie alimentaire devient une industrie d'assemblage : à partir de produits végétaux ou animaux, certains industriels extraient des constituants (p.ex. des protéines ou matières grasses laitières, des sucres issus de l'amidon…) qu'ils vendent ensuite à d'autres entreprises qui les utilisent pour fabriquer aliments et boissons.

Aujourd'hui, en France, l'industrie de la transformation alimentaire est la première industrie manufacturière en termes de chiffre d'affaires (171 Mds €) et d'emplois (380 000 emplois etp). Elle compte 17 000 entreprises : une poignée de grands groupes industriels, privés ou coopératifs et… 98 % de PME de moins de 250 salariés, réparties sur l'ensemble du territoire (les deux tiers du chiffre d'affaires total sont toutefois réalisés par moins de 10 % des entreprises) - données INSEE, 2014.

En 2017, la quasi-totalité (près de 90 %) des aliments consommés par nos concitoyens est constituée de produits transformés, le plus souvent en milieu industriel. Parmi eux, une part croissante sont des produits « ultra-transformés » (groupe 4 de la classification NOVA), définis comme des « produits alimentaires et boissons dont la fabrication comporte plusieurs étapes et techniques de transformation et qui font appel à une variété d'ingrédients dont beaucoup sont utilisés exclusivement par l'industrie. » En règle générale, ce sont des produits pouvant être conservés relativement longtemps, aisés à stocker et à transporter, simples d'emploi (prêts à réchauffer ou à manger), peu chers (de façon à être achetés par le plus grand nombre) et offrant des goûts et textures appréciés. Si ces aliments présentent de nombreux atouts au regard de certaines attentes des consommateurs (sécurité alimentaire, praticité), ils sont néanmoins de plus en plus questionnés sur leur contribution à l'essor des pathologies chroniques liées à l'alimentation (présence d'additifs, de composés néoformés issus de la réaction de Maillard…) et aux atteintes à l'environnement.

# Procédés alimentaires : aspects technologiques et conséquences physico-chimiques sur les aliments

**Catherine Renard**, Avignon

✉ catherine.renard@avignon.inra.fr

## *Biographie*

Catherine RENARD, 54 ans, est directrice de recherche INRA, directrice de l'UMR Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale (INRA et Université d'Avignon) où elle anime l'équipe « Qualité, et Procédés ». Thèse en 1989 et HDR en 1998, Université de Nantes.

Après des études de pharmacie, et un DEA de physico-chimie des macromolécules, C.Renard a été recrutée à l'INRA en 1986. Ses travaux concernent la physico-chimie des molécules végétales, avec des compétences en particulier sur les polyphénols, les polysaccharides et leurs interactions. Ses travaux actuels concernent l'impact de la transformation des fruits et légumes sur leurs qualités et en particulier celles médiées par les microconstituants végétaux, dont les phytonutriments antioxydants (polyphénols, caroténoïdes), vitamines (C, B9) et métabolites secondaires (composés volatiles). Elle est auteur de plus de 160 publications dans des journaux à comité de lecture (en science des aliments, chimie et biochimie des végétaux). Elle est éditrice de LWT-Food Science and Technology. Elle a été coordinatrice du projet ANR Tempantiox (2008-2011) « Des procédés innovants pour proposer des produits transformés à base de fruits aux qualités organoleptiques et nutritionnelles optimisées »et du projet européen OPTIFEL (FP7, 2013-2017) « Optimised Food Products for Elderly Populations ».

## *Résumé de l'intervention*

**Introduction**

Les procédés alimentaires répondent à deux buts principaux :

- Rendre les aliments palatables c'est-à-dire consommables et agréables à manger ;
- Permettre la conservation des aliments au-delà de leurs périodes de récolte dans des conditions optimales de sécurité.

Historiquement les procédés agro-alimentaires ont donc pour but de préserver les nutriments essentiels pour pouvoir assurer tout au long de l'année la disponibilité d'aliments sains, couvrant les besoins énergétiques et nutritionnels, la consommation retardée de ces nutriments étant essentielle. Les deux socles de l'élaboration des procédés ont été la stabilisation et la sécurité, qui restent la base même de la législation associée. Sont venus s'y adjoindre des demandes de praticité, constance, santé, éthique. Les procédés de fabrication, doivent assurer au moins 4 dimensions caractéristiques : la sécurité sanitaire, les exigences de

naturalité et de sensoriel, les caractéristiques nutritionnelles, et leur empreinte écologique. La maîtrise des coûts de production est aussi une dimension essentielle.

L'aliment est en règle générale un système complexe, structuré et hétérogène. Les aliments sont souvent fortement hydratés et leur composition est favorable à la croissance des microorganismes, d'où un risque d'évolution (dégradation) biologique. La stabilisation biologique est donc la clé de très nombreux procédés alimentaires. D'un point de vue physico-chimique, les aliments peuvent aussi être distingués selon qu'il s'agisse de solides à structure cellulaire, comme la viande et les fruits et légumes, ou d'aliments structurés, qu'il s'agisse de mousses solides (produits de panification) ou d'aliments gélifiés / dispersés / aérés. Ces aliments dispersés sont particulièrement instables d'un point de vue physique (décantation, crémage, rétrogradation).

Une des caractéristiques fortes du système alimentaire actuel est ce qu'on pourrait appeler la diversité retardée, c'est-à-dire la conception de produits « sur mesure » (mais constants) à partir de matières premières (de plus en plus) variables, par l'intermédiaire de la déconstruction de la matière première, les procédés et la formulation.

Les différents types de produits alimentaires ont historiquement conduit à des procédés et des filières différenciées selon leurs caractéristiques propres, qui en constituent un socle à la fois historique et culturel. Les procédés sont de plus en règle générale l'enchaînement de plusieurs « opérations unitaires » : autant il est possible d'identifier les principaux impacts des opérations unitaires individuelles, autant les procédés peuvent donner lieu à des combinaisons très variées, et donc l'enchaînement exact peut être hautement significatif.

**1. Procédés de conservation et sécurité microbiologique**

De nombreuses matières premières et aliments sont des milieux extrêmement favorables à la croissance des microorganismes ; ils sont de plus riches en enzymes endogènes, elles-mêmes pouvant être responsables d'altérations. Différentes stratégies peuvent être mises en œuvre :

Eliminer les microorganismes : soit détruire ou inactiver les microorganismes et enzymes par un traitement physique, classiquement thermique, mais aussi hautes pressions, champs électriques pulsés, lumière pulsée… ; soit, pour des milieux liquides, les séparer physiquement par exemple par microfiltration ;

Modifier les conditions physico-chimiques pour rendre le produit moins vulnérable : diminution de la température (froid, surgélation) et de l'activité de l'eau (séchage, salage, confisage), augmentation de l'acidité (fermentation), ou création d'autres conditions défavorables (oxygène, agents anti-bactériens…).

Les industries agro-alimentaires vont souvent combiner différents facteurs ou traitements afin d'avoir la même efficacité antimicrobienne pour une intensité plus faible de chacun des traitements ou facteurs. Ainsi pour les produits acides la pasteurisation peut suffire à assurer

leur stabilité à température ambiante. Cette approche est généralement dénommée « hurdle technology ».

1.1 Traitement thermique

En règle générale le traitement thermique (cuisson, blanchiment…) vise à éliminer bactéries et parasites, et à inactiver les enzymes. Deux niveaux sont couramment distingués : la pasteurisation détruit les formes végétatives des microorganismes, et la stérilisation détruit tous les microorganismes, y compris leurs spores. Les aliments pasteurisés devront en général être conservés au froid, avec des durées de vie de l'ordre de quelques semaines. Une stérilisation couplée à un emballage étanche (appertisation) permet des stockages de longue durée à température ambiante. Parmi les procédés alternatifs, l'irradiation peut permettre une stérilisation, tandis que les hautes pressions hydrostatiques (pascalisation) conduisent uniquement à l'élimination des formes végétatives des microorganismes, avec des effets très irréguliers sur les enzymes endogènes.

Les traitements thermiques modifient les caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles des aliments. Les modifications de texture qui leur sont associés rendent l'aliment moins résistant et plus facilement consommables, ce qui est particulièrement marqué pour les fruits et légumes. Ils favorisent nettement l'assimilation des nutriments des aliments. L'exemple le plus marqué est celui des produits amylacés : le nutriment essentiel de ces aliments, l'amidon, n'est assimilable qu'après une cuisson, qui en permet la gélatinisation et le rend digestible par nos enzymes endogènes. Les protéines sont dénaturées par les traitements thermiques, ce qui inactive les enzymes endogènes et en augmente la digestibilité jusqu'à un certain point. Des effets positifs sont trouvés aussi pour l'assimilation des micronutriments des fruits et légumes. Par contre, ils conduisent à la dégradation de certains micronutriments (vitamines) particulièrement fragiles.,

Les effets organoleptiques des traitements thermiques peuvent être recherchés, comme dans les procédés de torréfaction, la génération de composés de réaction de Maillard avec leur couleur et arôme spécifiques, ou les modifications de texture des végétaux. De nombreux procédés, par exemple de surgélation ou séchage, incluent une phase d'élévation de la température de façon à inactiver les enzymes endogènes (blanchiment) ou accélérer les échanges de matière, qui peuvent impacter les aliments concernés.

1.2 Diminution de l'activité de l'eau

Les réactions biologiques (croissance des microorganismes, activité des enzymes) ont besoin d'eau « libre », en tant que solvant ou que réactif ; cette eau libre est évaluée par l'activité de l'eau $a_w$, un paramètre crucial dans les industries agroalimentaires. Diminuer l'activité de l'eau peut être fait par élimination de l'eau (séchage), par cristallisation (surgélation), ou par apport de solutés qui vont la capter (salage, confisage), ou par des combinaisons de ces méthodes.

Le séchage traditionnel (à l'air ou à l'air chaud) reste très couramment utilisé (produits de charcuterie, fruits secs, céréales…). Les temps longs qui sont utilisés permettent le développement de microorganismes et l'action d'enzymes, qui peuvent être souhaité quand le séchage est conjugué à une fermentation (saucisson) ou non (brunissement des abricots secs). La température de séchage doit être soigneusement choisie et contrôlée, pour accélérer la perte d'eau mais limiter le développement de réactions chimiques (Maillard…) indésirables. Des méthodes alternatives pour l'apport de chaleur au produit à sécher sont de plus en plus utilisées : séchage par infrarouge, par microonde… Le séchage par ébullition (sur cylindres chauffant) est utilisé par exemple pour la production de flocons, le séchage par atomisation (très grande surface développée) pour différents liquides dont le lait. La lyophilisation repose sur une sublimation de la glace : les faibles températures utilisées permettent une préservation optimale de la structure et des nutriments présents.

Salage et confisage reposent sur des composés fortement hydrosolubles et capables de baisser l'$a_w$. Le salage est typiquement utilisé pour les produits de saurisserie, mais aussi les charcuteries, le beurre, les cornichons… L'utilisation du sel conduit par ailleurs à une sélection des flores (lactique notamment) qui est mise à profit pour certaines charcuteries. Pour arriver à une $a_w$ inférieure à 0,91, permettant la conservation hors chaîne du froid, il faut des teneurs en sel de 5 à 6%, et pour 0,95 (qui implique d'avoir une conservation au froid) 2 à 3% de sel. Dans ces conditions il y a aussi une modification marquée de la texture des produits. L'utilisation de sels nitrités permet d'inhiber la croissance de *C. botulinum*, a un impact sur la saveur et conduit à une couleur rouge et stable.

Les sucres outre leur saveur ont un impact marqué sur l'activité de l'eau. Les confitures ou gelées, si elles atteignent une teneur en sucres > 60%, peuvent ainsi être stables à température ambiante. De plus la présence de sucres et de pectines conduit à la texture gélifiée de ces produits. La déshydratation osmotique (à froid) est aussi couramment utilisée : les températures plus faibles permettent de limiter les effets de cuisson et d'avoir des morceaux fermes après séchage.

### 1.3 Acidification et fermentation

Un milieu acide (conventionnellement la barrière est fixée à pH 4,5) ne permet pas la croissance des bactéries pathogènes, et diminue fortement les capacités de croissance de nombreuses autres espèces. Un aliment peut être acidifié soit par des moyens chimiques, c'est-à-dire l'addition d'acides faibles comme l'acide acétique (vinaigre), l'acide lactique…, soit par fermentation.

La fermentation peut également permettre la biosynthèse de certains nutriments, améliorer la digestibilité des protéines ou réduire certains facteurs nutritionnels. Ceci explique la part fondamentale des aliments fermentés dans notre alimentation. Il s'agit en général en Europe de fermentations lactiques (produits laitiers, saucisson, choucroute et autres légumes fermentés), acétique (vinaigre) ou alcoolique (vin, bière, cidre). La panification résulte d'une

fermentation par de la levure ou un levain complexe incluant des bactéries lactiques, des moisissures sont mises en œuvre pour la production de sauce soja, de miso ou de tempeh, Bacillus subtililis pour le natto, …

Les fermentations induisent des modifications physico-chimiques (baisse du pH et du potentiel rédox) ou l'épuisement de certains substrats, qui peuvent inhiber d'autres flores. Elles contribuent également à des modifications de texture (développement de gaz dans le pain, hydrolyse des protéines dans le fromage), de saveur et d'arômes. Les fermentations alimentaires sont rarement le fait d'une souche pure, avec des successions fermentaires ou des écosystèmes complexes.

### 1.4 Utilisation du froid

Le froid stabilise les aliments en ralentissant la croissance des microorganismes et en diminuant l'activité des enzymes endogènes. La chaîne du froid a ainsi acquis un rôle central dans notre système alimentaire, en favorisant la consommation de produits périssables dans des lieux éloignés de leur production. La surgélation conjugue ralentissement des réactions par diminution de la température et élimination de l'eau libre par cristallisation sous forme de glace. Les enzymes ne sont pas inactivées : certaines réactions ont encore lieu, même si c'est à des vitesses très faibles, et elles sont notamment favorisées par des changements de température en cours de stockage. La surgélation permet des conservations de longue durée.

## 2 Fractionnement et formulation

Ces opérations unitaires visent plus directement la composition et les propriétés physico-chimiques des aliments.

### 2.1 Fractionnement

Le fractionnement consiste à obtenir, à partir d'une matière première agricole, différents produits et ingrédients aux propriétés spécifiques. Il peut permettre d'éliminer des parties non consommables, non assimilables ou non désirées, ou avoir pour but d'isoler des fractions possédant des propriétés spécifiques.

Le premier exemple concerne l'élimination des parties non assimilables. La filière des céréales a l'avantage de reposer sur des matières premières (grains et graines) qui sont à faible activité de l'eau et qui sont donc « faciles » à conserver. Mais l'amidon et les protéines sont englobés dans des enveloppes (son) que nous ne pouvons pas digérer. De là découlent tous les procédés de meunerie, qui visent à récupérer la partir la plus nutritive du grain. Les farines obtenues nécessiteront encore un traitement hydrothermique (panification, cuisson-extrusion…) pour les rendre directement assimilables.

Le pressage des fruits et oléagineux pour conduire aux jus, boissons fermentées ou huiles peut être conçu comme un procédé de fractionnement, puisqu'il élimine les parties « solides » du végétal. Pour les jus, un traitement complémentaire est indispensable pour en assurer la

conservation : fermentation (alcoolique) ou traitement thermique. Un défi actuel consiste à utiliser toute la biomasse produite, c'est-à-dire à trouver pour les marcs ou résidus des utilisations écologiquement acceptables et économiquement viables.

Des procédés plus élaborés ont été mis en place depuis le siècle dernier, et parmi eux en premier lieu les procédés à membrane, qui permettent de séparer les différentes molécules d'un liquide. L'exemple typique en est le cracking du lait, qui, au-delà de la récupération des lipides et protéines classiquement permises par la confection de beurre ou fromage permet d'isoler de façon raisonnée les différentes protéines, le lactose…

## 2.2 Formulation

De très nombreux aliments sont des systèmes dispersés, c'est-à-dire qu'ils comprennent plusieurs phases: liquides non miscibles (émulsions), liquide et gaz (mousses), liquide et solide (suspension), voire plusieurs à la fois. Ces produits ne sont pas thermodynamiquement stables et vont avoir naturellement tendance à déphaser, d'où l'utilisation de surfactants afin de rendre les différentes phases compatibles, et d'hydrocolloïdes pour ralentir ou bloquer (gels) cette séparation.

Une émulsion est une dispersion de gouttelettes d'un liquide dans un autre, leur opacité est liée à la taille de ces gouttelettes (0.1 à 100 µ). Le lait, le jaune d'œuf sont ainsi naturellement sous forme d'émulsions, mais cette classe recouvre aussi par exemple les sauces émulsionnées. Les émulsions ont naturellement tendance à se séparer, la diminution des surfaces de contact permettant la diminution de l'énergie du système.

Les mousses alimentaires sont en règle générale des systèmes complexes avec une dispersion de bulles de gaz dans une phase continue liquide à semi-solide : crème chantilly, « mousses dessert… Les mousses sont thermodynamiquement instables car il y a une très grande aire à l'interface liquide/gaz, et la différence de densité est elle-aussi très grande. Des mousses solides (produits de panification, meringue) peuvent être obtenues par solidification de cette phase continue sous l'effet d'un phénomène physique. De nombreux produits sont des émulsions foisonnées, c'est-à-dire qu'une phase gazeuse et une phase liquide sont dispersées dans une phase continue liquide (cakes …). Les systèmes peuvent être plus complexes comme ans les crèmes glacées où des bulles d'air sont incluses dans une matrice complexe contenant des globules gras (solides), des cristaux de glace, une solution saturée de sucres, protéines et polysaccharides.

Les purées de fruits ou de légumes sont des suspensions de « fantômes cellulaires », agrégats ou cellules individuelles, dans une phase continue (sérum), qui peut elle-même être essentiellement composée de sucre, eau et pectines, mais aussi contenir de l'amidon (présence de pomme de terre) voire d'une phase grasse (ajout de beurre).

**Conclusion**

La demande de praticité par les consommateurs, ainsi que la désaisonnalisation, l'appétence pour des aliments « exotiques »… ont conduit l'industrie agro-alimentaire à aller de plus en plus en aval à partir des matières premières pour proposer aux consommateurs des aliments ou ingrédients sûrs et constants. Cette tendance a été marquée notamment par le développement des industries de fractionnement Au-delà des ingrédients, l'industrie agro-alimentaire propose des produits formulés, qui doivent être stables y compris d'un point de vue physico-chimique sur des temps allant de quelques semaines à plusieurs mois : ceci nécessite, outre la prise en compte du risque biologique, la mise en œuvre de stratégies de stabilisation reposant sur des hydrocolloïdes et/ou tensioactifs.

# Classification NOVA : degré de transformation des aliments et santé

**Edmond Rock** et **Anthony Fardet**, Clermont-Ferrand

✉ edmond.rock@inra.fr

✉ anthony.fardet@inra.fr

## *Biographie*

Anthony Fardet est Chargé de Recherches en Alimentation Préventive & Holistique dans l'Unité de Nutrition Humaine à l'INRA de Clermont-Ferrand/Theix. Il travaille actuellement sur les relations entre le degré de transformation des aliments et leur potentiel santé *via* des approches de fouilles de données (data mining). A cet effet, sur la base de la classification internationale NOVA il développe une nouvelle classification qualitative des aliments selon leur degré de transformation prenant en compte notamment la nature des ingrédients/additifs ajoutés, ainsi qu'un index technologique quantitatif prenant en compte à la fois les effets « matrice » et « composition » des aliments. Il travaille aussi avec les IAA afin de développer des solutions alimentaires durables pour la santé.

## *Résumé de l'intervention*

**Introduction : De la technologie au service de l'aliment à l'aliment au service de la technologie**

Force est de constater que si, à son origine, la technologie était au service de l'aliment, progressivement c'est l'aliment qui est devenu au service de la technologie. En effet, au tout début la technologie a servi l'aliment pour le rendre sûr, comestible et palatable. Difficile de manger des grains de céréales non transformés ! La fermentation a aussi donné du goût à certains aliments comme pour les produits laitiers, le pain, les légumineuses, etc. La mise en conserve a permis de conserver les aliments sur de longues périodes permettant aux marins de partir en mer avec des stocks suffisants et sûrs de produits alimentaires.

Puis progressivement, en raison d'impératifs économiques et de rentabilité, c'est l'aliment qui a dû s'adapter aux contraintes agronomiques et technologiques. Prenons l'exemple du pain. Pour gagner du temps, on a accéléré la fermentation en remplaçant le levain par des levures chimiques, on a augmenté l'intensité du pétrissage, on a sélectionné les blés sur leur teneur en protéines (et non plus sur leur densité en composés bioactifs protecteurs) pour obtenir un réseau protéique dans le pain plus résistant aux nouvelles contraintes technologiques, ex. la congélation des pâtes, ajoutant même du gluten vital quand cela était insuffisant(1). Ainsi, on a fini par produire un pain blanc à la mie très aérée pauvre en fibres, vitamines et minéraux et sans aucune valeur nutritionnelle à part apporter de l'énergie et des sucres rapidement

digérés. A l'opposé, un pain semi-complet au levain avec un pétrissage moins intensif donne des pains à la mie plus dense, riche en micronutriments et source de sucres « lents ». Par ailleurs lorsque la sélection des variétés de tomate a été organisée à partir des années 50, elle ne s'est pas préoccupée du goût ni de sa densité nutritionnelle : résistances aux maladies et aux ravageurs, rendements, précocité, texture et conservation étaient prioritaires. Certes les fruits sont beaux, bien rouges et ronds mais que reste-t-il de la saveur et de la richesse en micronutriments en voulant accélérer la croissance ou fournir des aliments en toutes saisons ?

En outre, l'intensité des traitements technologiques a augmenté, passant de la simple cuisson à l'eau bouillante ou à la vapeur à la cuisson-extrusion à hautes pressions et températures ou au fractionnement des aliments (« cracking ») puis à leur reconstitution à partir d'ingrédients initialement extraits d'aliments complexes. Dans ces deux cas, la matrice initiale de l'aliment complexe est malmenée, soit déstructurée, soit raffinée, soit fragmentée. Pourquoi pas ? On a aussi besoin d'innovation et de créer de nouveaux aliments, pourvu que ce soit pour notre plaisir ou notre santé. Le problème c'est quand ces aliments deviennent la base de notre régime (voir ci-dessous).

**Vers une classification des aliments selon leur degré de transformation**

Au départ, dans les études épidémiologiques d'observation (transversales et longitudinales), le degré de transformation était peu pris en compte dans l'étude des associations entre alimentation et santé(2). On y trouvait majoritairement des calculs de risques de développer des maladies chroniques sur la base d'aliments (ex. soda), groupes d'aliments (ex. fruits, légumes, viandes rouges et blanches, etc.) ou de nutriments isolés (ex. acides gras saturés, vitamines, etc.) selon une approche réductionniste. On pouvait trouver ici ou là la mention du degré de transformation des aliments dans une analyse binaire du type « céréales complètes *versus* raffinées » ou « produits laitiers entiers *versus* écrémés » ou « viandes rouges *versus* transformées » par exemple. Mais cela n'allait guère plus loin ! Pour chaque groupe d'aliments, que ce soit les fruits, légumes, céréales, légumineuses, viandes, poissons ou produits laitiers, le degré de transformation peut pourtant grandement varier. Certes, on conseille cinq fruits et légumes par jour, mais avec quel degré de transformation ? Ce n'est pas pareil de consommer cinq verres de jus de pomme clarifié que cinq fruits complexes non transformés et différents.

S'apercevant que les populations les plus touchées par les maladies chroniques, notamment l'obésité et le diabète de type 2, étaient celles qui adhéraient le plus fortement à un régime à base majoritairement d'aliments très transformés, des chercheurs brésiliens se sont interrogés sur la pertinence de classer les aliments sur la base de leur degré de transformation(3). C'est ainsi qu'est née officiellement la classification internationale NOVA(4). En effet ce ne sont pas les groupes alimentaires tels qu'on les connait qui posent problème en tant que tel pour la santé, mais plutôt la façon dont on les transforme (2). La classification NOVA définit 4 groupes technologiques(5) :

***Groupe 1 : Les aliments peu ou pas transformés*** sont les parties comestibles des végétaux (graines, fruits, feuilles, tiges, racines) ou des animaux (muscles, abats, œufs, lait) et aussi des champignons et des algues, et l'eau. Les aliments peu transformés sont des aliments naturels soumis à un ou des traitements, surtout physique, qui ne modifie pas substantiellement les propriétés nutritionnelles et les utilisations des aliments d'origine. Ces procédés sont utilisés pour prolonger la durée de vie des aliments non transformés, permettant ainsi leur stockage pour une utilisation prolongée, et pour faciliter et ou diversifier la préparation des aliments comme dans le cas du retrait des parties non comestibles, l'écrasement ou le broyage des graines, le grillage des grains de café ou des feuilles de thé et la fermentation du lait pour fabriquer des yaourts. Le Groupe 1 inclut aussi les aliments faits de deux ou plus d'aliments représentatifs de ce groupe tels que les mélanges de fruits secs, le « granola » (un mélange d'avoine, d'amandes et de miel apparenté au muesli), les mélanges de fruits secs et de fruits à coques sans sucre, miel ou huile ajoutés ; et les aliments complémentés avec des vitamines et des minéraux généralement ajoutés pour remplacer les nutriments perdus durant la transformation tels que les farines de blé ou de maïs enrichies en fer ou acide folique. Les éléments du Groupe 1 peuvent contenir, mais peu fréquemment, des additifs utilisés pour préserver les propriétés de l'aliment original : les exemples sont les légumes emballés sous vide avec ajout d'antioxydants et le lait ultra-pasteurisé avec ajout de stabilisants.

***Groupe 2 : Les ingrédients culinaires*** sont des substances extraites du Groupe 1 par des transformations physiques et chimiques, tels que le pressage, le raffinage, la meunerie, le broyage et le séchage par pulvérisation, ou provenant directement de la nature comme le sel. Ils ont des propriétés et usages nutritionnels entièrement différents des aliments entiers originaux. L'objectif de ces transformations est de fabriquer des produits utilisables à la maison ou dans les cuisines de restaurant pour préparer, assaisonner et cuire les aliments du Groupe 1 ; afin de faire avec eux des plats « faits maison », soupes, bouillons, pains, conserves, salades, boissons, desserts et autres préparations culinaires diversifiées et agréables. La plupart fournissent essentiellement de l'énergie. Cependant, ils ne sont généralement pas consommés directement en tant que tels. Les éléments du Groupe 2 sont rarement consommés en l'absence des aliments du Groupe 1. Les exemples sont le sel des mines ou de l'eau de mer, le sucre et les molasses obtenus à partir de la betterave ou de la canne à sucre, le miel extrait des ruches, le sirop d'érable, les huiles végétales à partir d'olives ou de graines écrasées, le beurre et le lard obtenus à partir du lait et du porc, respectivement, et les amidons extraits du maïs et autres plantes. Les produits consistant en deux éléments du Groupe 2 comme le beurre salé, des éléments du Groupe 2 avec ajouts de minéraux ou vitamines (ex. sel iodé) et le vinaigre fabriqué par fermentation acétique du vin ou d'autres boissons alcoolisées restent dans ce groupe. Par ailleurs, les éléments du Groupe 2 peuvent contenir des additifs utilisés pour préserver les propriétés originales du produit : les exemples sont les huiles végétales avec ajout d'antioxydants, le sel de cuisson avec ajout d'anti-humectant (anti-moisissure), et le vinaigre avec ajout de conservateurs qui préviennent la prolifération des micro-organismes.

***Groupe 3 : Les aliments transformés*** sont relativement simples et sont fabriqués essentiellement avec l'ajout de sel, de sucre ou une autre substance d'utilisation culinaire du Groupe 2 comme l'huile ou le vinaigre à un aliment peu ou pas transformé du Groupe 1. La plupart des aliments transformés sont constitués d'un ou deux ingrédients. Les procédés incluent des méthodes de conservation et de cuisson variées, et dans le cas du pain et du fromage des fermentations non alcooliques. Le but principal de la fabrication des aliments transformés est d'augmenter la « durée de vie » des aliments du Groupe 1, ou de modifier ou d'améliorer leurs qualités sensorielles. Les aliments transformés peuvent contenir des additifs utilisés pour conserver leurs propriétés originales ou pour résister à la contamination microbienne. Les exemples sont les fruits au sirop avec ajouts d'antioxydants et les viandes salées séchées avec ajouts de conservateurs. Quand des boissons alcoolisées sont identifiées comme « aliments », ceux produits par fermentation des aliments du Groupe 1 comme la bière, le cidre et le vin sont classés dans le Groupe 3.

***Groupe 4 : Les aliments ultra-transformés*** sont des formulations industrielles réalisées à partir typiquement de cinq ou plus d'ingrédients, le plus souvent de très nombreux. De tels ingrédients incluent souvent ceux aussi utilisés dans les aliments transformés tels que le sucre, les huiles, les autres matières grasses (notamment animales), le sel, des antioxydants, des stabilisants et des conservateurs. Les ingrédients que l'on ne trouve que dans les aliments ultra-transformés incluent des substances non communément utilisées dans les préparations culinaires et des additifs dont le but est d'imiter les qualités sensorielles des aliments du Groupe 1 et des préparations culinaires réalisées à partir de ces aliments, ou de masquer les qualités sensorielles indésirables des produits finaux. Les aliments du Groupe 1 ne sont qu'une petite proportion ou sont même absents des produits ultra-transformés. Les substances trouvées seulement dans les produits ultra-transformés incluent certaines directement extraites des aliments comme la caséine, le lactose, le lactosérum et le gluten, et certaines dérivées d'une transformation supplémentaire des constituants alimentaires telles que les huiles hydrogénées ou inter-estérifiées, les protéines hydrolysées, les isolats de protéines de soja, les maltodextrines, les amidons modifiés, le sucre inverti (mélange équimolaire de glucose et de fructose obtenu par hydrolyse du saccharose) et les sirop de maïs à teneur élevée en fructose. Les classes d'additifs trouvés seulement dans les aliments ultra-transformés incluent les colorants, les stabilisants de couleurs, les arômes, les exhausteurs de flaveurs, les édulcorants et les aides technologiques telles que la carbonatation, les épaississants, les agents de charge, les anti-moussants, les agents antiagglomérants, les agents de glaçage, les émulsifiants, les séquestrant et les agents humectant. Au final, ce sont des aliments très denses en énergie et pauvres en micronutriments protecteurs.

Plusieurs procédés industriels sans aucun équivalents domestiques sont utilisés dans la fabrication des produits ultra-transformés comme l'extrusion, le moulage et les prétraitements pour la friture. L'objectif principal de l'ultra-transformation industrielle est de créer des produits qui sont prêt à l'emploi ou à être chauffés, assujetti à remplacer à la fois les aliments non ou peu transformés qui sont naturellement prêts à être consommer tels que

les fruits et fruits à coque, le lait et l'eau, les boissons, plats, desserts et repas fraîchement préparées. Les attributs communs des produits ultra-transformés sont l'hyper-palatabilité, une très grande accessibilité, des emballages sophistiqués et attrayant, des allégations santé, une forte rentabilité, et ils appartiennent généralement à de grandes marques de compagnies transnationales. En outre ces aliments sont souvent consommés par des individus isolés, rapidement « sur le pouce », devant des écrans, et/ou en dehors des heures habituelles des repas, autant de facteurs obésogéniques en comparaison avec ceux associés à des repas pris en groupe. Quand des produits fabriqués uniquement d'aliments des Groupes 1 et 3 contiennent aussi des additifs cosmétiques ou intensifiant les propriétés sensorielles tels que le yaourt nature avec des édulcorants ou les pains avec ajout d'émulsifiants, ils sont classés dans le Groupe 4. Quand des boissons alcooliques sont identifiées comme aliments, celles produites par fermentation des aliments du Groupe 1 suivies par distillation, comme le whisky, le gin, le rhum ou la vodka, sont classées dans le Groupe 4.

Bref, si l'on veut définir simplement un aliment ultra-transformé, c'est un aliment recombiné à partir d'ingrédients isolés d'aliments complexes originaux ou ultraraffiné au point de ne plus reconnaître l'aliment d'origine. Par exemple, vous ne trouverez pas de barres chocolatées ou de bonbons dans la nature : ils sont le fruit de la recombinaison de l'homme. En outre, plus la liste d'ingrédients sur l'emballage est longue plus vous avez de chances de vous trouver en face d'un aliment ultra-transformé. Si les aliments ultra-transformés ont perdu leur effet « matrice » il faut rappeler que leurs profils nutritionnels est généralement très « mauvais » comme cela a été montré par exemple aux USA(6) et au Brésil(7), notamment en raison de l'ajout massif d'ingrédients et nutriments « non-sains » dans leur composition type sirop de fructose ou graisses hydrogénées.

Certes une telle classification pourrait ne pas plaire aux grandes industries agro-alimentaires qui mettent sur le marché de nombreux produits ultra-transformés sous couvert d'innovation ou bien aux technologues même comme en attestent quelques papiers récents (8-11). Ces derniers proposent d'autres classifications des traitements technologiques, qui certes, sont sans doute intéressantes et pertinentes, mais le point de départ de la classification international NOVA a été de partir de problèmes de santé, et donc la problématique scientifique NOVA de départ n'est pas la même que celle des technologues.

**La place des aliments ultra-transformés dans l'alimentation**

Les produits ultra-transformés ont leur place dans notre alimentation, mais plutôt comme produits de niche et ne devrait pas idéalement dépasser 15% de notre apport calorique journalier(8). Au-delà le risque de développer l'obésité augmente significativement(9). Ces aliments sont donc intéressant pour manger « sur le pouce » quand on est pressé et qu'on n'a pas le temps de faire la cuisine (sens originel du terme « fast foods » qui n'est pas forcément négatif au départ), l'innovation, les aliments plaisir comme la confiserie ou la pâtisserie, ou bien pour créer de nouveaux aliments pour les rations militaires, l'alimentation clinique, l'alimentation des sportifs et de certaines classes de personnes âgées, ou l'alimentation dans

l'espace, pourquoi pas à plus long terme. Mais ces aliments ne devraient pas constituer la base de l'alimentation comme cela est presque devenu la norme dans certaines parties du monde (e.g. Brésil), dans de nombreuses grandes villes (e.g. Mexico) et dans certains pays anglo-saxons (e.g. USA, Canada et Angleterre). Par exemple au Canada la part de calories provenant des produits ultra-transformés a aujourd'hui dépassé 50%(10), et entre 1938 et 2011 la part de produits prêts à consommer a grimpé de 26,1 à 61,7 %, l'augmentation étant particulièrement notable pour les aliments ultra-transformés(11).

**Une classification validée par la science**

La classification NOVA est aujourd'hui reconnue par les décideurs politiques dans les rapports de la FAO et de la Pan American Health Organization(5). Elle est à la base, nous l'avons vu, des principales recommandations du guide national brésilien pour l'alimentation et la nutrition(3). Elle est validée comme un outil pour la recherche en nutrition et en santé publique. D'ailleurs, depuis 2010, des études scientifiques ont été régulièrement publiées sur la base de la classification NOVA. Au Brésil, elle a été utilisée pour évaluer : la répartition socio-économique et démographique des habitudes alimentaires(12); les changements dans le temps des habitudes alimentaires(7; 13) ; l'impact de la consommation de produits ultra transformés sur le contenu alimentaire en macro- et micronutriments(7; 14; 15) ; l'association entre la consommation de produits ultra transformés et l'obésité(9; 16), le syndrome métabolique(17) et les dyslipidémies (dérégulation du métabolisme lipidique)(18) ; les habitudes d'achats alimentaires des ménages en fonction des prix relatifs des produits alimentaires(19) ; l'influence de l'environnement alimentaire(20; 21; 22) et de la publicité(23) sur la consommation de produits ultra transformés ; et l'impact d'une intervention d'éducation nutritionnelle(24).

Aux États-Unis, la classification NOVA a été utilisée pour évaluer l'impact des produits ultra transformés sur la consommation de sucre ajouté(25). Au Canada, elle a été utilisée pour évaluer les tendances à long terme dans les habitudes alimentaires nationales(11), et l'impact des produits ultra transformés sur les indicateurs de profil nutritionnel des régimes alimentaires(26). Au Royaume-Uni, elle a été utilisée pour étudier les habitudes d'achats alimentaires des ménages en fonction des prix relatifs des produits alimentaires(19), et pour estimer la réduction potentielle du risque de maladies cardio-vasculaires dès lors que l'on réduit la consommation de produits ultra transformés(27). Au Chili, la classification NOVA a été utilisée pour évaluer l'impact de la consommation de produits ultra transformés sur la qualité nutritionnelle de l'alimentation(28). Elle a été utilisée en Nouvelle-Zélande pour décrire le profil nutritionnel des aliments des supermarchés(29) et en Suède pour corréler les tendances temporelles de la consommation de produits ultra transformés et de l'obésité chez l'adulte(30). Enfin, en France elle a récemment été utilisée pour calculer la part de calories totales issues d'aliments ultra-transformés dans l'alimentation des adultes de la cohorte NutriNet-Santé, à savoir 36%(31).

Sur le plan international, la classification NOVA a été utilisée pour étudier les tendances temporelles des ventes de produits ultra transformés dans 79 pays à revenus moyens-à-faibles, moyens-à-supérieurs et élevés(32), ainsi que dans 14 pays d'Asie(33). Un document politique d'orientation de l'OMS a utilisé la classification NOVA pour comparer les stratégies utilisées par les fabricants de tabac, d'alcool et de produits ultra transformés, avec des implications dans la prévention et le contrôle des maladies non transmissibles(34). Deux études écologiques ont utilisé la classification NOVA pour analyser l'association entre l'évolution des ventes de produits ultra transformés et leur disponibilité pour les ménages, et l'évolution du poids corporel/obésité des populations dans 15 pays d'Amérique latine(35) et dans 19 pays européens(36). Enfin, la part des calories provenant des produits ultra transformés a été validée comme indicateur de la qualité du régime alimentaire par l'initiative INFORMAS (International Network for Food and Obesity/non-communicable diseases Research, Monitoring and Action Support)(37).

**Vers une approche plus holistique**

Ainsi plutôt que de consommer des aliments fonctionnels ou enrichis pour compenser à la base un régime alimentaire déséquilibré dans une logique curative réductionniste, il faudrait revenir à une alimentation globale à base d'aliments complexes pas, peu ou modérément transformés dans une logique préventive et holistique(38). C'est le point de vue défendu par Colin T Campbell, un chercheur américain en biochimie nutritionnelle : ce qu'il définit par le « Wholism » en faisant un jeu de mots entre « Holism » et « Whole »(39). Sur la base de ses travaux de recherche et de son expérience il propose de revenir à une alimentation végétale complexe peu transformée, ce qu'il appelle le « Whole Plant-based Food Diet ou WPFD »(39). Dans sa fameuse étude épidémiologique chinoise de grande envergure, il a observé que les populations adhérant le plus à des produits végétaux peu transformés étaient les moins malades, et qu'une alimentation riche en produits animaux et très transformée était associée à une augmentation significative du risque de développer des maladies chroniques(40). Il cite notamment des travaux de recherche des années 80 où des diabètes de type 2 ont pu être inversés en revenant à une alimentation à base de produits végétaux peu transformés, et ceci en seulement quelques semaines. Il n'y a donc pas de fatalité et il semblerait qu'une alimentation équilibrée à base d'aliments complexes peu transformés soit un atout majeur pour prévenir les maladies chroniques.

**Conclusions**

Il est donc clair que l'accent devrait davantage être mis sur le degré de transformation des aliments dans les recommandations alimentaires des services publics (comme les brésiliens ont été les premiers à le faire en 2014) ; plutôt que sur des groupes d'aliments ou des nutriments. Car c'est l'important « effet matrice » qui est ici en jeu et qui n'a jamais été considéré dans toutes les recommandations alimentaires quel que soit le pays. Si l'on pousse le raisonnement encore plus loin, on peut même aller jusqu'à dire que la composition nutritionnelle n'a plus beaucoup d'importance car si vous consommez en majorité des

produits végétaux diversifiés peu transformés vous êtes sûr de remplir toutes les recommandations journalières par nutriment sans avoir réellement besoin de vous en préoccupez.

L'aliment devrait donc être considéré holistiquement, c'est-à-dire comme un tout supérieur à la somme des parties, et non pas comme une seule somme de nutriments(8). Les interactions des nutriments au sein de sa matrice sont essentielles et trop fractionner l'aliment complexe en ingrédients participe d'une démarche réductionniste considérant que l'aliment n'est qu'une somme de nutriments, ce qui est scientifiquement faux(38). En outre les aliments ne sont jamais consommés seuls, mais au sein de régimes alimentaires complexes dans lesquels les interactions entre les aliments jouent également un rôle ; ce qui revient à considérer que le potentiel santé d'un aliment au sein d'un régime de type occidental (« Western diet ») ne sera pas le même que celui au sein d'un régime de type méditerranéen.

Les technologies plus « douces » (ou « minimal processing ») sont plus « respectueuses » de la complexité des aliments : ce sont par exemple les techniques de pré-fermentation, pré-germination, ou d'autres techniques plus modernes de chauffage moins destructrices(41). On ne peut plus nier la complexité des aliments car c'est cette complexité qui est protectrice permettant à un maximum de nutriments à doses nutritionnelles d'agir en synergie dans l'organisme et de le protéger. Enrichir un aliment avec un seul composé à dose supra-nutritionnelle supposé protecteur, c'est déréguler cette complexité ou cet équilibre naturel. D'ailleurs, beaucoup d'études ont montré que ces types d'aliments n'amélioraient pas vraiment la santé sur le long terme ; et même certaines études ont montré des effets délétères comme avec le bêta-carotène(42; 43). Le bilan est décevant. Tout est question d'équilibre et de proportions.

Ainsi, sur la base d'un régime riche en produits végétaux peu transformés on peut alors consommer un peu de viandes et des produits ultra-transformés en quantité raisonnable sans mettre en danger notre santé. Outre la santé, l'alimentation doit aussi être durable sur le plan environnemental. Or une alimentation à base de produits végétaux peu transformés l'est, sans aucun doute, notamment avec comme base des grains et graines, à savoir céréales, légumineuses et fruits à coque. En effet, les produits animaux sont coûteux sur le plan environnemental et fractionner des aliments pour les recombiner n'est pas vraiment ce qu'il y a de mieux sur le plan énergétique, surtout pour un bénéfice santé très contestable. Enfin, les conséquences agronomiques de cette nouvelle approche holistique de l'alimentation et d'une nouvelle classification des aliments sont aujourd'hui encore difficiles à évaluer. Cependant, puisque la monoculture de quelques variétés végétales prédomine aujourd'hui, notamment pour servir à la production massive d'ingrédients alimentaires, on peut imaginer qu'une consommation plus importante dans la population de produits moins transformés favorise le développement de davantage de biodiversité des cultures végétales. Quant aux aliments d'origine Bio, s'ils sont ultra-transformés ou raffinés, ils risquent de perdre tout le

bénéfice nutritionnel associé au bio. L'intensité des traitements technologiques est telle que les différences entre Bio et non Bio sont nivelées.

**Perspectives**

Si la classification NOVA, validée scientifiquement par de nombreuses études épidémiologiques et de consommation à travers le monde, a le mérite immense d'avoir proposé un nouveau paradigme de classement des aliments qui fait sens du point de vue de la santé elle présente cependant plusieurs faiblesses : 1) Les aliments ultra-transformés (Groupe 4) ne disparaitront pas du jour au lendemain de l'offre des industries agroalimentaires ; et de plus ils peuvent participer d'un repas équilibré pourvu qu'ils ne constituent pas la base du régime : il est donc nécessaire de distinguer plusieurs sous-groupes dans les produits ultra-transformés, des meilleurs au moins bons ; 2) Dans les aliments transformés (Groupe 3) la quantité d'ingrédients culinaires ajoutée n'est pas considérée ; 3) Dans les aliments ultra-transformés la nature des additifs et le degré de transformation des ingrédients n'est pas prise en compte ; et 4) Cette classification reste qualitative et ne rend pas compte dans la nuance de l'intensité de certains traitements technologiques (ex. intensité des températures et des pression).

Considérant que la transformation alimentaire est un paramètre essentiel du potentiel santé d'un aliment, cela implique donc de caractériser objectivement la relation entre le degré de transformation des aliments et leur potentiel santé chez l'homme selon deux approches : 1) Qualitative : amélioration de la classification NOVA en prenant en compte la nature, la quantité, la fonction et le degré de transformation des ingrédients et/ou additifs, afin d'aboutir à une classification encore plus holistique (classification SIGA en cours de développement) ; et 2) Quantitative : développement d'un index technologique quantitatif caractéristique du degré de transformation des aliments, et incluant à la fois les effets « matrice » et « composition ».

## *Bibliographie*


1. Rémésy C, Leenhardt F, Fardet A (2015) Donner un nouvel avenir au pain dans le cadre d'une alimentation durable et préventive. Cahiers de Nutrition et de Dietetique 50, 39-46.
2. Fardet A, Rock E, Bassama J et al. (2015) Current food classifications in epidemiological studies do not enable solid nutritional recommendations to prevent diet-related chronic diseases: the impact of food processing. Advances in Nutrition 6, 629-638.
3. Monteiro CA, Cannon G, Moubarac JC et al. (2015) Dietary guidelines to nourish humanity and the planet in the twenty-first century. A blueprint from Brazil. Public Health Nutr 18, 2311-2322.
4. Moubarac J-C, Parra DC, Cannon G et al. (2014) Food Classification Systems Based on Food Processing: Significance and Implications for Policies and Actions: A Systematic Literature Review and Assessment. Current Obesity Reports 3, 256-272.
5. Monteiro C, Cannon G, RB L et al. (2016) The star shines bright. World Nutrition 7, 28-38.
6. Martínez Steele E, Popkin BM, Swinburn B et al. (2017) The share of ultra-processed foods and the overall nutritional quality of diets in the US: evidence from a nationally representative cross-sectional study. Population Health Metrics 15, 6. 6

7. Martins APB, Levy RB, Claro RM et al. (2013) Increased contribution of ultra-processed food products in the Brazilian diet (1987-2009). Rev Saude Publica 47, 656-665.
8. Botelho R, Araujo W, Pineli L (2016) Food formulation and not processing level: conceptual divergences between public health and food science and technology sectors. Crit Rev Food Sci Nutr, http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2016.1209159.
9. Dwyer JT, Wiemer KL, Dary O et al. (2015) Fortification and Health: Challenges and Opportunities. Advances in Nutrition: An International Review Journal 6, 124-131.
10. Eicher-Miller HA, Fulgoni VL, Keast DR (2015) Processed Food Contributions to Energy and Nutrient Intake Differ among US Children by Race/Ethnicity. Nutrients 7, 10076-10088.
11. Weaver CM, Dwyer J, Fulgoni VL, 3rd et al. (2014) Processed foods: contributions to nutrition. Am J Clin Nutr 99, 1525-1542.
12. Fardet A (2017) Halte aux aliments ultra-transformés ! Mangeons vrai. Les 3 règles d'or pour manger sain, éthique et durable. Vergèze: Thierry Souccar Editions. 256 pages.
13. Louzada ML, Baraldi LG, Steele EM et al. (2015) Consumption of ultra-processed foods and obesity in Brazilian adolescents and adults. Prev Med 81, 9-15.
14. Moubarac J-C, Batal M, Louzada ML et al. (2016) Consumption of ultra-processed foods predicts diet quality in Canada. Appetite 108, 512-520.
15. Moubarac JC, Batal M, Martins AP et al. (2014) Processed and ultra-processed food products: consumption trends in Canada from 1938 to 2011. Can J Diet Pract Res 75, 15-21.
16. Sparrenberger K, Friedrich RR, Schiffner MD et al. (2015) Ultra-processed food consumption in children from a Basic Health Unit. J Pediatr (Rio J) 91, 535-542.
17. Monteiro CA, Levy RB, Claro RM et al. (2011) Increasing consumption of ultra-processed foods and likely impact on human health: evidence from Brazil. Public Health Nutr 14, 5-13.
18. Louzada ML, Martins AP, Canella DS et al. (2015) Ultra-processed foods and the nutritional dietary profile in Brazil. Rev Saude Publica 49, 38.
19. Louzada ML, Martins AP, Canella DS et al. (2015) Impact of ultra-processed foods on micronutrient content in the Brazilian diet. Rev Saude Publica 49, 1-8.
20. Canella DS, Levy RB, Martins APB et al. (2014) Ultra-Processed Food Products and Obesity in Brazilian Households (2008-2009). Plos One 9, e92752.
21. Tavares LF, Fonseca SC, Garcia Rosa ML et al. (2012) Relationship between ultra-processed foods and metabolic syndrome in adolescents from a Brazilian Family Doctor Program. Public Health Nutr 15, 82-87.
22. Rauber F, Campagnolo PDB, Hoffman DJ et al. (2015) Consumption of ultra-processed food products and its effects on children's lipid profiles: A longitudinal study. Nutr Metab Cardiovasc Dis 25, 116-122.
23. Moubarac JC, Claro RM, Baraldi LG et al. (2013) International differences in cost and consumption of ready-to-consume food and drink products: United Kingdom and Brazil, 2008-2009. Glob Public Health 8, 845-856.
24. Leite FH, Oliveira MA, Cremm EC et al. (2012) Availability of processed foods in the perimeter of public schools in urban areas. J Pediatr (Rio J) 88, 328-334.
25. Costa JC, Claro RM, Martins AP et al. (2013) Food purchasing sites. Repercussions for healthy eating. Appetite 70, 99-103.
26. Vedovato GM, Trude AC, Kharmats AY et al. (2015) Degree of food processing of household acquisition patterns in a Brazilian urban area is related to food buying preferences and perceived food environment. Appetite 87, 296-302.
27. Mallarino C, Gomez LF, Gonzalez-Zapata L et al. (2013) Advertising of ultra-processed foods and beverages: children as a vulnerable population. Rev Saude Publica 47, 1006-1010.
28. Franco EdP, Rosa G, Luiz RR et al. (2015) Assessment of the quality of hypoenergetic diet in overweight women. International Journal of Cardiovascular Science 28, 244-250.
29. Martínez Steele E, Baraldi LG, Louzada MLdC et al. (2016) Ultra-processed foods and added sugars in the US diet: evidence from a nationally representative cross-sectional study. BMJ Open 6.

30. Moubarac JC, Martins APB, Claro RM et al. (2013) Consumption of ultra-processed foods and likely impact on human health. Evidence from Canada. Public Health Nutr 16, 2240-2248.
31. Moreira PVL, Baraldi LG, Moubarac J-C et al. (2015) Comparing Different Policy Scenarios to Reduce the Consumption of Ultra-Processed Foods in UK: Impact on Cardiovascular Disease Mortality Using a Modelling Approach. Plos One 10, e0118353.
32. Crovetto MM, Uauy R, Martins AP et al. (2014) Household availability of ready-to-consume food and drink products in Chile: impact on nutritional quality of the diet. Rev Med Chil 142, 850-858.
33. Luiten CM, Steenhuis IH, Eyles H et al. (2016) Ultra-processed foods have the worst nutrient profile, yet they are the most available packaged products in a sample of New Zealand supermarkets. Public Health Nutr 19, 530-538.
34. Juul F, Hemmingsson E (2015) Trends in consumption of ultra-processed foods and obesity in Sweden between 1960 and 2010. Public Health Nutr 18, 3096-3107.
35. Julia C, Martinez L, Alles B et al. (2017) Contribution of ultra-processed foods in the diet of adults from the French NutriNet-Sante study. Public Health Nutr, 1-11.
36. Monteiro CA, Moubarac JC, Cannon G et al. (2013) Ultra-processed products are becoming dominant in the global food system. Obesity Reviews 14, 21-28.
37. Baker P, Kay A, Walls H (2014) Trade and investment liberalization and Asia's noncommunicable disease epidemic: a synthesis of data and existing literature. Global Health 10, 66.
38. Moodie R, Stuckler D, Monteiro C et al. (2013) Profits and pandemics: prevention of harmful effects of tobacco, alcohol, and ultra-processed food and drink industries. Lancet 381, 670-679.
39. Pan American Health Organization (2016) Pan American Health Organization Nutrient Profile Model. Washington D.C.
40. Monteiro CA, Moubarac J-C, Levy RB et al. (2017) Household availability of ultra-processed foods and obesity in nineteen European countries. Public Health Nutr, 1-9.
41. Vandevijvere S, Monteiro C, Krebs-Smith SM et al. (2013) Monitoring and benchmarking population diet quality globally: a step-wise approach. Obesity Reviews 14, 135-149.
42. Fardet A, Rock E (2014) Toward a new philosophy of preventive nutrition: from a reductionist to a holistic paradigm to improve nutritional recommendations. Advances in Nutrition 5, 430-446.
43. Campbell CT, Jacobson H (2013) Whole: Rethinking the Science of Nutrition. Benbella Books.
44. Campbell TC, Campbell TM (2008) Le Rapport Campbell : La plus vaste étude internationale à ce jour sur la nutrition. Outremont: Ariane Editions.
45. Fardet A (2015) A shift toward a new holistic paradigm will help to preserve and better process grain product food structure for improving their health effects. Food & Function 6, 363-382.
46. Fardet A (2015) Complex foods versus functional foods, nutraceuticals and dietary supplements: differential health impact (Part 2). Agro FOOD Industry hi-tech 26, 20-22.
47. Fardet A (2015) Complex foods versus functional foods, nutraceuticals and dietary supplements: differential health impact (Part 1). Agro FOOD Industry hi-tech 26, 20-24.

# Food-processing : technologies innovantes et douces d'atténuation

**Hugo De Vries**, Montpellier

✉ hugo.de-vries@inra.fr

## *Biographie*

Dr. Hugo de Vries is director of the Joint Research Centre IATE of INRA, CIRAD, Montpellier SupAgro and University of Montpellier focusing on transformation of renewable resources into food, bio-energy, biomaterials and bio-molecules. He is research director at INRA, Board member of the European Federation of Food Science and Technology, of the UNESCO CHAIR 'World Food Systems', of the INRA-CIRAD 'Global Food Security' meta-programme and the Hohenheim Research Centre for Bio-economy. Actually, he coordinates two taskforces focusing on bio-economic systems connected to agro-ecology concepts. Previously, he has been the Head of the Food Technology Research Centre of Wageningen UR and the Food Division Director for Strategy and Commercial Affairs of ATO-DLO, part of Wageningen UR. He has been coordinator of the European Integrated Project NovelQ and initiator of the Network of Excellence HighTech Europe. He obtained a PhD in physics and has held several positions around the globe.

## *Résumé de l'intervention*

*The presentation will be based on results of the European Integrated Project NovelQ (2006 – 2011) and of the Network of Excellence High Tech Europe (2011- …; still running)*

Food processing is one of the oldest engineering activities. It has allowed to transform renewable resources into consumable products e.g. by using heat. We distinguish:

- Food process innovations in past decades: refrigeration, pasteurization, canning, baking, fermentation, frying, the oven, grinding and milling

- Food technologies recognized by all today: irradiation, microwaves, extrusion, aseptic handling, membranes, packaging (active and intelligent)

- Emerging technologies for tomorrow: ohmic heating, overheated steam, biotechnology, high pressure processing, (pulsed) electrical fields, membrane emulsification and today cold plasma processing.

Especially the emerging technologies that allow mild and targeted processing have received worldwide attention in order to maintain as well as possible the fresh characteristics of the

raw materials. Those technologies include high pressure processing (HPP) for pasteurisation, sterilisation and texturization of food, pulsed electrical fields (PEF) for pasteurisation, drying of food and ingredient extraction and cold plasma as a surface disinfecting method. However, also short-treatment-duration advanced heating technologies such as ohmic heating and continuous microwave processing are reconsidered due to engineering cgallenges.

Today, high pressure processing research is at a rather mature level as regards both food science and equipment developments geared towards pasteurisation processes. Several products are actually on the market which are treated with pressures up to 500 MPa; those will be demonstrated including their benefits and drawbacks. The step towards sterilisation processes (shelf stable foods) utilizing high pressure in combination with short term high temperatures is rather difficult, however, progress has been considerable in the past years; outcomes and perspectives are discussed.

Pulsed electric field oriented research is actually at a semi-mature level both in food science as well as equipment developments. First equipment is available, however, there are still questions remaining regarding safety and quality aspects. The potential of PEF is substantial in terms of environmental and economic impact, however, the perception of consumers still requires full attention.

Cold plasma treatment is at an immature food science basis with many unknowns in terms of effects on safety and quality aspects. Examination of cold plasma as a means for decontamination of (packaging and food) surfaces has required the development of small scale equipment to be used in the basic research sub-projects to evaluate the effects on material properties. This equipment is now available and results are promising.

One cannot consider using those technologies without appropriate packaging schemes; hence, new packaging concepts in combination with those emerging processing tools are discussed as well. Hereby, the material characteristics facing the processing conditions are taken into account, especially bio-degradable ones, but also intelligent and modified air packaging concepts. Special attention is given to the interaction between packaging material and food product, hereby focusing on scalping and migration phenomena related to food safety issues of packed products.

In addition, the environmental impact of processing schemes is taken into consideration, not only at the level of unit operations, but as a full chain impact. Life Cycle Analysis results reflect the potential of emerging technologies, for example in terms of energy and water efficient integrated processing ways, however also show the drawbacks.

In order to accurately research the emerging technologies, key scientific emphasis has been put on some product cases in particular plant-based products, both in solid and liquid forms, including carrot, tomato, strawberry, apple and broccoli. These commodities have been selected because they integrate (i) food structure issues, (ii) colour and flavour-related aspects, (iii) health-related components, including allergens, and (iv) food safety issues.

However, the results will have broad applicability to other type of products including animal-based food, up to the level of whole meals – including regional recipes that are typical for the rich and diverse European cuisine. To most effectively address these opportunities, results regarding the feedback of consumers have been taken into account.

Hence, an integrated approach of new technologies is presented and discussed with the overall objective to strive for fresh-healthy foods utilising eco-friendly and safe processing schemes and more particularly addressing:

- substantially extending shelf-life [without compromising safety] of, especially, fresh-like convenience foods of plant origin. This is quite often the limiting factor in maintaining the shelflife of prepared whole meals. Solving this problem will help to maintain the value (quality and export) of regional recipes;
- responding to the demands of consumers for food with fresh characteristics similar to those of the raw material (taste, aroma, texture, healthy ingredients);
- responding to the demands of consumers for foods that contribute to individual health and wellbeing. Such foods will help to lower the levels of diet-related disease and reduce associated health and social costs across the European Union;
- enhancing eco-friendly innovative processing, as a direct consequence of reducing:
  (a) current wastage of fresh produce via extended shelf-life,
  (b) energy inputs, via low-temperature and low-energy and short duration processing,
  (c) usage of water and chemicals, via applications of new hygiene approaches and alternative processing schemes, and
  (d) migration problems and packaging materials; via e.g. in-pack processing (thereby avoiding need for repackaging).

Next to the scientific findings, the approach for appropriate developments of novel food processing technologies will be highlighted. These approached have been defined in the European Projects NovelQ and High Tech Europe and are based on a science push as well as reversed (market – consumer) engineering, chain, approach. Such an approach is of key importance to accelerate the development of equipment, to guarantee the transparency, benefits and risks and final acceptance, to allow SMEs to be involved and competitive and to additionally focus on the potential of technologies for local and traditional recipes.

# Introduction générale - Historique de la médecine 4P

# &

# Thermalisme : études montrant l'intérêt du thermalisme dans la prise en charge

**Yves-Jean Bignon**, Clermont-Ferrand

✉Yves-Jean.BIGNON@clermont.unicancer.fr

## *Biographie*

Pr. Yves-Jean BIGNON : professeur de classe exceptionnelle à Clermont-Université, Docteur en Médecine, docteur en sciences, pionnier français de l'oncogénétique en 1988. Directeur fondateur du département d'oncogénétique et du Laboratoire de Biologie Médicale OncoGènAuvergne du Centre Jean Perrin. Spécialiste des risques héréditaires des cancers du sein, a publié plus de 300 articles dans des revues à comité de lecture, citées plus de 9 000 fois, un index H à 45. A formé en oncogénétique, plus de 400 scientifiques de 27 pays. Membre des sociétés savantes européennes et américaines de génétique humaine et de recherche en cancérologie. Maire adjoint de Vichy depuis 2014 en charge du thermalisme et des nouveaux métiers de la santé.

# Médecine connectée

**Sylvie Rousset**, Clermont-Ferrand

✉ sylvie.rousset@inra.fr

## *Biographie*

Sylvie Rousset étudie les relations entre les modes de vie et l'état de santé. Depuis 2011, S Rousset a créé de nouveaux outils fondés sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication pour évaluer et étudier l'impact des comportements de prise alimentaire et d'activité physique en conditions habituelles de vie sur des paramètres de la composition corporelle ou du bilan sanguin.

- Ingénieur de Recherche 1ère Classe
- Habilitée à Diriger la Recherche, Clermont-Ferrand, 2006
- Docteur en Biologie Appliquée, INA, Paris-Grignon, 1987
- Ingénieur Agronome, spécialité Agro-alimentaire (ENSAT), Toulouse, 1985

## *Résumé de l'intervention*

**Enjeux des nouvelles technologies pour la santé et la recherche**

Le monde actuel est marqué par l'épidémie des maladies chroniques. A titre d'exemple, le surpoids et l'obésité touchent environ 50% de la population française. De plus, la surcharge pondérale concoure à l'apparition de maladies chroniques. Les coûts engendrés par la prise en charge de ces maladies sont considérables, à savoir 10 milliards d'euros/an en France pour soigner le diabète et l'hypertension artérielle. L'implication du mode de vie dans l'apparition et l'aggravation de ces maladies est dorénavant clairement établi, les actions de prévention et de sensibilisation représentent alors un enjeu majeur de santé publique.

Confrontés à l'épidémie des maladies chroniques, la médecine a besoin de nouveaux outils en complément de la prise en charge médicale classique pour faciliter le suivi des patients. Une partie des professionnels de santé intègrent déjà dans leur pratique la télésurveillance pour interpréter à distance des données nécessaires au suivi médical, la téléconsultation, c'est à dire la consultation du patient à distance, et la télé-expertise, qui est la demande par un médecin d'un avis médical grâce à l'envoi d'images à un autre praticien via Internet.

A l'heure actuelle, les nouvelles technologies de l'information et de la communication sont à l'origine de l'apparition d'une multitude d'objets connectés, qui accompagnent notre quotidien. Ainsi, l'utilisation d'Internet nécessaire à la connexion des objets s'est généralisée. Parmi les objets commercialisés, les smartphones, les bracelets et les balances connectés sont les plus répandus. Aujourd'hui 65% des Français sont équipés de smartphone. 259 000 applications ont été développées dans le domaine de la santé. Malheureusement la plupart

de ces applications ne sont pas valides. La recherche scientifique a donc un rôle majeur à jouer pour proposer de nouveaux outils/dispositifs fiables d'évaluation des comportements d'activité physique et de prise alimentaire dont on connait l'importance dans l'origine des maladies. Ces outils devront être moins contraignants et plus conviviaux que les questionnaires utilisés classiquement pour ces évaluations. Ces outils devront être valides, utilisables à grande échelle, à moindre coût, en temps réel et en tout lieu. Les attentes vis-à-vis des objets connectés sont notamment de les mettre au service de l'éducation, de la prévention et du traitement des patients. L'acceptation sociale évidente des objets connectés et leur interactivité pourraient être un soutien déterminant pour le suivi médical et individuel. Les conséquences pourraient être considérables pour le bien-être et la réduction des coûts de santé.

L'INRA-Unité de Nutrition Humaine a l'ambition d'étudier l'impact des modes de vie spontanés sur des paramètres de santé tels que la composition corporelle. L'INRA ainsi travaille à la conception d'outils numériques pour le suivi comportemental de volontaires depuis 2011. Le 1er outil développé est la plateforme web ActivCollector (https://activcollector.clermont.inra.fr/). La maquette actuelle est composée de 7 modules informatiques principaux qui fonctionnent: la gestion des projets, des utilisateurs, des questionnaires, une messagerie interne et une suite logicielle WellBeNet composée de trois applications mobiles (Figure 1).

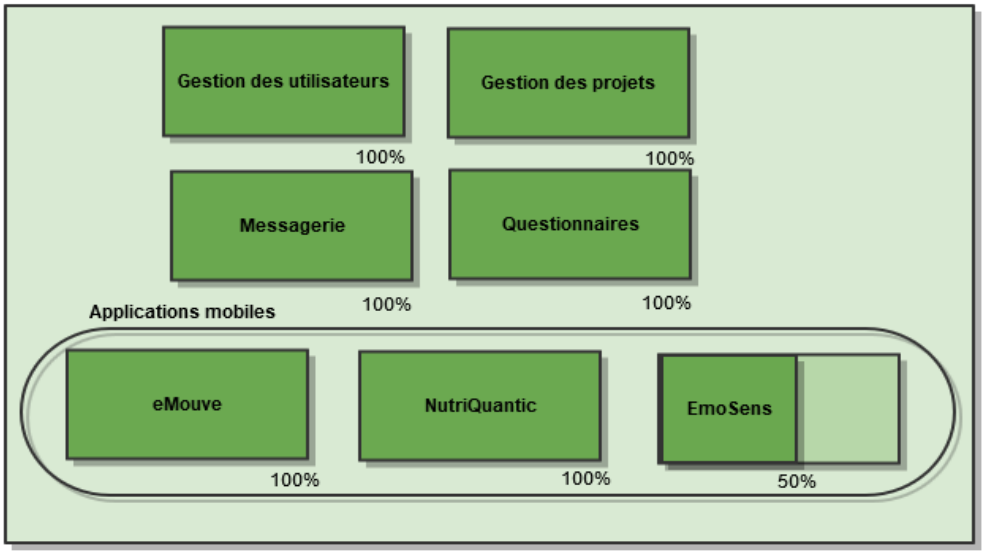



Figure 1. La plateforme web ActivCollector : état d'avancement en juillet 2017

Les trois applications mobiles permettent d'étudier les comportements d'activité physique (eMouve), de prise alimentaire (NutriQuantic) ainsi que les émotions (EmoSens) en conditions habituelles de vie. La conception des trois applications reposent sur des fondements

scientifiques dans les domaines du métabolisme énergétique, des connaissances nutritionnelles et de la psychologie. A partir du traitement algorithmique de données d'accélérométrie, eMouve estime la durée de sédentarité et d'activité d'intensité légère, modérée et vigoureuse ainsi que la dépense énergétique. NutriQuantic permet de calculer un score d'adhésion aux recommandations nutritionnelles en fonction de la fréquence de consommation de catégories d'aliments. EmoSens calcule un score d'équilibre émotionnel. Les données collectées par les smartphones sont envoyées sur la plateforme Web pour le traitement et le stockage (Figure 2). La plateforme envoie le résultat des calculs sous une forme ergonomique aux smartphones pour informer l'utilisateur de son comportement (Figure 2). La création de ce site a fait l'objet d'une déclaration complète auprès de la CNIL. Toutes les données stockées sur le site sont anonymisées et les adresses mail cryptées. L'outil est à la disposition des chercheurs.

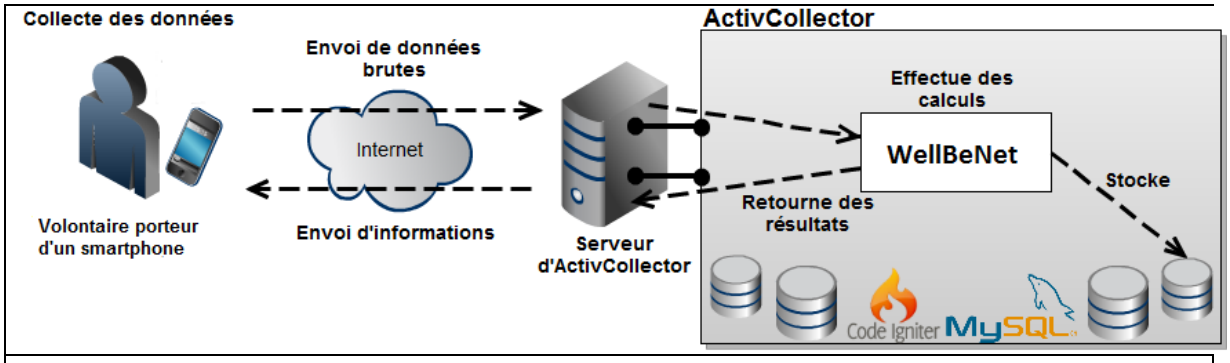



Figure 2. Le principe des échanges entre les smartphones et la plateforme web ActivCollector

# Médecine 4P – Médecine personnalisée, évaluer les actions et leurs retombées : des habits neufs pour un problème ancien ?

**Laurent Gerbaud**, Clermont-Ferrand

✉lgerbaud@chu-clermontferrand.fr

## *Biographie*

Postes et fonctions actuels

**Professeur des Universités - Praticien Hospitalier,** Chef du pôle « santé publique **»** et du **service de Santé Publique** du CHU de Clermont-Ferrand.

**Directeur du service de santé universitaire** (SSU) de l'université Clermont – Auvergne

**Référent scientifique du programme « précarité »** du centre d'étude technique d'appui et de formation (**CETAF**) des centres d'examens de santé de l'assurance maladie

**Président de l'ADSSU** (association des directeurs de service de santé universitaire)

Membre de la CEESP (Commission d'évaluation économique et de santé publique) de la **HAS**

Membre du **CES REACH** de l'ANSES

Membre de la **CNSA,** élu à la **CDSU**

## *Résumé de l'intervention*

### 1. Introduction

Depuis 2012, la médecine 4 p est un concept considéré comme apportant une évolution majeure à la conception même de la médecine. Si les différentes révolutions médicales du XXème siècle (hygiène, alimentation, vaccination, antibiotiques, extension du champ d'action pharmaceutique parallèlement à la sécurisation de la chirurgie, développement de l'imagerie et de la biologie, microchirurgie,…) ont contribué à une hausse spectaculaire de l'espérance de vie [Pizon 2004], ce gain d'espérance de vie paraît stagner [Vallin, Meslé 2010]. La médecine 4p apparaît alors comme un moyen mettant en cohérence l'ensemble des savoirs médicaux pour l'adapter aux besoins de chaque individu, ce qui est au cœur d'un projet comme le projet de Centre Expérimental de Prévention Prédictive Participative Individualisée en Auvergne –CEPPPIA.

Evaluer l'intérêt de la médecine 4P suppose tout d'abord d'en interroger les fondements historiques les définir. Il faut ensuite, concept par concept voire en quoi ils introduisent une

rupture, pris séparément comme ensemble. A partir de cette analyse, il devient possible de déterminer les grandes lignes des stratégies d'évaluation et ce qui se dessine comme devenir.

## 2. Un bref historique

L'irruption du concept de Médecine 4P dans le milieu médical fait suite à la leçon inaugurale du Pr Elias Zerhouni (ancien directeur au National Institue for Health et de la Recherche et Développement de Sanofi) au Collège de France le 20 janvier 2011 [Zerhouni 2011] rapidement relayé par un article du Pr Luc Montagnier et de Frédéric Bizard dans Le Monde, le 13 mars 2012 (Montagnier et Bizard 2012]. La médecine rejoint le cadre général de l'évolution des sciences, passant de la description (la sémiologie), aux premiers traitements, dont l'efficacité est progressivement rationnellement maîtrisée (par le développement des essais cliniques aboutissant à la norme de l'essai clinique comparatif randomisé), à l'identification de causes profondes par la génomique et la connaissance accrue des effets de l'environnement sur le corps humain. Au stade actuel, les découvertes qui se multiplient ne peuvent trouver de cohérence qu'à travers un concept d'action unificateur : la médecine 4P.

## 3. Médecine 4P : Prédictive Préventive Personnalisée Participative

**3.1 Prédictive :** à partir d'une connaissance généralisée de tous les risques de chaque individu, il est possible de déterminer les pathologies auxquelles il sera confronté et d'anticiper leur survenue, en réduisant leur risque ou en traitant plus tôt. Un exemple de prédictivité est le score de Framingham, dont les différentes versions combinent des paramètres d'état de santé (hypertension artérielle, diabète) et des facteurs de risque (surpoids, cholestérolémie), score qu'il est possible de sensibiliser en y ajoutant des déterminants génétiques (antécédents familiaux) ou de comportement (tabagisme, sédentarité) [Mahmood et al. 2014]. Cette prédictivité a souvent été associée à la génomique de chaque individu en étendant le modèle issue des maladies rares d'origine génétique. Malheureusement, la découverte de l'épigénétique (définie par Denise Barlow comme « l'ensemble des choses bizarres et merveilleuses que la génétique ne sait pas expliquer » [in Lang 2015]) a rendu le modèle redoutablement complexe et instable. L'environnement et le mode de vie influe considérablement sur l'expression des gènes, induisant des changements stables dans leur fonction, pouvant être réversibles en cas de modification de cet environnement, mais pouvant aussi être plus durable et transmissible, en dehors d'une transmission par l'ADN. Effet transgénérationnel sur une ou deux générations induit par l'environnement que l'on voit expérimentalement pour certaines molécules (diéthylstilbestrol, certains bisphénols,…). Même si le génome reste la pierre angulaire de cette prédictivité, certains ont pu y voir une revanche partielle de Lamarck sur Darwin [Lang 2015]. Le second problème tient aux problèmes théoriques découlant du passage de calculs de facteurs de risque à la prédictivité individuelle. L'épidémiologie permet le calcul de facteurs de risque (ou, à l'inverse de facteurs protecteurs) pour des groupes de populations ayant une caractéristique commune. Mais le passage à un score de risque individuel repose sur différentes voies théoriques qui ne sont pas toujours convergentes, ne serait-ce que parce que le risque d'un groupe d'individus est le

risque moyen de ce groupe – or, dans ce groupe, chaque individu a son propre risque qui fluctue autour de cette moyenne. L'interaction et la synergie entre risques sont également complexes à mesurer, tout comme la nature de la relation dose effet. Une combinaison de risques est toujours différente de la combinaison de chaque risque considéré indépendamment les uns des autres, de sorte que l'on peut avoir une sous-estimation de la probabilité de survenue d'un évènement en cas de relation synergique mal mesurée ou complexe (par exemple une relation non linéaire avec seuils multiples reliés par différentes pentes). Il faut aussi noter que la sommation des risques amène à surévaluer la survenue d'un évènement, car cet évènement est rarement déterminé par un seul risque. Par exemple, si on calcule le nombre total des décès qui devraient avoir lieu une année donnée en fonction des risques connus, on peut arriver à un total très supérieur à la réalité. Ceci est dû au fait que les causes de décès ne sont jamais uniques (on peut mourir d'une maladie cardiaque parce qu'à la fois on fume, on est obèse, sédentaire et on a des facteurs de risque familiaux)- il y avait en moyenne 2,4 causes médicales de décès par décès en France en 2011 [Désesquelles et al. 2016]. Autre problème, les études épidémiologiques peinent à recueillir toutes les causes possibles. Si l'on prend une situation fortement standardisée comme la survie en réanimation, les meilleurs scores prédictifs de décès (Apache II, SAPS II) ne parviennent pas à fixer plus de 50% de la variance. Autrement 50% du risque de décès est dû à des facteurs mal ou non mesurés. Pour le dire simplement, on peut avoir une excellente prédiction de survie et se faire écraser par un conducteur ivre qui n'a pas vu le feu rouge auquel vous traversiez en sortant du médecin qui vous avait annoncé cette bonne nouvelle.

**3.2 : Préventive :** le souhait de passer d'une médecine curative à une médecine préventive est ancien, consubstantiel de la pensée médicale. « Mieux vaut prévenir que guérir » reste l'idéal de la bonne action médicale. La maladie reste caractérisée par la souffrance, éviter la maladie est toujours éviter cette souffrance. Les choses sont ici à la fois complexes et simples. Elles sont complexes si l'on veut appliquer à chaque individu un programme de prévention prenant en compte l'ensemble de ses risques. Mais elles sont très simples si l'on se place du point de vue de la santé publique et des causes de mortalité prématurée (définie comme la mortalité avant 65 ans). Le tabac tue 60 à 70.000 personnes par an, l'alcoolisme 45 à 50.000, la pollution urbaine 20 à 30.000, les accidents (domestiques, du travail, de la voie publique) environ 10.000. Il est donc facile d'identifier ces gros facteurs de risque chez un individu, mais souvent plus difficile de voir comment l'y soustraire : ces risques relèvent tout autant de comportements individuels que de comportements sociaux (la mise sur le marché de tabac, d'alcool, de véhicules rapides, la tolérance à la pollution,…). Parfois même, l'individu est confronté à un risque sans en avoir le choix (pollution urbaine, dans le milieu de travail,…) voire sans même connaitre son exposition (polluants alimentaires, solvants,…). Une autre difficulté surgit lorsqu'un risque est reconnu comme majeur mais qu'il est difficile de le caractériser simplement. C'est le cas de facteurs de risque majeurs de maladies cardiovasculaires ou de cancer que sont la sédentarité et le comportement alimentaire : les questionnaires utilisés pêchent soit par leur complexité, soit, lorsqu'ils sont simplifiés, par leur incapacité à décrire fidèlement ce qu'ils mesurent. Ce qui amène à se baser avant tout sur les

principaux risques connus et faciles à caractériser. L'espoir porte ici sur la capacité à se doter d'outils observationnels puissants, à même de neutraliser les facteurs de confusion connus et capables de décrire l'ensemble des situations connus. La fouille de données (data mining) dans de grandes bases de données permettra sans aucun doute de faire des avancées importantes. Malheureusement, la France est ici très en retard, ce qui tient à la faiblesse numérique des équipes ayant la capacité de le faire, à leur cloisonnement en équipe de recherche monothématiques et la difficulté à créer des équipes de recherche multithématiques et pluri compétentes, et à une sur valorisation de l'approche expérimentale clinique comme seul outil de réponse aux questions. Enfin, il ne faut pas oublier la prévention vaccinale, outil redoutablement efficace de réduction de la mortalité infantile, point qu'il est utile de rappeler alors que réapparaissent des décès par rougeole chez des enfants non vaccinés.

**3.3 personnalisée :** la personnalisation est, comme pour la prévention, le retour d'un idéal ancien de la médecine. Prendre en compte son individu et son environnement dans sa globalité pour lui proposer exactement ce dont il a besoin est un rêve de médecine parfaite. En thérapeutique, la connaissance plus fine de certaines pathologies, de l'interaction entre traitements a permis de faire des progrès spectaculaires. Pour prendre deux exemples dans des domaines radicalement différents :

- Dans le cas du cancer bronchopulmonaires non à petites cellules, la génomique de la tumeur permet d'identifier des récepteurs EGF avec mutations activatrices – EGFRm+ - permettant de recourir à une première ligne d'Inhibiteur de la Tyrosine Kinase et lorsque qu'apparaît la mutation de résistance T790M, le traitement peut recourir à un Inhibiteur de la Tyrosine Kinase de 3ème génération.

- Dans le cas de la schizophrénie, l'efficacité et la tolérance des neuroleptiques dépendent du sexe, de l'âge, du tabagisme, de la prise conjointe d'autres médicaments et du cycle menstruel. Leurs prises en compte permet d'être à la fois plus efficace et moins délétère [Lange et al. 2017]

Toutefois cette personnalisation est loin de concerner l'ensemble des situations de traitements et des personnes traitées. Elle demande de pouvoir analyser des cohortes de patients en grand nombre, avec des données nombreuses et de qualité, pour traduire tous les parcours et trajectoires possibles. Les possibilités de traitement de données issues à la fois des croisements des grandes bases de données (SNIIRAM, PMSI, EGB,…) et des capacités de recueil d'information liées à la télémédecine offrent des pistes intéressantes. Le concept même de personnalisation est toutefois remis en cause (après tout un médecin généraliste qui connaît bien ses patients et leur mode de vie est à même de réaliser cette personnalisation sans nécessairement l'appuyer sur des arguments statistiques) au profit du concept de précision : la médecine de précision est celle qui utilise les connaissances actuelles pour proposer de traiter de façon la plus fine possible. Le concept de précision permet aussi de raisonner la question de l'imprécision créée par le passage de la recherche clinique à la pratique courante. Du fait des critères d'inclusion et d'exclusion, et des modalités de

fonctionnement de la recherche, les essais thérapeutiques n'incluent que 10 à 20% des futurs malades traités, biaisant leurs capacités d'extrapolation et de généralisation. Il est possible de raisonner l'imprécision ainsi créée pour la pratique courante, à partir de la réponse à la question « en quoi mon malade est-il commun avec l'individu moyen (au sens statistique) inclut dans tel essai thérapeutique ? ». Le complément par des données observationnelles peut aider à modéliser cette imprécision.

**3.4 participative :** la participation du patient est la pierre angulaire de cette évolution, que ce soit en termes de prévention ou de traitement. Cette participation traduit à la fois le mouvement d'empouvoirement des patients (ce que l'on voit bien, par exemple, dans l'éducation thérapeutique du patient [Gerbaud 2015]) et une évolution de fond tendant à privilégier dans le système de soins la centration sur les technologies médicales (Jolly et Gerbaud, 1992). Le patient ne passe pas (ou plus) sa vie à l'hôpital et le passage dans les secteurs de soins sera de plus en plus bref et fractionné, rendant nécessaire le renforcement de son autonomie et de ses compétences. Cette participation ne pourra être effective que si les conditions préalables à la santé (telles que définies dans la charte d'Ottawa [OMS 1986]) sont atteintes : se loger, accéder à l'éducation, se nourrir convenablement, disposer d'un certain revenu, bénéficier d'un éco-système stable, compter sur un apport durable de ressources, avoir droit à la justice sociale et à un traitement équitable. La capacité à proposer des outils connectés adaptables aux attentes des patients, modulables selon son mode de vie et basés sur des objectifs qu'il aura lui-même fixés est une piste d'évolution intéressante. L'évaluation de la participation, de ce qui marche ou non, de ce qui est adopté ou non, peut potentiellement gagner beaucoup à s'appuyer sur ces outils connectés fournissant en vie et grandeur réelle des données (anonymes et protégeant la confidentialité) de masse et l'expression de ses choix par chaque individu.

**4. Vers une médecine 5P ?**

La Médecine 4p doit s'appuyer sur les outils de la télémédecine, tel que précédemment décrits. Mais la principale évolution théorique ne viendra du développement de ces outils. Au concept de médecine 4P, tend à se substituer une médecine 5P, le P ajouté traduisant la question du niveau de preuve. Il faut bien préciser que la réflexion sur le niveau de preuve ne signifie pas le recours exclusif à une médecine qui serait basé sur les seules meilleurs niveaux de preuve, mais avant tout, que si l'on recours à des stratégies (curatives comme préventives) dont le niveau de preuve est faible, il faut savoir les reconsidérer rapidement au cas où elles n'atteignent pas leurs objectifs. Il faut revenir aux trois éléments fondamentaux de la médecine basée sur des preuves telle que définie par Sacket [Sacket 1997] :

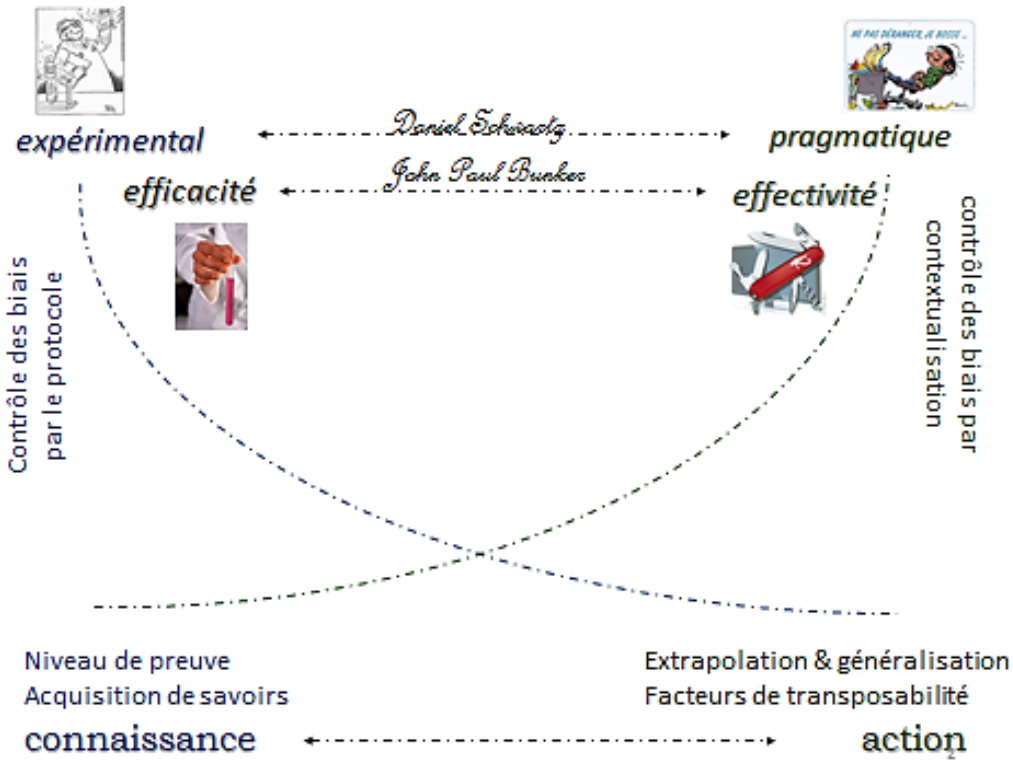
> I) l'expertise clinique individuelle qui combine l'habileté clinique et de décisions issues de l'expérience pratique et la connaissance approfondie du patient. Elle est essentielle pour déterminer si une décision ou une recommandation peut s'appliquer à un patient et si oui, comment (mon patient est-il identique ou comparable à ceux inclus dans les essais basant ma décision ?).

II) le meilleur niveau de preuve disponible issu de la recherche clinique (au sens large, c'est-à-dire incluant les études observationnelles)

III) Les valeurs et attentes du patient jouent un rôle central pour déterminer ce qu'il faut faire. Les prendre en compte sont des obligations déontologiques, des déterminants de satisfaction, sont à la source de l'éducation thérapeutique du patient et conditionnent le faisable. C'est ici que se situe le concept de décision médicale partagée

L'évaluation de la Médecine 4P ne pourra pas se baser sur les seuls essais cliniques comparatifs randomisés : trop parcellaires, trop éloignés de la diversité des patients, trop difficile à extrapoler et généraliser. L'évaluation devra comporter des approches observationnelles ou interventionnelles mixtes (comme en épidémiologie d'intervention).Il faut aussi prendre en compte que les méthodes observationnelles ont, tout comme les méthodes expérimentales, leurs critères de validité. La médecine 4P se retrouve donc en tension entre les deux extrêmes de la recherche médicale, l'expérimental et l'observationnel (cf. figure 1 infra).

## *Bibliographie*



Désesquelles A, Gamboni A, Demuru E, réseau MultiCaus. On ne meurt qu'une fois... mais de combien de causes ? Population et Sociétés, juin 2016, 534 : 1-4.

Gerbaud L. Éducation thérapeutique et santé publique : questions croisées, Annales Médico-psychologiques, 2015, 173: 106-112.

Johnson SB, Park HS, Gross CP, Yu JB. Use of Alternative Medicine for Cancer and Its Impact on Survival Journal of the National Cancer Institute, January 2018, Volume 110, Issue 1, 1

Jolly D, Gerbaud L. The hospital of tomorrow. WHO/ SHS/ CC/ 92.1, Genève (1992)

Lang T. Prévention : les gènes contre les déterminants sociaux ? Société Française de Santé Publique, Congrès "Déterminants sociaux, des connaissances à l'action" – Tours, 4-6 Novembre 2015 disponible sur :

http://www.sfsp.fr/manifestations/congres2015/donnees/sences-plenieres/diaporamas/PLENIERE-LANG.pdf

Lange B, Mueller JK, Leweke FM, Bumb JM. How gender affects the pharmacotherapeutic approach to treating psychosis – a systematic review. Expert opinion on Pharmacotherapy, 2017, 18, 4: 351-362.

Le Gall JR, Lemeshow S, Saulnier F. A New Simplified Acute Physiology Score (SAPS II) Based on a European/North American Multicenter Study. JAMA. 1993;270: 2957-2963

Montagnier L, Bizard F. Anticipons le passage d'une médecine curative à une médecine prédictive, Le Monde, 13-03-2012

Mahmood SS, Levy D, Vasan RS, Wang TJ. The Framingham Heart Study and the epidemiology of cardiovascular disease: a historical perspective, Lancet, 2014;383:999-1008.

OMS- organisation mondiale pour la santé. Charte d'Ottawa, 1986 disponible sur http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/129675/Ottawa_Charter_F.pdf

Pison G, France 2004 : l'espérance de vie franchit le seuil de 80 ans, Population et Sociétés, mars 2005 ; 410 : 1-4.

Sackett DL. Evidence based medicine: how to practice and teach EBM. 1st ed. New York: Churchill Livingstone, 1997

Vallin J, Meslé F. Espérance de vie : peut-on gagner trois mois par an indéfiniment ? Population et Sociétés, Population & Sociétés, décembre 2010, 473 : 1-4.

Zehrouni E. Les grandes tendances de l'innovation biomédicale au XXIème siècle. Collège de France, 2011, disponible sur https ://archive.org/details/CdfLiZerhouni

# Stratégie, politique et management des sources, complémentarité des sources actuelles et futures. Panorama des différentes sources potentielles

**Jean-Michel Chardigny**, Paris

✉ jean-michel.chardigny@inra.fr

## *Biographie*

Directeur de Recherches INRA, Chargé de Partenariat et d'Innovation « Protéines pour l'Alimentation Humaine et Animale »

- Auteur d'environ 140 publications originales, revues et chapitres d'ouvrages
- Expertises dans diverses instances nationales et internationales
- Président du Comité de Rédaction des « Cahiers de Nutrition et de Diététique »
- Coordinateur scientifique de deux « Etats des Lieux » du Fonds Français pour l'Alimentation et la Santé (Gluten, Protéines).

## *Résumé de l'intervention*

Avec des estimations aux alentours de 9 milliards d'habitants en 2050, majoritairement urbains et consommant plus de produits animaux et donc plus de protéines d'origine animale, l'évolution des consommations dans des systèmes plus durable constitue donc un impératif à court terme.

Parmi les macronutriments, c'est sur les protéines que la pression se fera le plus sentir au niveau mondial dans les prochaines décennies. Ceci résulte des évolutions démographiques, mais aussi des transitions nutritionnelles et des éléments liés au climat et à la disponibilité des ressources. La croissance de la demande en protéines animales en lien avec l'accroissement du PIB dans de nombreux pays contribue ainsi à accroitre cette pression.

Parmi les leviers pour satisfaire les besoins, on peut citer l'évolution des rendements agricoles ou la limitation des pertes et gaspillages. Si les premiers ont parfois tendance à stagner, les pertes entre productions et consommation constituent un réel défi pour les années à venir.

Reste cependant un besoin de diversifier les sources de protéines, sans exclusion, et dans une logique de complémentarité pour des régimes et de systèmes alimentaires sains et durables.

Parmi les différentes sources possibles, certaines sont traditionnelles et ont perdu leur place dans le régime alimentaire. Ainsi, la consommation de légumes secs est en France au plus bas,

comparativement aux autres pays Européen ou au Canada, sans parler des aliments traditionnels connus par exemple en Afrique ou en Amérique du Sud.

L'identification du groupe d'aliments « légumineuses » récemment proposé par l'ANSES pourra probablement aider le consommateur à (re)identifier ces aliments comme sources de protéines.

D'autres sources végétales pourront sans doute arriver sur le marché de l'alimentation humaine, sous réserve des limites réglementaires, voire des coûts de production. Les graines oléagineuses en sont un exemple majeur. Des protéines foliaires pourraient également être source d'innovation.

On pourra également citer les insectes et les algues qui seront traitées par ailleurs au cours de ces Université d'Eté de Nutrition. Mais différentes sources émergent également, parmi les champignons les moisissures, les levures, mais aussi des plantes aquatiques (lentille et jacinthe d'eau).

Les méduses ont également été proposées par la FAO comme source potentielle.

Les recherches sur ces différentes sources sont très actives à travers le monde et constituent de forts réservoirs d'innovation qui sont d'ailleurs à la base de la création de bon nombre de start-up.

# Protéines animales/végétales présent - futur

**Didier Rémond**, Clermont-Ferrand

✉ didier.remond@inra.fr

# Les microalgues : une source pour l'alimentation

**Philippe Michaud,** Clermont Ferrand

✉ Philippe.MICHAUD@univ-bpclermont.fr

Gholamreza DJELVEH, Philippe MICHAUD
Institut Pascal - UMR CNRS 6602
Campus Universitaire des Cezeaux, Bat. Polytech
2 Avenue Blaise Pascal
TSA 60206 - CS 60026
63178 AUBIERE CEDEX - France

## *Résumé de l'intervention*

Les micro-organismes photosynthétiques ayant une croissance oxygénique (les microalgues, les cyanobactéries) apparaissent comme une ressource d'avenir. La diversité biologique importante et les caractéristiques intrinsèques leur donnent beaucoup d'avantages (la haute productivité surfacique, la flexibilité métabolique, la possibilité d'une production contrôlée durable). Cependant, les applications industrielles restent modérées et non diversifiées, en particulier pour les applications impliquant un passage a grande échelle, comme l'alimentation ou la production d'énergie.

Avec seulement quelques dizaines d'espèces de microalgues cultivées, la production mondiale annuelle est de l'ordre de quelques dizaines de milliers de tonnes. Les dernières décennies ont permis de mettre en évidence la présence d'une grande diversité de molécules potentiellement valorisables à partir de biomasses de microalgues et cyanobactéries. Les molécules algosourcées actuellement valorisées sont essentiellement des pigments hydrosolubles (phycobiliprotéines) ou liposolubles (caroténoïdes) ou des lipides comme des terpènes et terpénoïdes, des lipides enrichis en acides gras polyinsaturés de la série des omega-3, les acides eicosapentaénoïques (EPA) et docosahexaénoïque (DHA) qui ont un rôle important dans la prévention des maladies cérébrales et cardiovasculaires. D'autres marchés de niches sont associes a des applications cosmétiques ou nutraceutiques, utilisant directement la biomasse ou des extraits bruts. On citera l'acide arachidonique (*Porphyridium purpureum*) comme additif diététique. Les espèces les plus cultivées sont par ordre décroissant : la cyanobactérie *Arthrospira* (la spiruline, qui représenterait 50% de la production mondiale), suivies par les micro-algues vertes *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, *Nannochloropsis* et la diatomée *Odontella*.

Certaines espèces de cyanobactéries sont utilisées en alimentation humaine traditionnelle depuis plusieurs siècles aussi bien en Afrique, en Amérique latine qu'en Asie. C'est le cas d'*Arthrospira platensis* dite « *Spirulina* », consommée par les populations Aztèques au

Mexique et Kanembu du lac Tchad en Afrique. Actuellement, *Nostoc commune* est également consomme en salade aux Philippines, au Japon et à Taiwan. Différentes données scientifiques ont confirmé l'intérêt nutritionnel de ces cyanobactéries ; la production de *Spirulina* a d'ailleurs été intégrée a certains programmes de lutte contre la malnutrition dans les pays en développement. Depuis un demi-siècle, l'attention s'est élargie a d'autres espèces des genres *Chlorella* ou *Odontella.* Cet intérêt pour les microalgues est justifié par leurs fortes teneurs soit en protéines (*Spirulina*), soit en lipides insaturés (*Odontella*), ainsi que par leurs performances de culture. Les compositions nutritionnelles moyennes des microalgues sont de l'ordre de 10 à 70 % de protéines, 8 à 60 % de sucres et 2 à 30 % de lipides. La composition de ces microorganismes photosynthétiques a conduit à leur intégration dans des modelés d'applications spatiales, comme dans le programme MELISSA de l'Agence Spatiale Européenne, l'ESA. En Europe, seul un nombre très restreint d'espèces de microalgues et de cyanobactéries est actuellement autorise à la consommation humaine, suivant la procédure ≪ Novel Food ≫. Elles sont au nombre de trois en consommation directe : *Spirulina*, *Odontella* et *Chrolella.* Quatre autres sont réservées à la synthèse d'ingrédients alimentaires : *Dunaliella* pour la production de β-carotène, *Haematococcus* pour la synthèse d'astaxanthine ainsi que *Schizochytrium* et *Ulkenia* pour le DHA.

Les protéines de microalgues sont impliquées dans la photosynthèse, la respiration mitochondriale ainsi que dans tous les cycles métaboliques sous la forme d'enzymes. La Rubisco (Ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygénase) est l'une des protéines enzymatiques majeures de la photosynthèse et peut représenter une part significative des protéines algales. Les protéines des microalgues peuvent être envisagées comme des agents nutritionnels particulièrement intéressants pour l'homme, mais également pour l'animal, en raison de leur de composition en acides aminés. Les protéines des microalgues sont majoritairement hydrophiles, mais une simple extraction aqueuse conduit souvent à un rendement relativement faible. Une technique d'extraction relativement facile à mettre en œuvre est le traitement acide/base par ajustement de pH, mais qui nécessite une importante consommation d'eau. Une alternative est la séparation/concentration par des traitements membranaires. Il s'agit d'une séparation physique sous un gradient de pression généralement par ultrafiltration tangentielle. Cette opération permet de concentrer voire fractionner les protéines sans en affecter les fonctionnalités. On peut également citer d'autres techniques telles que la séparation chromatographique pour l'obtention des protéines cibles telles que des glycoprotéines ou des phycobiliprotéines.

La valorisation des microalgues doit examiner l'ensemble des constituants cellulaires selon le principe de la bioraffinerie. L'objectif du bioraffinage ou de l'algo-raffinerie consiste à développer un procédé d'exploitation des microalgues, base sur un enchainement d'opérations unitaires dédiées permettant l'extraction sélective des métabolites d'intérêt en intégrant le recyclage des déchets et sous-produits, ouvrant la voie à une exploitation a une échelle industrielle des microalgues.

La production de microalgues pour l'alimentaire devra être effectuée dans des conditions solaire. L'optimisation de la culture devra tenir compte des conditions environnementales. Les conditions d'ensoleillement et de températures deviennent des paramètres importants, dont la dynamique (les variations de conditions météorologiques, les saisons, le jour – les cycles nocturnes) rend plus complexe la recherche de l'optimum économique de la production.

# Autres sources de protéines : les insectes

**Jean-Michel Chardigny**, Paris

✉ jean-michel.chardigny@inra.fr

## *Biographie*

Directeur de Recherches INRA, Chargé de Partenariat et d'Innovation « Protéines pour l'Alimentation Humaine et Animale »

- Auteur d'environ 140 publications originales, revues et chapitres d'ouvrages
- Expertises dans diverses instances nationales et internationales
- Président du Comité de Rédaction des « Cahiers de Nutrition et de Diététique »
- Coordinateur scientifique de deux « Etats des Lieux » du Fonds Français pour l'Alimentation et la Santé (Gluten, Protéines).

## *Résumé de l'intervention*

La conjonction de l'augmentation de la population mondiale à l'échéance de 2050 et les transitions nutritionnelles en cours dans les pays émergents suggère un accroissement très fort de la demande en protéines dans les prochaines décennies. Parmi les sources complémentaires à celles qui sont classiquement consommées dans les pays occidentaux, les insectes reviennent souvent en première ligne, avec des arguments positifs mais aussi de nombreux verrous réglementaires et sociétaux.

Les insectes présents sur la planète regroupent environ un million d'espèces, certaines n'étant pas encore forcément connues. En revanche, quand on parle d'entomophagie, autrement dit de consommation d'insectes par l'Homme, on évoque quelques dizaines voire centaines d'espèces selon les continents et les pratiques actuelles. Il faut également avoir à l'esprit que la consommation d'insectes n'est pas obligatoirement synonyme de consommation d'individus adultes, les larves, chenilles ou vers étant candidats pour arriver dans nos assiettes, entiers ou sous forme d'ingrédients.

Reste qu'à ce jour, la consommation d'insectes sous quelque forme que ce soit est interdite en France, bien que le consommateur puisse s'approvisionner par différents circuits de distribution. Les insectes sont effectivement considérés comme « Novel Food » et doivent être évalués comme tels par l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments. Néanmoins, des Etats Membres comme la Belgique tolèrent, pour quelques mois encore, une dizaine d'espèces pour autant que ces insectes soient consommés entiers, donc sans transformation particulière. En revanche, la réglementation européenne autorise depuis le 1er juillet 2017 l'utilisation de farine d'insectes pour les élevages de poissons. D'autres autorisations pour l'alimentation animale pourraient voir le jour dans des délais qui restent incertains.

Mais si l'intérêt de la consommation de quelques espèces d'insectes est annoncé comme étant la ressource en protéines, il manque encore beaucoup de données qualitatives. Au-delà de la simple teneur en protéines, des données solides en termes de digestibilité, de vitesse de digestion, etc… sont encore manquantes. Les quelques résultats disponibles suggèrent toutefois un profil en acides aminés intéressant au regard des besoins en acides aminés indispensables.

Au-delà des protéines, les insectes peuvent être également des aliments riches en lipides et notamment en acides gras essentiels. Ils pourraient également constituer des vecteurs intéressants de fer, bien que n'étant pas sous forme héminique chez ces invertébrés.

Enfin, la sécurité sanitaire autour de la consommation d'insectes pose au moins deux questions. Le risque allergique reste à caractériser mais les allergies croisées avec les crustacés sont *à minima* considérées comme très probables. De plus, les risques bactériologiques et chimiques restent à consolider et sont à mettre en face des sources alimentaires utilisées et utilisables pour alimenter ces animaux, avec l'angle d'animaux d'élevage.

En résumé, certaines espèces d'insectes représentent certainement une opportunité pour compléter les sources de protéines disponibles pour le consommateur. Les situations réglementaires et culturelles à travers le monde sont cependant très variables et leur contribution à l'alimentation animale sera sans aucun doute un premier levier de développement.

CRNH
CENTRE DE RECHERCHE EN NUTRITION HUMAINE
AUVERGNE

# UNIVERSITÉ D'ÉTÉ de Nutrition

CRNHS
CENTRES DE RECHERCHE EN NUTRITION HUMAINE

## Centre Diocésain de Pastorale
## 133, avenue de la République
## 63000 Clermont-Ferrand

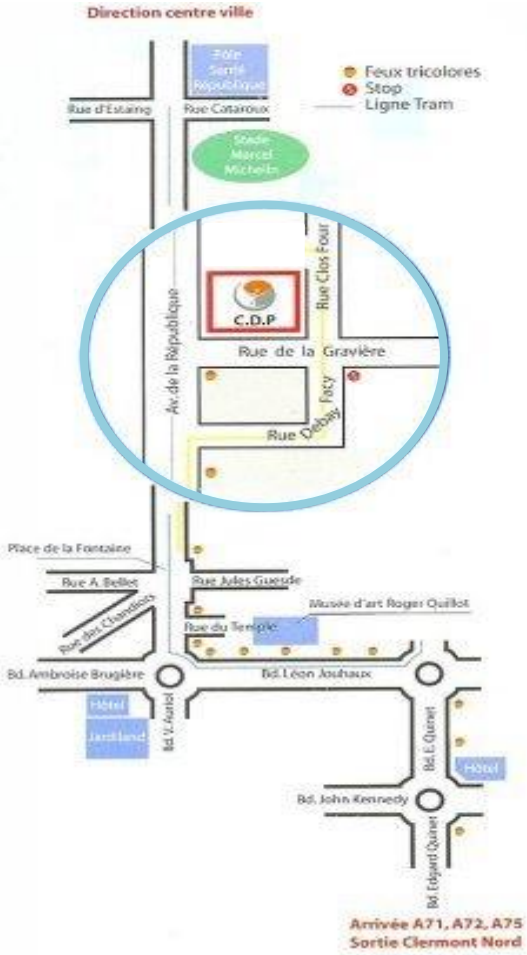
### Comment venir?

**En voiture**
Une fois sur l'A75, prendre
« Clermont Nord-Limoges » sortie 15.
Premier rond-point, direction centre ville.
Quatrième feu sur la droite.

**En train**
Depuis la gare de Clermont-Ferrand:
•bus 3 (direction «Les Vignes»), arrêt «1er Mai»
• ou bus 4 (direction «1er Mai»), arrêt «1er Mai»

•ou bus ligne B (direction «Royat»), arrêt «Jaude».
Correspondance : Tramway (direction «Les Vergnes»)
arrêt « La Gravière »

**En tramway**
Tramway direction «Les Vergnes», arrêt « La Gravière »




UNH Unité de Nutrition Humaine
UCA Université Clermont Auvergne
INRA Science & Impact
Inserm
UNICANCER Centre Jean Perrin
CHU Clermont Ferrand Centre Hospitalier Universitaire

**En partenariat avec:**

Céréales Vallée
NUTRAVITA Auvergne
CRÉDIT AGRICOLE

## Inscription
**www.univete-crnh-auv.fr**
*ou*
**Agence M&O Organisation**
**21 rue de la Varenne 63122 Ceyrat**
**0473615188**

## Tarifs*

| | 1 jour | 2 jours | 1 jour | 2 jours |
|---|---|---|---|---|
| | Membres CRNH | | Non Membres | |
| avant 31/07/17 | 50€ | 70€ | 110€ | 170€ |
| après 31/07/17 | 66€ | 85€ | 135€ | 185€ |
| étudiants | 20 € les 2 jours | | | |

* Inscriptions dans la limite des places disponibles (300pers/jour)
Toute annulation doit être spécifié par écrit avant le 15/08/17, autrement le paiement sera dû.