



## Impact de l'évolution des connaissances et des techniques sur les pratiques des industries alimentaires et les caractéristiques des aliments

**Pierre Feillet**

Directeur de Recherche Honoraire, INRA, France  
Membre de l'Académie d'agriculture de France

Manuscrit révisé le 18 janvier 2013 - Publié le 28 octobre 2013

**Résumé :** *L'industrie alimentaire doit répondre aux besoins biologiques des hommes en nutriments et calories et à l'évolution des sociétés (notamment à l'urbanisation), laquelle se traduit par une redistribution de la valeur ajoutée entre les acteurs du système alimentaire. Industrie d'assemblage des ingrédients issus du fractionnement des produits agricoles, elle s'appuie pour satisfaire cette demande sur des domaines très divers tels que le génie des procédés, la chimie, les biotechnologies, la nutrition, la sociologie et peut-être, un jour, les nanotechnologies. Elle devient ainsi progressivement une industrie de haute technologie, ce que les consommateurs ne sont pas tous prêts à accepter.*

*Les efforts d'innovation de l'industrie alimentaire portent sur trois axes prioritaires : garantir la qualité sanitaire, améliorer l'impact positif des aliments sur la santé et minimiser les coûts de fabrication tout en répondant à l'attente des consommateurs pour des produits de bonne qualité gustative, bons marchés et faciles à acheter, à conserver et à consommer. Plus récemment, la prise en compte des impacts sur l'environnement des moyens de production est apparue comme une nouvelle exigence.*

*La première priorité de l'industrie est de garantir la qualité sanitaire de l'alimentation. L'effort d'innovation ne se relâche pas. Il porte sur les méthodes d'analyse (dont les limites de détection sont de plus en plus basses, peut-être trop !), la traçabilité des aliments (les nouvelles technologies d'information et de communication y tiennent une place prépondérante), la prévision des risques d'aggravation des contaminations (qui doivent beaucoup à la microbiologie prédictive), les procédés de fabrication et la réactivité des emballages aux modifications du milieu. C'est grâce à cet effort systémique que jamais notre alimentation n'a été aussi sûre. Il sera difficile de faire mieux.*

*La deuxième priorité est de mettre en avant l'impact bénéfique des aliments sur la santé. Dans un premier temps, les industriels ont proposé aux consommateurs des aliments enrichis en micronutriments (vitamines, minéraux), appauvris en calories (faibles teneurs en sucres et en graisses) ou en sel, garantis sans substances allergisantes ni gluten. Plus récemment, face à la prolifération de produits davantage sortis de l'imagination des directions marketing des entreprises que des centres de recherche en nutrition, les pouvoirs publics ont fixé de nouvelles règles pour protéger les consommateurs contre des allégations qui ne reposeraient pas sur des évaluations suffisamment documentées. Dans l'avenir, deux percées scientifiques pourraient faire bouger les lignes : l'élucidation des fonctions de l'organe - récemment découvert - que constitue notre flore intestinale (le microbiote) et une meilleure connaissance*

*des liens qui se tissent entre notre alimentation et le fonctionnement de notre génome. Ces deux percées sont directement liées à la remarquable évolution des techniques d'analyse du génome humain. Les industriels devraient pouvoir s'appuyer sur ces connaissances pour concevoir de nouveaux produits à effets physiologiques spécifiques, et donc davantage personnalisés. On peut aussi envisager que le recours à la nano-encapsulation de certains nutriments puisse contribuer à accroître leur efficacité physiologique.*

*Enfin, les industries alimentaires cherchent à diversifier leur gamme de produits et à diminuer leurs coûts de fabrication tout en réduisant les impacts environnementaux. La création d'un nouveau produit repose dans la majorité des cas sur la modification des formulations et parfois, mais très rarement, sur l'invention d'un nouveau procédé (traitement haute-température, cuisson-extrusion, ultrafiltration par exemple). Un même aliment de base est décliné sous de multiples formes dont les durées de vie commerciales sont plus ou moins éphémères : de ce fait, la majorité des aliments d'origine industrielle que nous mangerons dans 10 ou 20 ans n'existe pas encore ! L'ajout d'additifs et d'auxiliaires technologiques (des enzymes) est un passage quasiment obligé pour optimiser ces formulations. Les fabricants d'ingrédients demeureront de ce fait des acteurs essentiels de la mise au point de nouveaux produits.*

*Dans leur recherche d'optimisation des procédés, les industriels s'appuient plus sur une recomposition des technologies existantes ou sur le déplacement des domaines d'application que sur l'émergence de nouveaux procédés pour transformer la matière ou pour la conserver (les innovations de rupture - pas toujours bien acceptées par les consommateurs - sont peu nombreuses et déjà anciennes). Les industriels pourraient se donner de nouveaux degrés de liberté en élargissant les gammes de pression et de température utilisables, en faisant appel à de nouveaux paramètres (rayonnements, champs électrique) et en couplant les procédés traditionnels de conservation ou de fabrication. L'amélioration des performances des microorganismes et des enzymes, très largement utilisées par les industries alimentaires, est une autre source permanente d'innovation. Enfin, la prise en compte des impacts environnementaux est un souci majeur de l'industrie alimentaire, tout particulièrement la gestion des effluents et des déchets (une belle réussite) et la diminution des émissions de gaz à effet de serre sur laquelle il reste beaucoup à faire et qui passe par une réduction de la consommation énergétique.*

*On souligne en conclusion que la mise au point de nouveaux procédés et de nouveaux produits ne saurait suffire et que le succès d'une innovation dépend de son acceptabilité par les consommateurs.*

**Mots clés :** Aliment-santé, biotechnologie, emballage, énergie, enzyme, génie des procédés, industrie alimentaire, gaz à effet de serre, innovation, microbiote, micro-organisme, nanotechnologie, nouvelles technologies d'information et de communication, nutriginétique, nutriginomique, sécurité sanitaire, sociologie.

## Glossaire :

<i>Additif</i>	<i>Substance qui n'est pas habituellement consommée comme un aliment, qui a été ajoutée dans un but technologique et qui se retrouve dans la composition du produit fini, par exemple un émulsifiant.</i>
<i>Auxiliaire technologique</i>	<i>Substance non consommée comme aliments, qui a été utilisée dans un but technologique et qui se retrouve souvent inactivée dans le produit fini, par exemple une enzyme.</i>
<i>Cuisson-extrusion</i>	<i>Technologie de fabrication en continu d'aliments, notamment céréaliers, associant pression et température durant un temps très bref.</i>
<i>Génome</i>	<i>Ensemble des gènes d'un organisme, présent dans chacune de ces cellules.</i>
<i>Microbiote intestinal</i>	<i>Ensemble des microorganismes vivant dans le tube digestif de l'homme.</i>
<i>Nutrigénétique</i>	<i>Etude de la variabilité de réponse à l'ingestion d'aliments selon le profil génétique des individus.</i>
<i>Nutrigénomique</i>	<i>Etude des mécanismes d'action des aliments sur l'expression des gènes.</i>
<i>Prébiotique</i>	<i>Aliment qui exerce un effet bénéfique sur des bactéries "amies" et qui peut modifier l'équilibre entre les différentes espèces du microbiote et influencer sur le métabolisme bactérien.</i>
<i>Probiotique</i>	<i>Microorganismes vivants qui, lorsqu'ils sont ingérés en quantité suffisante, exercent un effet positif sur la santé au-delà des effets nutritionnels traditionnels. Ce sont principalement des bactéries lactiques.</i>
<i>Protéome</i>	<i>Ensemble des protéines d'une cellule ou d'un tissu.</i>
<i>Tep</i>	<i>Tonne équivalent pétrole : énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole (environ 42 GJ).</i>
<i>Xénobiotiques</i>	<i>Agents chimiques étrangers à l'organisme (polluants industriels, pesticides, médicaments, additifs).</i>

Les futuristes nous font rêver, à moins qu'ils ne nous inquiètent. Déjà, en 1884, le chimiste Marcellin Berthelot prédisait : « en l'an 2000, il n'y aura plus dans le monde ni agriculture, ni pâtres, ni laboureurs [...]. Le jour où l'énergie sera obtenue économiquement, on ne tardera guère à fabriquer des aliments de toutes pièces, avec le carbone emprunté à l'acide carbonique, avec l'hydrogène pris à l'eau, avec l'azote et l'oxygène tirés de l'atmosphère ». Idée reprise par Douglas Mulhall dans « Our molecular future » (Prometheus Books, 2002) qui prévoyait que les usines moléculaires se substitueraient aux cultures et aux élevages et par Carmen Moraru, professeure à l'université de Cornell (USA), qui se risquait à annoncer en 2003 que « les nano-machines allaient permettre de fabriquer des quantités illimitées d'aliments en réalisant des synthèses au niveau des atomes et d'éradiquer définitivement la faim dans le monde ». Les pilules ne seraient donc pas loin. Et pourtant un rapide calcul montre qu'il faudrait en avaler au minimum 350 par jour pour se nourrir, en même temps que cinq litres d'eau !

L'avenir de nos aliments et des industries alimentaires est ailleurs. Pour essayer de le percer, il est utile de se remémorer quelques données de base :

- les aliments doivent répondre à trois impératifs : biologiques, sociaux et citoyens. Ils leur faut satisfaire les besoins biologiques des corps en calories, nutriments (protéines, lipides, glucides) et micronutriments (vitamines, minéraux), en tenant compte d'une demande en pleine croissance, celle des personnes âgées, et éventuellement apporter des molécules à effets physiologiques bien définies - autres que « nourrir » - contribuant à nous garder en bonne santé (certains antioxydants et acides gras par exemple). Ils doivent également répondre - deuxième impératif - aux demandes de la société, variables avec les cultures et les niveaux de développement, pour des aliments savoureux et conviviaux, faciles à acheter, à conserver et à consommer. Un troisième impératif, une « contrainte » diront certains, citoyen celui-là, s'est imposé aux industries alimentaires depuis une quinzaine d'année (comme à l'agriculture et aux autres secteurs économiques), celui de prendre en compte les émissions de gaz à effet de serre, y compris celles en provenance de la consommation d'énergies fossiles, et les impacts sur la biodiversité liés à leurs activités : c'est un domaine complexe et souvent obscur, de sorte qu'une majorité de Français (54 %) se montrent méfiants vis-à-vis des arguments écologiques utilisés dans les publicités par les entreprises (Etude TNS/Ethicity d'avril 2010).
- la planète est en cours de « métropolisation ». L'urbanisation de la population est un phénomène mondial, probablement irréversible, de très grande ampleur, dont les conséquences sur l'organisation des sociétés en général, et du système alimentaire, en particulier, sont considérables. Dès maintenant, 500 millions d'humains vivent dans des villes de plus de 5 millions d'habitants. Selon le rapport « Perspective sur l'évolution de l'urbanisation » (2004) des Nations Unis, la proportion de la population mondiale vivant dans des villes, égale à celle des populations rurales à la fin des années 2010, sera de 60% en 2030 et de 70% en 2050 (elle était de 10% en 1700). Ainsi, la majorité des hommes vivront en milieu urbain en 2050 de sorte que se poseront de manière encore plus aiguë qu'aujourd'hui l'acheminement des denrées alimentaires et la fourniture d'eau potable dans de grandes métropoles.

- fruit de cette métropolisation, les modes de vie évoluent. Les femmes travaillent davantage en dehors de chez elles, les courses sont faites une fois par semaine, voire par quinzaine, moins de temps est consacré à la préparation des repas. Les consommateurs sont demandeurs d'aliments faciles à acheter (parts individuelles regroupées par packs de 2 à 16 portions), faciles à conserver (avec des durées de vie de 15 jours et plus, même pour des denrées dites périssables), faciles à préparer (soupes et plats cuisinés prêts à cuire ou à réchauffer, purée instantanée, desserts lactés).
- les nouvelles fonctions portées par les aliments (facilités d'achat, de conservation, de préparation) et l'urbanisation ont modifié la distribution des valeurs ajoutées au sein des acteurs du système alimentaire, au détriment des agriculteurs et pour le bénéfice des industries alimentaires et davantage encore des distributeurs et des activités de service (informatique et communication entre autres). Cette remarque s'applique tout particulièrement aux pays riches. Il n'est pour s'en convaincre que de se reporter aux conclusions du tout récent rapport de l'Observatoire de la formation des prix et des marges des produits alimentaires (octobre 2012). La « part de la terre » - c'est à dire celle des matières premières (ou ingrédients) agricoles - représente à peine plus de 10% (en moyenne) des dépenses alimentaires (Tableau 1) !

	%
Agriculture	12
Industrie alimentaire	18
Autres industries	6
Commerce	33
Services	27
Transport	4

**Tableau 1** - Partage de la dépense alimentaire en valeur ajoutée (2008)

Si on admet maintenant que le métier de l'industrie alimentaire est de transformer des produits agricoles, de composition variable, en des aliments dont les caractéristiques sont parfaitement définies, dont la majorité finira dans les assiettes des habitants des villes (et malheureusement aussi dans leurs poubelles), dont la qualité sanitaire doit être garantie, dont les propriétés organoleptiques ne soient pas dégradées avant qu'ils ne soient consommés, et tout cela sans porter atteinte à l'environnement et en maintenant les niveaux de prix suffisamment bas, on comprend que

les défis à relever par l'industrie sont particulièrement ardues. Et que seule une très bonne maîtrise des procédés de fabrication, reposant sur les progrès de la science et des techniques, peut permettre aux industriels, grands ou petits, de satisfaire les consommateurs citoyens.

Pour répondre à l'ensemble de ces exigences, l'industrie alimentaire est devenue en grande part une industrie d'assemblage de produits issus du fractionnement des matières premières agricoles (farine, produits laitiers, protéines, matières grasses, produits amylacés) et d'additifs alimentaires et autres auxiliaires technologiques. Elle est ainsi conduite à s'appuyer sur des domaines aussi divers que le génie des procédés, la chimie, les biotechnologies, les sciences de l'information et de la communication, la nutrition, la sociologie et peut-être, un jour, les nanotechnologies. Mais l'aspiration des consommateurs pour des aliments qualifiés de naturels et, de ce simple fait, jugés particulièrement sains est un frein à la mise en œuvre de nouvelles technologies qui seraient responsables de l'artificialisation de notre alimentation et mettraient ainsi en danger notre santé et l'environnement.

Les efforts d'innovation de l'industrie alimentaire portent sur trois axes prioritaires : garantir la qualité sanitaire, améliorer la valeur santé des aliments et minimiser les coûts et les impacts environnementaux des procédés de fabrication tout en répondant à l'attente des consommateurs pour des aliments économiques, de bonne qualité gustative et faciles à consommer. Le premier peut beaucoup attendre des nouvelles méthodes d'analyse, de la microbiologie et des techniques d'information et de communication (pour l'amélioration de la traçabilité et de la gestion des approvisionnements), le deuxième de l'étude des génomes et des protéomes (pour la compréhension du rôle du microbiote intestinal et des relations entre aliments et génome des individus) et le troisième du génie des procédés, des outils de numérisation et des biotechnologies (par l'amélioration des performances des microorganismes et des enzymes).

## **La première des priorités : innover pour garantir la qualité sanitaire**

Jamais notre alimentation n'a été aussi sûre. Garantir la qualité sanitaire de nos aliments est en effet la première priorité des professionnels, de sorte que les acteurs du système alimentaire ont conjugué leurs efforts pour se prémunir contre la présence dans nos aliments de molécules et d'organismes dangereux pour la santé. Il n'est d'ailleurs pas sans intérêt de rappeler que c'est sur la maîtrise de l'évolution des flores microbiologiques qu'a reposé l'émergence de l'industrie alimentaire, dans la suite des travaux de Nicolas Appert sur les conserves, de Louis Pasteur sur les microbes et de Charles Tellier sur la conservation des aliments par le froid et le transport des viandes dans des bateaux frigorifiques.

L'effort d'innovation ne se relâche pas. Il porte sur les méthodes d'analyses (on se limitera à souligner que leurs limites de détection s'abaissent très régulièrement, peut-être trop, et qu'elles ont modifié les relations entre les fournisseurs et les distributeurs car ces derniers demandent des informations de plus en plus nombreuses et précises sur les produits qu'ils commercialisent), la traçabilité des aliments, la prévision des risques d'aggravation des contaminations biologiques, les procédés de fabrication et la réactivité des emballages (en prenant compte son impact positif sur une meilleure conservation des aliments et son aspect éventuellement négatif sur la diffusion dans les aliments de molécules nuisibles à la santé).

## **Traçabilité des aliments**

La traçabilité des aliments est la capacité de retracer, à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution, le cheminement d'une denrée alimentaire. Elle s'est considérablement améliorée depuis que le règlement européen Numéro 178/2002 (janvier 2002) précise que « pour assurer la sécurité des denrées alimentaires, il convient de prendre en considération tous les aspects de la chaîne de production alimentaire dans sa continuité, à partir de la production primaire jusqu'à la vente ou à la fourniture des denrées alimentaires au consommateur. » Elle n'aurait pu atteindre le niveau de sophistication qui est le sien aujourd'hui sans les nouvelles technologies d'information et de communication. La baisse prévisible du coût des étiquettes électroniques capables de transmettre et de recevoir à distance des informations (système RFID pour « Radio Frequency Identification) ne pourra qu'améliorer la performance de la traçabilité.

Celle-ci concerne au premier chef les professionnels et les pouvoirs publics, mais également, et de plus en plus, les consommateurs qui souhaitent savoir d'où viennent et que contiennent les aliments qu'ils achètent. Le jour n'est sans doute pas loin, une fois perfectionnée des outils déjà disponibles (Shopwise, Noteo), où ils pourront entrer dans leur Smartphone leurs préférences d'achats (absence d'OGM, de substances allergisantes, de gluten ou de lactose, d'aspartame et autres additifs alimentaires, faible impact environnemental, produits issus de l'agriculture française) et vérifier instantanément, sur les produits eux-mêmes, que les aliments proposés à la vente répondent, ou non, à leurs exigences (le remplacement des codes barres par les codes à deux dimensions QR ouvre la voie à cette évolution).

## **Prévision de l'évolution des flores microbiennes**

En complément de la détection et de la caractérisation des flores pathogènes, la microbiologie prédictive a vu le jour au début des années 1990. Son objet est de faciliter l'évaluation de l'exposition des consommateurs aux dangers microbiens au cours de la vie d'un produit. Elle permet d'analyser le comportement d'un micro-organisme au sein des aliments solides, pâteux et liquides, intègre les variabilités spécifiques des microorganismes, des produits et des sites de production, apporte des réponses aux questions concernant la prolifération et la destruction des micro-organismes sous l'influence de différents facteurs (température, pH, activité de l'eau, acides organiques), est conçue pour renforcer les plans HACCP (analyse des risques et maîtrise des points critiques) et pour faciliter la détermination des dates limites de consommation (DLC) par les industriels.

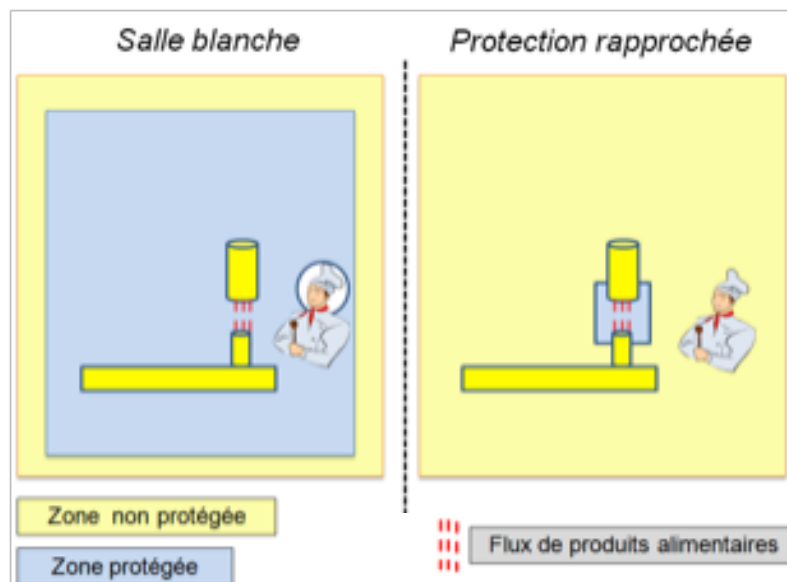
Différents outils sont disponibles. Celui proposé par le consortium français Sym'Previus repose sur un « moteur » de recherche (le module probabiliste) qui simule l'évolution d'une contamination microbienne tout au long de la durée de vie de l'aliment, en indiquant la probabilité de dépasser un seuil critique à différentes étapes de la durée de vie. Ce moteur repose sur l'utilisation de logiciels de prévision du comportement des micro-organismes dans les aliments. Adapté aux applications industrielles, et notamment à la mise au point de nouveaux produits, cet outil est disponible sur un site Internet (**Sym'Previus, un système opérationnel** : <http://www.symprevius.net/>).

Pour sa part, l'interprofession laitière a développé une méthode d'Appréciation Quantitative des Risques (AQR) couplant microbiologie prévisionnelle et connaissance des procédés de fabrication afin de prévoir l'impact microbiologique d'une modification de ceux-ci.

Toutes ces méthodes sont en voie d'amélioration permanente.

## **Protection des aliments contre les contaminations microbiennes**

Les lignes modernes de fabrication des aliments sont conçues de manière à éviter la contamination des aliments par contact avec des surfaces contaminées ou par « aéroportage » des microorganismes présents dans l'environnement (et éventuellement apportés par les opérateurs). L'« ultra-propreté » est recherchée.



**Figure 1** - Contrairement à la salle blanche, la protection rapprochée sépare de l'ambiance une zone limitée, au plus proche des produits alimentaires. Un flux d'air stabilisé assure cette séparation.

Les ateliers ultra-propres se démarquent des salles blanches (Figure 1). Ils reposent sur le concept de protection rapprochée. Celui-ci part du constat qu'il est *a priori* plus aisé de protéger la zone en contact avec les aliments que de protéger un atelier de fabrication où se trouvent des machines et où circulent les hommes et les marchandises.

Les procédés qui s'en inspirent associent protection rapprochée des aliments et conception hygiénique des équipements. Ils visent à « maîtriser le bon vivant » en évitant la contamination des aliments par des micro-organismes pathogènes et la flore d'altération, tout en conservant la flore technologiquement utile lorsqu'elle existe. Ils peuvent également éviter la déperdition de frigories dans le milieu environnant par les produits maintenus au froid.

## Réduction des charges microbiologiques par des procédés non thermiques

La mise au point de procédés non thermiques conservant l'intégrité moléculaire des aliments tout en réduisant leurs charges microbiologiques est l'objet de nombreux efforts depuis une vingtaine d'années. Parmi ces nouveaux procédés, on peut citer : les traitements à de très hautes pressions comprises entre 100 et 600 mégapascals pendant 5 à 20 minutes, les champs électriques de très forte intensité - 5 à 55 kV/cm - pendant des temps très courts (de l'ordre de la microseconde), la lumière pulsée consistant à « éclairer » les produits par des flashes intenses de lumière, les microondes assurant un chauffage volumique intense et rapide par agitation du dipôle électrique que forme la molécule d'eau, l'ultrafiltration retenant les microorganismes sur des membranes.

Mais ces « technologies douces » ne sont que peu utilisées en raison de leur coût élevé (on connaît néanmoins quelques applications : traitements « haute pression » des jus de fruits et crustacés, élimination des contaminations microbiennes du lait par ultra-filtration). De plus, les spores bactériennes sont souvent préservées de sorte qu'une contamination ultérieure reste possible. Il n'y a donc toujours pas de solutions miracles qui se substituent aux techniques traditionnelles de traitement par la chaleur. Les champs de recherches restent grands ouverts.



## Emballages réactifs

Traditionnellement, les emballages sont des barrières passives placées entre l'environnement et les aliments et destinées à protéger ces derniers contre des contaminations chimiques ou biologiques, contre des oxydations (par la lumière et l'oxygène de l'air) et contre l'évolution de leur teneur en eau (dessiccation ou humidification selon les produits). De nouveaux emballages sont apparus à partir des années 1990 : contrairement à ceux de première génération dont on souhaitait qu'ils réagissent le moins possible avec les aliments (on leur demandait une grande inertie chimique), ces nouveaux emballages deviennent fonctionnels en ce sens qu'ils possèdent des substances actives, par exemple antimicrobiennes.

### Les nanotechnologies

On entend par « nanotechnologies », l'ensemble des technologies permettant de manipuler la matière aux échelles atomiques et moléculaires dans la gamme des 1 – 100 nm pour créer et utiliser des matériaux, des outils et des systèmes possédant des propriétés et des fonctions inédites.

A l'échelle du nanomètre, ce sont les lois de la physique quantique qui s'appliquent, et non pas celles de la physique newtonienne. De nouvelles propriétés de la matière apparaissent, en particulier avec de nouveaux effets de surface.

Les propriétés fonctionnelles des nanoparticules dépendent essentiellement des paramètres suivants : taille, forme (nanotubes, feuillets, sphères, agrégats, bâtonnets), composition chimique, solubilité, structure cristalline ou non, charge de surface, surface par unité de masse.

L'émergence des nanotechnologies (voir l'encadré) ouvre de nouveaux horizons aux fabricants d'emballages. Permettant l'assemblage de briques élémentaires nanométriques (monomères, polymères, nanoparticules/nanotubes), les nanotechnologies permettent de modifier les propriétés thermiques, la protection antimicrobienne, les effets barrière et la biodégradabilité des emballages. Elles ouvrent la voie aux emballages « très interactifs » (parfois qualifiés d'intelligents), capables de libérer précisément des substances actives en réagissant à l'évolution d'état du milieu ou de l'aliment et en optimisant ainsi son action protectrice.

Des produits antimicrobiens sont fabriqués avec l'ajout de nanoparticules métalliques (argent principalement, mais également zinc et cuivre) : des oxydes de métaux sont introduits au sein de divers matériaux (polymères, fibres textiles, papier).

Il est également possible de modifier les propriétés physico-chimiques des surfaces afin de faciliter leur nettoyage et de limiter l'adhésion des souillures et le développement de biofilms bactériens : films transparents dans lesquels des nanoparticules d'argent sont incorporées, buvard contenant des zéolites pour les barquettes alimentaires afin de limiter la prolifération bactérienne et absorber les exsudats de la viande, matériau en polyuréthane contenant des particules d'argent.

L'intérêt des nanomatériaux réside également dans les effets de « tortuosité » obtenus par incorporation de « nanofeuillets », ce qui modifie la perméabilité aux gaz et aux vapeurs. Divers types de polymères ont été modifiés par des nanoparticules (argiles organophiles, nanoparticules de silice) afin d'améliorer la durée de conservation des aliments en jouant sur la capacité d'absorption des gaz et sur les propriétés barrière et mécanique des films :

l'incorporation de nanoparticules d'argile peut ralentir, voire bloquer, le passage des gaz (système quasi-étanche), ce qui permet une meilleure conservation des aliments.

Avec les nanotechnologies, il est également possible de concevoir des matériaux interactifs « conçus pour développer une interaction avec l'aliment ou son environnement immédiat », ce qui permettrait de suivre les conditions de conservation (par exemple en fonction du couple temps/température) ou de détecter certaines substances indicatrices de la qualité microbiologique ou organoleptique d'une denrée alimentaire. Des bio-indicateurs miniaturisés incorporés dans les emballages sont en cours de développement pour détecter *in situ* des contaminants et d'autres molécules (indicateurs de maturité), des toxines ou des agents pathogènes.

## Innover pour améliorer la valeur nutritionnelle

Dans les années 1950, c'était simple, on attendait de nos aliments qu'ils apportent à notre corps les calories et les nutriments dont il a besoin. Soixante ans plus tard, on leur reconnaît des fonctions physiologiques protectrices de notre santé.

Les industriels se sont adaptés à cette évolution. Dans un premier temps, ils ont proposé aux consommateurs des aliments enrichis en micronutriments (vitamines, minéraux), appauvris en calories (faibles teneurs en sucres et en graisses) ou en sel, garantis sans substances allergisantes ni gluten. Ou encore, récemment, à teneur réduite en lactose (voir l'encadré).

### Du lait appauvri en lactose

L'intolérance au lactose est très fréquente en Asie et en Afrique. Elle touche des personnes âgées dans les pays occidentaux et se traduit par des gênes digestives importantes (diarrhées, flatulence, ballonnements, mal au ventre).

Elle est provoquée par l'absence d'une enzyme, la lactase, capable de couper la molécule de lactose en deux : une molécule de glucose et une molécule de galactose, l'une et l'autre très bien assimilées. En absence de lactase, le lactose est partiellement transformé en gaz par les microorganismes du tube digestif. Contrairement aux allergies, la prise de très petites quantités de lactose ne génère pas de symptômes cliniques.

Des entreprises laitières commercialisent depuis quelques années des produits laitiers à très faible teneur en lactose. Ce lait est fabriqué en y ajoutant une bêta-galactosidase qui effectue le travail d'hydrolyse qui s'opère naturellement chez les humains qui digèrent le lait sans difficulté.

Sont également arrivés sur le marché des aliments auxquels étaient attribués des effets spécifiques sur notre métabolisme : facilitateurs de digestion (par la présence de prébiotiques et de probiotiques), réducteurs de risques cardiovasculaires (en faisant baisser le taux de mauvais cholestérol dans le sang ou en modifiant les proportions d'acides gras oméga-3 et oméga-6), voire activateurs des fonctions cérébrales (par incorporation d'acides gras oméga-3) ou prolongateurs d'espérance de vie (en introduisant des antioxydants qui permettraient de « rester jeune plus longtemps »).

Face à la prolifération de produits davantage sortis de l'imagination des directions marketing des entreprises que des centres de recherche en nutrition, les pouvoirs publics ont fixé de nouvelles règles pour protéger les consommateurs contre des allégations qui ne reposaient pas sur des évaluations scientifiques et dont certaines étaient manifestement mensongères (**Règlement européen N °1924/2006 concernant les allégations**

**nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires, voir l'encadré). Un tri sévère a été opéré, dont peu de produits ont surnagé. Il devient de plus en plus difficile, et donc de plus en plus coûteux de faire la preuve d'un effet santé spécifique ou générique.**

Deux percées dans le domaine de la nutrition pourraient faire bouger les lignes au cours des dix ou vingt prochaines années : la découverte du nouvel organe que constitue notre flore intestinale et une meilleure connaissance des liens qui se tissent entre notre alimentation et le fonctionnement de notre génome. Toutes deux sont directement liées à l'incroyable évolution

### **Les allégations autorisées**

*Allégation nutritionnelle* : toute allégation qui affirme, suggère ou implique qu'une denrée alimentaire possède des propriétés nutritionnelles bénéfiques particulières de par l'énergie qu'elle fournit ou ne fournit pas, les nutriments qu'elle contient ou ne contient pas.

*Allégation de santé* : toute allégation qui affirme, suggère ou implique l'existence d'une relation entre, d'une part, une catégorie de denrées alimentaires, une denrée alimentaire ou l'un de ses composants et, d'autre part, la santé.

*Allégation relative à la réduction d'un risque de maladie* : toute allégation de santé qui affirme, suggère ou implique que la consommation d'une catégorie de denrées alimentaires, d'une denrée alimentaire ou de l'un de ses composants réduit sensiblement un facteur de risque de développement d'une maladie humaine.

des techniques d'analyse des génomes (Eisenstein M, 2012, *Nature Biotechnology*, **The battle for sequencing supremacy**, 30,11, 1020-1026), dont l'incidence sur les méthodes de sélection des plantes et des animaux sont également considérables : à peine 1 000 euros, bientôt quelques centaines, et moins de 24 heures, suffisent aujourd'hui pour faire la séquence entière du génome humain (l'analyse du protéome suivra) :

- nutritionnistes et microbiologistes sont en train de comprendre que les microorganismes présents dans notre tube digestif - ils forment le microbiote - sont au cœur des interactions qui s'établissent entre les hommes et les aliments et forment un véritable organe dont il reste à élucider le fonctionnement et le rôle (Wallace TC et al., 2011, *Nutrition Reviews*, *Human gut microbiota and its relationship*

*to health and disease*. 69, 7, 392-403). Une nouvelle technique, qualifiée de « métagénomique », permet d'étudier la flore microbienne (voir l'encadré et l'article de Gérard Corthier «*Notre microbiote, une partie essentielle de nous même*»). Elle repose sur une analyse globale des gènes présents dans cet « organe » sans qu'il soit nécessaire d'isoler chacun des microorganismes qui le constituent. Le « microbiote » intestinal humain interviendrait en effet, de manière directe ou indirecte, sur de multiples facettes de notre métabolisme : métabolisme des fibres, production de vitamines, accessibilité aux micronutriments, métabolisme des xénobiotiques, stockage des graisses, collecte de l'énergie et obésité, maturation du système immunitaire, effet barrière de la paroi intestinale, stimulation du cerveau. Une meilleure connaissance des interactions s'établissant entre le microbiote intestinal, les aliments (et leurs produits de dégradation) et les parois intestinales devrait permettre d'optimiser notre alimentation. Face à l'immense champ de recherche qui s'ouvre, les apports de prébiotiques et de probiotiques que nous avons mentionnés précédemment ne représentent sans doute que les prémices de ce que l'industrie alimentaire pourrait nous proposer, sur des bases mieux établies, au cours des dix ou vingt prochaines années.

## A chacun son microbiote

Le microbiote des humains est constitué d'un millier d'espèces différentes. Ces espèces se répartissent entre un pool commun à tous les individus et un ensemble particulier à chaque individu. Ce « génome collectif » est formé de 2 à 4 millions de gènes.

Sur ces bases, les humains se répartissent en trois familles selon la nature des espèces microbiennes dominantes : les *bactéroidetes*, les *firmicutes* et les *actinobacteria*.

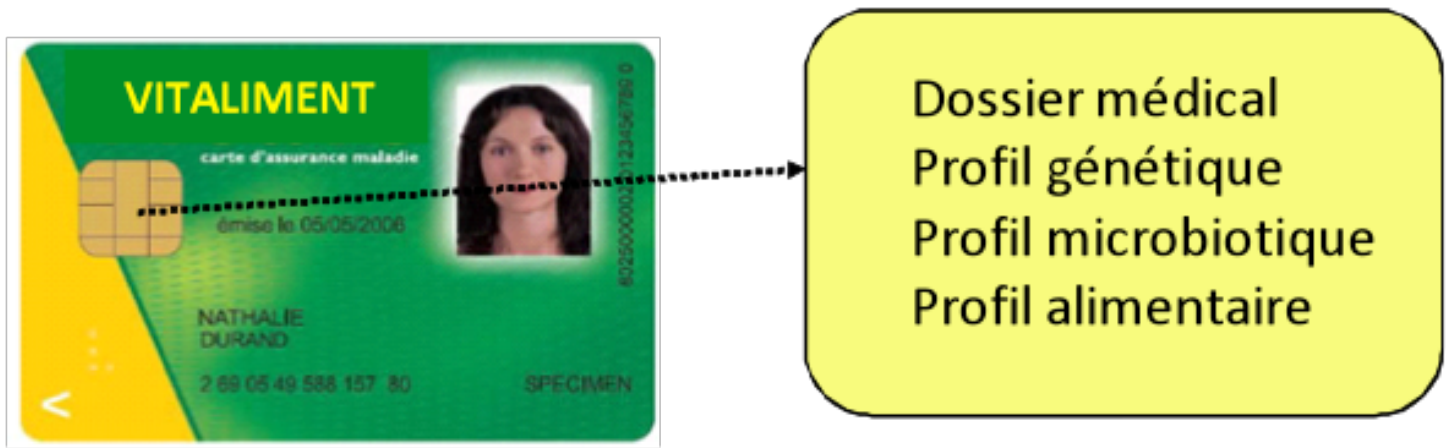
Chaque individu possède néanmoins un microbiote qui lui est spécifique et dont les fonctions peuvent donc différer de celui des autres. Mais dans l'état actuel des connaissances on ne sait pas dire ce qu'est un « bon » ou un « mauvais » microbiote.

Le microbiote se révèle donc comme un « organe » propre à chaque individu qui s'est développé en symbiose avec lui dès les toutes premières heures de sa naissance : il est le fruit d'une longue histoire (alimentation, hygiène, environnement), ce qui explique probablement son unicité.

- parallèlement, des équipes pluridisciplinaires composées de nutritionnistes et de généticiens explorent les mécanismes d'action des nutriments sur l'expression des gènes. Selon Claudine Junien (Junien C, 2003, Académie d'Agriculture, séance du 5 novembre 2003, La nutri-épigénétique, les gènes à l'épreuve de l'environnement, [http://www.academie-agriculture.fr/detail-seance\\_168.html](http://www.academie-agriculture.fr/detail-seance_168.html)), les aliments et leurs métabolites sont en effet capables de déclencher une cascade d'allumage ou d'extinction de gènes en servant de ligand à un récepteur nucléaire. L'étude de ces phénomènes est qualifiée de « nutragénomique ». De plus, l'équation qui relie notre alimentation au génome se complique du fait que la variabilité individuelle de réponses aux nutriments, étudiée par la « nutriginétique », est fonction de la nature de notre patrimoine génétique et de l'extrême polymorphisme génétique de l'espèce humaine. Il apparaît donc que les aliments agissent sur l'expression de nos gènes et que, selon notre génome, nous pouvons réagir différemment de notre voisin aux aliments que nous ingurgitons.

De là à déclarer que l'analyse de notre microbiote et de notre génome permettra de définir une diète alimentaire personnalisée, il y a un pas qu'on ne saurait (encore) franchir. Il n'en demeure pas moins que les résultats attendus de ces études pourraient sensiblement modifier les connaissances actuelles sur l'impact de notre alimentation sur notre santé. Au cours des 10 ou 20 prochaines années, les industriels devraient pouvoir s'appuyer sur ces connaissances pour concevoir de nouveaux produits à effets physiologiques spécifiques.

Laissons courir notre imagination. Nous serons peut-être un jour tous dotés d'une carte *Vitaliment* sur laquelle seront enregistrés, en plus de notre passé médical, nos profils génétiques et microbiotiques (Figure 2). Ce qui conduira à identifier celui des « groupes alimentaires » auxquels nous appartenons. Permettant ainsi aux industriels de concevoir et de nous proposer les aliments qui nous conviennent le mieux (ainsi qu'à tous ceux qui appartiennent au même groupe), comme ils le font déjà avec les produits laitiers anticholestérolémiants pour ceux qui ont trop de « mauvais cholestérol ».



**Figure 2** – La carte Vitaliment servira-t-elle un jour à définir le régime alimentaire le plus adapté à chaque individu ?

La mise en œuvre des nouvelles techniques de nano-encapsulation des nutriments complète ce tableau. Les nano-capsules, au sein desquelles peuvent être « piégés » des micronutriments, possèdent un diamètre compris entre 1 et 100 nm. A ce jour, la principale application alimentaire de la nano-encapsulation est l'amélioration de la biodisponibilité des micronutriments, sans altérer les propriétés sensorielles des aliments : fer dans des boissons, vitamines et minéraux dans des huiles, oxyde de zinc dans des produits céréaliers. La taille extrêmement réduite sous laquelle sont présents les micronutriments pourrait malheureusement affecter leur innocuité. On comprend donc l'extrême réticence des industries alimentaires, du moins en France, à s'engouffrer dans une voie que certains spécialistes américains n'hésitent pas à qualifier de révolutionnaire. Selon ces derniers, les nanotechnologies ouvriraient la voie à des procédés totalement originaux de fabrication des aliments. Rien n'est moins sûr ! La prudence s'impose. Les toxicologues doivent continuer à défricher un terrain très insuffisamment exploré.

## Optimisation des procédés de conception et de fabrication des aliments

Les industries alimentaires ont deux autres priorités, intimement liées : diversifier la gamme de produits qu'ils proposent aux consommateurs et diminuer les coûts tout en réduisant les impacts environnementaux des chaînes de fabrication. Si dans certains cas, rarement, les nouveaux produits sont le fruit de l'invention d'un nouveau procédé (lait UHT, café instantané, craquette, sucre de maïs), ils résultent le plus souvent d'une simple modification des formulations (comme pour la majorité des desserts lactés).

### *Les nouveaux produits*

Une grande partie des moyens de R&D des entreprises est consacrée à la mise au point de nouveaux produits. Celle-ci consiste pour l'essentiel à imaginer des formulations (les « recettes ») qui génèrent de nouveaux goûts, arômes, aspects et textures. Elle s'appuie sur ce qu'il est convenu d'appeler « la science des aliments », pour ne pas dire plus simplement sur l'art de la cuisine. Bien souvent, un même aliment de base est décliné sous de multiples formes dont les durées de vie commerciales sont plus ou moins éphémères. On comprend alors pourquoi la majorité des aliments d'origine industrielle que nous mangerons dans 10 ou 20 ans n'existe pas encore !

L'ajout d'additifs et d'enzymes (des auxiliaires technologiques dont nous parlerons plus loin) est un passage quasiment obligé pour optimiser ces formulations. Environ 350 additifs, répertoriés en 24 catégories correspondant aux différentes fonctions techniques exercées, sont actuellement autorisés en Europe (la fameuse série des E... européen). Ils permettent de proposer aux consommateurs des produits de longue conservation (grâce aux conservateurs, anti-oxygènes et stabilisants) dotés de propriétés organoleptiques nouvelles (grâce aux colorants, édulcorants, poudres à lever, exhausteurs de goût et agents de textures comme les épaississants, les gélifiants et les émulsifiants). Les fabricants d'additifs alimentaires sont de ce fait des acteurs essentiels de la mise au point de nouveaux produits.

Face au rejet croissant des additifs par les consommateurs, les industries agro-alimentaires se tournent vers des produits dits « clean label » ou « clean process », c'est à dire « sans additifs », au sens réglementaire du terme. Pour répondre à cette demande, leurs fournisseurs proposent des « ingrédients fonctionnels » : ce sont des produits qui remplissent les fonctions des additifs, sans nécessiter un étiquetage particulier. Ainsi, les amidonniers proposent des amidons ayant des propriétés fonctionnelles (liant, thermorésistance...) proches des amidons modifiés. De même, des protéines traitées par la chaleur peuvent se substituer aux agents traditionnels de texturation.

## Les nouveaux procédés

### Apports du génie des procédés

Le génie des procédés alimentaires est l'étude des processus physiques et biologiques qui gouvernent les transformations des aliments. Il permet d'optimiser les procédés utilisés dans l'industrie agroalimentaire (filtration, pressage, centrifugation, mélange, cuisson, broyage, fermentation, etc.). Il repose sur le fait que trois voies majeures de transformation des aliments sont empruntées par l'industrie : la thermodynamique (gradient de température, haute pression), la cinétique (contrôle des réactions, notamment biologiques), la mécanique (cisaillement, mélanges, foisonnements, émulsions...).

PROCÉDÉS	EXEMPLES DE PRODUITS
Ultra-haute-température + emballage multicouches	Lait UHT
Surgélation	Produits surgelés
Lyophilisation	Café soluble lyophilisé
Chauffage ohmique	Potage de légumes en morceau
Cuisson-extrusion	Snacks extrudés
Isomérisation enzymatique	Sirup de fructose (maïs)
Enzymes issues de micro-organismes OGM	Fromages (chymosine)
Ultrafiltration	Lait longue conservation
Emballage sous atmosphère modifiée	Salade coupée
Transgénèse	OGM
Ionisation	Épices, steak haché
Nanotechnologies	Encapsulation, emballages
Procédé <b>accepté</b> , <b>ignoré</b> ou <b>rejeté</b> par les consommateurs	

**Tableau 2** – Depuis cinquante ans, les innovations de rupture sont très peu nombreuses et pas toujours bien acceptées par les consommateurs.

Dans leur recherche d'optimisation des procédés, les industriels s'appuient plus sur une recomposition des technologies existantes ou sur le déplacement des domaines d'application que sur l'émergence de nouveaux moyens pour transformer la matière ou pour la conserver. Les innovations de rupture - pas toujours bien acceptées par les consommateurs - sont en effet peu nombreuses et déjà anciennes (beaucoup existent depuis au moins 30 ans). Parmi celles-ci, on peut mentionner le traitement à

Ultra Haute Température (140-150°C pendant 2 à 5 secondes), la lyophilisation, la surgélation, la cuisson-extrusion dérivée de l'industrie des plastiques et qui conjugue l'action de la température (jusqu'à 250°C) et de la pression (jusqu'à 100 bars) pendant un temps court (quelques dizaines de secondes), le chauffage ohmique consistant à faire passer un courant électrique au sein des aliments, l'ionisation (ou irradiation), l'ultrafiltration issue de l'industrie nucléaire.

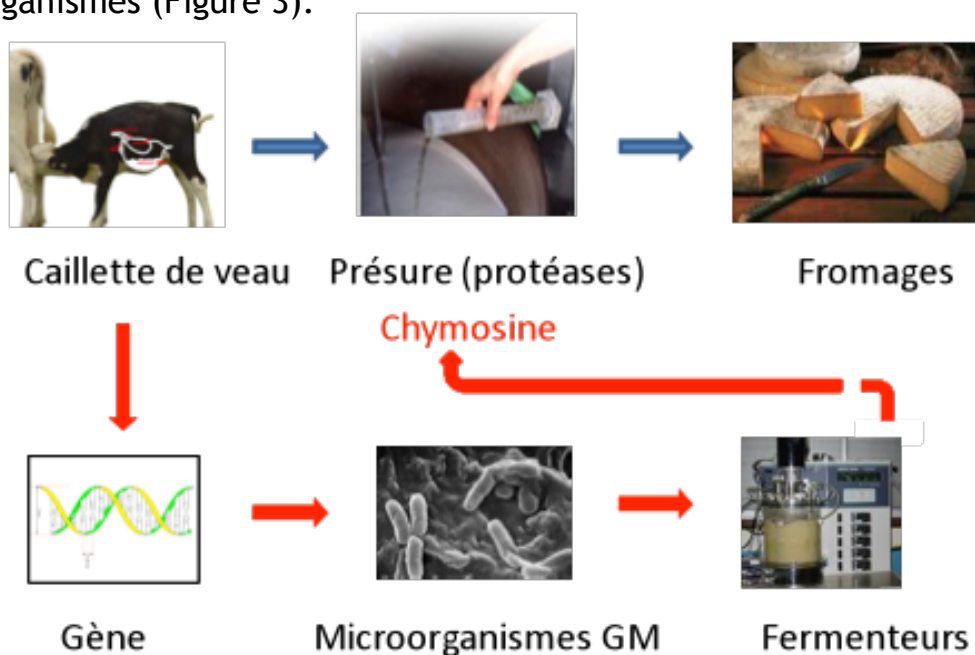
Dans l'avenir, les industriels devraient se donner de nouveaux degrés de liberté en élargissant les gammes de pression et de température utilisables, en faisant appel à de nouveaux paramètres (rayonnements, champs électrique) et en couplant les procédés traditionnels de conservation ou de fabrication (traitement thermique des micro-ondes avec un traitement par l'air chaud à forte convection). Ils se pencheront sur les interactions qui se développent entre produits et procédés en privilégiant l'optimisation des propriétés organoleptiques des aliments et en examinant plus finement l'apparition ou la destruction de molécules, et leurs conséquences sur la santé. Conserver la biodisponibilité des nutriments en les protégeant contre les contraintes qu'ils peuvent subir en cours de process devient un axe majeur de développement dans l'industrie.

### Apports des biotechnologies

Les biotechnologies s'appuient sur trois propriétés spécifiques du monde vivant : la propagation à l'identique (la reproduction conforme), la reconnaissance moléculaire (la reconnaissance du soi) et la catalyse enzymatique. Les outils biologiques qu'elles utilisent (organismes vivants, enzymes, anticorps) sont mis en œuvre dans une chaîne de procédés complexe faisant appel à des technologies d'accompagnement (génie chimique, science des matériaux et des capteurs, technologies de l'information et de la communication). Ces outils peuvent être améliorés par génie génétique, ingénierie des protéines et biologie synthétique.

L'industrie alimentaire utilise de manière traditionnelle et quasi-systématique deux de ces outils, les enzymes et des microorganismes (Figure 3).

Les entreprises font le plus souvent appel à des enzymes issues de microorganismes génétiquement modifiés pour améliorer leurs performances et diminuer leurs coûts de production. De nouvelles sources d'enzymes microbiennes sont activement recherchées dans des bactéries « extrémophiles » capables de se multiplier dans des milieux acides, alcalins, riches en sel et/ou à haute température (sources chaudes). De plus, les « enzymologistes » ont appris à



**Figure 3** - La « présure » (chymosine) utilisée en fromagerie provient le plus souvent d'un microorganisme dans lequel a été introduit le gène permettant sa synthèse dans la cailleterie de veau.

modifier les propriétés des enzymes par mutagenèse dirigée : depuis les années 1980 en modifiant leur composition en acides aminés, puis ces dix dernières années - grâce à une connaissance beaucoup plus fine des relations structure/fonction des enzymes - en « fabriquant » par ingénierie des protéines des enzymes possédant de nouvelles fonctions (domaine encore limité aux travaux de laboratoire).

Les microorganismes sont également des auxiliaires particulièrement précieux de l'industrie alimentaire : on estime qu'ils entrent dans la fabrication de 30 % des aliments et des boissons : pas de pain, de vin et de bière sans levures ; pas de yaourt, de choucroute et de saucisson sans bactéries lactiques. Leurs activités sont indispensables pour donner aux aliments les textures, les aspects, les goûts et les arômes recherchés. En permanence, les industriels sont à la recherche de souches mieux adaptées aux services qu'ils en attendent. À cet effet, ils s'appuient sur les outils les plus récents de la biologie moléculaire. Des sociétés se sont spécialisées dans leur production et leur fourniture aux industries utilisatrices. Des souches génétiquement modifiées sont disponibles dans les laboratoires publics et industriels, mais aucune d'entre elles n'est utilisée par crainte d'un rejet massif par les consommateurs.

### Impacts environnementaux

La prise en compte des impacts environnementaux est devenue un souci majeur de l'industrie alimentaire : la gestion des effluents et des déchets, le maintien de la biodiversité et la diminution des émissions de gaz à effet de serre sont autant de domaines sur lesquels elle fait porter ses efforts.

Le premier d'entre eux ne fait pas problème car les solutions techniques pour gérer les rejets liquides et solides existent et sont bien appliquées. Des efforts restent néanmoins à faire pour diminuer la consommation en eau, même si des progrès très importants ont déjà été réalisés : une amidonnerie glucoserie ne consomme plus que 3 à 4 m<sup>3</sup> d'eau pour traiter une tonne de maïs, mais il en faut encore 20 m<sup>3</sup> pour préparer une tonne de salade en sachet prête à consommer !

Le maintien de la biodiversité ne concerne pas directement l'activité des entreprises. Elle passe par des accords avec les agriculteurs incluant des clauses contractuelles visant à « produire de manière plus respectueuse de l'environnement ». Les services marketing, pour leur part, ne se privent pas de communiquer sur cette thématique, d'une manière qui peut parfois laisser rêveurs les plus avertis des consommateurs.

Aliment	kg d'équivalent CO <sub>2</sub> émis pour			
	1kg produit	1 kg produit sec	100g protéines	100 Kcal
Yaourt	2,6	19,0	6,8	3,6
Roti de bœuf	20,2	60,0	7,2	15,1
Œuf à la coque	3,3	13,0	2,7	2,2
Bar (loup)	2,6	11,7	1,3	2,5
Salade verte	0,4	7,6	3,7	2,9
Pomme	0,4	2,7	12,2	0,8
Pomme de terre	0,4	1,6	2,0	0,5

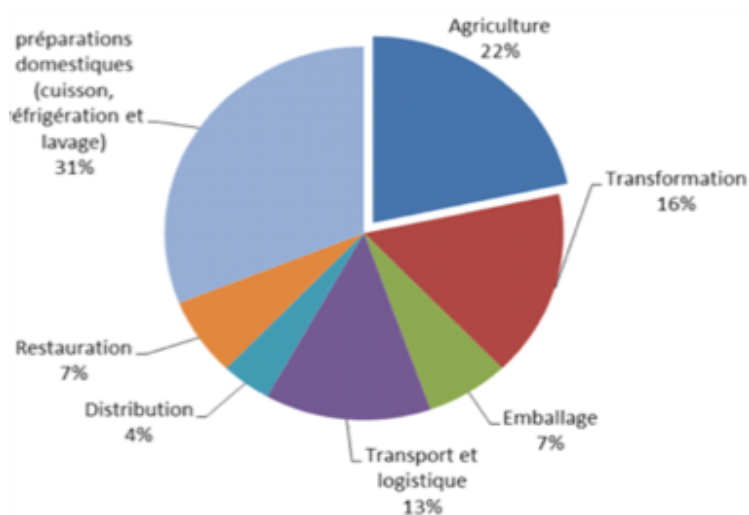
**Tableau 3** – Aliments et gaz à effet de serre : importance des unités retenues (calculs basés sur les données de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et du Centre d'information sur la qualité des aliments)

Reste l'émission des gaz à effet de serre. C'est un problème dont on comprend aisément la complexité quand on sait qu'une quarantaine de méthodes, sinon davantage, est utilisée dans le monde pour mesurer l'empreinte carbone d'un produit. On notera par exemple que l'unité de référence retenue pour classer les aliments sur la base du CO<sub>2</sub> émis est loin d'être neutre (Tableau 3).



Les données chiffrées doivent donc être regardées avec prudence et considérées comme des ordres de grandeur. Mais ce qui est sûr, c'est que la réduction des dépenses énergétiques, directes (dans les usines) ou indirectes (emballages), a un impact positif sur l'émission des gaz à effet de serre, tout en diminuant les coûts de production. La planète et l'industrie alimentaire en tirent bénéfices l'une et l'autre.

Même si l'industrie alimentaire - qui contribue à hauteur de 14 % à la facture énergétique de l'industrie française (*T. Benezech, 2012, Forum Innovation Recherche, IPA, Economies d'énergie dans les industries alimentaires*) - est loin d'être la plus « énergivore » (Figure 4 et encadré) au sein du système alimentaire (les agriculteurs et les consommateurs le sont bien davantage, du moins si on se reporte aux mesures faites aux Etats-Unis), des marges de progrès existent, notamment au sein des opérations les plus consommatrices d'énergie comme le séchage, la cuisson, le broyage et la réfrigération/congélation. Elles pourraient être recherchées avec l'« intensification des traitements » dont l'objectif est d'opérer dans des volumes plus petits, pendant des temps plus courts, avec moins de génie civil et *in fine* moins de dépenses énergétiques, et donc à moindre coût



### Dépenses énergétiques liées à l'alimentation des Français

Il est couramment admis que 10 kilocalories énergétiques sont en moyenne nécessaires pour produire une calorie alimentaire (en fait une kilocalorie thermodynamique) dans les pays développés (respectivement 7 ou 14 kilocalories pour les produits végétaux ou carnés<sup>1</sup>). Si on part de l'hypothèse d'un besoin journalier moyen de 2 200 kilocalories (soit l'équivalent d'une lampe de 100 watts allumée durant 24 heures), il faut donc dépenser  $2200 \times 10 \times 365 \times 65$  millions de kilocalories énergétiques pour nourrir les Français chaque année. C'est-à-dire 50 Mtep, à rapprocher d'une consommation totale d'énergie primaire en France de 270 Mtep.

<sup>1</sup>G. Trystram, 2012, Unesco, Séminaire sur l'alimentation du monde, Quelles innovations en industries alimentaires ?

**Figure 4** – Répartition des dépenses énergétiques au sein du système alimentaire aux Etats-Unis en 2000 (cité par G. Trystram, 2012)

## Conclusion

Les industries alimentaires ont besoin d'innover pour retrouver la place qui était la leur il y a quelques années. Certes, leur chiffre d'affaire se maintient autour de 150 milliards d'euros, elles sont le premier employeur français avec 500 000 emplois, le solde de leur commerce extérieur est largement excédentaire (7 milliards d'euros en 2011). Mais le tissu industriel est très fragmenté (on décompte 10 000 entreprises) et l'excédent commercial est dû aux seules boissons alcoolisées (vin, champagne, spiritueux) et à un moindre degré aux produits laitiers. Seules 20% des entreprises alimentaires exportent et les industriels français se font distancés par les entreprises allemandes et néerlandaises (*Association nationale des industries alimentaires, 2012, rapport annuel 2011*). De plus, leur valeur ajoutée, comparable à celle de

l'agriculture, ne dépasse pas les 30 milliards d'euros (1,7 % de la valeur ajoutée cumulée de toutes les branches d'activité).

Pour progresser, de nouveaux procédés et de nouveaux produits ne sauraient suffire. Si on admet en effet que l'innovation est une idée, une découverte ou une invention qui a rencontré ou créé un marché, les consommateurs (qui sont beaucoup plus que de simples clients) se trouvent tout naturellement au cœur du processus d'innovation du système alimentaire. Qu'ils boudent un nouveau produit ou s'opposent à une nouvelle technologie, il n'y a plus de marché, et donc plus d'innovation. Le succès d'une innovation dépend donc de son acceptabilité. Et celle-ci est de moins en moins au rendez-vous.

Si les innovations incrémentales, pas à pas, qui consistent à améliorer une pratique industrielle sans la remettre significativement en cause, que ce soit un procédé ou un nouveau produit, ne posent que rarement problème (sauf quand les constituants d'une nouvelle formulation sont l'objet de polémique sur leur innocuité pour la santé), il en est différemment des innovations dites de rupture. Même les plus éprouvées sont rejetées, telles les radiations ionisantes pour conserver les aliments à la seule raison que celles-ci se conjuguent médiatiquement avec « radioactivité ». On comprend donc les réactions passionnelles que suscitent les techniques émergentes issues des biotechnologies et des nanotechnologies. Ce qui inquiète le plus les consommateurs, c'est probablement que les nouvelles techniques utilisées pour fabriquer les aliments sont invisibles dans l'assiette (on peut parfois trouver quelques indications en lisant très soigneusement les étiquettes ou en se rendant sur les sites internet des entreprises) car les industriels se plaisent à communiquer sur le caractère naturel et traditionnel de leurs produits. Ce qui, on en conviendra, est bien rarement le cas et conduit à s'interroger sur les conséquences, à terme, de l'artificialité d'une présentation aussi trompeuse de ce qu'est la réalité des procédés industriels.

La raison porte alors à se tourner vers « ceux qui savent », mais les consommateurs ont bien des difficultés à faire le tri dans les messages divers qui leur parviennent de la communauté des scientifiques. Qui détient la vérité si ces messages sont contradictoires ? Comment s'assurer de la validité (ou non) d'une publication scientifique, alors que savoir si le protocole d'étude, la conduite des expériences et l'analyse statistique des données ont été correctement menés relève d'une confrontation entre experts ? Se satisfaire du fait qu'une publication dans une grande revue scientifique garantirait sa crédibilité est malheureusement illusoire car nombre de publications acceptées par les pairs ont été infirmées par la suite. Reste à faire confiance, mais à qui ? Aux chercheurs « indépendants » ? Pourquoi pas ? Mais encore faudrait-il que cette notion d'indépendance ait un sens et ne soit pas le fait d'une auto-proclamation. Ce qui est souvent le cas. Faire confiance aux « institutions » (agences sanitaires, instituts de recherche, académies) : le bon sens le voudrait, mais les crises sanitaires des trente dernières font planer des doutes chez beaucoup de Français.

Reste alors à entreprendre un travail de fond pour apprendre à nos enfants et à nos concitoyens ce que sont les techniques utilisées par les acteurs du système alimentaire : leurs fondements, leurs bénéfices et leurs risques. L'éducation nationale, les médias et les professionnels doivent s'en sentir responsables, ensemble si possible. L'éducation à la science et à la technologie doit s'ouvrir à toute la population.

## Pour en savoir plus

- Académie des technologies, 2012, Alimentation, innovation et consommateurs, Le Manuscrit, 66 pages.
- Corthier G. et al, 2011, Bonnes bactéries, bonne santé, Editions QUAE, 128 pages.
- Feillet P., 2007, La nourriture des Français, De la maîtrise du feu ... aux années 2030, Editions QUAE, 245 pages.
- Feillet P., 2012, Nos aliments sont-ils dangereux : 60 clés pour comprendre l'alimentation, Editions QUAE, 239 pages.
- Gilles Trystram et al, 2007, Génie des procédés alimentaires, des bases aux applications, Dunod/RIA, 592 pages.