

Rentrée académique – Leçon inaugurale

4 octobre 2011

Excellences, Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs,

Vous mangez certainement plusieurs fois par jour. Mais quel regard portez-vous sur votre alimentation ?

Un regard nutritionnel ?

Un regard social, convivial ?

Un regard culturel, identitaire ?

Un regard artistique ?

Un regard suspicieux peut-être ?

... un mélange de tout cela probablement, selon les circonstances.

Nous pourrions en débattre ensemble plusieurs heures, chacun apportant sa propre perception, ses préjugés liés à l'imaginaire véhiculé par l'aliment.

Nous ne disposons malheureusement que d'une demi-heure. J'ai par conséquent choisi d'aller droit au but et de vous présenter une autre vision de l'aliment. Celle de l'ingénieur, du technologue qui doit le concevoir, le formuler en vue d'une production à l'échelle industrielle.

Nous ferons ainsi un parcours de la complexité de l'aliment à la technologie d'assemblage.

La première étape de ce parcours nous conduira de l'empirisme culinaire à la conception raisonnée du produit industriel.

Je tacherai ensuite de vous convaincre de la très grande complexité physico-chimique de nos aliments.

Cela nous amènera tout naturellement au concept de technologie d'assemblage.

Enfin, pour conclure, j'évoquerai quelques perspectives d'évolution en matière de formulations alimentaires.

« De l'empirisme à la conception raisonnée » ou encore « De la recette de cuisine au concept de formulation ».

L'élaboration d'un certain nombre d'aliments qui constituent toujours la base de notre alimentation date de plusieurs siècles, voire millénaires. C'est le cas entre autres du pain, du fromage ou de la bière.

Ces produits, et tout particulièrement ceux issus de fermentation se sont développés sur base d'observations empiriques, sans connaissances des matières premières, et encore moins des phénomènes impliqués dans leurs transformations. C'est également le cas de la plupart des préparations que nous retrouvons dans les livres de recettes de cuisine.

Le passage, relativement récent, de la production et de la stabilisation des aliments du stade artisanal au stade industriel a progressivement imposé une toute autre approche.

La maîtrise de la qualité des aliments et le développement de nouveaux produits, en adéquation avec les multiples exigences du marché impliquent en effet de la part des responsables techniques du secteur agroalimentaire une démarche de plus en plus rigoureuse. Celle-ci s'appuie notamment sur les acquis de la science des aliments.

Au cours des trente dernières années, de nombreuses équipes se sont consacrées à cette discipline, ce qui a permis de mieux connaître la composition des diverses matières premières et d'élucider les mécanismes impliqués dans l'élaboration de la texture, des saveurs et des arômes ; ces travaux ont permis à l'industrie alimentaire d'accéder à une meilleure identification des leviers technologiques déterminants dans la construction de la qualité, de sortir de l'empirisme et de raisonner la technologie. Ils ont également permis d'évoluer de la recette au concept de formulation.

Une recette est par définition, une description détaillée de la façon de préparer un mets, ou de façon plus large, une méthode empirique pour atteindre un but.

En contraste, une formulation s'exprime avec précision et détermine la formule de composition.

Ce n'est bien sûr pas qu'un problème de terminologie.

La recette est traditionnellement basée sur des observations empiriques, sur des expériences, dans la plupart des cas, sur une succession

d'essais/erreurs conduisant finalement à un résultat intéressant d'un point de vue sensoriel.

La formulation, quant à elle, repose sur les principes fondamentaux de la physico-chimie et la biophysique.

Elle vise à raisonner le choix des matières premières ainsi que la manière de les intégrer, tout en prenant en compte les contraintes environnant le produit pour le doter d'un certain nombre de caractéristiques qu'il devra conserver pendant sa durée de vie.

Le premier pas pour atteindre valablement cet objectif est certainement d'aborder la complexité physico-chimique du produit à formuler.

« Structure composite et complexité des aliments »

Les produits alimentaires sont pour la plupart des assemblages complexes de phases finement dispersées (gazeuses, liquides, solides), de macromolécules et de systèmes auto-associés (gels, monocouches, micelles, vésicules).

Leurs propriétés et leur comportement sont donc dépendants de phénomènes d'interaction, d'association, d'agrégation, et de phénomènes interfaciaux (adsorption, mouillage, dispersion, coalescence).

Le formulateur peut donc les considérer comme des matériaux composites extrêmement complexes, de par la diversité de leurs

constituants, et délicats, en raison de la nature chimique de leurs composants.

Partons ensemble d'un exemple simple pour illustrer cette complexité.

Il est relativement facile de manger ce produit ... beaucoup moins de le concevoir.

Simplifions dans un premier temps le problème, en nous limitant à l'échelle macroscopique.

Il apparaît que notre friandise est constituée d'une couche extérieure de matière grasse de couverture imitant le chocolat, de biscuit, d'un fourrage foisonné et d'un coulis de fruit.

Si vous consommez ce type de produit, combien parmi vous se sont déjà posé les questions suivantes :

- Comment obtient-on ce cœur tendre à l'intérieur d'une couche de chocolat rigide ?
- Comment évite-t-on que la couche de chocolat ne se fende, ou craque dans l'emballage, tout en croquant en bouche ?
- Comment limite-t-on le transfert d'eau du fourrage vers le biscuit ?
L'activité de l'eau qui reflète la disponibilité de l'eau au sein de la matrice est en effet beaucoup plus élevée pour le fourrage (0,75 contre 0.20 pour le biscuit).
- Comment évite-on la diffusion des arômes de fruits du coulis vers les autres couches ?

Notre laboratoire est constamment sollicité pour apporter une solution à ce type de problèmes, car ils conditionnent directement la perception et l'acceptabilité du produit par le consommateur. Les enjeux commerciaux sont donc importants.

La réponse est rarement immédiate et nécessite le recours à des techniques d'analyses très fines qui nous permettent de comprendre l'organisation de la matière. Initialement, ces techniques n'ont été développées ni par, ni pour le secteur alimentaire.

Nos aliments obéissent en fait aux lois qui régissent le comportement de la matière molle. Ce terme de « matière molle » a été introduit par l'équipe de Pierre-Gilles De Gennes, le prix Nobel de physique en 1991, pour qualifier les fluides complexes et les systèmes moléculaires organisés dont les propriétés physiques sont intermédiaires entre celles des liquides et celles des solides.

Ainsi, les progrès réalisés dans les différentes branches de la physique de la matière molle condensée, ont fait fortement évoluer la science des aliments.

Il convient également de souligner que, dans l'autre sens, les systèmes alimentaires intéressent de plus en plus les physiciens purs de par toutes les complications qu'ils comportent.

Ainsi, par exemple, Raffaele Mezzenga, Collègue physicien de l'Université de Fribourg, dont le début de carrière fut marqué par un passage à la NASA, n'hésite pas à considérer le yaourt pour valider les modèles de base décrivant les transitions sol-gel.

Il montre notamment que le mécanisme d'agrégation des micelles de caséines lors de l'acidification du lait est comparable à celui impliqué dans la déstabilisation des billes de latex par ajout de sel. Le raisonnement peut aussi être appliqué pour comprendre le processus de fabrication des céramiques.

Afin d'appréhender l'état physique des constituants alimentaires ainsi que l'étude des systèmes colloïdaux, notre laboratoire compte un parc d'équipements parmi les plus complet en Europe. Celui-ci a progressivement été mis en place sous l'impulsion du Professeur Claude Deroanne. Il ne cesse de croître depuis plus de 30 ans grâce aux nombreux projets de recherche qui nous sont confiés, par les pouvoirs publics mais aussi par le secteur industriel.

Citons entre autres, les tensiomètres à goutte pendante, à goutte tournante, la balance à film de Langmuir, l'analyseur de particules et de potentiel zeta, l'analyse calorimétrique différentielle, l'analyse thermogravimétrique mais aussi la résonance magnétique nucléaire et la diffraction des rayons X. Et nous ne sommes pas dans un hôpital mais dans un laboratoire de Science des Aliments et de Formulation.

Ces deux dernières techniques nous permettent par exemple d'étudier la cristallisation et le polymorphisme des lipides, en vue d'établir les mélanges de formulation les plus adaptés à l'usage.

En relation avec l'exemple de la matière grasse de couverture imitant le chocolat, notre collègue Sabine Danthine a ainsi établi les relations entre le pourcentage solide/liquide de mélanges de triglycérides, leur

microstructure cristalline, et leur propriété de texture (dont le caractère craquant).

Mais avant même d'avoir recours à des techniques d'analyses à la pointe de la technologie, le concepteur de produit doit également disposer de méthodes l'aidant à penser, lui permettant de mieux sentir la structure complexe de l'aliment. Une avancée majeure dans ce domaine revient à notre Collègue Hervé This, titulaire cette année de la Chaire Francqui au titre belge, portée par l'Université de Liège (Gembloux AgroBioTech).

Ce physico-chimiste, bien connu du grand public en tant que fondateur de la Gastronomie moléculaire, a en effet proposé un formalisme particulièrement bien adapté pour décrire globalement les systèmes dispersés complexes, comme nos produits alimentaires.

Ce formalisme, cette modélisation fait usage de 4 lettres : S (solide), H (huile), E (eau) et G (gaz), combinées à des symboles (connecteurs) selon que les phases sont mélangées (+), dispersées (/), incluses (\supset) ou superposées (σ).

Grâce à ce système, il est possible de décrire la physico-chimie de n'importe quel aliment.

Que ce soit par exemple la pomme de terre (S1/E)/S2 (un solide 1, granules d'amidon, dispersé dans de l'eau, le tout dispersé dans un solide 2, qui est un réseau de fibres insolubles et protéines) ou la mayonnaise qui peut l'accompagner (H/E).

Il existe bien entendu des produits beaucoup plus complexes. Je vous laisse réfléchir vous-même à la formule de la crème glacée dont la structure comporte des bulles d'air, des cristaux de glace, des globules gras, des globules gras agglomérés, dans une phase cryoconcentrée composée d'eau, de protéines, de sucres et d'hydrocolloïdes.

Je peux vous assurer que ce type de représentation est bien plus qu'une simple vue de l'esprit. C'est en effet une approche indispensable pour choisir judicieusement des ingrédients selon leurs propriétés fonctionnelles mais aussi pour comprendre l'usage des additifs tant décriés.

Penchons nous d'avantage sur l'exemple de la mayonnaise et comparons une recette ménagère à la formulation industrielle...

Pour un beau bol de mayonnaise ! Je ne vais bien entendu pas vous lire cette recette, vous la connaissez tous par cœur...

Comment ce produit qui contient majoritairement de l'huile (environ 80%) et de l'eau (deux ingrédients liquides) peut-il être texturé ?

Voici schématiquement ce que représente l'huile (en jaune) par rapport à l'eau (en bleu). Tout l'art réside dans le fait d'incorporer toute cette huile sous-forme de petites gouttelettes, qui vont se rapprocher, interagir entre elles sans fusionner et ainsi apporter sa consistance à la mayonnaise. Nous obtenons un système H/E et non l'inverse E/H (qui serait la formule correspondant à une margarine). Pour créer cette émulsion huile dans eau, nous avons besoin d'agents tensioactifs, les phospholipides et protéines du jaune d'œuf, qui s'adsorbent à

l'interface, et abaissent l'énergie interfaciale. Les propriétés du film de tensioactifs formé à l'interface contribueront ensuite à stabiliser le système et à ralentir la séparation de l'huile et de l'eau. Nous ne pouvons l'éviter totalement, car d'un point de vue thermodynamique, une émulsion est un système métastable, voué à une déstabilisation certaine. Notre métier consiste à faire en sorte que la séparation ne se produise pas avant que le pot de mayonnaise soit vide.

En ce qui concerne, la mayonnaise industrielle, pour des raisons nutritionnelles, considérons plus spécifiquement un produit allégé, un dressing à 30% de matière grasse par exemple.

La liste des additifs, intervenant dans la composition de ce produit peut interpeller, et pourtant ...

Nous aurons bien entendu recours à du jaune d'œuf car le système reste une émulsion et requiert donc des agents tensioactifs.

Cependant, étant donnée la plus faible teneur en huile, le nombre et donc le rapprochement des globules gras ne sont pas suffisants pour texturer le produit. Le recours à un agent épaississant comme la gomme guar ou le xanthane est indispensable pour obtenir la consistance souhaitée. Nous devons en fait produire une émulsion gélifiée, soit de l'eau et de l'huile dispersées dans un solide (E+H)/S.

En outre, du fait de sa teneur en eau plus élevée, ce dressing présente une plus grande sensibilité à certains phénomènes d'altération. Ceci implique l'usage d'agents antioxydants mais aussi d'agents antimicrobiens, afin de pouvoir le conserver plusieurs semaines,

contrairement à la mayonnaise maison qui se conserve tout au plus un à deux jours.

Il est à noter que l'industrie peut fabriquer ce produit de manière aseptique. Ainsi, l'utilisation des conservateurs a pour but d'éviter le développement de microorganismes (moisissures) apportés après l'ouverture du bocal par le consommateur lui-même.

Tous les additifs cités (E412, E415, E385, ...) répondent en Europe à une législation très stricte quant aux quantités utilisées et aux types de produits dans lesquels ils peuvent ou non être incorporés, ils n'échappent cependant pas à la poussée du clean-label venue du monde anglo-saxon, rendant les n°E indésirables.

La tendance d'un retour au naturel prend également beaucoup d'ampleur, et ce avec certains paradoxes : de nombreux additifs sont tout à fait naturel, d'autre part, certains produits de la nature sont très toxiques.

Dans ce climat, notre laboratoire est très impliqué dans l'extraction et l'incorporation de substances plus naturelles, d'extraits végétaux en remplacement de ces additifs. Ce qui m'amène à évoquer la conception des aliments par la technologie d'assemblage.

« De la conception de l'aliment à la technologie d'assemblage »

Si, comme le montre cette figure, l'aliment traditionnel est l'aboutissement d'une succession de phénomènes de mieux en mieux connus et maîtrisés, ce n'est pas le cas d'un certain nombre de

produits nouveaux imaginés et conçus pour mieux répondre aux attentes du marché. Ces produits résultent de l'assemblage de divers ingrédients, dont la maîtrise est un véritable défi pour le technologue.

Les exigences qualitatives des consommateurs sont de plus en plus précises et segmentées. L'aliment doit présenter une sécurité absolue, avoir un profil nutritionnel le plus proche possible de celui recommandé par les nutritionnistes, satisfaire les besoins sensoriels, intégrer de la praticité, véhiculer des valeurs sociétales, et le tout en restant à un prix abordable.

Ces attentes du marché sont identifiées par les services marketing de l'industrie agro-alimentaire pour des cibles de consommateurs définies, dont les besoins dépendent de nombreux facteurs (dont le sexe, l'âge, activité, état de santé, trouble de la santé, effet de mode, etc.). Ces services identifient avec les spécialistes de la nutrition et de la santé le type de nutriments et de micro-éléments à assembler, ils définissent également la structure et les caractéristiques sensorielles. L'objectif du technologue est alors de mettre en oeuvre et de stabiliser ce système sur la période de commercialisation en tenant compte des différentes contraintes qu'il subit.

Pour créer par assemblage cette nouvelle génération de produits, il dispose d'une palette de plus en plus importante d'ingrédients fonctionnels qui permettent de créer de la texture et de stabiliser les systèmes multiphasiques complexes. Ces ingrédients sont eux-mêmes produits par des entreprises spécialisées dans les techniques séparatives ou encore le cracking des bioressources.

Voici ce qu'est le cracking. L'exemple n'est bien sûr pas alimentaire mais il illustre bien le principe.

Le cracking consiste donc à fractionner une matière première de façon à séparer, à concentrer des fonctionnalités spécifiques. Il permet d'obtenir de nouveaux ingrédients, le plus souvent clean-label, présentant des avantages pour leurs utilisateurs et donc porteur d'une valeur ajoutée.

Cette voie particulière de valorisation des productions agricoles est une des fortes spécificités de Gembloux Agro-Bio Tech.

Depuis le développement du schéma industriel de fractionnement du pois au sein de notre Unité, il y a plus de 20 ans, les projets de recherches se sont succédés.

Ils portent sur des matières premières très variées.

Des produits d'origine animale :

- Comme le lait et les coproduits de l'industrie laitière

Le lactosérum, en particulier pour l'obtention de fractions protéiques permettant de formuler des crèmes résistantes à la lipolyse. Ces protéoses peptones peuvent également faire mousser un cappucino ou encore réduire le risque de caries dentaires.

Le babeurre, pour lequel nous avons développé un procédé industriel d'extraction de lipides polaires (phospho- et sphingolipides). Ceux-ci présentent un grand intérêt nutritionnel. Le procédé a été breveté en partenariat avec une entreprise.

Son développement n'a été possible qu'en s'appuyant sur les recherches fondamentales que nous menons sur la membrane du globule gras du lait (dans laquelle se situent les molécules d'intérêt). Nos travaux combinant des attaques enzymatiques ciblées à l'approche protéomique ont notamment conduit au dernier modèle en date pour la structure membranaire.

- Nous avons récemment étudié le fractionnement de l'œuf pour lequel la séparation du jaune en granules et plasma ouvre la voie au développement de nouveaux ingrédients.

Nous « crackons » également de nombreuses productions végétales :

Les céréales (blé, épeautre, avoine). Ces travaux concernent d'avantage la production de fibres et l'extraction d'antioxydants.

Les feuilles de betteraves, pour leur protéine ou pour la production d'arômes, de notes vertes.

La graine de lin pour laquelle un procédé complet de séparation de l'huile, des protéines et des gommages a été mis au point.

Le tourteau de colza et la gomme arabique, pour la recherche de nouveaux prébiotiques, en partenariat avec l'Unité de Chimie Biologique industrielle et l'Unité de Bioindustries.

Et enfin, les agroressources tunisiennes dont l'agave, le pin d'alèpe, la nigelle, le pois chiche, mais surtout les dattes et la sève du palmier dattier, dans le cadre d'un important projet de coopération avec l'Ecole nationale d'ingénieurs de Sfax.

Toutes ces recherches ont plusieurs points communs.

Dans tous les cas, nous avons recours à des procédés industrialisables et nous les testons à l'échelle pilote. Les technologies douces, c'est-à-dire respectueuses de l'environnement mais surtout du produit lui-même, sont privilégiées.

L'utilisation de solvants organiques est dans la mesure du possible évitée.

En outre, même si dès le départ, une fraction de constituants est identifiée comme cible prioritaire, assurant la rentabilité du procédé, le concept de cracking considère une valorisation globale, intégrant chacune des fractions co-produites.

Cela nous conduit donc à considérer l'éventuel intérêt nutritionnel de chaque fraction mais également à évaluer leurs propriétés technofonctionnelles.

Par propriétés technofonctionnelles, il faut comprendre les propriétés physico-chimiques qui influencent la structure, l'aspect, la texture, la viscosité, la perception en bouche ou la rétention d'arôme du produit alimentaire.

Ces propriétés englobent notamment les propriétés liées aux propriétés de surface, telles que l'aptitude au moussage et à l'émulsification, et les propriétés dépendant des propriétés hydrodynamiques comme la viscosité, l'absorption d'eau et la gélification, ...

Nous pouvons illustrer cette dernière propriété, comme René Magritte, de façon surréaliste. Si la partie de droite représente bien un œuf, à gauche, « Ceci n'est pas un œuf » mais un produit obtenu à partir d'un isolat protéique de lactosérum.

Ainsi, tout comme les protéines du blanc d'œuf, certaines protéines du lait peuvent également gélifier suite à une dénaturation thermique. Cette propriété, mais également les autres propriétés technofonctionnelles des protéines du lactosérum, expliquent l'incorporation d'ingrédients issus de ce coproduit dans de très nombreux produits industriels.

Ayant retracé les grands concepts associés à la formulation de nos aliments industriels, je voudrais pour conclure évoquer quelques pistes d'évolution.

« Quelle évolution ? »

Développer, produire, conditionner et distribuer des aliments requiert des bases scientifiques et techniques de très haut niveau.

Les attentes et exigences des consommateurs à l'égard de leur alimentation sont de plus en plus complexes et parfois difficiles à appréhender, car l'imaginaire y occupe une place importante.

On note cependant actuellement un glissement évident dans les habitudes alimentaires : les consommateurs optent de plus en plus pour des alternatives saines. Les études sur les tendances alimentaires de demain indiquent que ce courant n'est pas un effet de mode mais risque de s'accroître, car il repose sur un certain nombre de facteurs durables.

Dans ce contexte, la position avant-gardiste qu'il conviendra d'adopter en matière de technologie devra privilégier :

- la mobilisation raisonnée et la valorisation de la biodiversité et des productions agricoles. Il conviendra en particulier d'adapter les productions végétales et d'en extraire les potentialités, de réinventer la relation avec l'amont ;
- en matière de procédés d'extraction, de transformation et de conservation, le recours à des technologies douces, propres et sûres ;
- au niveau de la formulation, le remplacement des additifs par des ingrédients naturels (ou plus proche de la naturalité) ;
- dans les processus d'innovation, la prise en considération des modes de consommation et des comportements alimentaires. Le

plaisir lié à l'alimentation restera certainement l'élément principal influençant le choix du consommateur. Du moins, nous l'espérons.

Par ailleurs, la conception des aliments du futur, présentant des avantages spécifiques pour la santé, nous confrontera à de nouveaux défis.

La particularité physico-chimique des nouvelles molécules incorporées impliquera de plus en plus de sortir des concepts classiques de l'ingénierie des formulations alimentaires (même si les principes de base resteront d'application).

Ainsi l'industrie alimentaire envisage sérieusement le recours à des systèmes de plus en plus élaborés comme les microémulsions, liposomes, cristaux liquides.

Ces systèmes, jusque là non ou très peu exploités dans le secteur, visent non seulement à faciliter l'incorporation et la stabilisation des composés d'intérêt physiologique, mais aussi, et c'est selon moi le point crucial du développement des aliments santé de demain, la maîtrise par la physico-chimie de la matrice alimentaire, de leur relargage, de leur assimilation et de leur biodisponibilité. Tout cela initie une nouvelle approche de l'alimentation de l'homme sain.

Ainsi, Excellences, Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs, pour faire face à l'ensemble des défis passionnants qui nous attendent, deux éléments semblent indispensables.

Le premier est de disposer d'infrastructures adaptées et performantes, tant sur le plan analytique, que sur le plan du

prototypage à l'échelle pilote. Nous ne pouvons que nous réjouir de la mise en place à Gembloux, d'une plateforme d'appui technologique, en partenariat avec les autres acteurs académiques et le monde industriel. Je remercie spécifiquement notre Vice-Recteur, Eric Haubruge, qui s'est investi corps et âme dans ce projet.

Le second élément est humain. Il repose sur l'implication, la rigueur, la créativité des chercheurs. A cet égard, je voudrais remercier l'ensemble des collègues et collaborateurs qui se sont succédés ou qui oeuvrent encore actuellement à asseoir notre position privilégiée en Technologie alimentaire. Je pense plus particulièrement au Prof. Claude Deroanne, Michel Paquot et Philippe Thonart, ainsi qu'à tout le personnel de l'Unité de Valorisation des Bioressources qui me supporte au quotidien.