

l'actualité chimique

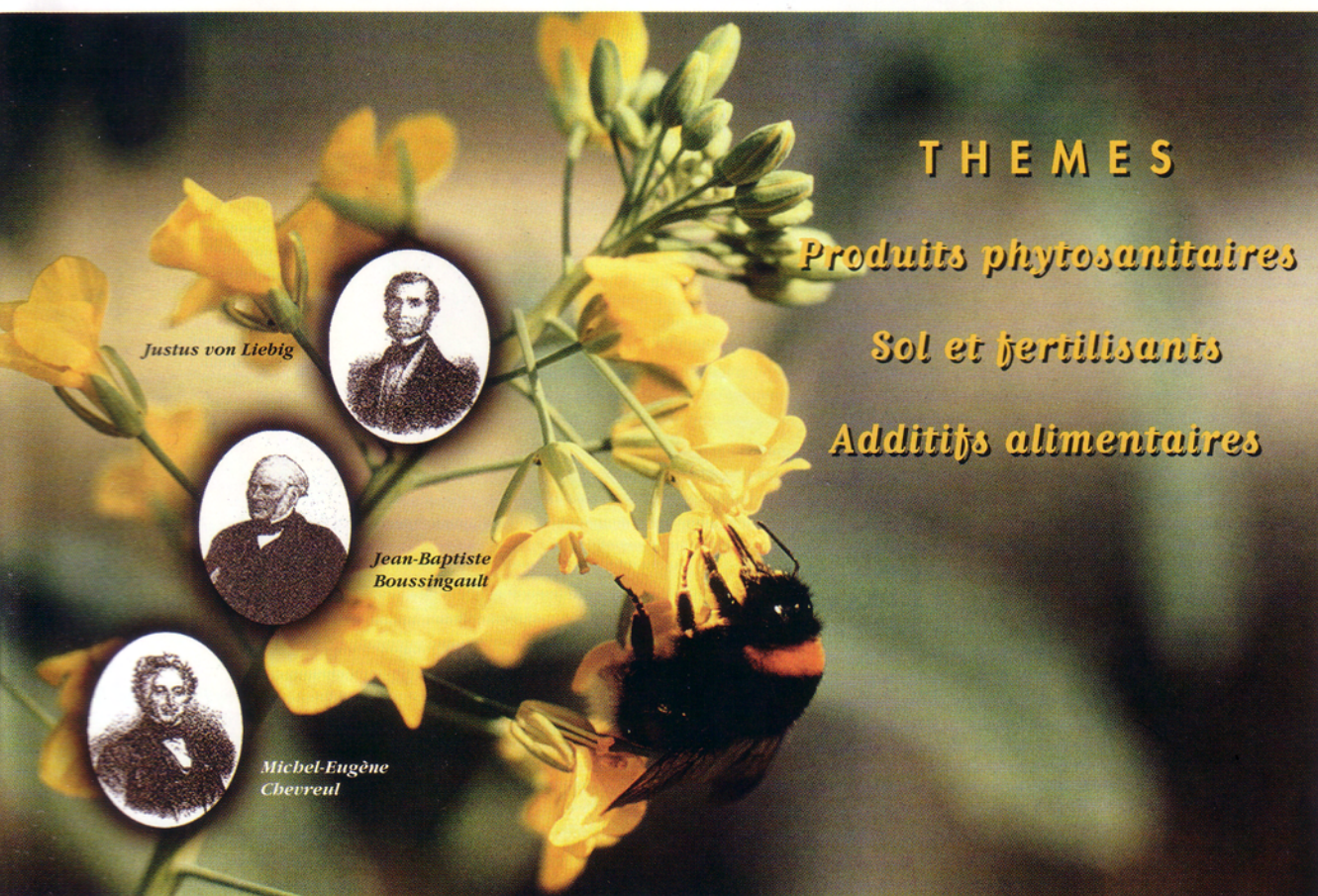
recherche – industrie – enseignement

Mensuel Novembre
2000

n° 11

Numéro spécial

Nourrir les hommes, hier et demain
Apports de la chimie



THEMES

Produits phytosanitaires

Sol et fertilisants

Additifs alimentaires

Justus von Liebig



Jean-Baptiste
Boussingault



Michel-Eugène
Chevreul

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIMIE

sfc
société
française
de chimie

SOMMAIRE

Colloque Nourrir les hommes, hier et demain. Apports de la chimie
Paris, 18-19 novembre 1999

l'actualité chimique
Mars 2000
n° 11

Numéro spécial

Nourrir les hommes, hier et demain
Apports de la chimie



Affiche du colloque "Nourrir les hommes...".
(Maquette c2s Chantal Lannarelli. Reproduction interdite).

Les dessins reproduits dans ce numéro
ont été réalisés par Jean-Michel Thiriet.

sfc
société
française
de chimie

L'Actualité Chimique

Revue de la Société Française de Chimie
250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris
Tél. : 01.40.46.71.60 - Fax : 01.40.46.71.61.

ÉDITORIAL

Chimie et nourriture... Avec un peu de mauvaise humeur, par B. Sillion 2

NOURRIR LES HOMMES

- Introduction, par C. Viel 3
- Les racines historiques des relations entre chimie et agriculture, par J. Boulaïne 4
- Nourrir 10 milliards d'humains. Imaginer les solutions pour demain. Contribution de la protection des plantes et biotechnologies, par J.-P. Decor 7
- De Mege-Mouriès aux margarines d'aujourd'hui, par J. Klere, F. Mordret 10
- Apports de la chimie dans les saveurs, par J.-N. Jaubert 13
- Protection chimique des cultures et sécurité alimentaire, par M. Buys 15
- Vin de Porto. Des siècles de contrôle de qualité, par M. F. G.F.C. Camoes 17
- Les fraudes alimentaires : un défi pour la chimie analytique, par M. Martin, G. Martin 18
- Développement de la chimie physiologique et de l'agrochimie au XIX^e siècle en Russie. Influence de J. Liebig, par E.A. Zeitseva 21
- Les molécules de la caramélisation : structure et méthodologies de détection et d'évaluation, par J. Defaye, J.M. Garcia Fernandez, V. Ratsimba 24
- Des sucres naturels aux édulcorants de synthèse, par C. Bruker-Ballu, D. Brançon, N. Galand, C. Viel 28
- La nutrition des plantes : d'Antoine Laurent de Lavoisier à nos jours, par K. Mengel 32
- Agriculture : naissance du désherbage chimique des cultures, par J.-L. Bernard 35
- Michel-Eugène Chevreul (1786-1889) à la Société nationale d'Agriculture, par J. Fournier 38
- Contribution de l'Association Belge des Chimistes (1887-1898) à la chimie alimentaire, par H. Deelstra 45
- Le végétal, l'animal et la question de la nutrition, par M. Blondel-Mégrelis 47
- La gélatine face aux extraits et aux bouillons de viande, par G. Bram, H. This, C. Viel 50
- L'épandage de vinasse de betteraves sur les champs de grandes cultures. Céréales, produits protéiques et betteraves en France, en Allemagne et autres pays européens (résultats de nos propres recherches de vingt années), par J. Debruck, W. Lewicki 54
- Jean-Baptiste Dumas (1800-1884) et l'agriculture, par M. Scheideker-Chevallier 55
- La gastronomie moléculaire. La chimie n'oublie pas le citoyen qui cuisine, par H. This 58
- Conclusion du colloque : La sécurité alimentaire par la chimie, par P. Louisot 60

INFORMATIONS GÉNÉRALES	64
MANIFESTATIONS	70
ACTIVITÉS DE LA SFC	73
BOURSE DE L'EMPLOI	75

Rédaction

Rédacteur en chef : Bernard Sillion

Rédacteur en chef adjoint : Thérèse Chaudron

Secrétaire de rédaction, coordination, réalisation, mise en page : Évelyne Girard

Secrétariat : Roselyne Messol

Comité de rédaction : E. Bordes (div. Cat.), J. Buendia (SCI), J.-L. Butré, M. Carréga (div. Matér. polym.), G. Chambaud (com. interdiv. Enseignement), N. Cheymol (CPGE), J.-B. Donnet (ancien président de la SFC), R.-E. Eastes (ENS), J.-P. Foulon (UDP), J. Fournier (club Histoire), J.-F. Gruson (IFP), P.-C. Lacaze (div. Chim. phys.), J.-F. Lambert (div. Cat.), J.-C. Mendelsohn (Elf Atochem), G. Ourisson (ULP, Strasbourg), A. Picot (Prévention des risques chimiques), A. Pröust (div. Chim. coord.), D. Rutledge (div. Chim. anal.), J.-M. Schmuck (club de jeunes), G. Schorsch (SFC), F. Sécheresse (div. Chim. coord.), P. Vermeulin (CNRS), J.-N. Verpeaux (div. Chim. orga.), C. Viel (club Histoire), D. Vivien (div. Chim. solide).

Publication analysée ou indexée par : Chemical Abstracts, la base de données PASCAL.

Édition

Société Française de Chimie.

Directeur de la publication : Marc Julia, ancien président de la Société Française de Chimie.

Imprimerie : SPEI, BP 26, 54425 Pulnoy.

ISSN 0151 9093

Commission paritaire n° 0402 G 75884

Publicité : EDIF, Le Clémenceau, 102, avenue Georges Clémenceau, 94700 Maisons-Alfort.
Tél. : 01.43.53.64.00; Fax : 01.43.53.48.00.

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, fait sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droits, ou ayants cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies et les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration.

Tarifs 2000

L'Actualité Chimique (11 numéros par an)

• Particuliers/Institutions	
France	1 100 FF
Étranger	1 325 FF

• Étudiants*	
France	420 FF
Étranger	660 FF

* Sur présentation de la carte d'étudiant

• Membres de la SFC : service inclus dans la cotisation.

Abonnement

Société Française de Chimie, 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris. Tél. : 01.40.46.71.60. Fax : 01.40.46.71.61.

Prix de vente au numéro : 120 FF

© SFC, 2000 - Tous droits réservés - Dépôt légal : novembre 2000

Index des annonceurs

Applied Biosystems. II^e de couv.
Aventis Agriculture. p. 44
Chemetall. p. 57

Edif III^e de couv.
Répertoire française des ingénieurs. IV^e de couv.
Sanofi p. 46

Chimie et nourriture... Avec un peu de mauvaise humeur !

Depuis les observations montrant l'effet bénéfique des « engrais naturels » sur le développement des plantes, la chimie n'a cessé, comme le montre Jean Boulaine, d'être reconnue comme une science déterminante pour l'amélioration de la nutrition des hommes.

Les engrais synthétiques, les agents de conservation, les pesticides sont à la base d'industries chimiques importantes dont l'objectif est d'améliorer le rendement et de faire de l'agriculture une activité de moins en moins aléatoire.

Le débat sur la valeur nutritionnelle des cultures traitées, sur la dangerosité des résidus et sur les qualités gustatives des saveurs apportées par la chimie, n'est pas prêt de s'achever, mais cela n'est pas grave !

Par contre, on peut se poser des questions sur ce que pensent, s'ils en ont la force, les peuples qui doivent supporter la malnutrition, des débats de nantis sur la « mal bouffe ». L'urgence est de proposer à ces pays en-dessous du seuil de développement les moyens de se nourrir. La chimie peut y contribuer, c'est bien !

Certes, l'industrie chimique concernée par les produits pour l'agriculture et les pouvoirs publics ne peut ignorer les effets secondaires que peuvent provoquer des excès de traitement des sols, on l'a vu avec certains phénomènes d'eutrophisation, le problème est d'éviter l'irréversibilité.

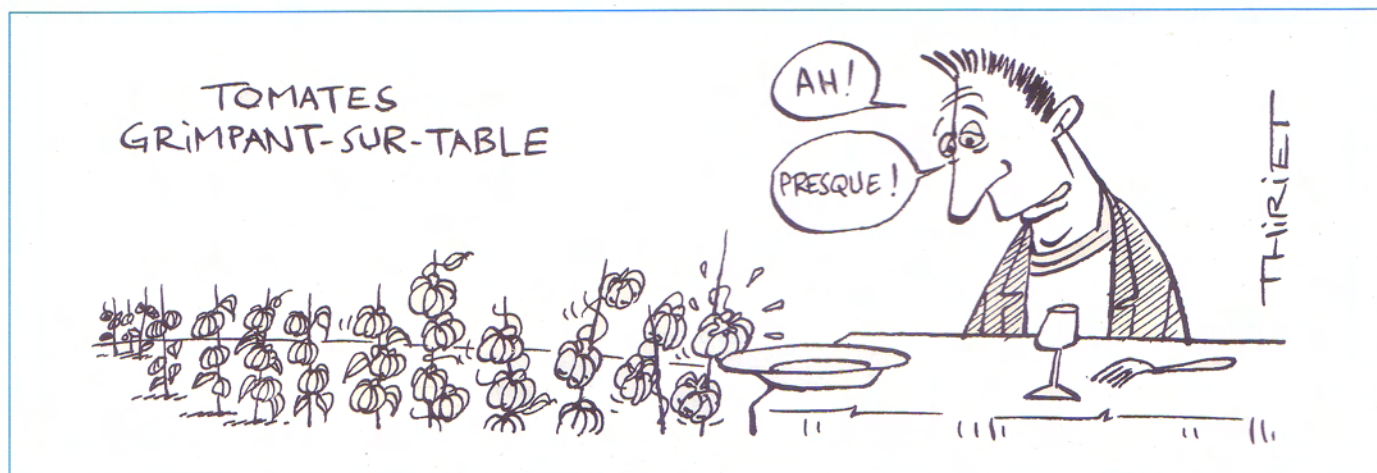
Le principe de précaution n'est pas de ne rien faire sous prétexte d'un possible risque. Il s'agit au contraire d'apprécier le risque et de le maîtriser.

Bien que le sujet soit à la frontière de la chimie, il faudra bien à *L'Actualité Chimique* que nous proposons un dossier sur les OGM dans l'agriculture.

Je pense que nous aurons du courrier !

Bernard Sillion
Rédacteur en chef

Merci à M. Viel qui a bien voulu se charger de transformer un colloque en numéro de *L'Actualité Chimique*, ce qui n'est pas si simple... Merci aussi à Aventis Agriculture pour certaines illustrations.



Colloque Nourrir les hommes, hier et demain Apports de la chimie

Les 18 et 19 novembre derniers, le Club d'Histoire de la chimie, groupe de la Société Française de Chimie, organisait à Paris, à l'École Nationale de Chimie, Physique et Biologie (ENSCP), un colloque : « Nourrir les hommes, hier et demain - Apports de la chimie ».

Dix-neuf conférences et communications orales y ont été présentées ; ce sont ces textes ou quelques résumés, ainsi que les conclusions du colloque par le professeur Pierre Louisot que vous trouverez dans ce numéro.

Cette publication n'a été possible qu'avec l'aide efficace et fondamentale que m'ont apportée Nicole Galand et Michel Golfier. Qu'ils en soient vivement remerciés.

Nous remercions également Chantal Iannarelli et C2S (Congrès Scientifiques Services) pour l'aide apportée à l'organisation du colloque.

Claude Viel
Président du Club

Les racines historiques des relations entre chimie et agriculture

Jean Boulaine* professeur émérite, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Summary : *Historical relationships between chemistry and agriculture*

Since prehistory, European peoples has been given bread and salt as welcome to stranger's ones. During long centuries some products known today as chemical substances had been used by agricultural people. Since the end of 16th century, progress in nutrition, protection and food products has been made with the aid of chemistry. The author studies the beginning of the relationships between chemistry and agriculture.

Mots clés : *Histoire, agriculture, fertilisation, protection, alimentation.*

Key-words : *History, agriculture, fertilization, protection, alimentation.*

Depuis la fin de la préhistoire, les européens associent la chimie et l'agriculture, inconsciemment, dans leurs usages les plus sociaux : c'est une très vieille coutume européenne de présenter aux visiteurs du pain et du sel, symbole de bienvenue et gage de paix.

Au cours des siècles, des substances que nous définissons aujourd'hui en termes chimiques, le sel, la chaux, les cendres, l'alun, la fumée des feux de bois, etc. ont participé aux développements des techniques de production des produits agricoles, à leur protection contre leurs ennemis, à la transformation et à l'amélioration des aliments. Depuis deux siècles, la chimie permet l'inventaire des substances en cause et la recherche de nouvelles solutions aux problèmes nouveaux comme aux plus anciens.

La nutrition des plantes

Les anciens, observant le bon effet de l'humus qui donne aux terres un toucher onctueux, pensaient que les végétaux se nourrissaient de la graisse des sols. Il nous en reste le terme d'engrais et ses dérivés.

Vers 1560, Bernard Palissy observe des tas de fumiers dans un champ. Ils ont reçu de fortes pluies et, une fois enlevés, les plantes se développent remarquablement à leur emplacement. Il en déduit que ce sont les substances solubles dans l'eau (les « sels ») qui sont actifs et non la graisse qui n'est pas soluble.

On ignore, à l'époque, cette idée neuve et c'est seulement après 1620 que les savants reconnaissent que le problème le plus important de la science est « *le principe de la végétation* » (Francis Bacon) Ce fut aussi l'opinion de Claude Perrault (1666) et de Lavoisier (1792).

La réponse classique était : « La terre, l'eau, l'air et le feu » (les quatre éléments). Van Helmont (1577-1644) crut

montrer, par la méthode des bilans, d'ailleurs fort élégante, que l'eau était responsable de la croissance. Puis, Glauber (1643-1656) découvrit les qualités spectaculaires du salpêtre (NO_3K) et, enfin, Mariotte fit accepter que le feu devait être éliminé. On pensa pendant un siècle que le nitre, l'air, l'eau et la terre étaient les facteurs de la végétation. Des anglais montrèrent, au début du XVIII^e siècle, que des éléments terreux ou organiques étaient indispensables.

En 1762, Duhamel du Monceau (1700-1781) se garde bien d'aborder le problème. Lavoisier jette les bases solides de la chimie minérale, reprend le problème et, en 1792, le cerne dans un texte prémonitoire où il oppose oxydation-fermentation avec végétalisation-animalisation. Mais, en France, l'époque n'est pas favorable à ces recherches. C'est à Genève que Sennebier, Maurice, puis Théodore de Saussure (1804) montrent l'action de la lumière et la présence constante dans la composition des plantes de la potasse, de l'azote et du phosphore.

L'ignorance persiste, mais la théorie de l'humus de Wallerius puis d'Hassenfratz est soutenue aussi par Thaer, Davy et Berzelius. Leur autorité l'impose durant près de 40 ans.

L'honneur de la mise au point définitive revient à Justus Liebig qui participait, en 1837, au congrès de la British Association for Advancement of Science à Liverpool. Le congrès, animé par Faraday, lui demande de rédiger un ouvrage sur les relations entre l'agriculture et la chimie. C'est une demande collective qui a donc déterminé l'événement le plus important de l'histoire de l'agriculture.

Protection des organismes

Les paysans ont toujours cherché à protéger les plantes et les animaux contre leurs ennemis. Un des premiers faits historiques est la mission, que le gouvernement confie à Duhamel du Monceau et à Tillet vers 1759, de trouver les

Conférence

* 18, rue Tournefort, 75005 Paris. Tél. : 01.43.36.88.96.



Caricature de sir John Lawes, créateur de l'industrie des engrais, et fondateur de la première usine de superphosphates à Deptford dans la banlieue de Londres.

moyens de lutte contre un insecte ravageur : la teigne de l'Angoumois. La solution fut de tremper les semences dans des bains de divers sels, et de détruire ainsi les œufs de l'insecte. Cette technique fut appliquée à d'autres parasites.

Un siècle plus tard, en 1845, l'oïdium fait de gros dégâts dans les vignobles du midi. Ce champignon microscopique colonise les feuilles lors des printemps humides... Rose-Charmieux préconise le soufrage, mais c'est un jeune major de l'École centrale des Arts et Manufactures, Henri Marès (1820-1901), viticulteur près de Montpellier, qui résout le problème par l'emploi des pulvérisations de soufre. Vers 1855, la crise est jugulée.

La confiance acquise fut telle, qu'en 1873, quand le phylloxera fit son apparition, c'est Marès qui fut l'un des organisateurs de la lutte. Les chimistes essayèrent le phosphore, et Thénard Fils préconisa le PAI injecté sur du sulfure de carbone. Cette technique, chère, fut utilisée dans les vignobles de Bourgogne et permit de traiter 3,5 % des surfaces infectées. On sait que c'est la génétique qui résolut le problème avec les porte-greffe américains.

L'exemple était donné. Depuis plus d'un siècle, la chimie fait merveille pour la production des cultures. On y croît même trop parfois, mais ceci est une autre histoire.

La chimie alimentaire

La conservation et la transformation des produits agricoles en aliments ont été traditionnellement réalisées avec des méthodes physiques, biologiques et chimiques. Cuisson,

dessiccation, salaison, fumaison, concentration d'alcool, de sucre ou de sel, graisses ont été utilisées et le sont encore.

Les ouvrages récents de J. Adriant et de ses collaborateurs ont inventorié les multiples apports de la chimie à ces transformations.

Antoine Parmentier (1737-1813) a inauguré la « chimie alimentaire » avec l'ouvrage : *Étude chimique de la pomme de terre* dans lequel il n'y a pas de chimie au sens actuel du terme mais des références à ce que l'on appelle aujourd'hui les caractères organoleptiques.

Dans un ouvrage de Parmentier, écrit avec N. Deyeux en 1799, tous deux membres de l'Académie des sciences : *Expériences et observations sur les différentes sortes de lait considérées dans leurs rapports avec la chimie, la médecine et l'économie rurale*, la préface fait l'éloge du système métrique et lui prédit un brillant avenir. Mais les auteurs ne l'emploient pas car leurs travaux sont antérieurs. Cet ouvrage de près de 400 pages ne comporte pratiquement pas d'analyses chimiques mais traite de couleur, d'aspect et surtout d'odeur qui est la donnée caractéristique la plus utilisée.

Une série d'expériences est consacrée à la formation de la crème. Est-ce une réaction avec l'air ? L'emploi de vases d'ouvertures variées montre que la surface du lait n'est pas en cause, donc que le contact avec l'air n'y est pas non plus. Par contre, le repos persistant, la fraîcheur du lieu et le temps écoulé favorisent la formation de la crème en surface du volume de lait. Olivier de Serres l'avait dit deux siècles plus tôt, mais cette fois la démonstration est expérimentale.

Voici comment a commencé la chimie alimentaire. Ce qui est nouveau n'est pas la « chimie », mais la rigueur des démonstrations, la mise en œuvre d'un protocole expérimental rigoureux et la prudence des conclusions.

Progressivement, des techniques nouvelles auxquelles la chimie a fourni des éléments comme le sel, la chaux, etc. ont amélioré notre alimentation. Les conserves (stérilisation), la sucrerie et la malterie, le traitement du lait, du vin (hyposulfite), des boissons, etc. En 1853, Liebig, traitant de la viande par des acides faibles, prépare l'extrait qui fera sa popularité auprès des mères de famille.

C'est surtout au début du XX^e siècle avec les colorants, les produits conserveurs, les arômes artificiels, que la chimie a vraiment révolutionné l'alimentation. D'autres auteurs en parleront dans ce numéro.

A l'aube de la recherche agronomique

L'analyse chimique a de bonne heure valorisé les recherches. Rappelons les résultats de Th. de Saussure qui ont permis les travaux de Liebig. En 1841, lorsque sir John Lawes crée la station de Rothamsted, il prend comme adjoint le chimiste Gilbert. Cinquante ans plus tard, M. Berthelot consacre sa retraite à la station qu'il crée à Meudon et fait des analyses de végétaux. Müntz lui succède en 1906. Les stations agronomiques départementales (Nantes, 1851), dont l'INRA est l'héritier, ont des laboratoires de chimie depuis 150 ans. Les exemples pourraient être multipliés. Au point que l'hégémonie de la chimie agricole a peut-être été un frein à certaines recherches, comme celles sur la définition et l'inventaire des sols qui n'a

commencé en France qu'après 1930, avec un demi-siècle de retard sur la Russie et les États-Unis.

Les chimistes assurent le contrôle des « intrants » (eau, engrais, phytosanitaires...) comme des produits de l'agriculture. Ils analysent les échantillons en cours des recherches de toute nature et quantifient les résultats comme les différentes phases des expériences. Leur collaboration est constante et indispensable.

La connaissance précise des produits agricoles a permis leur synthèse ou celle de substances de remplacement. La chimie, comme le sabre de Monsieur Prudhomme, a donc servi l'agriculture, tout en la combattant au besoin.

Les carburants minéraux, comme l'électricité, ont considérablement réduit les besoins en chevaux de trait et en bœufs de labour. La production de viande et de lait est désormais l'objectif principal.

La production de fibres synthétiques a relayé celle de la laine et du coton. La résine des pins n'est plus récoltée, elle est remplacée par des produits de synthèse ; le bois lui-même est concurrencé par les matières plastiques. Dans bien d'autres domaines (pharmacie, parfums, édulcorants, etc.), la chimie fabrique des produits que l'agriculture fournissait jusqu'à maintenant.

Conclusion

La chimie peut donc surpasser la production naturelle de végétaux et d'animaux. Depuis des dizaines d'années, les futuristes nous prédisent, projettent ou nous menacent de nourritures artificielles sorties des usines chimiques.

Cela permettrait, dit-on, de nourrir les affamés ? On ne voit pas comment toutes les nations, qui en sont actuellement incapables, pourraient le faire, alors que technique-

ment l'agriculture pourrait subvenir aux besoins de seulement quelques milliards d'hommes en plus..., on ne voit pas comment ces pays seraient capables de se nourrir avec des produits chimiques.

En attendant ces lendemains bizarres, l'agriculture est capable, avec l'aide de la chimie, de produire une nourriture de masse et, pour les jours de fête, de nous régaler avec du foie gras, des poulardes de Bresse, du champagne, accompagnés de fruits et de fleurs aux saveurs et aux parfums délicieux, et quelques autres produits de luxe, dont je vous recommande, Mesdames et Messieurs, de profiter le plus possible.

Bibliographie

- Adriant J., *Les pionniers français de la science alimentaire*, Lavoisier Paris, **1994**, 323 pages.
 - Adriant J., Pottus J., Frangne R., *La science alimentaire de A à Z*, 2^e édition, Lavoisier Paris, **1885**, 477 pages.
 - Agriculture raisonnée - Quelle place pour la chimie ?, *Ingénieurs de la vie* (Les cahiers des ingénieurs agronomes INAPG), **1999**, n° 44 avril-mai.
- Ce numéro ciblé de la revue des anciens ingénieurs agronomes contient :
- . Aftalion F., *Histoire de la chimie*, Masson Aris, **1988**, 384 pages.
 - . Boulaine J., *Histoire de l'agronomie en France. De moins huit mille à nos jours*, 2^e édition, Lavoisier Paris, **1996**, 432 pages.
 - . Boulaine J., Legros J-P., *D'Olivier de Serres à René Dumont - Portraits d'agronomes*, Lavoisier Paris, **1998**, 320 p.
 - . Cronney J., *INRA, 50 ans d'un organisme de recherche*, INRA Paris, **1996**, 519 p.
 - . Grison P., *Chronologie historique de la zoologie*, **1992**, INRA ; *La recherche agronomique dans le monde du XXI^e siècle*, INRA Paris, **1996**, 345 pages.
 - . Wojtkowiak B., *Histoire de la chimie*, Lavoisier Paris, **1888**, 243 pages.



D.R.

Nourrir 10 milliards d'humains Imaginer les solutions pour demain

Contribution de la protection des plantes et biotechnologies

Jean-Pierre Decor* directeur scientifique Aventis Agriculture, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Summary : *Feeding mankind today and tomorrow. Contribution of the chemistry to human nutrition*

The evolution of the situation can be summarized as follows :

- continuous increase of the world population with approximately 8.2 million of people in 2025,
- consumers more and more concentrated in big cities far from agricultural area of production,
- arable land in continuous decrease.

In order to face these issues, the only solution is to intensify agriculture.

Chemicals products for crop protection and application technologies are on the way to be drastically improved. Plant biotechnologies are also considered as a new tool to facilitate the fields under cultivation (input traits) and to improve the quality of the crop (output traits). A new concept for agriculture is in development.

Mots clés : *Produits de protection des plantes, techniques d'applications, biotechnologies végétales, riz, blé, vitamine A.*

Key-words : *Plant protection products, application technologies, plant biotechnologies, rice, wheat, vitamin A.*

Grandes tendances

Selon la FAO (Food and Agriculture Organization), à l'horizon 2025 la terre comptera 8,2 milliards d'habitants.

L'augmentation du pouvoir d'achat s'accompagne d'un transfert de l'alimentation humaine des protéines végétales vers les protéines animales. Or, 1 kg de protéine de porc nécessite 4 kg de protéines végétales. Pour le bœuf, le facteur est de 8.

Ainsi, si chaque Chinois augmente sa consommation de viande de 1 kg de bœuf/an, soit 10^6 tonnes, il faudra produire 8.10^6 tonnes de grains. Avec un excellent rendement de 10 t/ha, cela mobiliserait 800 000 ha !

Comment nourrir une telle population alors que la superficie des terres cultivables est limitée ?

En 1970, 0,5 ha de terre arable était disponible pour nourrir un humain, en 2025, cette surface ne sera plus que de 0,2 ha !

Pour résoudre le défi alimentaire du XXI^e siècle, une seule solution : augmenter le rendement et la qualité des cultures agricoles, tout en préservant durablement le potentiel des terres arables par nature limitées.

Concrètement, cela signifie imaginer de nouvelles solutions à la fois plus efficaces et respectueuses du milieu naturel.

Mais c'est aussi voir au-delà du seul produit : trouver des solutions nouvelles pour les cultures adaptées à chaque pays, à chaque région, voire à chaque parcelle.

Des solutions innovantes associent la protection chimique, le recours aux biotechnologies, de nouvelles techniques culturales, une gestion plus fine de l'ensemble des « intrants » : eau, engrais, produits phytosanitaires...

C'est la notion d'agriculture intégrée.

L'évolution des produits de protection des cultures

Les matières actives

Ces produits sont des molécules des-

tinées à protéger les cultures contre les adventices, les ravageurs et les maladies.

En ce qui concerne leur mise sur le marché, les exigences réglementaires évoluent selon les trois orientations suivantes :

1 - impact de plus en plus réduit sur l'environnement, que ce soit au niveau de la présence des matières actives dans l'eau, la durée de vie dans le sol, les effets secondaires possibles sur la flore ou la faune ;

2 - des conditions d'application minimisant l'exposition des travailleurs mettant en œuvre ces matières actives ;

3 - une teneur de résidu la plus faible possible dans les produits de consommation.

Il a été possible d'augmenter le niveau de ces exigences grâce aux progrès constants qui ont été réalisés en 50 ans par la recherche. Ils sont principalement de quatre ordres :

1 - La réduction des doses appliquées :

De plusieurs kilos hier, les doses employées sont de quelques grammes aujourd'hui. Les chiffres parlent d'eux-

Conférence

* Aventis Agriculture, 55, avenue René Cassin, 69009 Lyon.
Tél. : 04.72.85.48.03. Fax : 04.72.85.48.02.
E-mail : Jean-pierre.Decor@aventis.com

mêmes : le fipronil par exemple est efficace à partir de 6 grammes à l'hectare sur certains insectes nuisibles alors que sur ces mêmes insectes il fallait, pour les contrôler, des doses de 1 à plusieurs kilos à l'hectare.

2 - La connaissance des mécanismes biochimiques permet de sélectionner des molécules ayant un mode d'action spécifique des parasites à contrôler et de pratiquer des tests de toxicologie prédictive permettant d'éliminer à un stade précoce les molécules avec des effets potentiels indésirables.

3 - Les méthodes d'analyse de plus en plus précises permettent d'avoir une connaissance des microquantités de résidus. Les colonnes d'immuno affinité, basées sur l'utilisation d'anticorps monoclonaux, permettent de quantifier des millièmes de milligramme. Ainsi, on peut garantir et mesurer des marges de sécurité de 1 000 et plus entre la dose sans effet déterminée par les études toxicologiques et la limite maximale de résidus acceptable.

4 - Enfin, des modélisations sophistiquées prédictives permettent d'anticiper et d'éviter des effets secondaires potentiels avant la mise en œuvre effective des produits.

Le développement de la chimie combinatoire ainsi que le criblage à très haute capacité, grâce à la miniaturisation et la robotisation, contribuent à accélérer ce processus.

Les techniques d'applications

Trois progrès majeurs ont été réalisés durant cette dernière décennie pour positionner les produits là où il faut quand il faut, et juste ce qu'il faut.

Protéger les graines avant le semis

C'est un traitement approprié contre les insectes et les champignons. Les connaissances sur la germination, la mise en œuvre d'enrobages spéciaux, la découverte de pesticides adaptés permettent de réaliser cette protection et d'assurer un excellent départ de la culture.

Introduire le produit dans le « cœur » de la plante à protéger

C'est une méthode particulièrement

originale ; elle est développée par RP Agro sur bananier. Un sachet soluble d'insecticide de quelques grammes est introduit dans le tronc du bananier. Cette matière active diffuse dans la plante et la protège pendant tout le cycle de production. Les quantités de produit utilisé sont réduites de l'ordre de 80 % par rapport à un épandage de granulés. Les rendements sont accrus de 10 à 15 % et il n'y a plus de risque de pollution aquatique ni de lessivage.

Attirer l'insecte à détruire plutôt que de traiter tout le champ à protéger

Pour les insecticides, une nouvelle voie se dessine, celle de l'appât. Ainsi, chez certains insectes, on leurre le mâle par une odeur artificielle identique à celle émise par la famille. L'odeur est diffusée par un gel contenant également l'insecticide. Cet appât épargne les insectes non nuisibles. Ainsi, pour le carpocapse, papillon dont le ver se développe dans les fruits, trois gouttes par arbre suffisent...

Des études se poursuivent pour des traitements de cultures plus précis, plus respectueux du milieu naturel et plus sûrs pour l'utilisateur.

Le développement du diagnostic permet de traiter le ou les parasites à combattre avec des produits spécifiques à partir d'un certain seuil de nuisibilité.

Dans toutes ces approches, on considère la plante comme un substrat inéluçable et toutes les modifications, transformations, améliorations sont faites sur la chimie.

Les biotechnologies

Appliquées au végétal, elles sont un formidable facteur de progrès et permettent de modifier cet état de fait. Celles-là, considérées il y a 25 ans seulement comme une utilisation des « êtres vivants » pour des procédés de production ont permis, durant les 2 dernières décennies, les progrès scientifiques suivants :

- l'association d'un gène à une fonction biologique dans l'organisme vivant ;
- le clonage, c'est-à-dire la multiplication de ces gènes à l'infini ;
- leur transfert d'un organisme à un autre ;

- la modification du gène à volonté par toute une série de réactions ;
- son fonctionnement « in vivo » dans un être vivant hôte.

Ces progrès ont 2 utilisations possibles :

- l'amélioration de l'efficacité de la recherche de nouvelles manières actives,
- la modification du vivant pour optimiser les matières actives disponibles par transfert de gène dans les cultures et aussi pour permettre au végétal de se protéger lui-même.

Application des biotechnologies pour la recherche de nouvelles matières actives

La connaissance du génome, de la fonction des gènes pour les plantes, les insectes ou les champignons phytopathogènes permet d'améliorer l'approche empirique.

De plus, la prédiction de la dégradation des molécules par l'utilisation d'enzymes humaines produites « ex vivo » ou par l'utilisation de souris transgéniques « humanisées » permet d'anticiper leurs effets potentiels sur l'homme et d'effectuer un tri précoce.

- Ainsi, par diverses techniques de biologie moléculaire, on peut cibler des voies métaboliques spécifiques du règne végétal pour la recherche d'herbicides parfaitement inoffensifs.

- La connaissance de la génomique des insectes (*C. elegans*, drosophile), comparée à la génomique mammifère, doit permettre un criblage différentiel insecte-mammifère « in vitro » pouvant conduire à des insecticides extrêmement sélectifs.

- En ce qui concerne le contrôle des champignons pathogènes, deux approches sont à l'étude : à partir de la génomique, l'inhibition de fonction vitale conduit à des fongicides de spectre d'activité large, alors que la perturbation de fonctions pathogènes, comme l'émission de toxine ou le blocage de la pénétration conduit à des molécules fongistatiques spécifiques.

Modification du végétal par transgène

C'est la grande utilisation des biotechnologies, aussi bien par les sociétés

agrochimiques que les sociétés de semences.

Elles ont un formidable potentiel de développement dans les domaines suivants :

- la protection contre les mauvaises herbes et les ravageurs,
- l'amélioration de la qualité et de la valeur d'usage des récoltes,
- leur adaptation à l'environnement comme la sécheresse, le froid ou la salinité.

L'introduction de la tolérance à un herbicide est un exemple particulièrement illustratif des progrès réalisés.

Quelques exemples

Augmentation des rendements des cultures dans leurs bassins naturels

Le riz

- Le riz est une des plus grandes cultures de notre planète. La consommation mondiale de riz est estimée à 550 millions de tonnes. Pour faire face aux besoins, elle devrait atteindre 700 millions de tonnes en 2010.

- Avec une superficie cultivée qui se stabilise à 150 millions d'hectares, l'Asie représente 90 % de la consommation mondiale.

- L'augmentation des rendements sur

le court terme sera assurée par une diminution des pertes dues aux maladies, comme la pyriculariose, par une protection plus large et par le développement d'hybrides.

Amélioration de la valeur nutritionnelle des cultures

Exemple : la vitamine A, une molécule indispensable à la vie 50 ans de progrès

1950

Extraction de l'huile de foie de poissons

1960

Synthèses industrielles totales à partir de la β -ionone, myrcène...

1980

Étude de la voie de biosynthèse du β -carotène précurseur de la vitamine A.

1990

Identification des gènes impliqués dans cette voie de biosynthèse.

Clonage de ces gènes dans les jonquilles.

Insertion des gènes de jonquilles dans le riz.

Valorisation des constituants des récoltes

Exemple : le blé, un grain qui a de multiples valeurs ajoutées

Son

Pentosanes

- Agents gélifiants
- Xylose : utilisé comme édulcorant d'arôme

Extraction de fibres

- Gels alimentaires pour crèmes glacées
- Gels pour soin des brûlures

Extraction de protéines

Farine (farines fonctionnelles)

- Substitut de matière grasse
- Substitut de stabilisant
- Effet de bouche

Amidon

Modification de l'amidon branché (amylopectine)

- Stabilité des sauces à la congélation/décongélation
- Allongement de la durée de vie des produits de panification

Gluten

Modification de l'amidon linéaire (amylose)

- Amélioration du croustillant des chapelures

Modification du gluten

- Amélioration de la panification

Germe

Extraits lipidiques (céramides)

- Crèmes cosmétiques.



D.
R.

De Mege-Mouriès aux margarines d'aujourd'hui

Jean Klere* président, François Mordret* conseiller scientifique

Summary : *From Mege-Mouries to today margarines*

The history of margarine started with its invention by Mege-Mouries is briefly related here with the different steps of evolution. It is a right illustration of the innovation power that the fat industry have shown for more than one hundred and thirty years to offer to consumers and users first a basic food and now a variety of products that are able to come up to different kinds of needs in term of nutrition and applicability.

Mots clés : *Margarine, histoire, utilisations.*

Key-words : *Margarine, history, uses.*

L'invention de la margarine

Hippolyte Mege-Mouriès (1817-1880), après un apprentissage et des études de pharmacie, est reçu à vingt et un ans au concours de l'Internat et rentre alors à l'Hôtel-Dieu à Paris. À côté de l'activité quotidienne, très tôt il entreprend et réalise des travaux originaux dont les résultats font l'objet de communications puis sont exploités, aboutissant à de nouvelles préparations pharmaceutiques : vermifuge, dragées effervescentes, copahine... Il se tourne ensuite vers l'industrie et l'hygiène alimentaire, avec des recherches sur le pain, les graisses, le sucre, les légumes.

Comme bien souvent dans le domaine de la création scientifique, l'invention de la margarine par Mege-Mouriès en 1869 apparaît comme étant la fructueuse conjonction de différents facteurs : une **forte incitation gouvernementale** avec, en 1866, l'organisation d'un concours pour « découvrir un produit propre à remplacer le beurre... d'un prix de revient modique... pouvant se conserver » ; la nécessité de répondre à un **réel besoin nutritionnel** des classes laborieuses en fournissant un aliment énergétique, accessible ; **l'intérêt d'un chercheur pour ce projet**, lui-même ayant déjà fait ses preuves en sachant tirer profit de l'observation, de la réflexion, de

l'expérimentation et, par ailleurs, doté d'esprit pratique (communications, prise de brevets) ; le haut niveau que connaît la **chimie des corps gras en France** au milieu du XIX^e siècle avec les travaux de Chevreul sur les acides gras et ceux de Berthelot sur la glycérine, chimie ayant du reste sa place dans la pharmacie de l'époque (huiles, graisses, cires, crèmes, onguents...).

Le brevet pris pour quinze ans, le 15 juillet 1869, fait état d'un procédé « pour la production de certains corps gras d'origine animale ». Une usine est installée à Poissy et produit du « beurre économique » dénommé par la suite « margarine Mouriès » pour éviter toute confusion avec le beurre.

En analysant le processus d'élaboration du beurre, Mege-Mouriès déduit d'abord que la matière grasse (MG) lai-

tière provient de la graisse de constitution de l'animal (suif) qui en utilise la fraction la plus saturée (stéarine) dans son métabolisme, alors que la moins saturée (oléine) passe dans le lait. Ensuite, la transformation de la crème en beurre par barattage correspond à inverser le sens de l'émulsion (passant de H/E à E/H). Enfin, la tenue de l'émulsion est assurée par des substances issues des glandes mammaires (*figure 1*).

Le premier « beurre économique » a donc une phase lipidique majoritaire, constituée de suif fractionné (oléine), une phase aqueuse (lait écrémé, eau), enfin un émulsifiant (extrait soluble mammaire) ce qui, après barattage, donne un produit alimentaire de consistance onctueuse, tartinable, digeste, d'usage universel et bon marché comme le rappelle J. Cheymol [1].

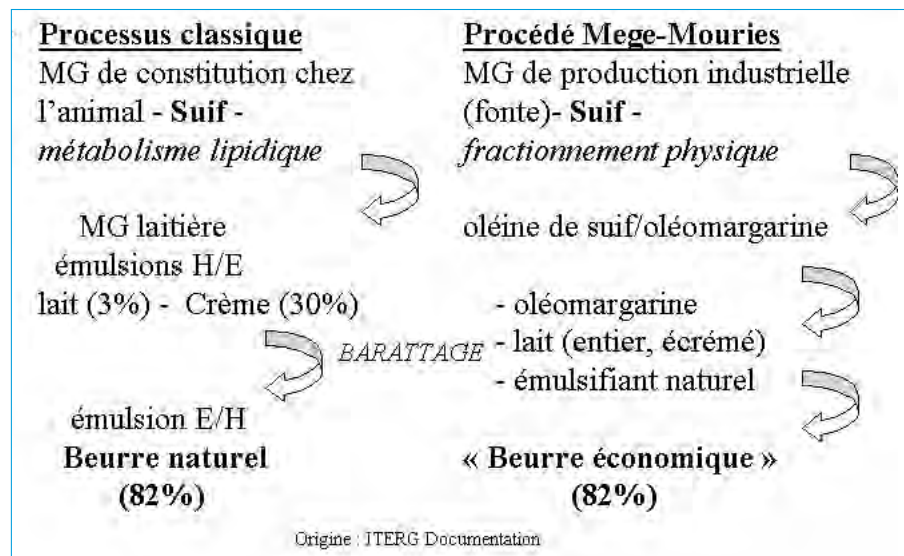


Figure 1 - L'invention de la margarine.

Conférence

* Institut des Corps Gras (ITERG),
rue Monge, Parc Industriel, 33600 Pessac.
Tél. : 05.56.36.00.44. Fax : 05.56.36.57.60.
E-mail : iterg@wanadoo.fr

Le développement industriel du produit

L'objectif était donc atteint, mais la situation politico-économique en France (guerre de 1870-1871) va compromettre pour des années le développement de cette industrie naissante dans notre pays. En contrepartie, suite à la vente des brevets, elle va connaître un grand essor en Europe (**Pays-Bas**, Allemagne, Pays scandinaves puis Grande-Bretagne) et aux États-Unis.

Cependant, un frein à l'expansion apparaîtra assez vite avec la disponibilité en quantités limitées du suif, ce qui impliquera que l'on puisse utiliser d'autres corps gras, à condition qu'ils présentent naturellement (*figure 2*), ou suite à transformation, les qualités physico-chimiques requises (consistance).

La **technologie de l'huilerie**, avec le procédé d'**hydrogénation** des huiles et graisses mis au point par Normann en 1902, apportera une réponse satisfaisante pour enrayer cette pénurie, en permettant de transformer des huiles végétales ou marines ainsi que des graisses semi-fluides en corps gras concrets de caractéristiques définies, augmentant ainsi considérablement les quantités et les variétés de matières premières disponibles.

La nécessité d'utiliser des huiles de qualité supérieure pour les soumettre à l'hydrogénation induira de nombreux progrès au niveau des opérations et techniques de **raffinage des corps gras**, de même les procédés de **fractionnement** seront améliorés ; enfin, plus récemment, la mise au point de procédés d'**interestérification** (par lesquels on change la répartition des acides gras sur le glycérol, ce qui s'accompagne d'une modification des

Emulsion alimentaire (E/H) résultant de la dispersion de deux phases :

● Phase continue	⇒	Phase grasse	80%
● Phase dispersée	⇒	Phase aqueuse	20%

La phase grasse est composée d'un mélange d'huiles, de corps gras concrets et d'additifs tels que : émulsifiant, colorant, diacétyl...

La phase aqueuse est composée d'eau, de produits laitiers et d'additifs tels que : sel, agent conservateur, agent acidifiant...

Origine : ITERG Documentation

Figure 3 - Margarine : définition et composition.

propriétés rhéologiques du corps gras) va offrir aussi de nouvelles possibilités.

La phase aqueuse, pouvant être de l'eau, sera le plus souvent constituée de lait pasteurisé etensemencé en ferments lactiques propres à développer des composés d'arôme analogues à ceux trouvés dans le beurre. Comme émulsifiant, le jaune d'œuf, peu stable, a été remplacé par la lécithine d'œuf puis celle de soja et enfin par des monoglycérides. Quelques additifs sont autorisés (sel), voire même imposés (amidon en tant que marqueur). La définition et la composition de la margarine sont données à l'aide de la *figure 3*.

La **technologie de fabrication de la margarine** va évoluer. Le procédé de Mege-Mouriès relevait de la technologie laitière. Cependant, compte tenu de l'utilisation de nouvelles matières premières, de la nécessité de mieux contrôler les différentes étapes de la fabrication du produit, une technologie propre à la margarinerie s'est développée avec des procédés discontinus, semi-conti-

nus, continus. Dans les **procédés discontinus**, quatre opérations se succèdent : émulsification, stabilisation ou cristallisation, malaxage et enfin conditionnement.

Dans les **procédés continus**, les trois premières opérations précitées sont réalisées simultanément dans un refroidisseur tubulaire (Votator). Les progrès au niveau du conditionnement ont porté sur les machines à emballer et sur l'amélioration des matériaux d'emballage. On se reportera avec profit à l'ouvrage de Van Stuijvenberg [2].

L'**aspect réglementaire** a toujours été omniprésent. À l'origine, une réglementation sévère, voire discriminative, devait permettre de distinguer sans ambiguïté la margarine du beurre (identification et contrôle des lieux de production, emballage et étiquetage du produit, règles d'entreposage et présentation à la vente). Celle-ci s'est assouplie depuis quelques années avec les excédents de production de beurre, la mise sur le marché de produits mixtes et, enfin, une prise de conscience tardive de la complémentarité des deux produits et non de leur concurrence.

Les margarines aujourd'hui

La margarine, ou plutôt les margarines d'aujourd'hui, n'ont que peu à voir avec le produit inventé et mis au point il y a cent trente ans, excepté peut-être la dénomination. Alors qu'à l'époque « la margarine Mouriès » avait pour but d'apporter remède au déficit quantitatif (calories) de la ration ali-

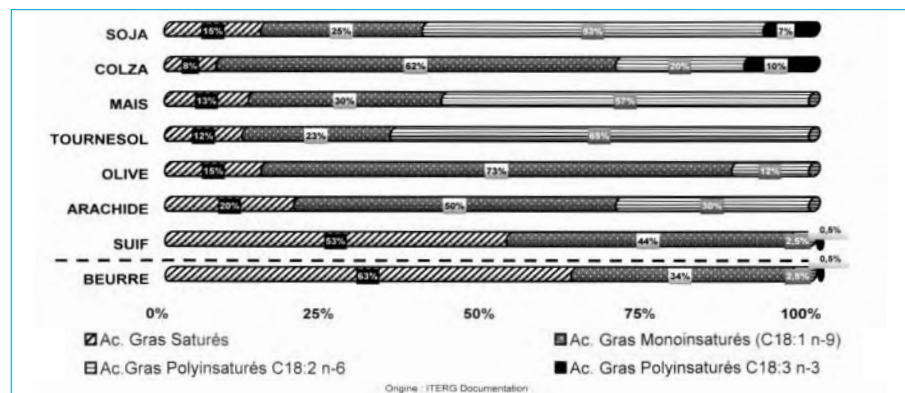


Figure 2 - Composition en acides gras de quelques corps gras.

mentaire, l'évolution du niveau de vie et celle de la société font qu'aujourd'hui les margarines (*tableau I*) sont confrontées à d'autres impératifs :

- répondre aux besoins d'usage du consommateur, qu'il s'agisse d'utilisation individuelle (tartines) ou ménagère (cuisson, pâtisserie...);

- satisfaire à des exigences nutritionnelles, en particulier en terme d'apport d'acides gras essentiels et de vitamines liposolubles ;

- être adaptées à des utilisations spécifiques (applicabilité) à la demande des industries agro-alimentaires pour accompagner leur démarche de recherche et développement d'aliments nouveaux ;

- offrir des caractéristiques organoleptiques satisfaisantes (couleur, flaveur, texture) ainsi qu'une très bonne aptitude à la conservation ;

- rester d'un prix attractif.

Pour atteindre ces résultats, l'industrie de la margarinerie a fait preuve d'imagination, de rigueur et de persévérance. Le choix des matières premières grasses, tant en ce qui concerne leur nature, leurs propriétés, leur qualité et leur coût, a dû être optimisé. Cette démarche se prête bien à la modélisation (*figure 4*). Par exemple, s'intéressant davantage à l'aspect nutritionnel, c'est le rapport des acides gras poly-

Tableau I - Composition en acides gras de corps gras alimentaires.

Produits	Saturés	Monoinsaturés	Polyinsaturés	dont essentiels
Margarines « standard »	25 à 65	25 à 65	5 à 20	5 à 18
Margarines tartinables	26 à 35	28 à 41	21 à 27	21 à 24
Margarines « santé »	15 à 20	32 à 37	39 à 51	39 à 51
Beurre	59 à 65	20 à 38	3 à 5	1,5 à 3,5

Origine : ITERG Documentation

saturés et des acides gras saturés (AGPI/AGS) qui sera pris en compte alors que, pour la consistance et donc l'applicabilité à une température donnée, c'est le rapport acides gras saturés et acides gras totaux (AGS/AGT) qui est à considérer avec, pour contrôle, la détermination de la teneur en solide ou « Solid Fat Index » (SFI) par RMN. Par ailleurs, des travaux importants ont été réalisés sur la phase aqueuse (choix des laits et desensemencements) pour améliorer l'aromatisation. Enfin, il faut rappeler qu'une connaissance approfondie et une bonne maîtrise de l'**émulsion**, reposant sur un savoir-faire, une technologie moderne et des moyens de contrôle puissants sont autant de gages de qualité et de bonne conservation des produits.

D'un point de vue économique et selon la Chambre Syndicale de la Margarinerie [3], en 1997, la consommation estimée de margarines en France aura été de 216 000 tonnes (et

de 485 000 tonnes pour le beurre), soit de 3,6 kg/h.an, c'est-à-dire une quantité beaucoup plus faible que par exemple celle calculée pour le Danemark avec 16,74 kg/h.an, en rappelant qu'il s'agit là d'un pays à fort pouvoir d'achat... et, de plus, grand producteur de produits laitiers ! En terme d'évolution des produits commercialisés, les industriels tiennent compte en permanence de différents facteurs : la réglementation, les résultats de la recherche, les recommandations nutritionnelles, la réalité des consommations, les évolutions technologiques, la réaction des consommateurs.

Conclusion

Si à l'origine la margarine se proposait d'imiter le beurre, aujourd'hui, ce n'est plus le cas.

Les margarines, en tant que produits modernes, à forte capacité évolutive, doivent répondre à des besoins nutritionnels et fonctionnels et donc correspondre aux attentes des consommateurs et à celles des utilisateurs en alliant qualité, santé, plaisir.

Références

- [1] Cheymol J., A propos du Centenaire de la margarine. Communication présentée à l'Académie de pharmacie le 04/02/70 ; Extrait du *Bulletin de l'Ordre des Pharmaciens*, 1970, n° 128.
- [2] Van Stuijvenberg J.H., *La Margarine, Histoire et évolution*, Dunod Paris, 1969.
- [3] Chambre Syndicale de la Margarinerie, Assemblée générale du 23/06/99, Activité économique, 1999.

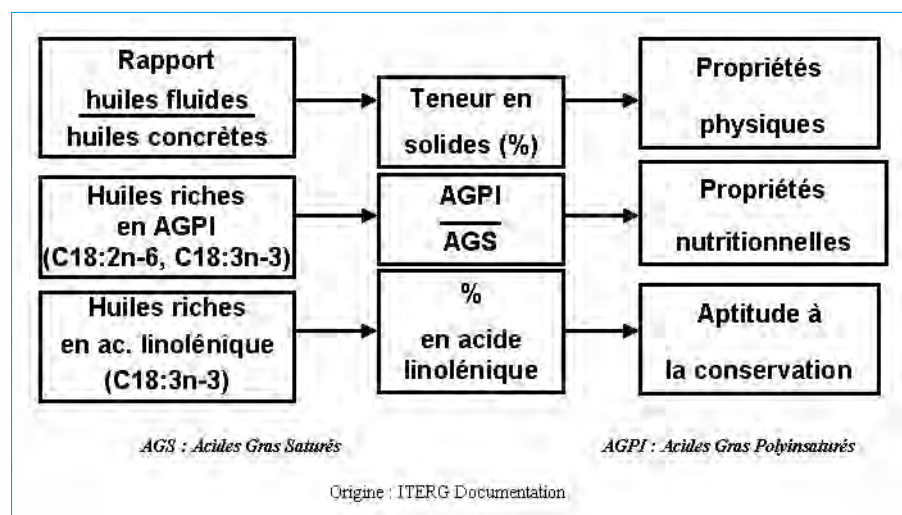


Figure 4 - Margarines : critères de formulation.

Apports de la chimie dans les saveurs

Jean-Noël Jaubert* professeur

La saveur de nos aliments n'est pas une simple frivolité ou un luxe pour flatter notre hédonisme mais joue le rôle d'un véritable partenaire de notre alimentation. Elle fournit non seulement le moyen d'identification et les bases du contrôle-qualité, mais encore elle sert de clé à la mise en route de fonctions somatiques ou de réactions plus cérébrales et à portée plus lointaine.

La saveur se définit comme l'ensemble des caractéristiques organoleptiques des aliments perçues par les systèmes sensoriels olfactifs et gustatifs, qui sont donc des chimiorécepteurs. La connaissance et l'intervention de saveur ne peuvent donc que se tourner vers la chimie pour progresser et préparer l'avenir.

L'alimentation humaine se trouve confrontée à un développement sans précédent d'une espèce de taille importante sur terre : 6 milliards à ce jour, peut-être 9 dans cinquante ans. Ceci entraîne une « immobilisation » d'atomes de carbone sans pareil eu égard au « volume tournant » nécessaire à faire une vie et le lent « cycle du carbone ». Ce phénomène exige donc une rotation de plus en plus rapide, à la grande satisfaction des impératifs économiques. Sans avoir encore atteint le peut-être prophétique « soleil vert », la gestion du cycle de notre alimentation passe par des raccourcis capables de bouleverser les habitudes de la nature : n'a-t-on pas vu nos braves mammifères herbivores dévorer les restes de leurs congénères, même s'ils étaient réduits à l'état de farine ?

Piochant dans ses ressources accumulées depuis ces deux derniers siècles, et rassemblant les données assemblées dans le passé, la chimie, base de toute la science de la matière et de la vie, a été et sera largement mise à contribution.

La connaissance de la saveur

La perception de la saveur fait appel à deux espaces distincts :

- La gustation qui siège dans la muqueuse buccale et s'adresse à des molécules en solution et pouvant réagir sur quelques types de capteurs spécifiques. Ce sont les saveurs perçues par le sens du goût.

- L'olfaction qui occupe sans conteste la place essentielle et qui concerne les capteurs situés dans les fosses nasales, et dont il existe une multitude de variétés. L'aspect olfactif est le plus souvent et à tort pour le physiologiste, dénommé le goût par le public.

Les mécanismes de perception

Qu'ils fassent appel à des notions de physiologie ou de biochimie, les mécanismes de perception des saveurs ne peuvent se passer de la chimie.

Les aspects sapides n'ont pas embarrassé nos ancêtres car ils pouvaient les rattacher à des éléments matériels dont le contact (et la vue) fournissait un complément d'information sensorielle. En revanche, les aspects olfactifs ont rempli tout l'imaginaire, les croyances et les mythes de leur apparente immatérialité. C'est Vogel qui mettra concrètement fin à ce mystère avec l'identification, en 1818, du benzaldéhyde qui se trouvera justement affublé du qualificatif « aromatique ».

Cette matérialité établie du stimulus olfactif était un pas indispensable à l'ouverture quelques décennies plus tard de recherches sur l'olfaction.

Si l'interaction entre la molécule stimulante et le point sensible de la protéine réceptrice n'est pas encore connue, cela laissera une vaste place aux chercheurs de demain. Les moyens d'investigations ont cependant permis de connaître cette molécule et les enchaînements, d'une part, des réactions qui suivent.

La nature des molécules actives

De quelques centaines au début du siècle, nous pouvons estimer que le catalogue des molécules odorantes est passé à environ 50 000. Pour les saveurs, nous sommes passés de quelques-unes à quelques dizaines.

Les connaissances de la chimie ont en parallèle permis de préciser la nature des molécules et d'évaluer les caractéristiques intervenant en tant que stimulus. Des approches globales et des approches spécifiques offrent des investigations intéressantes de la relation entre la structure et l'activité au niveau sensoriel des molécules.

Le rôle de ces substances dans l'alimentation n'est pas ramené à celui de simple accessoire esthétique. En effet, non seulement elles servent de moyen de reconnaissance et de contrôle (activité qui devient discutable pour les aliments reconstitués) mais encore, elles interviennent sur la digestibilité et sur des mécanismes plus élaborés tels que la régulation pondérale et, bien sûr aussi, au niveau de la satisfaction de l'homme.

La maîtrise de molécules actives

Besoins globaux

La demande croissante de produits alimentaires exige une disponibilité plus importante de molécules utiles et demande donc une production la plus rapide possible. La synthèse est le chemin le plus court et le plus performant que nous puissions indiquer.

Si les chimistes ont pu proposer quelques molécules au siècle dernier, les possibilités sont pratiquement infinies actuellement et les possibilités de se rapprocher au mieux des habitudes humaines s'accroissent : les synthèses asymétriques offrent tout un espace intéressant.

Les apports s'enrichissent encore par les meilleures capacités de conservation

Conférence (résumé)

* Laboratoire de chimie, Faculté des sciences, Université du Havre, 25, rue Philippe Lebon, 76600 Le Havre. Tél. : 02.32.74.43.95.

de ces molécules, soit parce qu'elles sont séparées de milieux sensibles, soit par l'emploi de conservateurs.

Pendant ce temps, l'esprit humain a su appréhender l'art ou la science du combinatoire de ces molécules pour reconstituer des images attendues. C'est toute la mission des aromaticiens.

Analyse et contrôle

Les moyens analytiques ont été essentiels au développement de la chimie des molécules sapides et surtout odorantes.

Des simples dosages chimiques aux techniques récentes (RMN, FTIR...), en passant bien sûr par des techniques de séparation qui ont fait faire un véritable bond en avant (nous pensons en particulier à la chromatographie liquide gaz de James et Martin en 1952), les chimistes n'ont pas cessé d'apporter une solide contribution. Les besoins et les exigences qui vont de pair à la fois avec une imagi-

nation moins féconde et un souci de la précision, demandent à connaître de plus en plus finement notre alimentation et ses composantes organoleptiques. Les substitutions sont de plus en plus soignées.

Toutes les techniques disponibles pourraient sans aucun doute être citées car elles ont toutes apporté ou apporteront un plus au monde des saveurs.

De plus, dans notre monde qui engage de plus en plus la responsabilité de tous ceux qui apportent quelque chose à un public de plus en plus vaste, les possibilités de contrôle deviennent primordiales. Qui pouvait résoudre ce problème en dehors de la chimie et de ses diverses spécialités ?

Conclusion

Bien qu'opposée dans l'esprit du public à la notion indéfinissable de « naturel », la chimie est la base même du monde, et du vivant en particulier. Ni

la nourriture des humains, ni sa composante la saveur, ne sauraient lui échapper. Les professionnels de ce secteur sont en prise directe avec les molécules, leur synthèse, leur contrôle, leur combinaison ou leurs effets sur les récepteurs spécifiques.

Les besoins alimentaires croissants, le souci de sécurité et la quête de la précision des substitutions exigent de plus en plus de compétences, de connaissances et de moyens techniques qui vont solliciter le monde de la chimie.

Nous ne pouvons pas dire avec précision ce que sera l'avenir des saveurs entre le poids de l'économie, le rôle des commerciaux et les initiatives des services marketing, mais nous sommes certains que quelle que soit la mode qui arrive, la saveur de nos aliments gardera sa place et, par là-même, la chimie est encore appelée à occuper une grande place dans notre alimentation.



Protection chimique des cultures et sécurité alimentaire

Marc Buys* conseiller scientifique

Disposer d'une nourriture en quantité suffisante est la première condition à satisfaire pour bénéficier de la sécurité alimentaire. Il y en a d'autres, mais si cette première condition n'est pas remplie, il n'y a pas de sécurité alimentaire. Les autres conditions sont peut-être plus difficiles à hiérarchiser : il faut que l'alimentation soit variée, équilibrée et saine. La protection chimique des cultures a des conséquences, au moins potentielles, sur chacun des critères évoqués ci-dessus. Ce sont ces conséquences que l'on s'efforcera d'analyser ici.

Manger suffisamment

Des épisodes locaux et saisonniers pourraient laisser penser que l'on produit trop d'aliments (France, fruits et légumes, été 1999). Ils ne doivent pas faire perdre de vue les tendances de fond et des réalités incontournables, quelle que soit l'échelle à laquelle on pose le problème de l'adéquation entre la production alimentaire et les besoins.

Au niveau mondial, la population est passée de 5 milliards en 1987 à 6 milliards en 1999 : 20 % d'augmentation en 12 ans ! Dans le même temps, les surfaces cultivées stagnent, ou régressent même. De toute façon, elles n'augmentent pas et n'augmenteront pas de façon significative. L'équation est simple, et sa solution tout aussi simple : on a pu, grosso modo, faire face à la demande croissante au cours du dernier demi-siècle par une augmentation de la productivité agricole, et cela doit continuer, ne peut que continuer. Cela dit, l'augmentation de la productivité globale ne doit pas nécessairement exclure des rééquilibrages : la productivité doit

d'abord être augmentée là où elle est actuellement particulièrement faible.

La sélection variétale, la fertilisation, l'irrigation, la mécanisation et la protection des cultures sont les principaux moyens qui ont permis cette augmentation de la productivité qui était indispensable. Sans exclure pour le futur des rééquilibrages en fonction des progrès techniques et scientifiques dont chacun de ces moyens bénéficiera, ils sont et resteront pour longtemps encore les armes dont l'humanité a besoin pour faire face au défi qui lui est posé. La protection des cultures y a sa part. Le fait qu'elle ait été citée en dernier ne signifie pas qu'elle ait la contribution la plus faible. Il n'est pas nécessaire de tenter de mesurer sa contribution par rapport aux autres moyens cités pour conclure qu'elle est et restera incontestablement positive.

S'il y a suffisamment à manger pour tout le monde, cela ne veut pas dire que chacun mange à sa faim, et il n'est pas nécessaire de voyager loin pour le constater. La condition « manger suffisamment », pour être satisfaite aussi au niveau de l'individu, suppose que la nourriture soit abordable. Productivité et coût sont évidemment liés, et ce qui améliore la productivité (entre autres la protection des cultures) réduit les coûts. Il est utile de le souligner à l'heure où il est à la mode de jeter la suspicion sur l'alimentation issue de l'agriculture productive. A de rares exceptions près, qui n'ont d'ailleurs rien à voir avec la protection des cultures, cet alarmisme n'est pas justifié. S'il devait aboutir, comme le revendiquent certains, à une sévère limitation de l'un ou l'autre des moyens qui assurent la productivité, il n'y aura peut-être pas pénurie alimentaire au niveau collectif, au moins dans des pays nantis comme le nôtre. Mais la nourriture sera plus chère, le nombre des sous-alimentés augmentera, et ceux qui le sont déjà verront leur situation s'aggraver.

Manger équilibré, varié

Tout ce qui précède à propos de l'alimentation considérée dans son ensemble au plan quantitatif ou « calorique » vaut évidemment pour chacun des composants de notre alimentation. Parmi ceux-ci, il faut s'attarder sur les fruits et légumes.

Les nutritionnistes sont unanimes sur au moins un point : il faut manger beaucoup et souvent des fruits et des légumes, c'est essentiel. Or les fruits et les légumes font partie des cultures les plus vulnérables vis-à-vis des insectes et des maladies. En l'absence de protection chimique, leur production serait globalement nettement plus faible, et plus irrégulière aussi. La conséquence évidente est que la contribution des fruits et légumes dans l'alimentation d'une fraction importante de la population serait réduite, ne serait-ce qu'à cause d'une augmentation sensible de leur coût. Pour cet aspect de la sécurité alimentaire, il apparaît donc sans ambiguïté que la protection des cultures a, là encore, une contribution positive.

Manger sain

Afin d'éviter les confusions éventuelles avec les concepts « manger équilibré » ou « manger varié », précisons d'abord ce qu'on entend ici par « manger sain » : c'est s'alimenter d'une nourriture sans composants nocifs. La liste de ces derniers (qu'il s'agisse de substances ou d'organismes et micro-organismes) peut être très longue, surtout si l'on y inclut ceux qui sont potentiellement présents, ou potentiellement nocifs, mais ce sont naturellement les « résidus » qui viennent à l'esprit lorsqu'on évoque la protection chimique des cultures.

Conférence (résumé)

* Aventis, Centre de recherche de La Dargoire, 9-14, rue P. Baizet, 69263 Lyon Cedex 09. Tél. : 04.72.85.26.47. Fax : 04.72.85.29.42.

Protection chimique des cultures = résidus...

La présence de résidus dans l'alimentation est la conséquence logique et inévitable de la protection chimique des cultures. Ces résidus présentent-ils un risque pour le consommateur ? La réponse à cette question suppose d'abord que l'on ait des éléments d'appréciation du risque, lequel n'est qu'une résultante d'un danger et de la probabilité (ou de l'intensité) de l'exposition à ce danger. Pour les résidus, on dispose effectivement de ces éléments.

La dangerosité des produits de protection des cultures et de leurs dérivés, qui se forment éventuellement dans les végétaux traités, est très bien documentée : ces produits font l'objet d'études toxicologiques sur animaux de laboratoire aussi approfondies que les produits pharmaceutiques, avec une attention particulière sur les effets à long terme qui pourraient se manifester à la suite d'expositions répétées à de petites quantités. Les propriétés mutagènes, cancérogènes, tératogènes, ainsi que les effets sur la reproduction sont systématiquement étudiés. Cependant, à la différence des produits pharmaceutiques, on ne dispose pas (sauf exception) d'études sur l'être humain. La fixation de seuils de danger pour l'homme se fait donc par extrapolation de données recueillies sur animaux. Les pouvoirs publics qui prennent la décision d'autoriser ou non les usages de produits de protection des plantes procèdent à cette extrapolation en faisant intervenir des marges de sécurité considérables. Pour ce qui concerne les consommateurs, le seuil de danger est la « dose journalière acceptable » (DJA). La DJA est le centième (quelquefois le cinq-centième ou le millième) de la dose quotidienne qui n'a induit aucun effet chez l'animal le plus sensible.

L'exposition des consommateurs aux résidus est, elle aussi, soigneusement documentée. Des études approfondies sur la nature et la quantité des résidus que les aliments issus de cultures traitées peuvent contenir sont présentées dans le dossier de demande d'autorisation d'usages de produits phytosanitaires. Ces informations sont utilisées par les pouvoirs publics pour fixer les limites maximales de résidus (LMR). Un usage, et la LMR associée, ne sont autorisés que si l'exposition des consommateurs, toutes sources confondues, reste inférieure à la DJA. Les cal-

culs d'exposition font intervenir des hypothèses maximalistes. L'objectif, qui est de garantir une exposition inférieure à la DJA est très largement atteint : les mesures d'exposition réelle montrent que, en pratique, celle-ci n'atteint qu'exceptionnellement quelques % de la DJA, soit moins d'un millième de la dose que l'animal le plus sensible a ingéré quotidiennement, sa vie durant, sans qu'il en résulte un effet quelconque.

Voilà donc ce que l'on peut dire des résidus : on connaît leur nocivité potentielle (danger), on sait combien il y en a (exposition), ils font l'objet d'une réglementation attentive qui permet de garantir leur innocuité avec un degré de certitude quasi absolue.

Et pourtant, les résidus restent suspects aux yeux de l'opinion. Chacun connaît des aliments dont on dit : « c'est bon, mais il ne faut pas en manger trop, ou pas trop souvent ». Cette réflexion fondée sur l'expérience et le bon sens témoigne du fait que la présence de substances naturelles potentiellement nocives dans l'alimentation est connue et admise. Le consommateur gère le risque : il fait en sorte que la nocivité potentielle ne s'exprime pas, en maintenant l'exposition à un niveau suffisamment bas. Ainsi, à propos des substances toxiques naturellement présentes dans l'alimentation, et de même pour les substances nocives produites lors de certaines préparations culinaires (produits de pyrolyse en particulier), le public comprend parfaitement la notion de proportionnalité entre l'exposition et le risque. Paradoxalement, cette notion est beaucoup plus mal admise lorsqu'il s'agit de résidus de produits de protection des plantes, qui sont pourtant, parmi les composants potentiellement toxiques de notre alimentation, ceux qui sont les mieux connus en termes de danger et d'exposition. Il est vrai que l'opinion a de quoi être déroutée compte tenu de l'alarmisme entretenu par les organisations dont la chimiophobie constitue le fonds de commerce, surtout si le législateur leur emboîte le pas comme cela s'est vu dans certains cas (réglementations exigeant l'absence de résidus dans l'eau potable ou dans l'alimentation infantile, par exemple).

... Les aliments exempts de résidus sont-ils plus sains ?

Il serait simpliste de le croire ou de l'affirmer. Une réponse au premier degré

consisterait à dire que l'innocuité des résidus étant bien établie, un aliment avec résidus n'est pas plus malsain qu'un aliment sans résidus. Mais, si l'absence de résidus est obtenue au prix d'une suppression ou d'une limitation sévère de la protection des cultures, se pose alors la question de la nocivité de tout ce que cette protection permet de réduire ou d'éliminer de notre alimentation : insectes, acariens, champignons microscopiques, végétaux étrangers, sans parler des substances parfois redoutables que ces derniers sont susceptibles de véhiculer. Autrement dit, pour satisfaire à l'idéologie du « zéro résidu », on risque de substituer aux résidus des ingrédients et substances dont l'innocuité est souvent moins bien démontrée.

En conclusion

La sécurité alimentaire bénéficie largement de la protection chimique des cultures. C'est évident pour les conditions premières de cette sécurité, qui sont de permettre à chacun de s'offrir une alimentation en quantité suffisante, variée et équilibrée. Quant aux résidus, dont on dit parfois qu'ils sont le « passif » de la protection chimique des cultures, leur prétendue nocivité fait l'objet de bien des exagérations. Une analyse objective de la façon dont le risque « résidus » est géré et réglementé devrait conduire tous les consommateurs à être totalement rassurés. Il faut, certes, respecter la volonté de certains d'avoir accès à une alimentation sans résidus. Mais il faut contester leur discours selon lequel les aliments issus de l'agriculture productiviste sont malsains du fait qu'ils peuvent renfermer des résidus. Il y a tout lieu de penser le contraire, et il convient de le faire savoir afin de rassurer la frange importante de la population que ce discours alarme inutilement. Surtout, il faut s'opposer à ceux qui exigent une alimentation exempte de résidus non seulement pour eux-mêmes, mais aussi pour l'ensemble de la population. Cela reviendrait à limiter ou interdire la protection chimique des cultures : il n'y a rien à y gagner au plan de la sécurité sanitaire des aliments, et il y a tout à perdre au plan de la sécurité alimentaire qui suppose avant tout l'accès à une nourriture suffisante en quantité, variée, et abordable.

Vin de Porto

Des siècles de contrôle de qualité

Maria Filomena G.F.C. Camoes*

Il y a plus de deux mille ans que, sur les côtes schisteuses du Douro, on fait un vin exceptionnel. Plus qu'un talent de la nature, c'est un patrimoine culturel collectif de travail et d'expériences, de savoir-faire et d'art, accumulé depuis plusieurs générations.

L'exportation des vins portugais est connue dès le XIV^e siècle et ce vin de la région du Douro, sortant du pays par le port de Porto, dont il prend son nom, devient célèbre, ce qui se manifeste par l'accroissement des quantités exportées et de son prix. Il acquiert un rôle d'échange dans des accords historiques internationaux tels que le Traité de Methuen.

L'industrie du vin se développe rapidement dans la région du Douro supérieur. La recherche du profit conduit à transformer des champs de céréales en terres à vigne, la production dépasse la consommation, la qualité est altérée et l'exportation en souffre. Le 10 septembre 1756, l'administration forte et systématique du marquis de Pombal intervient

par la création de la Compagnie générale de l'agriculture et de la vigne du Douro. La qualité est rétablie et, en 1789, les quantités exportées et le prix sont revenus aux valeurs antérieures.

C'est dans ce contexte que le gouvernement impulse un renouveau de l'enseignement supérieur par la Réforme Pombaline de l'université de Coimbra, en 1772, par son soutien à l'Académie des sciences et par la création de l'École polytechnique.

L'avancée des connaissances scientifiques pousse à développer l'analyse chimique des produits alimentaires, du vin, des eaux, de l'urine, du sang, des sols et des engrais.

La chimie fait son entrée dans les douanes, les usines, les institutions sanitaires et les tribunaux ; elle fait progresser l'industrie et permet de contrôler les fraudes. Cependant, c'est aussi la science qui facilite les falsifications, l'identification des constituants conduit à la fabrication de vins artificiels, dans les ports de France, Hambourg, Tarragone, etc.

Dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, le marché brésilien absorbe la moitié des vins portugais exportés. Les négociants brésiliens remettent des échantillons de vin de Porto à Barcelone

(Espagne) en vue d'en faire des imitations, néanmoins les consommateurs ne se laissèrent pas duper. Le gouvernement brésilien prit des mesures de protection de la santé publique et confia le contrôle de la qualité du vin au Laboratoire national d'analyses de Rio de Janeiro, particulièrement en ce qui concerne l'addition de conservateurs. C'est en 1900, après l'interdiction d'importation due à la détection d'acide salicylique, que démarre un vrai programme de recherches scientifiques en chimie analytique des vins, des raisins et d'autres végétaux, dans lequel s'engage toute l'Europe, autour de l'Académie des sciences française présidée par Berthelot.

Tout au long du XX^e siècle, on a utilisé le progrès des connaissances scientifiques pour garantir la qualité du vin de Porto, un des piliers de l'économie nationale et symbole du Portugal. C'est pour cela que les vins portugais, le Porto en particulier, sont parmi les meilleurs d'Europe.

Quelques exemples d'études scientifiques sur les vins sont présentés.

A votre bonne santé!

Conférence (résumé)

* Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Edifício CI, Piso 5, 1749-016 Lisboa, Portugal.
Fax : + 351 (1) 3909252.

Les fraudes alimentaires : un défi pour la chimie analytique

Maryvonne Martin* professeur, Gérard Martin* professeur

Summary : *Frauds in food products : a challenge for analytical chemistry*

Frauds are as old as commercial practices. Examples are given which show that they may introduce a risk for human health and, in any case, are detrimental to the consumer and are a source of unfair trading. Analytical methods have undergone important developments in the course of the two last decades and, presently, they are capable of detecting nearly any type of adulteration. In particular, a challenge could be taken up : that of the discrimination of molecules with the same chemical formula and differing only in their origin. In this respect, isotopic methods, and specially the NMR study of site specific natural isotope fractionation (SNIF-NMR) have largely contributed to promote the requirement for authenticity of food products in terms of natural or synthetic character, botanical origin of the precursor, age, and even mechanistic and technical aspects of the elaboration.

Mots clés : *Fraudes, aliments, méthodes analytiques, isotopes, authenticité.*

Key-words : *Frauds, food, analytical methods, isotopes, authenticity.*

Les fraudes alimentaires : une pratique bien établie

Les fraudes sont apparues et ont été détectées dès l'apparition des premières civilisations. En Égypte par exemple, Ramsès II s'attaquait déjà à l'adultération des cosmétiques et, en Grèce, Démosthène s'insurgeait contre les marchands de poissons indécidés. Dans l'Empire Romain, les excellents vins du Latium étaient parfois coupés par de médiocres piquettes. Au temps des fermiers généraux, la France devait réprimer les fraudes sur le sel et la farine. Plus tard, c'est afin d'éliminer des pratiques œnologiques peu recommandables que Chaptal institutionnalisa l'enrichissement des vins par sucrage des moûts. Au XIX^e siècle, le *Liverpool Mercury* relevait des pratiques très imaginatives telles que : riz

écrasé mélangé au sucre ; bœuf, porc et volaille teints en rose au moyen de colorants ; feuilles de thé usagées séchées et recolorées au cuivre ; herbes diverses mélangées au tabac ; cacao mélangé à de la terre brune pulvérisée et enrobé de graisse de mouton.... Selon Engels (*The condition of the working class in England*, 1844), la nécessité d'un contrôle administratif des aliments et des boissons résultait d'une constatation simple : le capitalisme industriel se développant, il devenait clair que seule la crainte de la loi pouvait retenir certains de vendre des marchandises adultérées ou même toxiques. Dans les pays industrialisés, des organismes de contrôle disposant de moyens analytiques modernes exercent désormais une surveillance étroite de l'ensemble de la chaîne alimentaire. Citons à cet égard : la DGCCRF (concurrence, consommation et représentation des fraudes), la DGD (douanes) et les services vétérinaires en France ; la FDA (Food and Drug Administration) et la FTC (Federal Trade Commission) aux États-Unis ; les services du MAFF

(Ministry of Agriculture Food and Fisheries) au Royaume Uni... Des organismes impliquant une participation internationale se préoccupent aussi de l'harmonisation des méthodes de contrôle : Comité Européen de Normalisation, Office International de la Vigne et du Vin, Association of Official Analytical Chemists, etc. Par ailleurs, des procédures d'auto-contrôle sont organisées par des associations d'industriels telles que SGF (Schulkgemeinschaft der Fruchtsaft Industrie) et IFJU (International Fruit Juice Union) dans le domaine des jus de fruits et SNIA (Syndicat National des Industries Aromatiques) dans celui des arômes. Cependant, en dépit des surveillances, les directions concernées de l'Union européenne (XV et XXI) sont conduites à établir périodiquement des listes de fraudes et de contrefaçons qui coûtent plusieurs centaines de millions d'euros à l'Union. Des « affaires » lourdement sanctionnées défraient régulièrement la chronique. Ainsi, aux États-Unis, les dirigeants de deux compagnies ont été emprisonnés et

Conférence

* CEAIS, Eurofins Scientific, BP 42301,
44323 Nantes Cedex. Tél. : 02.51.83.21.00.
Fax : 02.51.83.21.10.
E-mail : GerardMartin@Eurofins.com

condamnés à verser 100 000 \$ pour avoir vendu, entre 1990 et 1994, dans 11 États et en particulier dans de nombreuses écoles, du jus « d'orange » fabriqué à partir de sucre de betterave, d'acide citrique, d'acides aminés, de pulpe d'orange et d'un conservateur non autorisé. Toujours dans le domaine des jus de fruits, la DGCCRF constatait qu'en 1995, 53 % des échantillons prélevés dans les hôtels et restaurants étaient sucrés et dilués avec de l'eau. Dans le même ordre d'idées, la commercialisation de faux Champagne a donné lieu à 15 mois de prison avec sursis et à la confiscation de 92 000 bouteilles. Par ailleurs, 310 hL de faux Bordeaux de la récolte 1992 ont été détruits. En fait, la falsification n'épargne aucune catégorie de produits alimentaires. En 1995, un contrôle de 379 échantillons de confitures a montré que 36 % d'entre eux n'étaient pas conformes. A la même époque, un grand nombre de miels importés contenaient plus de 20 % de saccharose. De faux arômes de vanille, de fraise, d'amandes amères... sont régulièrement détectés et des coupages de l'huile d'olive par de l'huile de noisette ont été observés. Ces quelques exemples illustrent la diversité et la complexité des problèmes analytiques posés au chimiste.

Au-delà de la sécurité : l'authenticité

L'alimentation humaine est soumise prioritairement à une exigence d'innocuité, ce qui impose la mise en œuvre et l'optimisation de procédures de détection et d'identification d'éventuels contaminants. Si la présence d'espèces toxiques n'entrant pas naturellement dans la composition du produit résulte le plus souvent d'une contamination accidentelle produite, soit en amont lors de l'élaboration des matières premières, soit au cours du traitement industriel ou artisanal, soit lors de l'étape de stockage et conservation, elle peut aussi être associée à des opérations frauduleuses destinées à accroître le profit. A cet égard, plusieurs scandales lourds de conséquences ont été largement médiatisés : présence de méthanol dans des vins italiens, de gly-

col dans des vins autrichiens, ou d'aniline dans des huiles d'olive espagnoles... Cependant, l'absence de risque pour la santé humaine ne suffit évidemment pas à caractériser la qualité d'un aliment. Le consommateur souhaite, tout au moins dans les pays industrialisés, que lui soit garantie la conformité du produit acheté à son étiquetage. Ainsi, s'il a consenti un prix d'achat relativement élevé pour se procurer un « pur jus » d'orange provenant de Floride, il est légitime qu'il puisse bénéficier d'une garantie d'authenticité en termes : de nature et d'unicité du précurseur végétal, d'utilisation exclusive de la pulpe du fruit et de région de culture de la plante.

En pratique, la falsification d'un aliment ou d'une boisson peut prendre des formes très diverses. En dehors de la contamination par des agents extérieurs, interviennent : des non-conformités à la composition réglementaire ou traditionnelle du produit, des usurpations de notoriété, des falsifications d'origine (géographique, variétale...) ou de millésime, des contrefaçons de procédés de fabrication...

Les défis analytiques à relever

Confrontés à ces différentes problématiques et à leurs évolutions, les analystes sont conduits à adapter en permanence leurs outils et leurs cibles et à développer de nouvelles stratégies capables de déjouer des fraudes de plus en plus sophistiquées.

Le contrôle de sécurité des aliments, qui implique généralement la recherche de molécules ou d'éléments exogènes, parfois présents à l'état de traces, fait appel aux méthodes traditionnelles de détection, d'identification et de quantification : chromatographies, spectroscopies atomiques ou moléculaires, spectrométrie de masse... Les améliorations régulièrement apportées à ces techniques au cours des dernières années ont permis de repousser considérablement les limites de détection. Cette évolution s'accompagne de la définition de normes de plus en plus exigeantes pour ce qui concerne les tolérances sur les seuils de contamination par des composés moléculaires (pesticides, fongicides...) ou par des éléments traces (plomb, aluminium...).

Le contrôle de l'authenticité d'un produit pose a priori un problème plus délicat que celui de la détection de contaminants exogènes. En effet, ce contrôle requiert souvent la possibilité de distinguer des molécules de même structure chimique ne différant que par leur origine botanique, géographique ou temporelle. Une telle exigence a longtemps constitué un défi pour le chimiste analytique.

Les critères d'authenticité

Dans le cas de produits complexes (arômes, jus de fruit...), constitués d'un mélange de nombreuses molécules, les déterminations compositionnelles usuelles apportent souvent des informations utiles. Elles reposent sur la confrontation de la composition générale ou partielle du produit suspect à des compositions de référence déterminées sur des homologues authentiques et rassemblées dans des banques de données. Cependant, ces méthodes restent impuissantes à identifier l'origine d'un produit pur et elles manquent fréquemment de robustesse en raison de la grande dispersion des compositions naturelles et de leur relative facilité de simulation. Dans le même ordre d'idées, des méthodes fondées sur un traitement chimométrique (de spectres infrarouge, de spectres de masse ou de spectres de RMN protonique notamment), ont été récemment développées. En fait, ces méthodes, qui n'exigent pas nécessairement l'interprétation du spectre, exploitent aussi les empreintes compositionnelles. D'autres démarches utilisent des mesures de radioactivité ^{14}C pour distinguer, en particulier, des origines naturelle et synthétique. Ainsi, en raison de l'incorporation de ^{14}C atmosphérique au cours de la biosynthèse, un alcool de fruit contemporain est doté d'une radioactivité significative alors qu'un alcool de synthèse, préparé à partir de matières premières fossiles, en est dépourvu. Par ailleurs, en présence d'un constituant chiral, la reconnaissance du caractère naturel ou synthétique peut être étayée par la mesure de l'enrichissement énantiomérique. En effet, celui-ci est modifié par substitution ou ajout d'un équivalent de synthèse racémique.

Des progrès décisifs dans le domaine de l'authentification ont été apportés par le développement des méthodes isotopiques qui exploitent les comportements des teneurs naturelles en isotopes stables. Les abondances isotopiques peuvent être déterminées par spectrométrie de masse de rapports isotopiques (IRMS pour isotope ratio mass spectrometry). En raison de la combustion préalable de l'échantillon exigée par la méthode, seule la teneur isotopique globale de la molécule est accessible. Les rapports isotopiques globaux du carbone, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ par exemple, se sont révélés des critères non ambigus de caractérisation du métabolisme C3 ou C4 des précurseurs végétaux. Ils permettent, en particulier, de détecter aisément l'ajout de sucres de canne ou de maïs (végétaux C4) à des jus de fruits, issus en majorité de végétaux C3. Toutefois, ces paramètres échouent à déterminer l'enrichissement d'un produit C3 (jus d'orange, vin....) par un sucre exogène lui-même C3, tel que le sucre de betterave. En 1981, nous avons mis directement en évidence, en utilisant la résonance magnétique nucléaire (RMN), l'existence de très fortes déviations de la distribution du deutérium par rapport à une répartition statistique. La méthode SNIF-NMR (pour site specific natural isotope fractionation studied by nuclear magnetic resonance) permet d'accéder aux abondances isotopiques spécifiques des différents sites d'une molécule. Le profil isotopique ainsi déterminé constitue une signature particulièrement fiable, et difficile à contrefaire, de la généalogie du produit. Associés le cas échéant aux rapports isotopiques globaux, les paramètres SNIF-NMR ont largement contribué à asseoir la notion d'authentification en termes d'origine naturelle ou synthétique, d'origine botanique, de région de croissance de la plante, voire d'année de production.

Par ailleurs, grâce aux progrès récents de la biologie moléculaire, des méthodologies de caractérisation non ambiguë, fondées sur la reconnaissance de l'ADN (avec amplification PCR), sont venues compléter les tests enzymatiques (ELISA). Les critères de reconnaissance fournis par ces méthodes ouvrent de nouvelles pers-

pectives en ce qui concerne, par exemple, l'identification de l'origine animale du, ou des, composants d'un produit carné (porc, poulet, dinde...) ou la détection d'organismes génétiquement modifiés (maïs, soja...).

En conclusion : les procédures de contrôle

En pratique, les progrès considérables, à la fois conceptuels et technologiques, réalisés au fil des vingt dernières années, mettent désormais à disposition de l'analyticien un arsenal méthodologique qui lui permet de faire face à la quasi-totalité des types de fraudes. Dans ce contexte, et compte tenu, d'une part des exigences croissantes portant sur la garantie de qualité des aliments et, d'autre part, de la sophistication accrue des fraudes, les procédures de contrôle se sont fortement alourdies au cours des dernières années. En pratique, certaines fraudes ne sont détectables avec une fiabilité suffisante qu'en recourant à des analyses multi-paramétriques dont certaines nécessitent l'utilisation d'équipements spectrométriques onéreux et font appel à des traitements chimométriques appropriés. Les laboratoires officiels de contrôle sont en mesure de réaliser les différents types d'analyses que nous avons évoqués et des laboratoires commerciaux, tel Eurofins Scientific qui exploite la méthode SNIF-NMR, offrent aux producteurs, transformateurs ou distributeurs des possibilités de caractérisation, soit a posteriori, soit a priori, de leurs matières premières et produits.

Remarquons que les problèmes rencontrés sont partiellement conditionnés par les habitudes alimentaires et les règlements en vigueur dans les différents pays concernés. Ainsi, aux États-Unis, le contrôle des additifs nutritionnels (« alicaments » ou « nutraceutiques ») a une grande importance alors que les États membres de l'Union européenne s'inquiètent de la présence d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans leurs aliments ou dans ceux de leur bétail.

Un point commun à toutes ces analyses, souvent réalisées dans un

contexte réglementaire, est leur exigence en termes de fidélité et de normalisation. Des efforts importants sont donc consentis par la communauté scientifique afin d'organiser des études interlaboratoires susceptibles de préciser les caractéristiques de répétabilité et de reproductibilité des différentes méthodes.

L'accroissement spectaculaire et continu des performances analytiques obtenu au cours des dernières décennies a largement contribué à décourager de nombreuses tentatives de fraudes, en particulier parmi les plus grossières. La conformité, et donc la qualité, de nombreux produits alimentaires en ont certainement été améliorées. Cependant, l'invention de nouvelles méthodes de caractérisation suscite rapidement la recherche de stratégies destinées à les contourner et l'apparition de fraudes de plus en plus élaborées ! Dans ce domaine, l'imagination du chercheur ne manque pas d'être stimulée !

Références

Pour plus de détails, on pourra consulter par exemple les revues suivantes qui se rapportent à des aspects plus ou moins spécifiques de la caractérisation analytique des aliments :

- Fry J., Martin G.G., Lees M., Ashurst P.R., *Production and packaging of non-carbonated fruit juices and fruit beverages*, Blackie A. and P., London, **1995**, p. 1-52.
- Hammond D.A., Ashurst P.R., Dennis M.J., *Food authentication*, Blackie A. and P., London, **1996**, p. 15-59.
- Martin G.G., Symonds P., Lees L., Martin M.L., *Fermented beverage production*, A.G.H. Lea, J.R. Piggott, Blackie A. and P., London, **1995**, p. 386-412.
- Martin M.L., Martin G.G., *NMR Basic Principles and Progress*, H.F. Linkens J.F. Johnson, Springer-Verlag, Berlin, **1990**, 23, p. 1-61.
- Robards K., Antolovich M., *Analyst*, **1995**, 120, p. 1-28.
- Simpkins W., Harrison M., *Trends Food Sci. Technol.*, **1995**, 6, p. 321-328.
- Widmer W.W., Cancelon P.F., Nagy S., *Trends Food Sci. Technol.*, **1992**, 3, p. 278-286.

Développement de la chimie physiologique et de l'agrochimie aux XIX^e siècle en Russie

Influence de J. Liebig

E.A. Zaitseva* professeur

Les mérites de Justus Liebig dans l'étude de la chimie de plusieurs processus dans les organismes animaux et végétaux sont grands. Il est de droit considéré comme un des plus grands fondateurs de la chimie physiologique (biochimie) et de l'agrochimie. C'est peut-être dans ce domaine que l'humanité a tiré la plus grande utilité de ses découvertes et de ses recommandations. Une des plus importantes acquisitions de Liebig est la théorie de l'alimentation minérale des plantes, dont la mise en œuvre apporte à l'humanité une utilité incalculable.

A la fin des années trente du XIX^e siècle, les intérêts de Liebig sont dans une grande mesure passés du domaine de la chimie théorique dans le domaine de son application aux problèmes de la physiologie, de l'agriculture et de la médecine. Il a exposé ses idées principales dans ses livres *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie* paru en 1840, *Die Tierchemie oder organische Chemie in Anwendung auf Physiologie und Pathologie* paru deux ans plus tard, et enfin dans *Chemische Briefe*. Ces œuvres ont eu un grand succès. Elles ont été republiées plusieurs fois, ont été traduites en plusieurs langues étrangères et ont créé à Liebig une gloire mondiale, non seulement dans les cercles scientifiques, mais aussi parmi le grand public instruit.

Les conclusions principales de Liebig sont devenues depuis longtemps l'apanage de tout le monde et sont passées dans les manuels, on ne peut pas en parler beaucoup. Tout d'abord il a noté « *le contraire* » si l'on peut ainsi dire, du

courant chimique dans la vie des plantes et des animaux. Les plantes reçoivent leur nourriture sous forme de combinaisons inorganiques simples : dioxyde de carbone, eau, ammoniac, sels de potassium, de calcium, acide phosphorique. De ces combinaisons simples se forment dans l'organisme végétal des matières organiques très compliquées : hydrate de carbone, graisse, albumens et autres, qui servent plus tard de nourriture pour les animaux et du fait de leur vitalité se simplifient à nouveau jusqu'aux matières primitives simples. Ainsi se ferme le cercle, dans lequel se déroule le mouvement des éléments chimiques des organismes végétaux aux organismes animaux, et en sens inverse, à travers l'air et le sol. Pendant l'alimentation des plantes à l'aide des feuilles vertes, sous l'influence des rayons solaires, se produit la réduction du dioxyde de carbone contenu dans l'air et, avec cela, l'oxygène se dégage et le carbone entre dans la composition des plantes. A ce processus de rétablissement s'oppose le processus d'oxydation : la respiration des animaux liée avec l'absorption de l'oxygène et avec le dégagement de dioxyde de carbone. Lors de l'alimentation des plantes se produit l'absorption « de la force vitale » (énergie) du soleil, qui se dégage ensuite pendant l'oxydation des produits végétaux dans les organismes animaux et hors d'eux.

Toute chaleur végétale est le résultat de ce processus d'oxydation et la quantité de chaleur dégagée par un animal en une unité de temps dépend uniquement de la quantité d'oxygène absorbé. Ainsi, les destins des plantes et des animaux sont liés entre eux et, avec cela, la vie des animaux se trouve dans une dépendance indispensable de la vie des plantes, car les animaux se nourrissent des produits de la vitalité de ces der-

nières, tandis que les plantes pourraient, dans une certaine mesure, se passer des animaux, car lors de la décomposition de leurs propres organismes se forment les mêmes matières simples dont les plantes ont besoin comme nourriture.

Ces idées fructueuses de Liebig ont été saisies par un certain nombre de jeunes savants russes et soigneusement « transplantées » sur « le sol russe » dans les années quarante du XIX^e siècle.

Pour beaucoup de chimistes russes, Liebig était un ami et un maître, il était en correspondance avec eux, leur offrait des places dans ses laboratoires. Il est peu probable que parmi les savants étrangers, il y ait eu quelqu'un ayant un contact aussi étroit avec un aussi grand nombre de chimistes russes.

Comme les sciences naturelles dans les pays de l'Europe occidentale étaient, dans la première partie du XIX^e siècle, un domaine de la science assez développé, les universités russes, les écoles techniques et le ministère de l'Instruction publique de la Russie considéraient que la meilleure forme de préparation des spécialistes russes était une mission d'étude des jeunes gens dans les pays étrangers pour « *le perfectionnement en sciences* ». Parmi les voyages des années quarante du XIX^e siècle, il faut noter le séjour à Gissen chez Liebig du groupe des chimistes russes : Khodnev Alexei Ivanovitch, Ilienkov Pavel Antonovitch et Liaskovsky Nikolai Erastovitch. Les savants susmentionnés ont non seulement reçu une excellente formation au laboratoire de Liebig, ayant fait un apport considérable dans la résolution d'un nombre de problèmes chimiques de leur temps, mais aussi, après leur retour au pays, ont contribué à la formation des nouvelles tendances scientifiques en Russie en développant activement les idées de leur maître. Les biographies et

Communication (résumé)

* Section de l'histoire de la chimie, Faculté chimique, Université d'État de Moscou, 119899 Moscou, Russie.
Fax : +7 95 9328846. E-mail : zai@gol.ru

l'histoire de l'œuvre de ces savants en témoignent ainsi que les nouveaux matériaux des archives.

Parmi les autres savants, on peut sans erreur considérer comme fondateurs du développement de la tendance physiologique en chimie deux élèves de Liebig : Khodnev et Liaskovsky.

Khodnev A.I. (1818-1883)

Né à Saint-Petersbourg dans une famille de fonctionnaires, Khodnev a reçu un enseignement supérieur à l'École Normale Principale qu'il a terminé en 1841. Il a étudié la chimie sous la direction de G.I. Guesse de l'Académie des sciences. Après avoir terminé l'École Normale, il est envoyé en mission d'étude en Allemagne pour deux ans et a travaillé à Paris. En 1841, il a travaillé chez Liebig en s'occupant des gels. De retour au pays, il a soutenu une thèse de maîtrise : *La composition des matières végétales gélatineuses et leur destination physiologique*. Après la soutenance de sa thèse, il a été la même année nommé à l'université de Kharkov en qualité de professeur adjoint à la chaire de physique et de chimie où il enseignait le cours de chimie générale et le cours de chimie organique. En 1848, il a soutenu à l'université de Kharkov une thèse de doctorat : *Sur l'unification de la chimie minérale et de la chimie organique dans un ensemble uni*. La même année, il a été confirmé au grade de professeur extraordinaire et, en 1854, professeur ordinaire. Cette même année, il a déménagé à Saint-Petersbourg pour raison de famille.

En 1847, Khodnev a publié *Le cours de chimie physiologique*, premier manuel de biochimie en Russie. Bien que certains savants russes (M.Y. Moudrov, A.A. Iovsky, I.E. Diadkovsky et autres) aient déjà dans les années vingt-trente du XIX^e siècle parlé de la nécessité d'employer les acquisitions de la chimie moderne dans la médecine et les sciences biologiques, c'est seulement après l'apparition, au début des années quarante, des travaux connus de Liebig susmentionnés que cette question a attiré l'attention générale. En Russie, le livre mentionné de Khodnev était le premier dans lequel étaient traitées les questions de chimie physiologique et, avec cela, en se basant dans une grande mesure sur la conception du monde de Liebig. D'après Khodnev, la chimie physiologique est, sous les rapports connus, une partie de la chimie organique générale ; elle examine non seulement la composition et les propriétés

des matières qui y entrent, mais elle essaye en même temps d'expliquer le processus de leur apparition dans l'organisme vivant. Bien que Khodnev ait été l'ennemi de la doctrine idéaliste sur la force vitale, ce cours n'est pas tout à fait libre de l'influence de la doctrine vitaliste de Liebig et des autres savants de l'Europe occidentale. Après eux, Khodnev écrit que « *l'activité organique réunit en elle deux sortes d'événements : les uns sont dirigés par la force vitale dont les lois sont complètement inconnues ; les autres sont soumis à la chimie et de jour en jour s'éclaircissent de plus en plus* ». Dans un organisme vivant, ces forces sont en équilibre et agissent dans des sens contraires. « *Ainsi la force vitale et l'affinité contraignent la matière à subir des changements dans des directions différentes : l'une emploie les ouvrages de la force chimique, l'eau, l'acide carbonique et l'ammoniaque pour la formation des tissus et des liquides végétaux : des organes animaux, du sang, du cerveau, etc. ; l'autre au contraire après la fin de la vie détruit ces œuvres en les décomposant à nouveau en ces mêmes matières auxquelles elle doit son existence. Ce mouvement circulaire se produit constamment dans la vie organique et est la loi nécessaire de la nature organique...* ». Cette thèse est à la base de ses conceptions touchant les processus concrets de la transformation des matières dans le milieu vivant (plantes, animaux et autres) étudié dans le livre. En 1850 s'est profilé l'intérêt de Khodnev envers la résolution de toute une série des problèmes de l'agrochimie. Grâce à ses recherches dans ce domaine (articles publiés dans *La Revue de la société économique libre*, *Le Journal technologique* en 1859, il est même élu président de la section de la Société économique libre sur « les sciences auxiliaires à l'agriculture ».

Liaskovsky N.E. (1816-1871)

Il était issu d'une famille aristocratique polonaise qui a déménagé en Russie. D'abord il apprit les sciences pharmaceutiques à Moscou dans la pharmacie de G. Fluhrat. En 1836, il est entré à la faculté de Médecine de l'université de Moscou. En 1841, il a reçu le grade de médecin de la première section. En 1843, il est envoyé à l'étranger pour y faire ses études. A l'automne de 1844, il a travaillé à Gissen où il a étudié en collaboration, avec Ilienkov, le fromage de Limbourg. Le résultat de ce travail a été la preuve de la présence

dans le fromage d'acides organiques : acide butyrique, acide caproïque, acide valérique et autres. Au cours de ces recherches, ils ont aussi pour la première fois proposé la formule de la margarine. Liaskovsky a passé l'année 1845 à Paris. A la fin de 1845, en retournant en Russie, il est passé à Gissen où Liebig lui a proposé de travailler sur le problème de la composition chimique des albumens. Les résultats de ces recherches ont été publiés en 1845-46 dans *Annalen der Chemie und Pharmazie*. Il est connu que la première conception de la composition des albumens appartenait au chimiste hollandais G. Mulder (1836) ; à la base, c'était la notion d'une unité structurale minimale, entrant dans la composition de tous les albumens : la protéine. A la base de cette conception, le savant considérait plusieurs processus physiologiques comme ceux de la transformation de la protéine : par exemple, la respiration - comme l'oxydation de la protéine, la digestion - comme sa reconstruction avec le changement du contenu de certains éléments. Liaskovsky a démontré l'inexactitude de plusieurs analyses faites par G. Mulder concernant la composition de la protéine. Conformément à cela, plusieurs conclusions de Mulder ont été mises en doute. A la suite de la polémique qui a commencé dans la presse scientifique sur ces nouvelles données, l'inconsistance de cette théorie a été prouvée. Les travaux sur les albumens ont été surtout remarqués par Liebig. En soutenant son élève, il a lui-même beaucoup fait pour le renversement de cette théorie.

Les connaissances reçues à Gissen ont été tout de suite mises à profit au retour de Liaskovsky à Moscou en 1846, lors de l'élaboration de son nouveau cours public « *Les systèmes de la chimie organique moderne* ». Le cours a été soutenu par le ministère de l'Instruction et les premières conférences ont été commencées la même année, en 1846. Le nouveau cours « *Les systèmes de la chimie organique moderne* », fait par Liaskovsky pendant plusieurs années à l'université de Moscou, peut être considéré comme le premier cours de la chimie physiologique en Russie. En outre, comme on peut le voir d'après ce qui suit, il se distinguait par un universalisme extrême car il traitait des sujets comme les questions de la transformation des matières dans la nature vivante, de l'alimentation des plantes et des animaux, ainsi, en particulier, les questions de la chimie diététique. Comme on peut le voir d'après le contenu du

cours, il se base en beaucoup de points sur les conceptions de Liebig. Nous citons ici le sommaire de ce cours.

Programme du cours public de chimie organique de N. Liaskovsky

- Partie I. La chimie organique pure.
- Partie II. La chimie en son application à la connaissance des faits vitaux dans les créatures organisées.

I. La caractéristique chimique des composants les plus proches des plantes et des animaux, de la lignine et du tissu cellulaire, des matières amy-lacées, de sucre, des matières grasses, albuminées, gélatineuses, etc.

II. La composition et l'importance des liquides et des parties dures principales des êtres vivants :

1. Des plantes ;

2. Des animaux : a/ du sang, b/ de la bile, c/ des liquides de la digestion : salive, sucs gastrique, pancréatique, intestinal et laitier, et lymphes, d/ des excréments, e/ du lait, f/ des œufs et du sperme, g/ des os, h/ du cerveau et des nerfs, i/ des muscles/...

III. La chimie physiologique. Les processus chimiques desquels dépend la vie des plantes et des animaux.

1. L'alimentation des plantes. L'influence de la lumière, de l'atmosphère, de l'humidité, du sol. L'évaluation des parties composantes du sol. La division des plantes par rapport à leur attitude envers les composants inorganiques du sol nécessaires pour leur développement. Théorie de l'agronomie moderne.

2. Les processus vitaux (chimiques) chez les animaux. La respiration, l'alimentation, le métabolisme, les sources de la chaleur animale, la division des éléments nutritifs en éléments respiratoires et sanguins. Formation de la graisse. Les animaux herbivores, carnivores, etc.

IV. La chimie diététique. L'évaluation chimique des nécessités vitales :

1. La nourriture et la boisson.

La composition et l'expression numérique des capacités nutritives et thermiques de chaque élément à partir : du sucre et des fruits sucrés, de l'amidon, de la pomme de terre, du riz et des kissels, de la farine, du pain et des kachas, de la galantine, de la viande, du poisson, des œufs, du fromage et du fromage blanc, de la graisse et du beurre, des kvass, etc.

2. L'importance chimique des autres conditions diététiques : climats, mode de vie, etc.

V. La statique chimique des êtres vivants. Comparaison de la vie des plantes à celle des animaux. L'importance de l'une et de l'autre vies sur notre planète.

VI. La chimie pathologique...

En 1840, la célèbre conférence de Liebig à l'Association britannique a fait l'effet d'un coup de tonnerre au-dessus du monde scientifique. Dans cette conférence, il a ridiculisé avec sarcasme les physiologistes de son temps qui, malgré les données évidentes, continuaient de s'en tenir au point de vue selon lequel les plantes prenaient le carbone du sol et non pas de l'acide carbonique contenu dans l'air. Cette année est considérée comme l'année de la chute de la théorie de l'humus. « La loi du retour » proclamée par Liebig est une des plus grandes acquisitions de la science. Le savant insistait avec une immense énergie sur la nécessité du retour au sol des matières minérales et attribuait une grande importance historique à son inobservation. « *Le temps viendra, écrivait Liebig, où chaque champ sera, selon la plante que l'on voudra cultiver dessus, engraisé avec son propre engrais produit aux usines chimiques ; alors les engrais seront composés seulement des produits nécessaires qui sont indispensables pour l'alimentation de la plante, ainsi que l'on guérit la fièvre par quelques grains de quinine* ». En avançant l'idée de l'alimentation minérale des plantes, le savant a rendu un grand service à l'agronomie, en donnant un stimulant au développement des recherches dans de nouvelles directions.

L'un des élèves de Liebig, dans le domaine de l'agrochimie, qui avait le plus de talent était Ilienkov. Non seulement il faisait la propagande des idées de son maître en Russie mais aussi il les développait lui-même dans une direction originale. De son côté, Liebig entreprenait des démarches pour une propagation large des idées scientifiques et techniques d'Ilienkov hors de la Russie.

Ilienkov P.A. (1821-1877)

C'était un chimiste-technologue et un agrochimiste connu en Russie. Il était élève de A.A. Voskresensky. En 1843, il avait terminé ses études à l'université de Saint-Petersbourg et avait été envoyé à l'étranger en mission savante. En 1844, il a travaillé en collaboration avec N. Liaskovsky à l'étude du fromage de Limbourg. A la suite des recherches faites à Gissen, à son retour en Russie, Ilienkov

a soutenu une thèse de maîtrise *Sur la formation chimique des fromages*. Il a été nommé professeur adjoint de la chaire de technologie auprès de l'université de Saint-Petersbourg. A partir de 1850, il a été professeur extraordinaire. En 1850, il s'est intéressé aux recherches agrochimiques. Il a travaillé à la raffinerie de sucre du comte A.A. Bobrinsky. En 1865, à Moscou, a été ouverte l'Académie d'agriculture Pierre le Grand qui a été, plus tard, réorganisée en Académie agricole K.A. Timiriyasiev, où Ilienkov a été nommé professeur de chimie appliqué.

La réforme paysanne qui a changé tout le système économique en Russie venait de se produire, et on pouvait supposer que la demande des connaissances agricoles serait grande. Pour faire connaître dans la société l'intérêt à l'agriculture rationnelle, Ilienkov a fait paraître à l'étranger la traduction de *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie* de Liebig (1864) et a fait à Petersbourg, au musée de l'agriculture qui venait de s'ouvrir, une série de conférences publiques sur l'application de la chimie à l'agriculture. Au sujet des recherches propres de Ilienkov, je voudrais mettre l'accent sur deux travaux : *Sur l'influence de l'humidité du sol sur la végétation* et *Trituration des os*, écrits dans le cours sur la théorie minérale de l'alimentation des plantes. Le premier a été surtout mentionné par les savants allemands et a été l'objet de quelques travaux semblables. Le deuxième a beaucoup plu à Liebig, comme il écrivait à Ilienkov « *l'idée de décomposer les os à la place de l'acide est vraiment brillante...* ». Liebig lui-même a fait une série d'expériences avec les engrais reçus de Ilienkov et les a fait connaître aux praticiens allemands.

Ni Liebig ni ses élèves russes ne limitaient leur activité seulement à la sphère des recherches théoriques, mais tâchaient toujours de mettre rapidement en pratique leurs acquisitions scientifiques. Ils ont grandement réussi dans cette tâche noble.

Références

- Archives Historiques d'État de la ville de Moscou, 1845, fonds 418, inventaire 15, unité 294 ; idem., 1858, fonds 418, inventaire 67, unité 161.

- Khodnev A., *Cours de chimie physiologique*, lu à l'université de Kharkov par le professeur adjoint A. Khodnev, *Typographie de l'Université*, Kharkov, 1847.

Les molécules de la caramélisation : structure et méthodologies de détection et d'évaluation

Jacques Defaye* directeur de recherche CNRS, **José Manuel García Fernández**** chercheur CSIC, **Valérie Ratsimba***** responsable recherche

Summary : *The molecules of caramelization : structure and methodologies of detection and evaluation*

Caramelization, that takes place on heating sugars or food products rich in sugars results in a minor volatile fraction containing mainly 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde and a major proportion of nonvolatile components (90-95 %) shown to be spirodioxanyl acetals derived from fructose along with their products of glycosylation. Also present are branched oligosaccharides likewise found in commercial Polydextrose. The relative proportion of these components and especially the cyclic acetals depends on the starting material and its processing. Methodologies have been settled for food and food additives authentication based on these acetals as suitable tracers of caramelization.

Mots clés : *Caramel, dianhydrides du fructose, pseudo-oligosaccharides spirodioxaniques, additifs alimentaires, analyse alimentaire, authenticité et traçabilité des aliments.*

Key-words : *Caramel, difructose dianhydrides, spirodioxanyl pseudo-oligosaccharides, food additives, food analysis, food authentication.*

La caramélisation est un procédé culinaire traditionnel qui consiste à chauffer le saccharose au-delà de son point de fusion, de préférence en présence d'un catalyseur acide, jus de citron ou vinaigre. Depuis quelques années, c'est également un procédé industriel de préparation d'additifs ou d'ingrédients alimentaires qui utilise aussi bien le glucose, le fructose ou des maltodextrines comme matières premières et des catalyseurs variés, acides carboxyliques (caramels aromatiques), ammoniac, hydroxydes alcalins ou sulfites (caramels colorants) [1]. La caramélisation appartient au groupe des réactions de brunissement non enzymatique des aliments au

même titre que la réaction de Maillard [2], responsable de la saveur caractéristique des viandes grillées. Cette dernière, relativement plus connue, implique la présence simultanée de sucres, d'acides aminés ou de protéines. En dépit d'un siècle et demi de recherches, nos connaissances quant à la nature du caramel sont récentes. Après un bref rappel historique, nous ferons le point sur la structure moléculaire des composants oligosaccharidiques les plus spécifiques du caramel, à savoir les spirodioxanyl-oligosaccharides, résultats qui ont permis de déboucher sur des méthodologies de caractérisation de produits souvent largement utilisés dans l'alimentation.

solubilité dans un mélange alcool-eau, première indication de la nature polymérique du caramel confirmée ensuite par Graham [5] par des essais de dialyse. Ce n'est qu'en 1936 que van Elbe [6] établit une relation plus précise avec des composants glucidiques en indiquant que ces constituants ne sont en fait que des mélanges « de produits incolores étroitement apparentés au saccharose et de substances humiques à caractère colloïdal ». Bien que ces affirmations aient été en fait surtout étayées par la faculté d'acylation du caramel mise en évidence par Cuninghame et Dorée [7] quelques années auparavant, elles préfigurent assez bien nos résultats. Beaucoup plus récemment, Descotes et son équipe [8] identifient les constituants de la fraction volatile du caramel, à savoir des dérivés furaniques dont essentiellement le 5-(hydroxyméthyl)-2-furaldéhyde ainsi que des pyrones, des aldéhydes, alcools, et acides carboxyliques de faible masse moléculaire. La composition moléculaire de la fraction non volatile du caramel, laquelle constitue plus de 90-95 % en poids du caramel, restait à établir.

Communication

* Département de pharmacochimie moléculaire, UMR 5063, CNRS et Université Joseph Fourier, Grenoble I, BP 138, 38243 Meylan. Tél. : 04.76.04.10.18. Fax : 04.76.04.10.13.

E-mail : J.Defaye@ujf-grenoble.fr

** Instituto de Investigaciones Químicas, CSIC, Américo Vespucio s/n, Isla de la Cartuja, E-41092 Sevilla, Espagne.

E-mail: jogarcia@cica.es

*** Nigay SA, 42110 Feurs.

Tél. : 04.77.26.21.33. Fax : 04.77.26.22.12.

E-mail : nigay.sa@wanadoo.fr

Rappels historiques

Les premiers travaux sur le caramel remontent au chimiste français Eugène Péligot [3] qui, dès 1838, note le caractère acide du caramel de saccharose. Vingt ans plus tard, Gélis [4] fractionne le caramel en trois composants non identifiés, caramélane, caramélène et caraméline, séparés par leur différence de

Les composants oligosaccharidiques de la fraction non volatile du caramel

Les dianhydrides du fructose, composants essentiels du caramel

Des travaux antérieurs de notre laboratoire, réalisés pour partie dans le cadre du groupement de recherche 1008 « Sucrochimie » du CNRS, et dont l'objectif était de déboucher sur des applications non alimentaires du saccharose, nous avaient conduits à mettre au point des méthodes commodées de préparation d'acétals cycliques intermoléculaires dérivés du fructose - dianhydrides du fructose, DAFs - susceptibles de trouver des applications dans le domaine des matériaux [9]. Les conditions faiblement déshydratantes utilisées pour optimiser l'accès à ces structures - lesquelles font intervenir notamment l'action du fluorure d'hydrogène anhydre ou de ses complexes avec des amines sur des solutions concentrées d'hexuloses, de pentuloses, ou encore de saccharose ou d'inuline - pouvaient laisser supposer la présence d'oligosaccharides de ce type dans le produit de la caramélisation des sucres. C'est en fait plus de 18 % en poids de dianhydrides du fructose qui furent initialement trouvés par fractionnement chromatographique du produit d'acétylation d'un caramel pâtissier commercial obtenu par thermolyse du saccharose à 160 °C en présence de 0,1 % d'acide acétique [10]. Une étude utilisant la spectrométrie de masse en mode d'ionisation par bombardement d'atomes accélérés - technique FAB - montrait par la suite que la fraction non volatile du caramel était essentiellement constituée de DAFs, de leurs produits de glycosylation ainsi que d'oligosaccharides du glucose, permettant d'estimer à plus de 40 % la proportion relative de ces molécules inusuelles dans le caramel pâtissier. Celles-ci étaient, par ailleurs, retrouvées dans des caramels colorants, obtenus par traitement du saccharose ou du glucose en présence de soude, de sulfite d'ammonium ou d'ammoniac [11].

Plus récemment, c'est une proportion relative de plus de 80 % de ce type de molécules qui a été retrouvée dans un caramel de fructose [12]. La formation de ces composés à partir du fructose ou d'oligosaccharides contenant le fructose peut être aisément rationalisée sur la base d'un cation fructosyle intermédiaire sujet à dimérisation (schéma 1). Cette transformation est particulièrement favorisée pour des concentrations élevées en sucres - comme c'est le cas pour la préparation du caramel. Le réarrangement classique de Lobry de Bruyn-Alberda van Ekenstein, qui implique un intermédiaire énolique, permet d'expliquer par ailleurs la formation de ces produits par traitement thermique du glucose dans les conditions de caramélisation. Comme attendu, la formation des produits cinétiques à cinq chaînons difuranosidiques est initialement favorisée. Leur réarrangement, dans des conditions thermodynamiques, doit conduire à des isomères à six chaînons pyranose qui ont été effectivement retrouvés parmi les composants spirodioxaniques du caramel. Mais c'est en fait pas moins de quatorze isomères, incluant un spirodioxane mixte fructosyl-glucoside, qui ont été jusqu'à présent caractérisés [12] et dont les structures ont pu être établies par des méthodes conjointes de spectroscopie de RMN (^1H , ^{13}C) et de

cristallographie de rayons X (schéma 2). Ces structures sont en équilibre et on a noté que leur proportion dépendait de la matière première utilisée, du catalyseur et de l'intensité du traitement thermique. Les critères de dimension de cycles ne suffisent évidemment pas à expliquer la présence d'un aussi grand nombre de structures isomères parmi les produits de thermolyse de sucres alimentaires et seule une étude de la structure tridimensionnelle de ces molécules rigides a permis de mettre en évidence le rôle essentiel du contrôle stéréoélectronique dans la formation des dianhydrides du fructose.

L'excellent article de Serge David dans ce périodique [13] a d'ores et déjà familiarisé le lecteur avec l'importance de l'effet anomère dans l'équilibre énergétique des acétals cycliques. Cet effet, qui se manifeste par la propension toute particulière d'un substituant électronégatif en position 2 d'un hétérocycle tétrahydropyranique à adopter une position axiale, joue également un rôle déterminant dans la stabilité et la réactivité des dioxaspirocétals [14]. On pouvait attendre qu'il se manifeste également dans le cas présent de tétraoxaspirocétals comportant un cycle dioxane-1,4 avec comme résultat une conformation impliquant une orientation axiale privilégiée pour les substituants oxygénés issus du cycle dioxane.

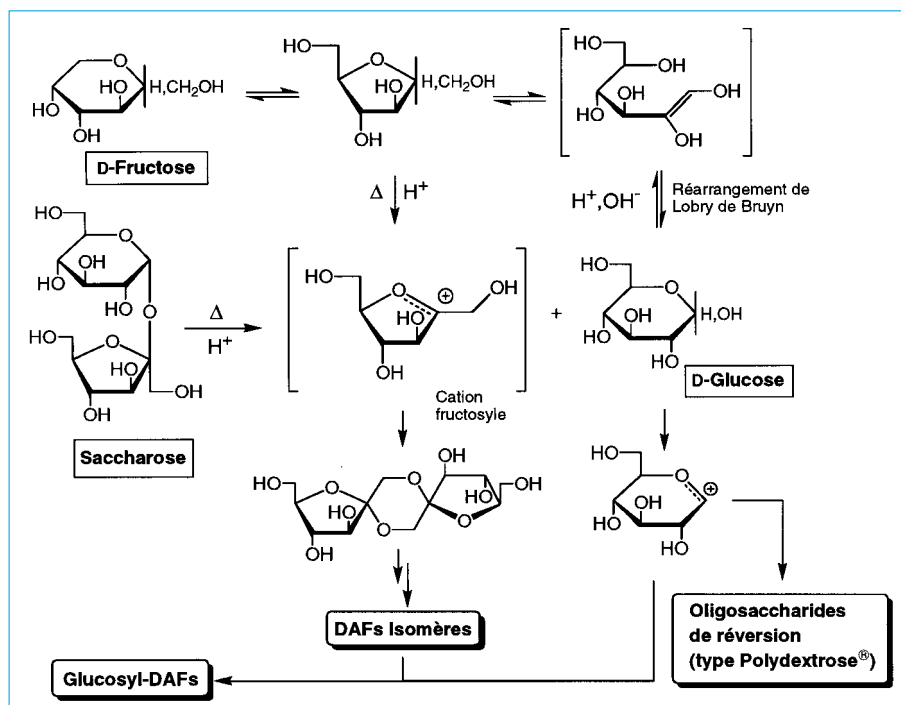


Schéma 1 - Formation de dianhydrides du fructose (DAFs), glucosyl-DAFs et oligosaccharides du glucose par traitement thermique du saccharose, du D-fructose ainsi que du D-glucose.

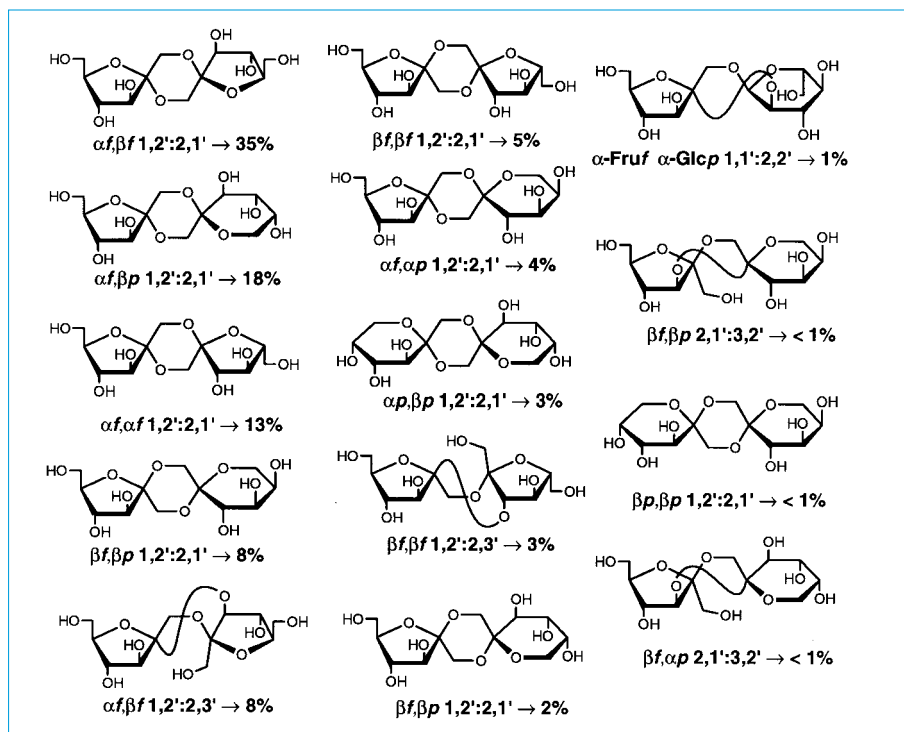


Schéma 2 - Les acétals spirodioxaniques identifiés dans un caramel pâtissier et leur proportion relative ; f, furanose ; p, pyranose.

nique - et lorsque c'est le cas du ou des cycles pyranose - dans leur conformation la plus stable, ce qui a été confirmé (schéma 3). Les différences souvent faibles entre les énergies de conformation de ces acétals spirodioxaniques permettent d'expliquer la très large réparti-

tion d'isomères de cycles et de configuration acétalique en équilibre retrouvés dans les produits d'activation thermique des sucres. Il est tentant d'imaginer que cet équilibre moléculaire subtil, inhérent à des pratiques culinaires ancestrales, pourrait être étroitement associé aux pro-

priétés organoleptiques des caramels et des aliments caramélisés. Des travaux sont actuellement poursuivis pour vérifier cette hypothèse.

Les dianhydrides du fructose, marqueurs de la caramélisation

La connaissance de la structure moléculaire de constituants aussi spécifiques du caramel que sont les DAFs permettait d'envisager leur utilisation pour l'authentification des caramels commerciaux. Rappelons que le caramel pâtissier dit « aromatique » est un ingrédient largement utilisé pour l'aromatisation des desserts lactés, et que le caramel « colorant » est un additif de nombreuses boissons, eaux de vie, aliments pour animaux ou encore de produits pharmaceutiques. Ces deux types de caramels sont définis par la norme Afnor NF V00-100 comme devant provenir exclusivement du traitement thermique ménagé de sucres alimentaires en présence de catalyseurs définis [15].

Plusieurs méthodes, surtout basées sur des réactions colorées du 5-hydroxyméthyl-2-furaldéhyde (HMF), sont actuellement utilisées pour l'identification des caramels, mais le fait que le HMF soit un produit commercial abondant et bon marché enlève tout intérêt à ce type de caractérisation. Les dianhydrides du fructose ne sont, par contre, pas commercialement accessibles - et ne pourront vraisemblablement pas l'être dans des conditions économiques compétitives avec celles utilisées pour l'obtention des caramels - ce qui permet de privilégier leur utilisation pour l'authentification de produits alimentaires les contenant si des méthodologies accessibles en routine industrielle peuvent être proposées pour leur caractérisation.

C'est une de ces méthodologies que nous avons mise au point [12], basée sur la transformation de ces structures polyhydroxylées en dérivés triméthylsilylés volatils susceptibles de caractérisation en chromatographie en phase gazeuse. La transformation préalable en dérivés oximes des glucooligosaccharides réducteurs et du fructose résiduel éventuellement présents dans le caramel permet de dégager la plage d'apparition des DAFs dans le chromatogramme tout en limitant le nombre des isomères possibles pour les sucres

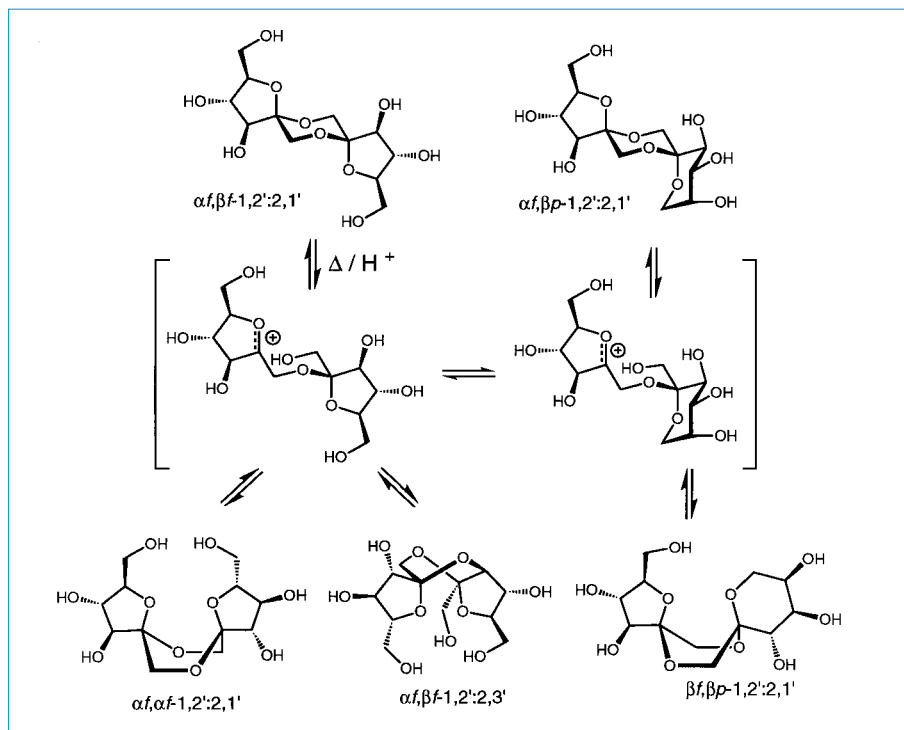


Schéma 3 - Réactions d'isomérisation des DAFs faisant apparaître le contrôle stéréoelectronique dans l'établissement des structures des composants spirodioxaniques majoritaires du caramel. Les formules représentées correspondent aux cinq DAFs majoritaires présents dans un caramel commercial de saccharose.

réducteurs aux formes syn et anti des dérivés oximes-TMS.

Cette méthodologie peut être éventuellement complétée par l'utilisation d'une détection en spectrométrie de masse, avec ionisation par impact électronique, qui permet de caractériser les DAFs par leur fragmentation spécifique - ions à m/z 217 et 204 caractéristiques respectivement des composantes furanose et pyranose du spirodioxanyl-disaccharide. La figure 1 montre l'application de cette méthodologie à la détection de l'adultération d'un « caramel » commercial. Le chromatogramme inférieur témoigne à l'évidence que le « caramel » examiné, vendu en grande surface, n'a pas subi le traitement thermique préconisé par la norme Afnor NF V00-100 et consiste vraisemblablement en un mélange artificiel de produits du commerce.

La méthode a été ensuite étendue à la caractérisation de produits alimentaires dont les procédés de préparation font intervenir l'action de la chaleur sur des matières premières végétales riches en sucres. C'est le cas de la chicorée qui est obtenue par torréfaction de racines de plantes de la famille des composacées riches en inuline. La figure 2 montre distinctement la présence attendue de DAFs, dont certains diffèrent qualitativement et quantitativement de ceux présents dans le caramel. Ces molécules sont également présentes dans les pruneaux d'Agen, raisins de Corinthe et abricots secs dont la dessiccation fait intervenir l'action de la chaleur [12].

Conclusion

Les fructo-oligosaccharides spirodioxaniques, curiosités de laboratoire jusqu'à un passé récent, sont en fait des constituants de beaucoup de produits utilisés de façon ancestrale dans l'alimentation. On peut probablement s'interroger quant au point de savoir si le principe de précaution, qui prévaut actuellement pour l'homologation d'additifs et ingrédients destinés à l'alimentation humaine, aurait permis à l'aube de ce troisième millénaire leur mise sur le marché sans études et contrôles approfondis. Fort heureusement, l'épreuve du temps a répondu à cette question. Qui plus est, certains

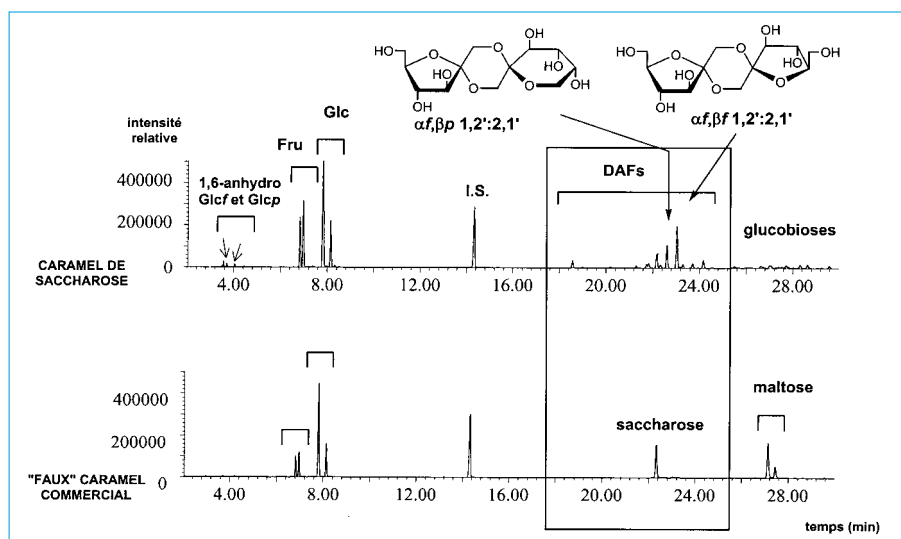


Figure 1 - Chromatogrammes en phase gazeuse comparatifs des composants glucidiques sous forme de leurs dérivés TMS-oximes d'un caramel pâtisseries commercial et d'un caramel commercial adultéré ; Fru, fructose ; Glc, glucose ; I.S., standard interne.

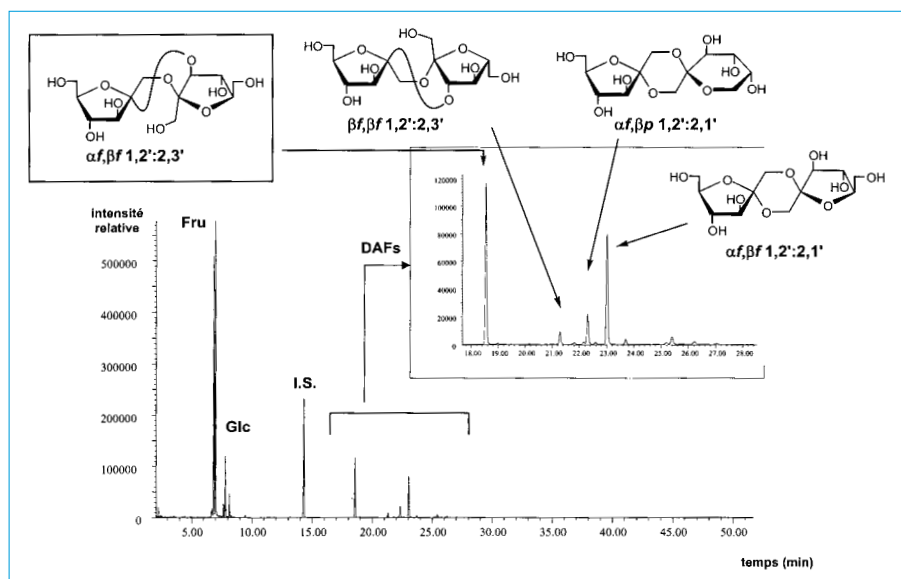


Figure 2 - Chromatogramme en phase gazeuse des composants glucidiques d'une chicorée soluble commerciale sous forme de leurs dérivés TMS-oximes.

résultats récents indiquent que ces composés pourraient avoir un effet bénéfique dans l'alimentation humaine et animale [16]. Des effets sur la rétention d'arômes sont également probables [17]. Dans l'immédiat, la connaissance de ces molécules doit contribuer à répondre aux exigences des contrôles de qualité, d'authenticité et de traçabilité en alimentation humaine.

Références

- [1] Tomasik P., Palasinski, Wiejak S., *Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.*, **1989**, 47, p. 203.
- [2] Ledl F., Schleicher E., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1990**, 29, p. 565.
- [3] Péligot E., *Ann. Chim. Phys., 2nd Ser.*, **1838**, 67, p. 113.
- [4] Gélis A., *Ann. Chim. Phys., 3rd Ser.*, **1858**, 52, p. 352.
- [5] Graham T., *J. Chem. Soc.*, **1862**, 15, p. 258.
- [6] Von Elbe G., *J. Am. Chem. Soc.*, **1936**, 58, p. 600.
- [7] Cunningham M., Dorée C., *J. Chem. Soc.*, **1917**, 61, p. 589.
- [8] Cottier L., Descotes G., Neyret C., Nigay H., *Ind. Aliment. Agric.*, **1989**, 106, p. 567.
- [9] García Fernández J.M., Gabelle A., Defaye J., *Carbohydr. Res.*, **1994**, 265, p. 249.
- [10] Defaye J., García Fernández J.M., *Carbohydr. Res.*, **1994**, 256, p. C-1.
- [11] Defaye J., García Fernández J.M., *Zuckerind.*, **1995**, 120, p. 700.
- [12] Ratsimba V., García Fernández J.M., Defaye J., Nigay H., Voilley A., *J. Chromatogr. A*, **1999**, 844, p. 283.
- [13] David S., *L'Actual. Chim.*, **2000**, p. 25.
- [14] Perron F., Albizzati K.F., *Chem. Rev.*, **1989**, 89, p. 1617.
- [15] Association Française de Normalisation, Paris : Standard Afnor NF V00-100, sept. **1988**, ISSN 0335-3931.
- [16] Manley-Harris M., Richards G.N., *Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.*, **1997**, 52, p. 207.
- [17] Ratsimba V., thèse de doctorat de l'université de Bourgogne, mars **2000**.

Des sucres naturels aux édulcorants de synthèse

Charlotte Bruker-Ballu* docteur en pharmacie, **Denis Brançon**** docteur en pharmacie,
Nicole Galand*** ingénieur université, **Claude Viel***** professeur

Summary : *From natural sugars to synthetic sweetenings*

In this presentation, authors give in first an historical evolution of natural sugars from Bible's people to now, of beet sugar particularly, and in a second part they present sweetenings and discuss the advantage of more used of them.

Mots clés : *Sucres, édulcorants, histoire.*

Key-words : *Sugars, sweetenings, history.*

D'aussi loin que l'on remonte, l'homme a toujours consommé des produits sucrés : manne des Hébreux dans la Bible, sève de certains végétaux, fruits et, longtemps avant l'ère chrétienne, le miel était la principale substance sucrante. L'usage en était extrêmement répandu dans l'art culinaire des Grecs et des Romains.

La canne à sucre fut exploitée également dès avant l'ère chrétienne sur les côtes septentrionales du Bengale et, par l'intermédiaire des Perses puis des Grecs, elle fut connue des premières civilisations occidentales. Les Arabes l'introduisirent au VII^e siècle en Égypte, à Chypre, en Afrique du Nord et dans le sud de l'Espagne. À partir du XII^e siècle, le sucre est considéré comme épice et est vendu par les apothicaires devenus aussi épiciers. C'est alors exclusivement un produit médicamenteux et, avec l'huile, la cire et le miel, il constituait l'un des quatre piliers d'une boutique d'apothicaire. C'est un produit fini qu'importe alors l'Europe chrétienne.

Les conquêtes espagnoles et portugaises du XVI^e siècle conduisent à une exploitation intensive de la canne à sucre dans les nouvelles colonies (Canaries, Saint-Domingue, Jamaïque) ; puis, à la fin du XVI^e siècle, les Français et les Hollandais l'introduisent dans leurs possessions de l'océan Indien. Des raffineries se montent dans les grands ports d'Europe (vers 1735, 15 à Bordeaux). Le commerce du sucre échappe peu à peu aux apothicaires.

À la veille de la Révolution, les 80 000 tonnes de sucre que la France importe annuellement proviennent en majeure partie de ses colonies antillaises. Les guerres de la Révolution et de l'Empire, les conflits avec l'Angleterre, provoquèrent l'effondrement de la puissance maritime fran-

çaise et, par voie de conséquence, l'arrêt des apports de canne à sucre. Devant cette pénurie, Napoléon décide alors d'encourager les recherches visant à trouver des sucres de remplacement. Les autorités n'en retiennent que deux : le sucre de raisin, ardemment défendu par Parmentier et Proust, et le sucre de betterave, dont Chaptal reste le plus célèbre propagandiste, qui séduira davantage les entrepreneurs et qui donnera naissance à une des branches les plus prospères de l'industrie agroalimentaire. Signalons que ces travaux sur le sucre de betterave se sont très largement inspirés des expériences de l'Allemand Marggraf sur l'extraction du sucre de végétaux indigènes, dont la betterave, qui furent publiés dans l'indifférence générale en 1747, et d'autre part, que c'est Benjamin Delessert qui, en 1812, a obtenu les premiers pains de sucre à la suite de la mise au point d'un procédé industriel d'extraction du saccharose à partir de la betterave.

La situation redevenue normale, le sucre de canne reprit son premier rang, mais l'émancipation des esclaves, ainsi que l'importance économique de la betterave ont permis à ces deux sucres de coexister sur le marché, le sucre, produit de luxe avant la Révolution, faisant partie intégrante de l'alimentation en 1900.

En ce XX^e siècle finissant, nul besoin d'être nutritionniste pour savoir que les pays industrialisés se caractérisent par un mauvais équilibre alimentaire et par un apport énergétique trop important. Afin de pallier la surconsommation de sucre reconnue nocive pour la santé (diabète, caries dentaires, poids), la recherche s'est orientée vers le développement et la vente d'édulcorants naturels et de synthèse non glucidiques.

Depuis la mise en évidence du pouvoir sucrant de la saccharine en 1879, les chimistes ont découvert, bien souvent par hasard, le goût sucré de substances naturelles ou de synthèse, dont certaines sont devenues des édulcorants commercialisés, comme cela a été le cas pour la saccharine (1894), les cyclamates (1937), l'aspartame (1965), l'isoglucose (1967), l'acésulfame (1971).

Actuellement, le marché des édulcorants est d'une très grande importance économique, les besoins de l'industrie

Communication

* Laboratoires du Dr E. Bouchara, 68, rue Marjolin, BP 67, 92302 Levallois-Perret.

Tél. : 01.45.19.10.70. Fax : 01.47.31.46.08.

** 10, avenue du Général Maunoury, 41000 Blois.

Tél. : 02.54.78.07.72. Fax : 02.54.74.28.88.

*** Faculté de Pharmacie, 31, avenue Monge, 37200 Tours. Tél. : 02.47.36.71.73. Fax : 02.47.36.71.74.

E-mail : viel@univ-tours.fr

alimentaire ne cessant de s'accroître sans pour autant qu'il y ait diminution de la consommation en sucre. Ainsi, les industries sucrières, des laboratoires pharmaceutiques, les producteurs de maïs (pour la fabrication industrielle de l'isoglucose), occupent le marché des substances sucrantes.

Pour être un édulcorant compétitif, un composé doit satisfaire à certains critères, les uns subjectifs comme la nature du goût sucré, l'absence d'arrière-goût, l'influence sur le goût des produits à sucrer, les autres mesurables comme la solubilité, le pouvoir sucrant, la stabilité, le pouvoir calorique. Bien évidemment, pour être commercialisé, un édulcorant doit être dépourvu de toxicité et d'effets indésirables.

Ainsi donc, l'emploi d'un édulcorant répond à trois préoccupations :

- donner une saveur sucrée aux aliments naturels ou de régime : l'édulcorant est un additif alimentaire ou un ingrédient ;
- aider aux traitements de divers troubles nutritionnels : l'édulcorant est une substance pharmaceutique ;
- faciliter ou rendre agréable l'administration d'un médicament : l'édulcorant est un excipient.

Il existe plusieurs classifications des édulcorants basées sur leur emploi, l'intensité de leur pouvoir sucrant, leur origine (naturelle, hémi-synthétique, synthétique).

Classification des édulcorants

Classification selon l'intensité du pouvoir sucrant

Deux catégories d'édulcorants : les édulcorants « volumineux », qui présentent un pouvoir sucrant comparable au saccharose pris comme référence, les autres, qui constituent les édulcorants « intenses ». Les premiers participent au volume des aliments, les autres n'y apportent aucune contribution significative. Parmi les édulcorants « volumineux », il convient de citer le sorbitol, le mannitol, le xylitol, alors que parmi les édulcorants « intenses », on trouve l'aspartame, l'acésulfame, l'acide cyclamique, la glycyrrhizine, la miraculine, la saccharine, le stéviolide, la thaumatine.

Classification selon l'origine et le pouvoir calorigène

Elle comprend trois catégories d'édulcorants :

- édulcorants calorigènes d'origine naturelle [monoses, polyols, dérivés de synthèse (palatinit, lycasins)] ;
- édulcorants non calorigènes d'origine végétale [protéines d'origine végétale (miraculine, monelline, thaumatine), hétérosides (stéviolide, glycyrrhizine, dihydrochalcones)] ;
- édulcorants non calorigènes d'origine synthétique [aminoacides (tryptophane, glycine, aspartame, alitame), divers (saccharine, cyclamates)].

Les *tableaux I et II* rapportent respectivement les caractéristiques et les formules des principaux sucres et édulcorants.

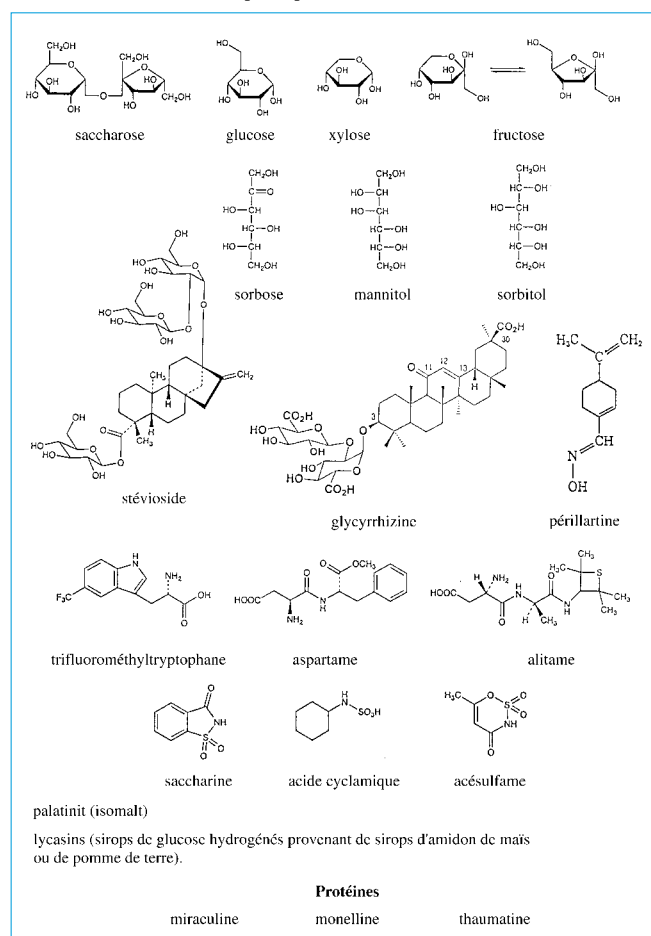
Les substances sucrantes appartenant à de nombreuses familles chimiques, et leurs structures étant très variées, les études de relations structure-activité ont permis de postuler

Tableau I - Principaux édulcorants et leurs caractéristiques.

Coût comparé au saccharose = $\frac{\text{Prix du produit au kg/P. S. du produit}}{\text{Prix du saccharose au kg/P. S. du saccharose.}}$

Édulcorants	Pouvoir sucrant (P. S.)	Pouvoir calorique (kcal/g)	Coût comparé au saccharose
Saccharose	1	4	1
Glucose (Dextrose)	0,5	4	5,9
D-Fructose (Lévilose)	1,25	4	7
Glycyrrhizine	50		8,6
Stéviolide	300		0,6
Néo-hespéridine dihydrochalcone	300 à 2 000		0,7 à 4,8
Thaumatococines	2 000 à 3 000		0,47 à 0,7
Monellines	1 500 à 2 000		
Isomalt (Palatinit)	0,5	4	35
Lactitol	0,35 à 0,6	2	23,2
Lycasins	0,75	3,9	12
Mannitol	0,6	4	35
Maltitol et isomaltitol	0,9	2,5	22,2
Sorbitol	0,5 à 0,7	4	12,3 à 17,2
Xylitol	1	4	28,5
Saccharine	300	0	0,08
Aspartame	200	4	2,3
Cyclamate	30	0	0,6
Acésulfame-K	200	0	0,54
Alitame	2 000	4	> 2,3

Tableau II - Formules des principaux édulcorants.



une structure tridimensionnelle commune à ces différentes molécules : triangle comportant à la base un pôle acide et un pôle basique, et au sommet un pôle lipophile à distance déterminée. Ainsi, pour l'aspartame, l'acide aspartique fournit les pôles acide et basique, et le noyau aromatique de la phénylalanine le sommet lipophile.

Quelques données sur les sucres et les principaux édulcorants

Saccharose

- Extrait de la canne à sucre, de la betterave sucrière
- Calorique, calorigène, diabétogène, sucre « rapide »

Fructose

- Fruits, miel, nombreux légumes
- Préparation par hydrolyse de l'amidon de maïs ou du saccharose
- Résorption lente, sucre de l'effort prolongé
- Utilisation chez les diabétiques, ne déclenche pas d'insulino-sécrétion
- Effet secondaire : laxatif
- Pouvoir sucrant 1,5 donc diminution de l'apport glucidique pour un même effet sucrant
- Coût élevé

Isoglucose

- Glucose isomérisé à haute teneur en fructose

Sorbose

- Extrait des baies de sorbier
- Utilisable chez le diabétique
- Pouvoir sucrant 0,8 à 1
- Utilisé dans les chocolats, les chewing-gums (non cariogène), pâtisseries, confitures, glaces, boissons, conserves de fruits

Xylose

- Sucre insulino-indépendant, peut être utilisé chez le diabétique
- Provoque des diarrhées osmotiques
- Faible pouvoir sucrant : 0,4 ; très peu utilisé

Mannitol

- Obtenu par hydrogénation du glucose
- Insulino-indépendant, peut être utilisé chez le diabétique
- Pouvoir sucrant faible : 0,7
- Diurétique, laxatif
- Peu employé

Sorbitol

- Obtenu à partir des baies de sorbier
- Pouvoir sucrant faible : 0,5
- Nombreux emplois en confiserie
- Valeur calorique : 3,9 kcal/g (très proche de celle du saccharose)

Stévioside

- Isolé à partir des feuilles de *Stevia rebaudiana* (Asteracées). Au Paraguay : *Herba dulce* (Herbe douce)

- 1 kg de feuilles fraîches fournit 12 à 15 g de stévioside
- Pouvoir sucrant : 300
- Stable à la chaleur. Très utilisé au Japon
- Effet mutagène ?

Glycyrrhizine

- Réglisse (rhizome)
- Pouvoir sucrant : 50
- Effets secondaires importants (hypertension, œdème, hypokaliémie, polyurie...) à dose supérieure à 500 mg /jour.

Périllartine

- Oxime de l'aldéhyde périllique, principal constituant de *Perilla frutescens* (Lamiacées)
- Pouvoir sucrant plus de 2 000 fois celui du saccharose
- Utilisée au Japon. Manque de données toxicologiques

6-Trifluorométhyltryptophane

- Pouvoir sucrant plus de 2 000 fois celui du saccharose
- Ne semble pas employé

Aspartame

- Dipeptide
- Pouvoir sucrant, 180 à 200 fois celui du saccharose, découvert fortuitement (Schlatter, 1964). Apport calorique 4 kcal /g
- Stable, soluble dans l'eau, stable jusqu'à 150 °C (limite 3/4 h de cuisson)
- Très employé. Utilisations nombreuses et très importantes
- Pas d'effet toxique

Alitame

- Dipeptide
- Pouvoir sucrant 2 000 fois celui du saccharose
- Concurrent de l'aspartame
- Très employé

Saccharine

- Le plus ancien édulcorant (Falberg, 1879).
- Commercialisé en Allemagne en 1894
- Pouvoir sucrant 350 fois celui du saccharose
- Pouvoir calorique 0
- Polémique sur son innocuité mais selon le « National Cancer Institute » le risque de cancer de la vessie ne serait pas augmenté avec la prise de cet édulcorant
- Utilisé dans les boissons

Acide cyclamique et sels, dont l'acésulfame de potassium

- Pouvoir sucrant 30 fois celui du saccharose
- Acésulfame de potassium : pouvoir sucrant 2 000 fois celui du saccharose
- Beaucoup plus stable à la chaleur que l'aspartame
- Pas de toxicité relevée

Palatinit = Isomalt

- Mélange équimoléculaire de disaccharides-alcools
- Stable à la chaleur
- Pouvoir sucrant : 0,45
- Pouvoir calorique inférieur à celui du saccharose

Lycasins

- Sirops de glucose hydrogénés provenant de sirops d'amidon de maïs ou de pomme de terre
- Pouvoir sucrant : 0,75

- Donnent une bonne plasticité aux chewing-gums
- Non utilisables pour les boissons par manque de saveur

Miraculine

- Glycoprotéine isolée d'une Sapotacée d'Afrique équatoriale
 - « Fruit miracle » qui transforme le goût acide en goût sucré
- Commercialisée en Suède et aux États-Unis, cette commercialisation fut rapidement abandonnée, par suite d'une confusion possible par les enfants avec des produits ménagers

Monelline

- Extraite des baies d'une Ménispermacée (*Dioscorea phyllanthifolia*) « baie de la bonne surprise »
- 1 kg de fruit fournit 10 à 15 g de monelline, soit 1 à 2 g de monelline pure
- C'est une protéine de 2 sous-unités de 44 et 50 acides aminés. Chaque chaîne prise séparément n'a aucun pouvoir sucrant
- Configuration spatiale importante
- Pouvoir sucrant 1 500 à 2 000 fois celui du saccharose
- Perd son pouvoir sucrant en partie à 75 °C ; est totalement détruite si elle est maintenue 15 min à 100 °C, ce qui limite beaucoup son développement

Thaumatococine

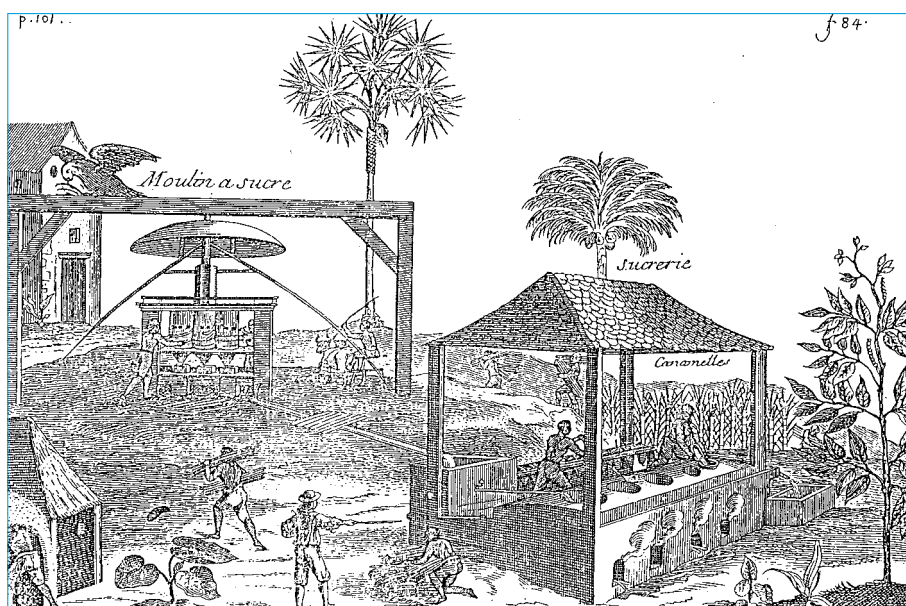
- Extraite du fruit d'une Marantacée africaine (*Thaumatococcus daniellii*)
- 3 protéines extraites : thaumatococines 0, I, II
- Composition en acides aminés peu différente d'une protéine à l'autre (différent surtout par leur charge ionique)
- Mélange commercialisé : Talin ®
- Pouvoir sucrant phénoménal : 1 400 fois celui du sucre pour un soluté à 15 % ; 2200 fois pour un soluté à 10 %

- Toxicité faible
- La perception du goût sucré peut dépasser 10 à 12 min, associée à une perception retardée. Pour pallier cette rémanence, association au saccharose, fructose, saccharine
- Utilisable chez le diabétique
- Utilisations (chewing-gums, formulations pharmaceutiques)

En conclusion, on peut dire que si le sucre a encore de beaux jours devant lui, les édulcorants prennent une part de plus en plus importante dans l'alimentation mondiale, ce qui justifie la poursuite des recherches intensives dans ce domaine.

Références

- Brançon D., *Chimistes et pharmaciens français face aux pénuries de sucre sous le premier Empire*, diplôme d'État de docteur en pharmacie, Tours, **1985**.
- Brançon D., Viel C., L'approvisionnement en sucre sous le Blocus continental - II - Jean-Antoine Chaptal et le sucre de betterave, *L'Actualité Chimique*, **1997**, 7, p. 34-38.
- Brançon D., Viel C., Le sucre de betterave et l'essor de son industrie, des premiers travaux jusqu'à la fin de la guerre de 1914-1918 ; *Rev. Hist. Pharm.*, **1999**, 47, p. 235-246.
- Bruker C., *Relations structure-activité des édulcorants non glucidiques*, diplôme d'État de docteur en pharmacie, Paris XI-Châtenay, **1992**.
- Fournier J., L'approvisionnement en sucre sous le Blocus continental - I - Louis-Joseph Proust et le sucre de raisin, *L'Actualité Chimique*, **1997**, 6, p. 31-37.
- Fournier J., Essais de fabrication du sucre de raisin sous le premier Empire ; *Rev. Hist. Pharm.*, **1999**, 47, p. 227-234.
- Plouvier L., L'introduction du sucre en pharmacie, *Rev. Hist. Pharm.*, **1999**, 47, p. 199-216.
- Viel C., A propos de la fabrication du sucre de raisin sous l'Empire, *Rev. Hist. Pharm.*, **1988**, 35, p. 59-62.



La nutrition des plantes : d'Antoine Laurent de Lavoisier à nos jours

Konrad Mengel* professeur, docteur

Summary : *Plants nutrition - from Antoine Laurent de Lavoisier till nowadays*

Relatively late in the mankind history it was found that plant nutrients are of inorganic nature and represent the essential basis of soil fertility. The modern concept of plant nutrition is based on the pioneer works of Lavoisier, Sprengel, Liebig, Boussingault and Hellriegel. The practical realization of this concept resulting in a consequent fertilizer use - mineral fertilizers as well as farmyard manure - has increased crop yields by a factor of 3 to 5 in industrial countries. Also in third world countries the consequent realization of this concept will contribute substantially to improve food production and welfare

Mots clés : *Fertilité des sols, humus, engrais, azote, micro-éléments.*

Key-words : *Soil fertility, humus, fertilizers, nitrogen, microelements.*

Au cours de l'histoire de l'humanité, la fertilité du sol a joué un rôle croissant. Elle était un indicateur de la capacité du sol à produire des plantes utiles. Pendant très longtemps, le mécanisme de la fertilité du sol n'a pas été compris, il était associé aux dieux et constituait une part importante des différentes religions. C'est relativement tard dans l'histoire de l'humanité qu'on a découvert que la fertilité du sol est d'abord une question de nutrition des plantes, donc une question de physiologie végétale et non pas un problème surnaturel. De même, on a cru que la transformation du moût en vin était un processus réalisé par des forces surnaturelles. C'est le grand génie Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) qui a montré que la fermentation était un processus chimique au cours duquel le sucre est transformé en éthanol et en dioxyde de carbone, et que cette transformation n'était pas le fait de forces surnaturelles. Cette découverte fondamentale a beaucoup aidé les philosophes et les scientifiques à comprendre que le mécanisme

de la fertilité du sol était lié à un processus physico-chimique.

La famine était un grand problème en Europe à l'époque de Lavoisier et, bien sûr, il y fut confronté. Il a vite compris que le manque d'engrais était la question essentielle. L'utilisation du fumier qu'il réalisa en parquant des vaches et des moutons pendant la période de juin à octobre, la nuit, sur un terrain délimité qui se trouva fertilisé par les excréments des animaux, a permis de doubler les récoltes et a montré que les substances matérielles contribuent à la fertilité du sol. Vers la fin de sa vie, en 1792, Lavoisier a commencé à entrevoir que la nutrition des plantes n'était pas le fait de l'humus [1].

En Europe, la fertilisation des sols par les excréments des animaux et des humains a été introduite au cours des XVIII^e et XIX^e siècles. En Allemagne, elle a été propagée par Albrecht Thaer (1752-1828) et en Autriche par Johann Burger (1773-1842). Ces protagonistes sont connus comme étant les fondateurs de la théorie de l'humus, théorie selon laquelle l'humus est la source directe de la nutrition des plantes. L'utilisation du fumier augmente la teneur en humus du sol et accroît sa productivité. Les travaux scientifiques d'Albrecht Thaer

étaient étroitement liés à la pratique de l'agriculture et ont eu un effet bénéfique sur la vie des fermiers.

Carl Sprengel (1787-1859) était un élève de A. Thaer. Ses travaux sur l'humus l'ont amené à reconnaître l'importance des minéraux pour la nutrition des plantes. Ses recherches sur les minéraux dans les sols, dans les végétaux et le fumier l'ont convaincu que ce n'était pas l'humus mais les minéraux qui étaient les substances nutritives des plantes. Cette idée nouvelle a été publiée pour la première fois en 1828, c'est-à-dire 12 ans avant que Liebig ne publie sa théorie de la nutrition minérale des plantes. Sprengel a aussi trouvé la loi du minimum : loi selon laquelle l'élément présent dans la plus petite quantité est déterminant pour le niveau de la récolte [2].

Jean-Baptiste Boussingault fut un promoteur remarquable de la science de la nutrition des plantes. Selon Lavollay [3], Boussingault fut le fondateur de la chimie agricole moderne. Ses travaux sur l'azote, en particulier, ont considérablement augmenté notre connaissance de la nutrition des plantes. En 1839, il écrivait : « *Le seul gisement d'azote est l'atmosphère, il est donc très probable que les êtres organisés aient emprunté*

Conférence

* Justus Liebig Universität, Am Weingarten 1,
35 415 Pohlheim, Allemagne.
Tél./Fax : +49 6403 62313.
E-mail : Konrad.Mengel@ernaehrung.uni-giessen.de

l'azote à l'atmosphère ». C'était une observation très importante parce que l'azote est un élément essentiel pour la nutrition des plantes. Cette découverte nouvelle a amené la question suivante : comment les organismes vivants sont-ils capables d'assimiler l'azote atmosphérique ? Les expériences de Boussingault réalisées dans sa ferme de Pechelbronn en Alsace ont montré que les plantes absorbent l'azote du sol et indirectement celui de l'atmosphère. Entre 1851 et 1854, grâce à 21 expériences très minutieuses [4], Boussingault démontre que l'azote de l'air n'est pas assimilé directement par la plante. Il a découvert que l'azote organique du sol est transformé en nitrate et que cette transformation a besoin du sol pour se réaliser.

Justus Liebig (1803-1873) a étudié à Paris avec des savants réputés comme Gay-Lussac, Thénard et Vauquelin et, bien évidemment, les idées de l'école française et plus particulièrement celles de Lavoisier ont influencé ses concepts. Lavoisier avait déjà vu la circulation des éléments nutritifs entre les animaux et les végétaux [5]. Liebig a présenté sa théorie de la nutrition des plantes dans son fameux livre « *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie* » dont la première édition est parue en 1840 [6]. Le cycle des éléments nutritifs représente une part importante de cette théorie. Les plantes sont le média entre le monde inorganique du sol et le monde organique des animaux et des hommes : c'est une propriété fondamentale des plantes de transformer les éléments inorganiques en substances organiques grâce à l'énergie du soleil. La nourriture des hommes et des animaux est produite directement ou indirectement par cette transformation. Les excréments et également les substances des organismes morts, apportés dans le sol, y sont décomposés et transformés en éléments inorganiques et servent d'éléments nutritifs pour les plantes. Pour Liebig, toutes les substances nutritives des plantes ont avant tout un caractère inorganique et la teneur du sol en éléments nutritifs est un indicateur de sa fertilité. Pour maintenir cette fertilité, il est indispensable d'apporter des éléments nutritifs au sol en remplacement de ceux qui ont été absorbés par les plantes et de ce fait éliminés du sol sous forme de produits agricoles.

Liebig a supposé que non seulement le dioxyde de carbone mais également l'azote étaient absorbés par les feuilles sous forme d'ammoniaque. Son « *Patentdünger* » (engrais minéral artificiel) ne contenait probablement pas d'azote et les essais en plein champ conduits à Rothamsted par Lawes et Gilbert ont montré que le « *Patentdünger* de Liebig » était totalement inefficace [7]. Les expérimentations de Lawes et Gilbert ont montré que l'application de l'azote sous forme organique ou inorganique pouvait augmenter considérablement le rendement des plantes. Plus tard, les propres expérimentations de Liebig l'ont convaincu que la croissance des plantes était favorisée par l'application d'azote inorganique sous forme d'ammonium ou de nitrate. Ceci est bien documenté dans la 7^e édition parue en 1862 de son fameux livre qui fut un « bestseller » au XIX^e siècle [8]. Liebig a compris que l'azote pouvait au niveau global probablement devenir un facteur limitatif de la production végétale, et il a conseillé aux agriculteurs allemands d'utiliser l'azote du fumier avec grand soin et d'éviter les pertes en ammoniaque [9]. Aucun chimiste ne pouvait, à son avis, concevoir que l'azote atmosphérique pût être transformé sous forme d'ammonium ou sous forme de nitrate. Liebig prévoyait que la réserve de guano serait rapidement consommée si les agriculteurs allemands l'utilisaient en quantités aussi importantes que les agriculteurs anglais, et il les a convaincus de fertiliser les sols avec de la chaux, de la potasse, des phosphates et de cultiver des espèces légumineuses en assolement avec des céréales. Il croyait que les espèces légumineuses étaient capables d'absorber l'ammoniaque par leurs feuilles et donc d'enrichir le sol avec l'azote disponible. Ce principe a été de plus en plus mis en œuvre par les agriculteurs et couronné de succès : les rendements des cultures végétales ont augmenté, particulièrement sur les sols sableux [10].

Les disciples de Boussingault, J.J. Th. Schloesing et A. Müntz ont découvert que la nitrification de l'azote dans le sol était un processus microbien. L'idée, reposant sur les travaux du génial Louis Pasteur (1822-1895), que des microorganismes puissent rendre possible des processus chimiques n'était

pas acceptée par Liebig. Environ dix ans après sa mort, on a découvert que l'azote atmosphérique était assimilé par des microorganismes vivant en symbiose avec des espèces légumineuses. Dès 1880, différents chercheurs ont trouvé que les nodules des racines des espèces légumineuses contenaient des microbes. Grâce à une expérimentation géniale, Hermann Hellriegel et son collaborateur Hermann Wilfert ont découvert qu'il y avait des bactéries dans les racines des espèces légumineuses capables de transformer l'azote atmosphérique sous une forme utilisable par les plantes. Le succès de cette expérience a permis de comprendre les observations déjà rapportées par les Romains et aussi constatées par Lavoisier [11], à savoir que la culture des espèces légumineuses augmentait la fertilité du sol. Cette découverte concordait également avec la supposition de Boussingault que les espèces légumineuses pouvaient contrairement aux céréales utiliser directement l'azote atmosphérique [3].

La découverte de Hellriegel a eu une influence considérable sur la pratique de l'agriculture. La crainte de Liebig que la réserve d'azote assimilable par les plantes soit consommée très rapidement n'était plus fondée. En Allemagne, les espèces légumineuses sont donc devenues un élément essentiel de la rotation des cultures agricoles et ont permis en combinaison avec l'utilisation d'engrais comme la chaux, la potasse et le phosphore d'augmenter les rendements agricoles de plus de 100 % [12]. Ce type d'agriculture a dominé pendant la 2^e moitié du XIX^e siècle et les premières décennies du XX^e siècle avec une influence bénéfique, non seulement sur la production végétale, mais aussi sur l'élevage des animaux parce que, désormais, une quantité plus importante de fourrage de haute qualité était disponible en raison notamment de la culture du trèfle [13]. La prospérité des petits cultivateurs en a été améliorée de façon significative. D'un point de vue écologique, ce type d'agriculture était meilleur que l'agriculture moderne actuellement pratiquée en Europe.

Outre les éléments nutritifs déjà mis en évidence par Liebig, d'autres éléments chimiques essentiels pour la nutrition des plantes ont été découverts

pendant le XX^e siècle. Ces éléments, nommés microéléments ou oligo-éléments, sont nécessaires au maintien d'une production végétale uniquement pour certaines qualités de sols très particuliers [14]. C'est Anna Sommer aux États-Unis (Alabama) qui a plus particulièrement montré, avec ses expérimentations sur des solutions nutritives réalisées avec des sels purifiés, que des microéléments comme le cuivre, le bore et le zinc sont, en quantité minime, essentiels pour la vie des plantes [15].

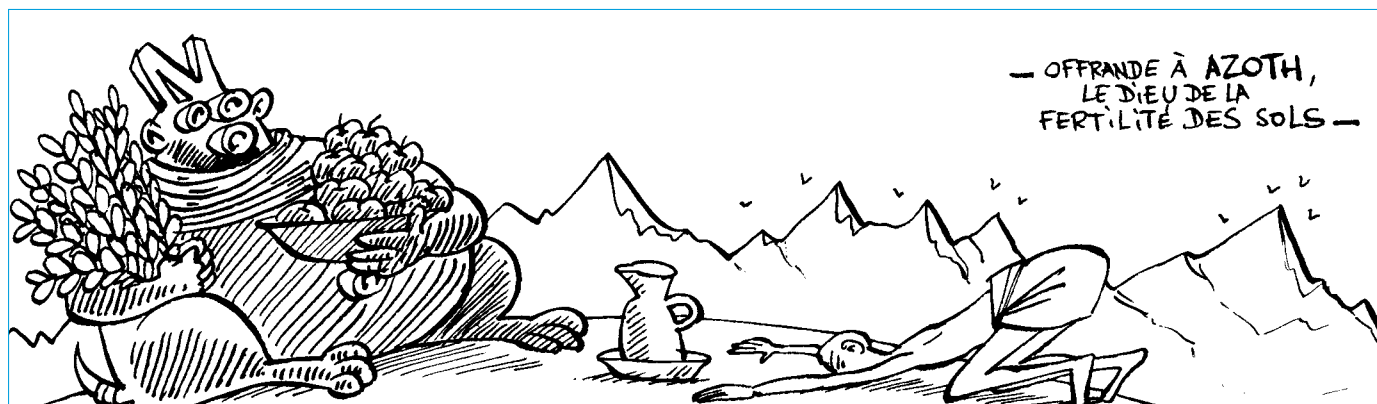
La situation dans beaucoup de pays du tiers monde est actuellement semblable à celle de l'Europe du XIX^e siècle. A cette époque, la famine représentait en Europe un danger permanent et elle a été maîtrisée par d'importants progrès scientifiques et techniques. Ce sont les mêmes concepts et les mêmes techniques qui peuvent aider à maîtriser la situation nutritionnelle dans les pays du tiers monde : c'est-à-dire l'utilisation d'engrais chimiques accompagnée d'une rotation appropriée des cultures avec culture d'espèces légumineuses et récupération des éléments nutritifs du fumier [16]. De nos jours, dans les pays développés, l'utilisation des engrais chimiques est indispensable pour des raisons économiques. Dans ce cas, le défi scientifique et technique de la nutrition des plantes consiste en l'adéquation des quantités d'engrais fertilisés aux quantités d'éléments nutritifs assimilables déjà contenues dans le sol. La conception de Barber et aussi de Nye sur la « diffusion et mass flow » des éléments nutritifs dans le sol a particulièrement contribué à la compréhension du phénomène de la disponibilité du phosphore et du potassium dans le sol [17]. En ce qui

concerne l'azote, le problème est plus complexe parce que l'activité microbienne dans le sol joue un rôle majeur. Le concept moderne de modélisation sur ordinateurs de ces processus multifactoriels laisse aussi espérer des progrès dans le domaine de la disponibilité de l'azote dans le sol [18]. Des expérimentations récentes ont montré que ce n'est pas l'humus mais des substances comme les peptides (l'azote aminé) dans le sol qui sont les plus importantes sources pour la minéralisation de l'azote organique et qui jouent donc un rôle essentiel pour la nutrition des plantes [19].

Beaucoup de progrès ont été réalisés pendant les dernières décennies dans la connaissance des mécanismes par lesquels les racines des plantes absorbent les éléments nutritifs du sol et dans la connaissance des processus physico-chimiques et microbiens dans la rhizosphère. Les progrès faits dans le domaine de l'absorption des éléments nutritifs, plus particulièrement des processus par lesquels les éléments nutritifs sont absorbés (transport à travers les membranes biologiques), sont révolutionnaires. Pour le processus d'absorption, les pompes à protons (H^+ ATPase) jouent un rôle primordial.

Références

- [1] Boulaine J., *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, **1994**, 80-67(4), p. 9-73.
- [2] Böhm W., *Biografisches Handbuch zur Geschichte des Pflanzenbaues*, Verl. K.G. Saur, Munich, **1997**, p. 323-326.
- [3] Lavollay J., *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, **1987**, 73, p. 3-10.
- [4] Boulaine J., *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, **1987**, 73, p. 11-20.
- [5] Cauderon A., *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, **1994**, 80, p. 41 (4)-50.
- [6] Liebig J., *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*, 1. ed., Verlag Vieweg Braunschweig, **1840**.
- [7] Johnson A.E., Liebig and the Rothamsted Experiments, In « *150 Jahre Agrikulturchemie* », Liebig Ges. Giessen ed., **1991**, p. 37-64.
- [8] Böhm W., Liebig und die Entwicklung der Pflanzenbauwissenschaften, In « *150 Jahre Agrikulturchemie* », Liebig Ges. Giessen ed., **1991**, p. 65-84.
- [9] Liebig J., *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*, 8e ed., Vieweg Verlag, Braunschweig, **1965**.
- [10] Böhm W., *Angewandte Botanik*, **1986**, 60, p. 1-5.
- [11] Poirier J.-P., Antoine Laurent de Lavoisier, 1743-1794, *Pygmalion*, Gérard Watelet, Paris, **1993**.
- [12] Siemes J., *Pflug und Spaten*, **1979**, 27, n° 6.
- [13] Schmitt L., *Vom Segen der richtigen Düngung*, DLG-Verlag Frankfurt, **1958**.
- [14] Loué A., *Les oligo-éléments en agriculture*, Agri-Nathan International, Paris, **1986**.
- [15] Evans L.T., *Feeding the Ten Billion*, Cambridge University Press, **1998**.
- [16] Sanchez A., Leakey R.R.B., *European Journal of Agronomy*, **1997**, 7, p. 15-23.
- [17] Jungk A., Claassen N., *Advances in Agronomy*, **1997**, 11, p. 53-100.
- [18] Molina J.A.E., Smith P., *Advances in Agronomy*, **1998**, 62, p. 253-298.
- [19] Mengel K., Schneider B., Kosegarten H., *J. Plant Nutr. Soil Sci*, **1999**, 162, p. 139-148.



Agriculture : naissance du désherbage chimique des cultures

Jean-Louis Bernard* External Relation and Environment, Zeneca Ag.

Summary : *Agriculture : the birth of chemical weed control*

Capacity of chemicals to be used for selective weed control has been demonstrated since 1896 by Louis Bonnet. Based on copper sulphate spraying, this discovery represents a starting point for modern weed control and herbicide research.

Mots clés : *Agriculture, désherbage, sulfate de cuivre.*

Key-words : *Agriculture, weed control, copper sulphate.*

Depuis fort longtemps, nos ancêtres ont observé l'effet négatif que pouvaient avoir diverses substances chimiques, simples ou complexes, sur la croissance des végétaux. Ainsi, dans la Haute Antiquité et jusqu'à la période romaine, on connaît des cas où de grandes quantités de sel marin ont été répandues sur les ruines de cités conquises et détruites, afin que le chlorure de sodium, en interdisant pour des années la croissance végétale, témoigne symboliquement de la volonté d'anéantissement qui était celle des conquérants. Plus prosaïquement, l'agronome latin Varron signale que l'« amurca », un sous-produit de l'huilerie, peut être utilisé avec profit au pied des oliviers afin d'y empêcher la croissance de l'herbe indésirable.

Mais ces observations restent sans lendemain et pendant près de deux millénaires, le désherbage des cultures va demeurer pour l'essentiel un travail manuel, peu différent de celui que décrit Olivier de Serres vers 1600 : « C'est l'ouvrage du menu peuple de sarcler ; à quoi les femmes et les enfants travaillent utilement, n'y ayant autre chose à faire qu'à arracher les

herbes avec la main seule, où à l'aide de quelques petites fourchettes ; si on ne peut entièrement débarrasser les blés de cette herbe en une fois, on y retournera une seconde et une troisième ; en un mot, autant qu'il faudra pour que les blés restant seuls au champ puissent, sans embarras, achever de croître et mûrir » [1].

Crises et transformations techniques au XIX^e siècle

Entre 1815 et 1860, une bonne part du progrès agricole résulte de la régression des surfaces en jachère, de l'essor des cultures fourragères et des plantes sarclées, ainsi que de l'augmentation des apports de matières fertilisantes produites sur la ferme par le bétail où délivrées sous forme de guano, de « poudrette » ; puis, après 1860, d'un emploi croissant des fertilisants d'origine minérale [2]. Sur des cultures semées ou plantées en ligne, là où il est possible d'utiliser des houes à cheval complétées de sarclages manuels, les adventices sont assez bien contenues. Ce qui n'est pas le cas pour les cultures semées à la volée, céréales en tête.

Pour celles-ci, les conseils des agronomes se résument à préconiser [3] :

- l'utilisation de cultures sarclées (dites « nettoyantes ») comme précédent des céréales ou, à défaut, la réalisation d'un déchaumage estival pré-

cocé suivi de façons culturales répétées avant les semis d'automne,

- de maintenir les jachères propres au moyen de façons aratoires multiples dans l'année qui précède le retour du blé, pratique ancestrale que préconisait déjà Xénophon, 350 ans avant J.C. !,

- d'épurer les semences avant semis pour en extraire un maximum de graines étrangères,

- de herser énergiquement les céréales d'automne en sortie d'hiver (sans garantie de suppression du binage manuel),

- de réaliser binage et sarclage du blé autant que nécessaire.

En France, l'introduction des premiers semoirs en ligne pour céréales remonte à 1834. Mais leur usage ne se répand que lentement et encore plus lentement celui des houes à cheval qui permettent leur binage mécanique. La plupart des exploitants se bornent à réaliser un essavage (sanve : moutarde sauvage) ou un échardonnage manuel en complément du hersage de printemps. Ce travail est réalisé à partir du mois de mai, c'est-à-dire trop tard en saison pour avoir un impact décisif sur les rendements. Mais, au moins, limite-t-on la dispersion des semences adventices. On réalise l'échardonnage au moyen de petites lames coupantes fixées sur de longs manches en bois que l'on utilise en poussant le tranchant sur le pivot ou le collet des plantes adventices déjà développées.

* Conférence
Zeneca, Technical Management Europe,
BP 141, 18, rue Grange Dame Rose,
78148 Vélizy-Villacoublay.
Tél. : 01.34.63.51.08. Fax : 01.34.63.51.70.
E-mail :
Jean-Louis.Bernard@ageurope.Zeneca.com

On signale pour une fonction similaire l'usage de grandes tenailles en bois appelées moettes en Normandie, destinées à extirper les mauvaises herbes volumineuses [4]. Du fait de telles pratiques, le problème des adventices en grandes cultures demeure entier et devient même un des facteurs limitants du progrès agricole qui obère largement, après 1890, les avantages que procurent les variétés sélectionnées et les fumures minérales.

Les dernières années du XIX^e siècle sont marquées en Europe de l'Ouest par une crise profonde qui voit chuter la plupart des prix agricoles (hormis la betterave). Le prix du blé régresse de 34 % entre 1875 et 1896 [5], malgré l'imposition de taxes énormes à l'entrée des blés nord-américains. Ces difficultés entraînent nombre de faillites d'exploitants alors que, dans le même temps, la main d'œuvre agricole disponible devient plus rare et plus chère, attirée vers les villes par l'essor industriel. Après bien d'autres appels à la modernisation agricole, Dehérain [6] conclura en 1898 à l'inefficacité des taxes et à l'absolue nécessité de « produire à bas prix, c'est-à-dire d'une part de diminuer nos dépenses, et de l'autre d'augmenter nos rendements ».

C'est dans ce contexte que se situe l'invention du désherbage sélectif des cultures.

La découverte de Louis Bonnet

Autour de 1890, nombre d'expérimentations ont été réalisées en Europe afin d'évaluer les avantages combinés du semis en ligne et du binage manuel ou mécanique. Toutes montrent qu'il est possible d'accroître de plus de 20 % le rendement du froment grâce à un meilleur contrôle des plantes adventices.

Les fortes populations de crucifères rencontrées au début de la décennie dans le nord de la France ont aiguisé l'attention des techniciens et plusieurs propositions ont été faites pour les combattre, sans grand succès... comme en témoignent les débats animés de la Société nationale d'Agriculture de France [7] où le désherbage des céréales est sujet de grande actualité. Le comte de Salis suggère de semer le

blé très écarté pour réaliser 2 à 3 passages de houe mécanique, bien que ce travail soit impossible par temps humide. Jules Bénard et Gustave Heuzé proposent le fauchage mécanique ou manuel des hampes florales alors qu'un ouvrier muni d'une faux légère peine à dépasser les 40 ares par jour. Arthur Brandin incite à étudier le potentiel semencier des sols en précisant qu'un champ a donné en 1896 cinq levées denses de moutarde, chacune étant consécutive à une façon aratoire destinée à les détruire... Sur le terrain, de nombreux agriculteurs se résignent à faucher en vert les récoltes compromises pour les donner directement au bétail.

C'est dans un tel climat de préoccupation que va intervenir le régisseur d'un vignoble de Murigny dans la Marne dont le propriétaire est Firmin Charbonneaux, maître de verrerie à Chanzy. Cet homme est Louis Bonnet, ancien élève de l'École Nationale d'Horticulture de Versailles, devenu quelques années auparavant, membre du comice agricole de l'arrondissement de Reims dont le président est un cultivateur, Ch. Lhotelain. Lors de la séance du 12 décembre 1896, ce dernier signale aux membres du comice l'existence d'une communication qu'il vient de recevoir de Louis Bonnet et qui relate des expériences fort originales [8]. L'auteur rapporte : « Depuis quelques années, j'avais remarqué l'effet des sels de cuivre sur ces plantes (ravenelles et moutardes). En sulfatant les vignes, si par hasard une ravenelle ou un séné (moutarde) croissant près des ceps recevait une goutte de solution, l'endroit où cette goutte se desséchait, le parenchyme de la feuille était détruit en moins de 24 heures et la vie de la plante était gravement compromise si le nombre de gouttelettes déposées sur ces organes était assez grand ; j'avais remarqué aussi que des grains d'avoine développés ça et là n'étaient pas atteints par cette même solution... Cette année, ayant un champ d'avoine complètement envahi par ces plantes, je désespérais d'en tirer un parti quelconque lorsqu'un matin, je me suis résolu à tenter de les détruire à l'aide de solutions cupriques... ».

Devant les résultats très concluants obtenus avec des bouillies titrant de 4 à

6 %, il estimait à juste titre que « *cette expérience ouvre les portes d'un champ d'essai à tous les chercheurs* » et se proposait de poursuivre ses investigations l'année suivante.

Lhotelain, qui a tout de suite perçu l'intérêt de ces travaux, décide de publier in extenso le texte de la communication sous le titre « Le cuivre contre les ravenelles et les séné » [8] et engage ses collègues à tenter eux-mêmes l'expérience au printemps suivant.

Le compte rendu de ces observations va faire l'effet d'une traînée de poudre. Le bulletin du comice est reçu par un grand nombre de personnes de qualité telles que J. Méline, E. Tisserand, G. Heuzé, H. Sagnier, P-P. Dehérain, L. Passy... et bien sûr, tous les comices alentours.

Arthur Brandin est membre de la Société nationale d'Agriculture de France, mais aussi président de la Société d'Agriculture de Melun. Il fait publier la communication de Louis Bonnet dans son bulletin et la présente lors d'une séance à la Société Nationale [7]. Lui-même, sur sa ferme de Galande, et Jules Bénard sur celle de Coupvray, répètent avec succès l'expérience de Murigny. Nombre de céréaliers éclairés de la Marne, du Pas-de-Calais... feront de même au printemps 1897. Cette même année, et plus encore en 1898, des agronomes d'Allemagne, d'Angleterre, de Suisse et de Russie confirment ces résultats prometteurs. Ce faisceau d'expériences cohérentes permet de préciser le spectre herbicide des solutions de sulfate de cuivre, les risques d'agressivité, leur sensibilité au lessivage pluvial...

A l'initiative de J. Bénard, le chimiste L. Duclos du laboratoire municipal de Meaux teste dès mars 1897 sur des cultures en pots et micro-parcelles (déjà !) différents acides et sels minéraux. Les meilleurs d'entre eux pulvérisés le mois suivant sur la ferme de Chaillouet mettent en relief la valeur des sulfates de cuivre et de fer, l'acide sulfurique seul ou associé... On s'interroge aussi sur les « entraves » que peuvent représenter de tels épandages pour « le bon fonctionnement des infiniment petits de la terre arable ».

Une bonne partie des principes de la sélection moderne des substances phy-

tosanitaires est donc déjà traduite au travers des questions alors posées et des démarches entreprises pour y trouver réponse. Les travaux d'Ulysse Gayon lors de la découverte de la bouillie bordelaise avaient constitué, peu d'années auparavant, un autre exemple de cette démarche scientifique.

Dans les années qui ont suivi, la découverte de Louis Bonnet ne bouleversa pas la vie de son auteur. Fruit du hasard, de l'observation minutieuse et d'une remarquable ouverture d'esprit, elle a poursuivi son chemin entre d'autres mains.

Toutefois, il consigna dans un fascicule [9] intitulé « *La destruction des sanves ou moutarde sauvage* », imprimé à Reims en 1899, l'ensemble de son expérience de la question, qui est alors considérablement plus vaste et plus précise que sa publication de 1896. Après avoir abordé des éléments de botanique et de physiologie relatifs aux sanves et aux ravenelles, il décrit par le menu l'emploi du sulfate de cuivre, la confection et le titrage des bouillies. Avec force détails, la mise en œuvre des solutions aqueuses est précisée, tant au moyen des appareils à dos que des pulvérisateurs traînés les plus modernes, ainsi que les impératifs du mouillage, la finesse des gouttes et la disposition des jets. Louis Bonnet propose aussi des techniques adaptées au faux semis sur betterave, carotte, une méthode de désherbage des buttes de pommes de terre... La sensibilité des espèces maraîchères est passée en revue... Le spectre herbicide du produit est précisé pour 33 espèces adventices, avec ses forces et ses faiblesses. Avec prémonition, l'auteur estime « *que la chimie a tant de substances à sa disposition, que nous ne doutons pas qu'elle puisse nous fournir un jour quelque élément plus économique encore que le cuivre, capable de le remplacer avantageusement* ». Et de préciser ses espérances lors d'essais avec le sulfate de fer, ses premières déceptions avec l'acide sulfurique.

Non sans humour, il rappelle même au fil des lignes quelques vers et commentaires extraits d'un article paru dans le « *Républicain de Blois* » :

« *De trois choses, Dieu nous garde :* »
« *D'une avoine qui s'emmoutarde,* »

« *D'un valet qui se regarde,* »

« *D'une femme qui se farde.* »

« *Certes, la Françoise n'est pas coquette ; elle aime mieux avoir des joues enluminées par le soleil et le travail du grand air, plutôt que par un artifice quelconque. Quant au valet paresseux, nous n'en avons pointheureusement, tout le monde est levé à l'aube et travaille d'arrache-pied du matin au soir, mais nos avoines sont emmoutardées !* ».

Depuis ses vignes de Murigny et jusqu'en cette année 1899, Louis Bonnet a donc conservé une vision d'ensemble exceptionnelle de la technique dont il a été l'initiateur. Mais déjà, son invention lui échappe pour conquérir des adeptes sans cesse plus nombreux et tous les agronomes de son temps.

Et, lorsque paraît en 1902 l'ouvrage de Menault et Rousseau sur les plantes nuisibles en agriculture [10], le désherbage sélectif des céréales y est présenté comme un moyen de lutte usuel. Le virage est bien amorcé. Il ne connaîtra pas de retour en arrière.

Dans la même voie, Edmond Rabaté qui diffuse en 1911 sa méthode de désherbage sélectif des céréales au moyen d'acide sulfurique dilué, le fait en rendant un hommage à Louis Bonnet, salué comme le précurseur de tous les travaux antérieurs [11]. La « méthode Rabaté » sera la plus communément utilisée en Europe entre les deux guerres mondiales et ne sera vraiment concurrencée par les modernes « phytohormones », 2,4-D et MCPA, qu'à partir de 1946-48.

C'est alors que les références au modeste et génial précurseur que fut le régisseur de Murigny disparaissent et que son nom même est aujourd'hui fort injustement oublié.

Pour conclure

Dans une époque où le corps social s'interroge sur les bienfaits et les risques que représente la chimie, on peut s'étonner que la genèse d'une découverte, aussi importante pour la production alimentaire et, faut-il le rappeler, pour notre existence même, soit encore aujourd'hui si méconnue, y compris dans la région où elle a pris nais-

sance. Sans doute la modestie de son inventeur y fut-elle pour quelque chose.

Qui se souvient encore de Louis Bonnet ? Où est la rue, la statue isolée au fond d'un square qui viendrait nous rappeler son apport à la société ? Quel simple discours a évoqué sa mémoire alors que nous venons de franchir le centenaire de cette découverte ?

On peut regretter que les pouvoirs publics, les représentants du monde agricole et les industriels des filières agro-alimentaires aient laissé s'écouler l'année 1996 sans rappeler qu'au-delà des polémiques actuelles sur le mésusage de certains herbicides sélectifs, la découverte de leurs propriétés a représenté pour tous les citoyens du monde une raison supplémentaire d'espérer en demain.

Références

- [1] Serres O. de, *Le Théâtre d'Agriculture et Mesnage des Champs*, Actes Sud, **1996**.
- [2] Boulaine J., *Histoire de l'agronomie en France*, Paris, Lavoisier, **1996**.
- [3] Bernard J.-L., De la houe à cheval aux phytohormones de synthèse, *Phytoma/LDV*, n° 4187, mai **1990**.
- [4] Bain C., Bernard J.-L., Fougeroux A., *Protection des cultures et travail des hommes*, Le Carrousel, **1995**.
- [5] Moulin A., *Les paysans dans la société française*, Seuil, **1988**.
- [6] Dehéraïn P.-P., *Les plantes de grande culture*, Carré & Naud, **1898**.
- [7] *Bulletins des Séances de la Société Nationale d'Agriculture de France*, tomes 50 à 70, **1890 à 1910**.
- [8] Bonnet L., Le cuivre contre les ravenelles et les sénés, *Bulletin du Comice de l'arrondissement de Reims*, séance du 12 décembre **1896**, tome XXXII, p. 466.
- [9] Bonnet L., *La destruction des sanves ou moutarde sauvage*, Imprimerie de l'Indépendant rémois, Reims, **1899**.
- [10] Menault E., Rousseau H., *Les plantes nuisibles en agriculture et en horticulture et les moyens de les détruire*, O. Doin et La Maison Rustique, **1902**.
- [11] Rabaté E., Destruction des ravenelles par l'acide sulfurique, *Bulletin de la Fédération agricole du Lot-et-Garonne*, n° 48, novembre **1911**.

Michel-Eugène Chevreul (1786-1889) à la Société nationale d'Agriculture

Josette Fournier* professeur

Summary : Interest of Michel-Eugène Chevreul (1786-1889) in the National Agricultural Society

The chemist Michel-Eugène Chevreul (1786-1889) was a member of the National Agricultural Society since 1832. He presided over the debates of the Society during forty years. His communications are a picture of what links chemistry and agronomy. They show the chemists acting to identify their science, fieldworking to be socially useful, paying attention to questions connected with safety, training and environmental equilibria.

Mots clés : Chevreul, Société d'agriculture, histoire de la chimie agricole.

Key-words : Chevreul, French Agricultural Academy, history of agricultural chemistry.

Après la défaite de 1870, imputée notamment aux faiblesses de la science française, le pays saisit toutes les occasions de mettre en valeur ses gloires nationales. Le centenaire de Chevreul, qui était né à Angers le 31 août 1786, donna ainsi lieu à de grandes festivités, retraite aux flambeaux dans Paris, banquet à l'Hôtel-de-Ville. Les cérémonies commencèrent, la veille, par une réception à la Société nationale d'Agriculture : « *Il est de mode, dans certains pays, d'accuser les français d'être hâbleurs et vantards. Eh bien, nous nous vantons de posséder un Chevreul, nous sommes fiers que ce vainqueur du siècle le plus troublé soit un Français. Ce que nous aimons le plus en lui, ce n'est pas cette verdure qui défie les années, ce n'est pas la liste de ses magnifiques découvertes, c'est cette confiance inébranlable dans le progrès et dans l'avenir de la France* » [1]. Georges Marsais, qui rend compte de la cérémonie [2], ne manque pas de souligner le patriotisme du héros.

Chevreul était membre de la Société nationale d'Agriculture (Société royale et centrale d'Agriculture, aujourd'hui Académie d'Agriculture de France) depuis le 22 août 1832. A partir de 1849, il en fut président ou vice-prési-

dent, un an sur deux. Cette alternance était imposée par le règlement de la Société, le vice-président, élu chaque année, devenant président l'année suivante. En 1886, Chevreul préside encore effectivement à toutes les séances.

Un savant médiatique

Dans le discours qu'il prononce à la réception organisée à la Société d'agriculture pour fêter le centenaire, le secrétaire perpétuel, Louis Passy, rappelle que c'est à Chevreul que la Société doit son organisation en sections sur le modèle de l'Académie des sciences. Avec 54 ans de présence effective et 37 ans de présidence, Chevreul est « *notre second fondateur* », son buste en marbre fait pendant à celui du premier président, le marquis de Turbilly, « *un Angevin aussi* » [3-4]. Rappelant l'admiration de Chevreul pour Newton et Malebranche, Louis Passy insiste sur les travaux philosophiques de Chevreul. « *Ces découvertes admirables (études des corps gras, lois du contraste des couleurs) ne pouvaient être faites que par une série d'opérations dont l'examen attentif vous a permis de déduire les règles de la méthode a posteriori expérimentale* ». Au fil des séances, c'est bien ainsi qu'apparaît Chevreul, garant de la rigueur des expériences et de la prudence dans les interprétations :

« *il est aisé de comprendre pourquoi vous vous êtes attaché à notre Société, toute de pratique et d'observation, et pourquoi vous nous laisserez dans nos Mémoires et dans le Bulletin de nos séances des trésors de sévère analyse, de fine critique et d'observations élevées [...]. Vous avez dit : « Le but définitif de mes recherches est de connaître l'action et la réaction du sol, des engrais et de l'atmosphère, par des expériences méthodiques » [...]. « L'agriculture ne comportant jamais de résultats absolus et ne pouvant progresser que par des expériences successives que des faits nouveaux modifient sans cesse, vous trouviez dans cette étude le champ le plus vaste et le plus naturel pour y semer vos saines pensées et pour justifier la méthode qui domine votre vie scientifique tout entière ».*

Donneur de leçons, agaçant souvent ses confrères de l'Académie des sciences, Chevreul, on le sait, était lent, jusque dans son expression, prenant tout le temps et toute la place qu'il jugeait nécessaires pour asseoir un résultat et cerner une idée, ce qui n'excluait nullement des accès de « *juvénile ardeur* » quand sa conviction était faite [5]. Pour ses confrères de la Société nationale d'Agriculture « *qui, profitant de vos leçons, aspire à l'honneur d'élever l'agriculture aux plus hauts sommets scientifiques que vous lui avez montrés* », plus conviviaux et plus soudés, le vice-prési-

Communication

* 21, parc Germalain, 49080 Bouchemaine.
Tél./Fax : 02.41.48.34.17.

dent Lecouteux prédit qu'il restera le président « *qui a su faire aimer l'agriculture par la science et la science par l'agriculture* ». Chevreul n'était pas la seule gloire scientifique de la Société qui avait accueilli Jean-Baptiste Dumas, Antoine-César Becquerel et se réjouissait à la même époque des succès de Pasteur. « *Cette séance, conclut Georges Marsais, laissera dans l'esprit de ceux qui y ont assisté un grand souvenir, parce qu'il n'y avait rien d'officiel, pas de mise en scène. Tout était touchant parce que tout était simple...* ». Le ministère de l'Agriculture a longtemps eu dans ses attributions le commerce et l'industrie, c'est donc à cette cérémonie de la Société d'Agriculture, plutôt qu'aux autres manifestations du Centenaire, que le président de la chambre syndicale des stéariniers, « *présente à M. Chevreul un album de lettres de félicitations signées par des milliers d'industriels* ».

Trois ans plus tard, pour l'Exposition universelle de 1889 et le centenaire de la Révolution française, l'État fait rééditer par l'imprimerie nationale, en grand format et à ses frais, les deux principaux ouvrages de Chevreul : *Recherches chimiques sur les corps gras*, de 1823, et *Loi du contraste simultané des couleurs* (1839). L'auteur devait s'éteindre le 9 avril, avant la sortie de presse des nouvelles éditions de ses œuvres capitales. Le fils de Chevreul, Henri, a rédigé un avant-propos de la *Loi du contraste simultané des couleurs*, mais il est mort le 27 mars, quelques jours avant son père. Et c'est Arnaud, aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle, une fonction que Chevreul avait exercée de 1810 à 1830, qui écrit l'avant-propos des *Recherches chimiques sur les corps gras*.

Arnaud cite le discours qu'avait prononcé Jean-Baptiste Dumas à la séance solennelle de la Société d'encouragement à l'industrie nationale, le 10 décembre 1851. Cette Société remettait à Chevreul le prix d'Argenteuil, pour ses travaux vieux de 28 ans, sur les corps gras. « *C'est de là qu'est née la fabrication de la bougie stéarique* » dit Dumas. On a peine aujourd'hui à se représenter la révolution apportée à l'éclairage domestique par la bougie. Rappelons-nous qu'en 1872, la stéarinerie était la première industrie française [6].

« *C'est de là, continue Dumas, qu'est sorti l'emploi de l'acide oléique pour la préparation des laines au tissage... C'est de là que dérivent [...] ces imitations inattendues des essences naturelles des plantes, au moyen des acides volatils que M. Chevreul a reconnus dans les matières grasses... C'est du Traité des corps gras, devenu le manuel du savonnier, que proviennent, en ligne directe, toutes les améliorations que cette industrie a réalisées depuis vingt ans. C'est là que l'agriculture a appris, à son tour, à raisonner les manipulations qui fournissent le beurre. Chaque page du Traité des corps gras renferme une industrie nouvelle en germe* ».

Arnaud reproduit aussi en fac-similé un curriculum vitae de la main de Chevreul. Il était né trois ans avant la prise de la Bastille, et il disparaissait l'année du centenaire de la Révolution, pour la construction de la Tour Eiffel. Dans ce document, Chevreul recense ses nominations à la Société Royale et centrale d'agriculture le 22 août 1832, aux sociétés d'agriculture de New York, le 4 décembre 1851, de Bologne le 10 février 1850, de Moscou le 22 octobre 1851.

Chevreul avait remplacé Vauquelin comme professeur administrateur du Muséum d'histoire naturelle le 7 février 1830. Il cumulait cette fonction avec celle de directeur des teintures des manufactures royales depuis le 9 septembre 1824.

L'activité déployée par le chimiste à la Société d'agriculture s'enchaînait donc sans discontinuité avec ses autres sujets d'intérêt : les corps gras et leurs produits de transformation à usage non alimentaire, les plantes tinctoriales, les huiles essentielles, l'analyse immédiate et l'analyse sensorielle.

La Société d'agriculture : une activité secondaire ?

Dans la biographie de Chevreul que nous a laissée Bouchard [7], l'auteur écrit : « *Il n'est pas question de résumer ici des travaux secondaires ni même de les citer. Ne point parler pourtant de Chevreul agronome serait laisser dans l'ombre une partie de l'œuvre et de la figure de ce savant [...]. Il était très assidu aux séances où il rencontrait*

parmi ses collègues, Boussingault, Pasteur, Berthelot [...]. Les travaux de la Société d'agriculture restèrent l'occupation favorite de son étonnante vieillesse ».

En interrogeant les textes, essentiellement le *Bulletin de la Société royale*, (puis impériale) et *centrale d'agriculture*, et le *Journal de l'agriculture*, nous pouvons savoir sur quels sujets Chevreul intervenait, s'il s'agissait réellement de travaux *secondaires* ou de *vieillesse*, dans son esprit d'abord, et s'ils étaient ressentis comme tels par ses collègues, enfin s'il se comportait dans cette Société en *agronome*, comme le dit Bouchard, ou en *chimiste*.

On remarquera qu'il n'a que 46 ans lorsqu'il devient membre de la Société. Il n'est pas encore le vieillard dont l'image, due au reportage photographique fait par Nadar à l'occasion de son centenaire, est restée dans notre souvenir. Il n'est pas polytechnicien, il n'est pas membre de la Société d'Arcueil, même s'il entretient des relations avec les savants éminents et puissants de son époque (c'est Berthollet qui présente ses mémoires à l'Académie des sciences et c'est avec Gay-Lussac qu'il prend le brevet sur la bougie stéarique), il n'a pas eu un avancement rapide, il n'accède à l'Académie des sciences qu'à 40 ans au fauteuil laissé vacant par le décès de son compatriote angevin, Louis-Joseph Proust. Il ne devient professeur au Muséum qu'à 44 ans après des années d'obscur professorat, depuis 1813, au lycée Charlemagne, un enseignement qu'il menait de front avec sa fonction de préparateur de Vauquelin et ses recherches au Muséum. A cette place, il avait analysé quelques plantes tinctoriales et extrait notamment l'hématine du bois du Brésil et le quercitron du bois de chêne. A 38 ans, il est devenu directeur des teintures aux Gobelins, soit à cause de ses travaux antérieurs sur des colorants naturels, soit à cause des relations de sa famille avec l'entourage de Louis XVIII ; Angers, en effet, était avant la Révolution l'apanage du Comte de Provence et le père de Chevreul avait été médecin du futur roi pour son château d'Angers. La direction des teintures aux Gobelins était une fonction lucrative et prestigieuse, mais ce n'était pas la fonction académique que briguaient Chevreul.

A cause de ses deux ouvrages magistraux sur les corps gras et sur l'analyse organique, Chevreul n'a finalement acquis la reconnaissance de ses pairs que depuis moins de 10 ans lorsqu'il accède à la Société royale et centrale d'Agriculture. On peut donc éliminer l'hypothèse d'un passe-temps de vieillesse.

Interrelations chimie-agriculture

L'année du centenaire de Chevreul, la Société d'Agriculture enquête sur l'extension de l'oïdium, du phylloxéra et surtout du mildiou (mildew) de la vigne, en France, en Italie, en Angleterre, et sur les meilleurs moyens de combattre ces « parasites » ; ses membres rapportent des expériences avec diverses compositions de bouillie bordelaise et divers appareils de traitement. Les questions examinées sont très diverses et dépassent très largement l'Hexagone. Le 18 août [8], on prend ainsi connaissance du rapport annuel du gouvernement de Madras sur l'état de l'Agriculture ; « *il en ressort que l'accroissement des superficies cultivées en blé est proportionnel à celui des chemins de fer* ». On analyse une notice statistique des Annales d'agriculture d'Italie sur les propriétés forestières et le prix du bois dans ce pays, on s'intéresse aux progrès de la pisciculture dans plusieurs départements, on écoute la lecture d'un mémoire sur la culture des céréales au temps des Romains. On cherche dans le temps et chez d'autres peuples des moyens d'améliorer et de diversifier nos productions. Le 7 juillet [9], on examine les résultats d'analyse chimique du fromage bolivien et les articles du Journal de la Société royale d'agriculture d'Angleterre ; on discute un procédé mécanique de lutte contre des chenilles qui s'attaquent aux légumineuses en Belgique et dans le nord de la France ; on évalue les résultats d'une méthode de détermination de la dose d'engrais chimiques à ajouter aux terres qui repose sur l'analyse comparée d'échantillons de blé prélevés à l'épiaison et à maturité.

Le 5 mars 1882, la Société nationale d'Agriculture fête le cinquantième anniversaire de l'élection de Chevreul par un banquet présidé par Dumas et

auquel participait M. de Mahy, le ministre de l'Agriculture [10]. Dumas annonce que Jules Ferry, ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts a obtenu du Président de la République et du Conseil des ministres qu'un buste serait commandé aux frais de l'État pour être offert « *à la Société nationale par M. Chevreul lui-même* ». Dumas souligne l'aptitude de Chevreul à réunir « *la précision patiente à l'esprit d'invention ; la persévérance [...] à l'imagination ; le bon sens qui marche terre à terre, à l'esprit philosophique planant au-dessus des nuages* ». Il décrit le rôle que s'est donné Chevreul : « *dans les débats auxquels vous présidez, au milieu de nous, plein de respect pour les opinions et de déférence pour les personnes, vous attachant aux faits précis, aux observations exactes, vous constatez avec autorité leur accord parfait avec les vrais principes de la science ; à votre tribunal, la part est faite à la pratique, la théorie ne perdant jamais ses droits* ». Le représentant de la Société royale d'Agriculture d'Angleterre témoigne de l'action de Chevreul pour que « *d'année en année les relations entre les agriculteurs de France et d'Angleterre deviennent plus fréquentes et plus cordiales* ». Ainsi, le 22 mars [11], après une communication de Barral sur la production sucrière en Allemagne, il prend part à une discussion sur le rôle des primes à l'exportation dans l'extension de la production des sucres allemands. Il est la mémoire vivante des scientifiques. Le 26 avril [12], à l'occasion d'une communication de Barral relative aux assolements, Chevreul rappelle les travaux de Humphry Davy. Le 18 décembre 1839 [13], à propos d'une eau de vie préparée à partir d'un sirop de fécule de pomme de terre, il avait rappelé que « *M. Proust, chimiste français, a le premier retiré du jus de raisin un sirop identique avec celui qu'on a obtenu, depuis, de la fécule et d'autres matières végétales [...] découverte, au reste, à laquelle la Société a en quelque sorte attaché son nom, en décernant à M. Proust [...] une médaille d'argent* ». Le 24 mai 1886 [14], il « *présente quelques observations sur la nécessité de répéter les expériences dans des circonstances variées, d'après ce principe qu'une seule expérience non contrôlée n'est qu'une observation* ».

Le 3 janvier 1877 [15], M. de Béhague, auquel l'Académie d'agriculture doit son hôtel de la rue de Bellechasse, exerce pour la première fois les fonctions de président, il prononce quelques mots : « *En m'appelant à succéder au savant illustre que nous vénérons tous, vous avez voulu, sans doute, honorer en moi les agriculteurs praticiens qui, comme moi, ont cherché leurs succès dans l'application des sciences, si hautement représentées dans notre société, et auxquelles l'agriculture de notre pays doit sa prospérité* ». Chevreul est enchanté d'être aussi bien compris. Il demande de « *consigner au procès-verbal ce témoignage de reconnaissance de M. de Béhague envers ses confrères* » (praticiens).

En 1848, il envoie un article au Bulletin de la Société industrielle d'Angers [16], dont l'essentiel figure en long préambule dans le Journal des Savants, à la présentation de l'ouvrage de Boussingault sur l'économie rurale et du Cours d'agriculture de Gasparin [17]. Cet article s'intitule « *Des rapports de quelques sciences avec l'agriculture* ». L'agriculture, dit-il, « *emprunte les principes de ses connaissances à des sciences diverses [...] elle n'a point de caractère scientifique qui lui soit particulier* ». Pour autant, n'a-t-elle aucune influence sur les « *progrès des sciences naturelles* » ? « *Tous ceux, dit-il, qui, familiarisés avec les sciences abstraites, ont fait des applications suivies de leurs principes et de leurs méthodes, ont eu fréquemment l'occasion de remarquer combien l'exposition de ces sciences dans les traités généraux laisse à désirer, lorsqu'il s'agit de satisfaire à des questions que suggèrent à des chefs d'usine ou d'atelier, à de simples ouvriers même, la vue de phénomènes qui [...] se présentent [...] journallement à leur observation dans le cours de travaux exclusivement pratiques. Cet état de choses est surtout remarquable dans toutes les industries où se développent des actions moléculaires. [...] Des faits de ce genre sont précieux à plus d'un titre ; souvent reproduits et observés sur des quantités considérables, il arrive une époque où ils viennent, indépendamment de toute théorie, enrichir la science ; tant qu'ils restent inexploités, ils témoignent des lacunes qui restent à combler et sont là pour éveiller l'atten-*

tion des savants et devenir ainsi l'occasion de recherches qui, sans cette circonstance, n'auraient point été entreprises ». Il est un des rares représentants du haut enseignement à avoir su et voulu accompagner les praticiens, industriels lyonnais de la soie, membres de nombreuses sociétés industrielles, photographes et agriculteurs.

Qu'est-ce que la chimie donne à l'agriculture ? Chevreul nous le dit dans cet article : « la chimie seule est en mesure de caractériser avec précision la nature variée des différentes terres que le cultivateur a dû distinguer les unes des autres, à cause de la diversité de leur manière de se comporter à l'égard des individus d'une même espèce végétale ». Par l'analyse immédiate, « la composition végétale est dévoilée », et on sait à quel constituant attribuer la vue, l'odorat, le goût, les pouvoirs pharmacologiques ou toxiques des végétaux. La chimie ajoute « des analogies et des différences à celles qui ont guidé le botaniste » dans ses classements. La composition élémentaire des végétaux permet de concevoir « comment ils trouvent leurs aliments dans l'air, l'eau et le sol, et comment l'action de ces agents de la nature est rendue plus efficace par les engrais, lorsque l'agriculteur et l'horticulteur en font un emploi raisonné ». La chimie fait connaître « les matières nuisibles » à la végétation, « et, dans beaucoup de cas, elle va même jusqu'à indiquer les moyens de remédier à leur fâcheuse influence ».

Il plaide pour le concours des disciplines : « Nous le répétons, pour établir une physiologie végétale, le concours des mathématiques, de la physique, de la chimie et de l'anatomie est indispensable. Si nous refusons au botaniste [...] la possibilité de composer (seul) un système raisonné de physiologie, nous la refuserons, à plus forte raison, au physicien et au chimiste [...], notre but, en établissant nettement la nécessité du concours de plusieurs sciences, est d'expliquer pourquoi tant de questions restent à résoudre en physiologie ».

Il revient longuement sur l'analyse immédiate organique qui permet de comprendre la circulation des éléments entre les trois règnes de la nature.

C'est au cours de débats menés à la Société d'agriculture que Chevreul va ciseler sa définition de l'espèce chi-

mique [18]. « La chimie cherche à ramener tout ce qui est corps à des types définis ». Depuis 1822 [19], il répète : « Nous appliquons le mot espèce à une collection de corps qui sont identiques, 1°. par la nature de leurs éléments, 2°. par la proportion de ces éléments, 3°. par l'arrangement de leurs particules ». Trois groupes de propriétés caractérisent l'espèce, ses constantes physiques, ses transformations chimiques, et ses propriétés organoleptiques : « La distinction de ces dernières, que je fis en 1824, fut justifiée par mes recherches sur la saveur, les odeurs et sur la vision des couleurs » [20]. Parce qu'il a forgé l'adjectif, et à cause de l'accent qu'il met sur ces propriétés organoleptiques, Chevreul est considéré comme le fondateur de l'analyse sensorielle (action sur les organes des sens) et l'un des fondateurs de la pharmacologie (action sur les fonctions physiologiques).

Travaux de Chevreul à la Société d'Agriculture

La Société nationale d'Agriculture s'était donné comme objectif « de répandre l'instruction agricole d'une manière générale, uniforme et continue » [21]. A cette fin, elle encourage des expériences pour l'introduction de nouvelles plantes et organise des concours dotés de prix.

Par exemple, Chevreul, directeur des teintures aux Gobelins, qui a extrait le principe colorant du quercitron, est membre de la commission chargée d'examiner les candidatures à un prix, qu'il est prévu de décerner en 1850, proposé « pour des semis ou plantations de l'une des trois espèces suivantes de chênes, qui fournissent une matière employée à la teinture », le quercitron, le chêne à la noix de galle et le vélani indigène de la Grèce [22].

Le 7 janvier 1846 [23], il lit une partie de son long rapport sur un ouvrage d'ampélographie du Comte Oddart. Le 25 mars [24], Chevreul témoigne « des résultats extrêmement remarquables » obtenus par le propriétaire du domaine de Calissanne (Bouches-du-Rhône) qu'il a visité avec d'autres membres de la Société.

Le 16 août 1837 [25], le ministre des

Affaires étrangères a transmis des graines de *Polygonum tinctorium*. Vilmorin, père et fils, en avaient cultivé et en avaient extrait de l'indigo. « Une commission, composée de MM. Vilmorin, Chevreul et Jaume Saint-Hilaire, est chargée de faire des essais sur la culture de cette plante, et sur le moyen d'en extraire la substance tinctoriale qu'elle contient ». Chevreul est en relation avec les industriels du textile et de la teinture. Le 22 novembre [26], il communique l'extrait d'une lettre de Koechlin-Schouch, de Mulhouse, « qui lui annonce que, d'après les premiers essais de culture faits cette année, le *polygonum tinctorium* paraît susceptible de s'acclimater (dans le sens de la culture annuelle) dans le département du Haut-Rhin ; qu'on en a extrait de l'indigo, qui y a été trouvé dans une plus grande proportion que dans le pastel ». Le 12 décembre 1838 [27], après d'autres essais, Chevreul « fait observer qu'on s'est trop hâté d'annoncer, d'après les résultats d'expériences de laboratoire, que le *Polygonum* pouvait dès à présent remplacer avec avantage, quant à la proportion de son produit, les indigofères des colonies. Aucun des moyens d'extraction indiqués jusqu'à ce jour ne peut, en effet, être pratiqué comme procédé de fabrique [...] la Société doit s'abstenir de provoquer par ses recommandations l'établissement de fabriques d'indigo de *polygonum* jusqu'à la découverte d'un procédé usuel d'extraction propre à donner des produits qui puissent rivaliser commercialement avec les indigos exotiques ».

Le 19 février 1839 [28], après avoir entendu une communication sur l'élevage, il prie la Société « de lui faire parvenir, par son intervention auprès des principaux propriétaires de troupeaux de la France, des renseignements sur les qualités des laines des races diverses de moutons [...] pour un travail dont il s'occupe depuis plusieurs années, à raison de ses fonctions de directeur de la Manufacture Royale des Gobelins ».

Il intervient dans tous les débats sur les produits chimiques : le 17 mai 1837 [29], le rapporteur d'un procédé pour l'extraction du sucre qui utilise le « sous-acétate de plomb » « signale le danger de cette substance » et annonce qu'en conséquence il ne parlera pas du

procédé. Chevreul « fait observer que les propriétés délétères d'une substance ne sont pas, en général, un motif suffisant de proscrire d'avance son emploi d'une manière absolue, attendu qu'il paraît être possible de prévenir les inconvénients que pourrait présenter cet emploi, s'il était fait avec les précautions convenables ». L'examen du procédé est renvoyé à une commission composée de d'Arcet, Chevreul et Payen.

Le 7 février 1838 [30], la Société prend connaissance d'une note, communiquée par le ministre de l'Agriculture, qui lui demande un avis, note « relative à un procédé de préparation de la chaux avec la marne, pour servir d'amendement ». Chevreul dit « que la fabrication de la chaux avec certaines terres marneuses est bien connue, que cette chaux est généralement maigre, à cause de la silice avec laquelle elle est unie en proportions plus ou moins considérables, ce qui la rend essentiellement propre aux constructions hydrauliques ; comme les beaux travaux de M. Vicat, à ce sujet, l'ont fait connaître ; mais qu'on n'a pas encore constaté les effets de la chaux de ce genre appliquée à l'agriculture, et qu'on ne saurait affirmer que cette application puisse être avantageuse avant que l'expérience ait prononcé ».

Le 21 août 1839 [31], Louis Vilmorin a adressé un échantillon d'huile extraite de graines de *Madia sativa* ; « il a été remis à M. Chevreul, avec invitation d'en faire l'examen ».

Une communication relative à un engrais à base d'eaux de féculeries lui donne l'occasion « d'exposer la théorie [...] des propriétés insalubres ou incommodes que présentent, lorsqu'elles se répandent au loin la plupart des eaux de féculeries et autres fabrications rurales des environs de Paris dont le sol contient du sulfate de chaux, qui se décompose en sulfure par l'action des matières organiques suspendues ou dissoutes dans ces eaux ».

Le 2 juin 1841 [32], après la relation d'un incendie provoqué par un morceau de fer renfermé dans une meule de fourrage, il donne cette interprétation : « les herbes parvenues à un premier degré de dessiccation ne fermentent pas lorsqu'elles sont entassées sans être pressées ; mais si, dans cet état, on les sou-

met à une pression qui fasse extravaser les sucs, il y a alors un dégagement de chaleur tel, que celle-ci peut s'élever jusqu'à 81 degrés cent. ; la présence d'un morceau de fer ou de bois dans la meule y facilite le séjour de l'air et, par suite, y développe quelquefois assez de chaleur pour occasionner l'ignition ; le bois ou le fer ne sont donc ici que des causes indirectes d'incendie ; les vides qu'ils laissent dans certaines places, même sans qu'il y ait courant d'air, suffisent pour expliquer la combustion ».

Ce chimiste ne voit pas le monde qu'à travers la chimie. Le 27 juin 1838 [33], il fait deux propositions : « que la Société réunisse, le plus possible de renseignements exacts par l'intermédiaire de ses membres et de ses correspondants, sur les espèces végétales qui ont le plus souffert du froid de l'hiver de 1837-1838, et enfin sur les insectes, qui ont apparu en si grand nombre au printemps de cette année ; 2° qu'une commission soit nommée pour examiner les questions suivantes, savoir : s'il ne serait pas utile que la Société affectât un prix annuel, pour être décerné [...] à l'auteur d'un mémoire qui démontrerait quels sont les moyens naturels, soit agents de l'atmosphère, soit êtres organisés vivants, pour faire périr certains animaux nuisibles aux produits de l'agriculture, et de détruire ainsi la trop grande multiplicité de ces espèces ». En 1837, il a soumis à différentes épreuves des toiles teintées avec des garances de diverses provenances, afin de donner un avis sur la culture de cette plante dans le département de Seine-et-Marne. « Pour mettre la Société à même d'en juger, le rapporteur a mis sous ses yeux plusieurs échantillons de ces différentes toiles teintées ». Son avis est positif « tant sous le rapport de la solidité de la couleur que sous celui de son éclat [...] si toutefois, comme les calculs qui viennent d'être présentés par M. Battereau-Danet autorisent à le croire, cette culture doit être avantageuse aux producteurs » [34].

Il expérimente, fait des analyses, répond aux ministres qui interrogent la Société, rapporte au nom de commissions, présente des ouvrages, intervient dans les débats sur de nombreux autres sujets, les engrais, la fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses, la protection des cultures, les vers à soie et

la laine des ovins, le vin, la fabrication du papier, l'enseignement agricole. Il corrige inlassablement des oublis, des erreurs de jugements, des opinions insuffisamment fondées. Il y est écouté sans impatience.

Bouchard [7] nous dit : « Chevreul prenait très souvent la parole et sur toutes les questions importantes ». Il cite en vrac « les engrais, les eaux, les maladies de la vigne, la culture de la betterave, des céréales, des plantes tinctoriales, la fabrication du sucre, du cidre et du vin, les maladies des animaux domestiques. Il lui arriva même souvent de parler sur des sujets très spéciaux et assez inattendus : dessiccation des choux, excréments des chauves-souris, production des morilles, incubation artificielle des œufs de perdrix, destruction du puceron lanigère, peau des léporides, augmentation du prix des vêtements, couleur des étalons ou clématite à grande fleur ». Était-il donc un « touche-à-tout » ?

En réalité, il faut soigneusement distinguer les rapports qu'il présente au nom d'une commission, de ses interventions propres. Les secondes sont toujours limitées à ce qu'il connaît, la chimie, l'analyse, la teinture, la couleur.

En 1867-68, reprenant un projet ministériel de 1849, Frémy propose au ministre de l'Instruction publique, Victor Duruy, de « créer au Muséum une Grande École d'Agriculture ». « C'est en un mot l'École polytechnique des sciences naturelles pures et appliquées que nous voulons placer au Muséum » [35]. Bien que mécontent d'avoir « été mis de côté », Chevreul, directeur de cette institution, l'appuie en rédigeant un programme qu'il présente à la Société d'agriculture, dans des « Considérations sur l'enseignement agricole en général et sur l'enseignement agronomique au Muséum d'histoire naturelle en particulier ».

Ce chimiste, qui a été examinateur à l'École polytechnique pendant 30 ans, n'est pas élitiste : « L'enseignement doit, pour être profitable, à notre avis, s'adresser à la moyenne des bons esprits et des esprits médiocres. Cette condition n'a pas toujours été remplie à notre connaissance, du moins pendant les quinze années de notre professorat dans un des lycées de Paris. [...] la physique élémentaire, dépouillée du carac-

tère expérimental qu'elle doit toujours conserver, était devenue pour ainsi dire un cours de mathématiques appliquées ». « Il faut encore que les élèves disposent du temps nécessaire » à la réflexion et insister sur « l'explication des phénomènes les plus ordinaires de la nature et des arts ».

Il expose ses raisons « pour maintenir la chimie dans l'enseignement spécial de l'agriculture », (nous dirions spécialisé), et il propose que le cours de chimie agricole ait « une partie industrielle » couvrant l'extraction, les transformations et la conservation des produits agricoles, « une partie physiologique », nous dirions aujourd'hui un cours de biochimie végétale, et une « partie proprement agricole » portant sur les sols et les amendements, les engrais, les eaux, les assolements.

Il précise : « Il est entendu que, dans cette partie comme dans la seconde, on ne s'occupe que des faits chimiques relatifs aux phénomènes complexes que l'on étudie ».

La Société d'agriculture réunissait des savants et de grands propriétaires terriens éclairés, il resterait à mesurer l'impact des travaux de la Société sur l'évolution de l'agriculture à travers ses correspondants, les comices et les publications locales, sans négliger qu'autrefois comme aujourd'hui, la chimie n'était pas fort prisée de tout le monde agricole. C'est ce qu'il ressort, par exemple, de l'article d'un professeur de zoologie et zootechnie à l'École nationale de Grignon, « Sur la valeur pratique des normes d'alimentation » [36] : « Il semble que le corps animal puisse être comparé à un vase de laboratoire dans lequel les réactions se passent toujours de même, parce que les substances en présence y sont toujours qualitativement et quantitativement semblables ! Les études véritablement physiologiques montrent qu'il n'en est point ainsi. Elles ont leurs méthodes comme la chimie pure a les siennes, et ces méthodes sont autrement complexes, comme le sont aussi les problèmes qu'il s'agit de résoudre par leur intermédiaire. Ils se trompent donc [...] ceux qui prennent les chimistes pour seuls guides. [...] à la place de l'anatomie et de la physiologie [...] on a mis deux espèces de demi-sciences, dont l'une [...] se nomme « connaissances de l'extérieur » (Lehre

vom Exterieur), et l'autre « chimie agricole » (Agrikulturchemie). La chimie agricole ne se borne point à remplacer la physiologie animale, elle prétend aussi à mettre dans le domaine de son enseignement la physique du sol et celle des plantes [...]. Partout où la balance et le chalumeau, la cornue et le creuset, le feu et le gaz sont en emploi, le chimiste agricole se tient pour nécessaire, pour appelé à dire son mot et à mettre en scène ses « recherches ». [...] c'est ainsi que les choses se passent dans l'enseignement agricole supérieur de l'Allemagne, dans ces instituts d'Université dont on fait tant de bruit [...] nous n'avons pas lieu de nous montrer jaloux ».

Conclusion

En 1825, Chevreul avait acquis une propriété agricole à l'Hay, il traitait lui-même les questions de culture et d'élevage. Ses longues présentations, dans le *Journal des Savants*, des ouvrages de Davy (*Chimie agricole*) dès 1822, de Boussingault (*Sur l'économie rurale*) et du Comte de Gasparin (*Cours d'agriculture*) en 1847-1848, de Ville (*Examen des recherches expérimentales sur la végétation*) de 1855-1857, témoignent de l'étendue de ses connaissances et de sa passion.

Il semble donc établi que loin de n'avoir été qu'un passe-temps ou une distraction, l'activité de Chevreul, chimiste, à la Société centrale d'agriculture était parfaitement accordée à ses fonctions et à ses recherches.

Références et notes

- [1] Sagnier H., Chronique agricole du 4 septembre, *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, **1886**, t. II, p. 361-362.
- [2] Marsais G., Le centenaire de M. Chevreul, *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, **1886**, t. II, p. 371-379.
- [3] Aîné G., *Le marquis de Turbilly, agronome angevin du XVIII^e siècle*, avec des appréciations historiques et critiques par MM. E. Chevreul et P. Clément, 2e éd., Paris, Angers, **1862**. Membre très actif de la première Société d'agriculture de la Généralité de Paris, le marquis de Turbilly y lut la première communication (12 mars

1761), il présida plusieurs séances de cette compagnie administrée par un directeur général élu et un secrétaire perpétuel.

- [4] Boulaïne J., Évocation de l'œuvre du marquis de Turbilly, *C.R. Acad. Agric. Fr.*, **1993**, 79 (3), p. 135-143.
- [5] Dossier F. Fouqué, cahiers, Arch. Acad. Sc., Paris.
- [6] Aftalion F., *Histoire de la chimie*, Masson, **1988**.
- [7] Bouchard G., *Chevreul*, Ed. La Madeleine, Paris, **1932**, chap. XI, p. 174-189.
- [8] Marsais G., *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, **1886**, t. II, p. 311-313.
- [9] Marsais G., *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, **1886**, t. II, p. 72-73.
- [10] Sagnier H., Banquet offert à M. Chevreul, *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, **1882**, t. I, p. 367-372.
- [11] Sagnier H., Société nationale d'agriculture, *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, **1882**, t. I, p. 449-450.
- [12] Sagnier H., Société nationale d'agriculture, *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, **1882**, t. I, p. 193-194.
- [13] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture*, 1837-1840, t. I, séance du 18 décembre 1839, p. 495.
- [14] Sagnier H., Société nationale d'agriculture, *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, **1882**, t. I, p. 327.
- [15] Sagnier H., Société nationale d'agriculture, *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, **1877**, t. I, p. 32-33.
- [16] Chevreul M.E., Des rapports de quelques sciences avec l'agriculture, *Bulletin de la Société industrielle d'Angers et du Département de Maine et Loire*, éd. Cosnier et Lachèse, Angers, **1848**, 19^e année, p. 163-177.
- [17] Chevreul M.E., *Journal des savants*, octobre **1847**, p. 579-591.
- [18] Chevreul M.E., Considérations sur l'espèce minéralogique et l'espèce chimique, *Journal des Savants*, **1848**.
- [19] Chevreul M.E., *Journal des Savants*, mars **1822**, p. 169-180.
- [20] Chevreul M.E., Rapport de M. Chevreul sur ses cours du Muséum en général et en particulier sur son cours de 1866, Bibliothèque du MHN, Y1, p. 3988.
- [21] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture*, 1837-1840, t. I.

- [22] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 389.*
 - [23] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1845-1846, 2e série, t. I, p. 488.*
 - [24] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1845-1846, 2e série, t. I, p. 609.*
 - [25] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 106.*
 - [26] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 142.*
 - [27] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 308.*
 - [28] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 324.*
 - [29] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 29.*
 - [30] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 193.*
 - [31] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 473.*
 - [32] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1841-1842, t. II, p. 142.*
 - [33] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 251.*
 - [34] *Bulletin des séances de la Société royale et centrale d'agriculture, 1837-1840, t. I, p. 310.*
 - [35] Arch. Nat., cartons F17, p. 3982-3 et AJ15, p. 539.
 - [36] Sanson A., *Journal de l'Agriculture*, M.G. Masson libraire-éditeur, Paris, 1877, t. I, p. 131-135.
-

Contribution de l'Association Belge des Chimistes (1887-1898) à la chimie alimentaire

Hendrik Deelstra* professeur

Summary : Contribution of the Belgian Society of Chemists towards food chemistry

The « Association Belge des Chimistes » was created in 1887. Four « learning » sections were established : a section about sugar (1887), a section about adulteration of food (1889), a section on agricultural chemistry (1889) and a section on the industry of fermentation (1890). Food chemistry was important in all four sections, but mostly in the section on adulteration of food. In 1894 the young association organized the first international congress on applied chemistry, where food chemistry was very important. The « Association Belge des Chimistes » made an important contribution to the development of food chemistry in Belgium, but also in Europe, as a result of the succession of the different international congresses on applied chemistry after 1894.

Mots clés : Chimistes, Belgique, chimie alimentaire.

Key-words : Chemists, Belgium, food chemistry.

L'Association Belge des Chimistes

L'origine de l'Association des Chimistes en Belgique fut très modeste. A la suite d'une crise importante dans l'industrie sucrière, plusieurs chimistes attachés à cette industrie sentirent un besoin urgent d'harmoniser les méthodes d'analyse du sucre dans les betteraves. Il faut souligner qu'en Belgique ce secteur occupait une place prépondérante et la connaissance exacte des quantités de sucre dans les betteraves fut une question vitale pour lui permettre de résister à la concurrence étrangère. Le 14 avril 1887, vingt-trois chimistes et deux représentants de l'industrie sucrière se réunissaient à Bruxelles pour discuter longuement de l'analyse des betteraves. A la fin de cette réunion, on constitua une commission d'abord pour continuer la discussion, mais aussi pour réfléchir à l'organisation d'une Association Générale des Chimistes Belges. On peut donc dire que la chimie alimentaire se trouvait ainsi à la base de la création de l'association professionnelle des chimistes en Belgique.

Dès la création officielle de l'Association Belge des Chimistes, le 4 août 1887, le vœu fut exprimé de grouper tous les chimistes de Belgique. Le but de l'association était de discuter des questions d'ordre chimique et technique. Pour y parvenir, on créa des sections d'études qui se réunissaient à Bruxelles [1].

La section sucrière fut organisée dès la première assemblée générale de 1887. A la réunion de la section sucrière du 5 septembre 1888, on proposa de fonder au plus tôt une section spéciale consacrée à l'étude des falsifications des denrées alimentaires. L'urgence venait de ce que le gouvernement belge s'apprêtait à promulguer des lois pour organiser un service de contrôle des denrées alimentaires. Cette section fut fondée le 20 mars 1889. Deux autres sections furent organisées : une section de chimie agricole (le 7 août 1889) et une section des industries de fermentation et des industries connexes (le 23 août 1889). Après la constitution de cette dernière section, l'association comptait au 30 avril 1890 un effectif de 292 membres. Pendant la période de 1891 à 1898, le nombre oscillait entre 400 et 450 membres. Le 1er janvier 1898, l'organisation de l'association fut réorganisée fondamentalement. Les sections d'études furent remplacées par des sections locales dans les centres

« intellectuels » et « industriels » de la Belgique [2].

La chimie alimentaire occupait une place très large au sein des travaux de l'Association Belge des Chimistes, surtout pendant les premières décennies de son existence. Il s'agissait de la chimie alimentaire pratique ou appliquée et très spécialisée. La section sucrière s'occupait évidemment surtout du « sucre », la section de fermentation des denrées comme le vinaigre, la bière, le vin, etc. et la section de chimie agricole de la production du lait, du miel, etc., donc chaque fois orientée vers la production. La section des denrées alimentaires par contre se focalisait sur la lutte contre les falsifications et les tromperies.

La section des denrées alimentaires (1889-1898) [3]

Le tableau I résume l'évolution du nombre de membres de l'association de 1889 à 1898. Les membres étrangers rejoignaient majoritairement la section sucrière. Environ 25 % des membres belges de l'association furent groupés dans la section des denrées alimentaires. Il y a deux constatations importantes : d'abord le fait que les pharmaciens, membres de l'association, appartenaient presque tous à la section des denrées ali-

Communication

* Université d'Anvers (UIA), B-2610 Antwerpen (Wilrijk), Belgique. Tél. : +32 (03) 820 27 15. Fax : +32 (03) 820 27 34. E-mail : Labrom@uia.ua.ac.be

Année	Nombre total* des membres	Nombre de membres** belges dans les sections	Nombre de membres** section« denrées alimentaires »
1889-1890	232	181(49)	60(48)
1890-1891	334	323(60)	83(60)
1891-1892	418	351(68)	89(67)
1893-1894	434	360(63)	89(61)
1894-1895	434	336(57)	82(55)

* Membres habitant la Belgique et l'étranger
 ** Entre parenthèses : le nombre des pharmaciens

mentaires et ensuite - ce qui serait déterminant pour la survie de l'association - de la présence active de tous les professeurs et les futurs professeurs de la chimie alimentaire dans la formation des pharmaciens des quatre universités belges.

Le *Bulletin de l'Association* rapporte très bien les travaux des réunions. Il s'agissait surtout de professeurs d'universités présentant leurs recherches : G. Bruylants (Louvain) sur la panification frauduleuse, A. Jorissen (Liège) sur la présence de graisses étrangères dans le beurre, A. Herlant (Bruxelles) sur l'analyse du café, L. Crismer (École Militaire, Bruxelles) sur « la détermination des températures critiques de dissolution », etc.

Dues aux intérêts communs, il y avait plusieurs réunions entre la section des denrées alimentaires et la section des industries de fermentation sur « la réglementation et la production du vinaigre » (1891) ou sur « l'analyse de la bière » (1895). A côté de ces discussions positives, on observe à la lecture des procès-verbaux qu'il y avait aussi des frictions parmi les sections, sur des questions de compétence notamment entre les membres de la section agricole et ceux de la section sucrière, ou encore

entre les défenseurs de l'agriculture et ceux de l'industrie sucrière.

Le Congrès international de chimie appliquée (1894) [4]

Sept ans seulement après la fondation de l'Association Belge des Chimistes, les chimistes belges organisaient à Bruxelles et à Anvers du 4 au 11 août 1894 le premier Congrès international de chimie appliquée. La préparation de ce congrès, actuellement considéré par l'IUPAC comme son premier congrès, a certainement énormément contribué à la « professionnalisation » de la chimie en Belgique. Le président de l'Association, E. Hanuise, proposait d'abord de restreindre le programme aux matières agricoles et sucrières, mais d'autres membres du comité central s'opposaient radicalement à cette idée. Finalement, chaque section préparait l'organisation du congrès par la présentation d'un certain nombre de questions à soumettre aux participants au congrès.

Le nombre des adhésions pour le congrès s'élevait à 397 personnes qui se répartissaient dans les quatre sections. La chimie alimentaire entrait en ligne de compte dans chaque section, mais sur-

tout dans la section des denrées alimentaires, où cinq questions furent débattues. Ce congrès fut le premier d'une série de congrès internationaux. En étudiant les programmes et les recommandations des congrès successifs de Paris (1896), de Vienne (1898), de Paris (1900), de Berlin (1903) et de Rome (1906), on constate que la chimie alimentaire tenait une place importante dans tous ces congrès.

Conclusion

Les chimistes belges organisés dans l'Association Belge des Chimistes ont donné à partir de la création de leur association en 1887 une importante contribution à la chimie alimentaire aussi bien sur le plan national qu'international.

Références

- Fuks R., *Chimie Nouvelle*, **1999**, 17, p. 2085-2086.
- Deelstra H., Fuks R., *Chimie Nouvelle*, **1998**, 16, p. 1971-1977.
- Deelstra H., Joos P., *Chimie Nouvelle*, **1999**, 17, p. 3003-3007.
- Deelstra H., Fuks R., *Chimie Nouvelle*, **1995**, 13, p. 1443-1447.

Le végétal, l'animal et la question de la nutrition

Marika Blondel-Mégrelis* chargé de recherche au CNRS

Summary : *Plants, animals and the problem of nutrition*

The question is why chemists had such a difficulty in facing the multiple and complex phenomena involved in animal nutrition

Mots clés : *Animalisation, assimilation, azote, combustion, gélatine, graisse*

Key-words : *Animalization, assimilation, nitrogen, combustion, gelatine, fat.*

Au tout début du XIX^e siècle, Humboldt exprime sa stupéfaction que, « parmi les étonnantes productions qu'on rencontre à chaque pas dans la région équinoxiale, se trouve un arbre qui donne avec abondance un suc comparable, par ses propriétés, au lait des animaux ». Vingt ans plus tard, il recommande « expressément » à Boussingault, de porter son attention sur le suc laiteux de l'« arbre de la vache », dont il a lui-même, que les nègres de la ferme de Barbula regardaient « comme un aliment très salubre », et dont le majordome avait assuré que « les esclaves engraisent sensiblement pendant la saison où le Palo de vaca leur fournit le plus de lait » [1]. Un produit végétal pourrait donc se montrer éminemment nutritif alors qu'on aurait plutôt été porté à en craindre l'action vénéneuse.

Boussingault, pour « en déterminer les propriétés nutritives », se nourrit pendant plus d'un mois de ce lait végétal, « en le mêlant à du café et à du chocolat » ; il en détermine les propriétés physiques, les mêmes que celui de la vache, un peu plus visqueux seulement, de même goût, et les propriétés chimiques. Or, ce lait contient, outre une matière cireuse, une matière fibreuse en tout point semblable à la fibrine animale. Résultat très surprenant, que Boussingault n'annoncerait « qu'avec

beaucoup de circonspection », si Vauquelin, « l'un de nos plus célèbres chimistes », n'avait déjà comparé la sève laiteuse du carica papaya « à une substance fortement animalisée, au sang des animaux » [2].

Puis vient la conclusion, rapide : « La présence de la fibrine explique la propriété nutritive du lait du Palo de Leche », un peu surprenante quand on connaît la prudence de Boussingault en matière de conclusion.

C'est donc bien parce que ce produit végétal est tout à fait semblable à un produit animal qu'il constitue un « aliment salubre », sera-t-il confirmé plus tard, tout en rectifiant légèrement : il est plutôt comparable à la crème qu'au lait de vache [3].

Or les chimistes ont reconnu depuis longtemps l'analogie entre les huiles végétales et les graisses animales, entre le sucre végétal et le sucre du lait, puis entre les substances végétales contenant de l'azote (glutineux, fécule verte, semences cornées) et les substances animales ; puis la présence de matière albumineuse dans les végétaux [4]. Par ailleurs, Magendie a bien montré, par l'expérience, que l'azote des tissus animaux provient des aliments et donc que la nourriture azotée est nécessaire pour entretenir la vie [5].

Dans ces conditions, pourquoi les chimistes, qui savent bien que si telle substance est nutritive, ce n'est pas parce qu'elle est d'origine animale, mais parce que, comme les substances animales, elle contient de l'azote, maintiennent-ils l'ambiguïté, et déjà dans les

termes ? Ceci est d'autant plus surprenant que les physiologistes, depuis longtemps, sont très stricts : seule compte, dans les expériences auxquelles Magendie soumet ses chiens, « la composition chimique » de la nourriture qui doit être « rigoureusement déterminée ».

Dans l'affaire de la gélatine, au-delà des multiples intérêts qui sont impliqués, économiques, sociaux-sanitaires, scientifiques et luttes d'écoles, la question posée par la commission réunie en 1831, et qui présente son rapport par l'organe de M. Chevreul en 1832, est celle de savoir si la gélatine extraite des os pouvait être employée comme remplaçant la viande dans la confection des bouillons destinés aux indigents. Il s'agissait de « rendre l'alimentation complète », d'animaliser la nourriture (d'Arcet). Et c'est bien encore dans ces termes qu'elle sera rappelée par la commission qui rend ses travaux en 1841 : « Peut-on, par un procédé économique, extraire des os un aliment qui, seul ou mêlé à d'autres substances, tienne lieu de la viande ? » [6] et renvoie les conclusions : la science n'en est encore qu'à ses premiers pas.

En fait, on est dans l'idée qu'une substance est alimentaire si sa constitution est proche de celle dont sont formés les matériaux du corps. C'est ainsi que l'albumine, constituant du sang et du blanc d'œuf, était considérée comme un aliment essentiel ; la fibrine, constituant du sang et des muscles, était considérée comme l'aliment par excellence.

C'est dire encore que dans l'acte de nutrition, où le corps s'approprie des

Communication

* CNRS, IHPST, 13, rue du Four, 75006 Paris.
Tél. : 01.43.54.60.36. Fax : 01.44.07.16.49.

matériaux extérieurs, il ne se passerait rien du point de vue chimique, tout juste des « *changements dans la forme* », puisque l'aliment par excellence est en tout point semblable aux matériaux dont le corps est formé. L'alimentation des animaux ne serait que la « *mise en place des matériaux uniquement élaborés par les plantes* » [7], l'organisme animal étant incapable de former aucun des principes qui entrent dans sa constitution. D'où l'extinction de la question de l'**animalisation** - changement des substances végétales en substances animales - pour la désormais seule question de l'**assimilation**, question de l'animalisation qui avait été proposée, en partie (limitée à l'influence du foie et de la bile), pour le Prix proposé par l'Académie des sciences, en 1792. C'est bien dans le sens d'une confirmation que Mulder interprète sa découverte que l'albumine et la fibrine ont la même composition (mis à part les quantités de soufre et de phosphore) : le constituant principal des animaux est directement fourni par le règne végétal. Et telle est bien la raison de l'enthousiasme de Berzelius, lorsqu'il propose le nom « *protéine* » pour désigner l'oxyde organique de la fibrine et de l'albumine, lui qui avait reconnu depuis longtemps la grande ressemblance de ces « *matières albumineuses* », et avait bien noté que, selon Gmelin et Tiedemann, la fibrine semblait disparaître et de l'albumine semblait apparaître au niveau de l'estomac : cet oxyde « *paraît être la substance primitive ou principale de la nutrition animale que les plantes préparent pour les herbivores, et que ceux-ci fournissent ensuite aux carnassiers* » [8].

C'est aussi l'une des raisons qui pourrait expliquer que les deux Mémoires, celui de Leuret et Lassaigüe, et celui de Gmelin et Tiedemann, aient été également mentionnés au Prix de l'Académie, en 1825, sur le sujet des phénomènes qui se succèdent durant l'acte de digestion, quoiqu'il ait été reconnu « *qu'une rigueur beaucoup plus grande accompagnait les expériences* » du second. Pour les Français, les transformations se réduiraient à une division des substances alimentaires, ce que retiendra Dumas, alors que les Allemands montrèrent que les aliments subissent, à l'intérieur du corps humain, des transformations d'ordre chimique ; l'amidon, en particulier, disparaît, après l'intestin, transformé en sucre.

Ainsi, les chimistes élimineraient de leur champ une question qu'ils se voient incapables de résoudre.

Dumas et Liebig, presque toujours en opposition sur les grandes questions, semblent, sur ce point, presque en accord : « *C'est dans les plantes que réside le véritable laboratoire de la vie organique... la matière ligneuse, l'amidon, les gommés et les sucres d'une part, la fibrine, la caséine, le caséum et le gluten de l'autre, sont les produits fondamentaux des deux règnes ; produits formés dans les plantes et dans les plantes seules, et transportés par la digestion dans les animaux* » [9]. Il redit la même chose dans son Mémoire avec Cahours [10]. Liebig fait une nuance : si, dans les organes digestifs des carnivores, les aliments ne font que « *prendre une autre forme* », sans éprouver aucune « *altération chimique* », pour les herbivores, les choses sont un peu plus complexes, « *leurs aliments sont moins semblables aux principes qui constituent leurs corps* ».

« *Un carnivore se dévore lui-même sous le point de vue chimique, parce que sa nourriture est identique avec les parties constituantes de son corps ; un herbivore se mange lui-même, parce que ses aliments sont identiques avec sa chair ou son sang* » [11]. Dans la hiérarchie des êtres, le carnivore serait au sommet, un véritable roi fainéant.

On comprend, dans ces conditions, l'âpreté de la discussion qui s'engage quant à l'origine de la graisse des animaux : « *est-ce que les matières sébacées qui entrent dans l'organisme dérivent uniquement des principes analogues aux corps gras qui préexistent dans les aliments végétaux ?* » [12]. Controverse si vive et question tellement cruciale que, pour défendre ses idées (et celles de Dumas) en faveur de l'assimilation directe, le membre de l'Académie des sciences qui fut également l'un des brillants officiers de l'état-major du Libertador, est allé jusqu'à « *l'humiliation* » d'analyser de l'eau de vaisselle [13]. Il en a perdu l'appétit, mais les expériences sur les porcs (qui, comme on le sait, reçoivent, avec leurs pommes de terre, de l'eau grasse) ont été tellement en faveur de leurs idées... qu'il n'osait pas les rendre publiques. Ce fut également le cas des canards au riz non gras [14], qui ont fait des prodiges de graisse, mais les oies (Persoz) se sont comportées de manière indigne !

Mais il ne s'agissait ici que des substances alimentaires essentiellement combustibles (les aliments respiratoires de J. Liebig) qui se détruisent pour donner de la chaleur, et non de ces matériaux azotés qui donnent lieu à l'assimi-

lation (aliments plastiques : albumine, fibrine, caséine) ; substances sur lesquelles, donc, ne porte pas la question essentielle. « *Un corps gras ne devient réellement alimentaire qu'autant qu'il est associé à une certaine quantité de matière nutritive azotée* » [15].

Dans le fond, les chimistes restent dans une chimie très lavoisienne : ils ont bien du mal à voir dans le corps animal autre chose qu'une machine à combustion. La fonction essentielle est la respiration ; la digestion est maintenue à distance. Ceci est accentué jusqu'à la caricature dans ce fameux cours du 20 août 1841 à l'École de médecine : « *le caractère le plus constant de l'animalité réside dans cette combustion du charbon* » ; « *la digestion doit être considérée d'une manière bien plus simple* », il ne faut pas « *y chercher ces mystères qu'on était bien sûr de n'y point trouver* ».

« *C'est qu'en effet la digestion est une simple fonction d'absorption. Les matières solubles passent dans le sang, inaltérées pour la plupart ; les matières insolubles arrivent dans le chyle, étant assez divisées pour y être aspirées par les orifices des vaisseaux chylifères* » [16].

On est bien dans une statique chimique où « *se ferme le cercle mystérieux de la vie organique* », les plantes reprenant à l'air ce que les animaux lui fournissent. Lavoisier avait déjà mentionné « *cette circulation entre les trois règnes* », dans la rédaction du Prix proposé par l'Académie, justement ; mais il était conscient de l'immensité et de la complexité d'un travail sur l'animalisation, dont il savait qu'il nécessitait « *la réunion des efforts de la physique, de l'anatomie et de la chimie* », et l'avait en conséquence limité, dans un premier temps, au niveau du foie et de la bile [17].

Or, il fallait bien élargir ce cercle au nouveau venu, à cet azote mal aimé des chimistes, cet air méphitique placé au plus bas, par Priestley, dans l'échelle d'excellence des airs, jamais défini que par différence (ce qui reste) ou par négation (qui ne permet pas la vie, la combustion), qui occupe les 4/5 de l'atmosphère et cependant semble ne servir à rien (au mieux à tempérer l'effet de l'oxygène).

« *L'azote est essentiel et fondamental dans les deux règnes* » dira Cl. Bernard [18]. Fallait-il que ce soit un non-chimiste qui le dise, confirmant la sentence de A. Comte qui constatait « *l'incompétence nécessaire des chimistes* » à étu-

dier la question la plus importante, « l'étude chimique de la vie » ? Il faut dire que Cl. Bernard était élève de Magendie ; son préparateur au Collège de France de 41 à 43, il avait effectué un grand nombre d'expériences avec Barreswill pour déterminer le caractère nutritif de la gélatine ; assistant en 43-44 aux cours de Dumas à l'École de médecine, il l'avait entendu débattre de ses positions (et de ses différences de vues avec Liebig) [20].

La prise en considération et l'étude toute spéciale des combinaisons azotées, correspond, pour l'histoire de la chimie, à une difficile mutation. Avec cette question de la nutrition, la science jusqu'alors construite autour de l'élément éminemment respirable, doit faire l'effort de concentrer son attention sur l'azote, l'un des plus désolants car des plus inertes, si difficile pour l'analyse quantitative, mais qui confère souvent à ses combinaisons une instabilité déconcertante : « Vous voulez laver ce corps avec un peu de potasse ? prrr ! il disparaît », s'exclame A. Laurent, d'une série de composés « doués d'une mobilité extrême » [21]. A. Laurent, l'un de ceux qui s'est le plus intéressé à ces substances organiques azotées, et pas seulement les alcaloïdes, et pas seulement les colorants, et qui a fait de l'étude de ces substances l'une des clés pour la compréhension de la chimie organique. En particulier, grâce à l'emploi systématique qu'il fait du réactif ammoniacal, A. Laurent prépare une foule de composés complexes et variés, et inverse donc les réflexes et habitudes des chimistes, habitués plutôt à simplifier les combinaisons qu'ils veulent étudier. Avec cette question de la nutrition, mais pas seulement, les années 40 voient se développer une activité fébrile autour des composés azotés, complexes, multiples, changeants, et pour l'étude desquels la chimie de l'analyse révèle ses limites.

Avec cette question de la nutrition, mais aussi de la nutrition des plantes, les chimistes vont aussi loin que possible, ils épuisent les plus belles réalisations possibles de la chimie des bilans, que Boussingault portera jusqu'à l'apothéose. Les comptes serrés des entrées-sorties (des champs, des organismes,

des plantes) s'avèrent impuissants à prendre en compte la chimie des microorganismes, des enzymes ou des diastases [22]. Il faudra associer des gens de formation différente, il faudra inventer, bricoler de nouvelles méthodes ; il faudra prendre en compte la vie, sous ses multiples manifestations, dans sa succession d'équilibres fragiles.

Il faudra faire sauter le verrou séparant l'animal, appareil de combustion, d'oxydation, d'analyse ou de destruction tandis que la plante serait un appareil de synthèse, de réduction, de formation. « La création vitale était dévolue aux végétaux, tandis que la destruction organique était réservée aux animaux » [23] : l'opposition, simple, confortable et très valorisante pour les futurs chantres de la synthèse chimique, sera amplement exploitée.

Notes et références

- [1] Humboldt (de) A., Sur le lait de l'arbre de la vache et le lait des végétaux en général, *Ann. Chim.*, **1817**, 7, p. 182.
- [2] Boussingault J.B., de Rivero M., Mémoire sur le lait de l'arbre de la vache (Palo de Vaca), *Ann. Chim.*, **1823**, 23, p. 219.
- [3] Boussingault J.B., Sur la composition du lait de l'arbre de la vache, *Ann. Chim.*, **1878**, 15, p. 180.
- [4] Fourcroy (de) M., Sur l'existence de la matière albumineuse dans les végétaux, *Ann. Chim.*, **An III**, 3, p. 253.
- [5] Magendie F., Sur les propriétés nutritives des substances qui ne contiennent pas d'azote, *Ann. Chim.*, **1816**, 3, p. 66.
- [6] Rapport fait à l'Académie des sciences au nom de la commission dite de la gélatine, *C.R. XIII*, **1841**, p. 239.
- [7] Idée que combat Cl. Bernard, en physiologiste ; cf. Cl. Bernard, *Leçons sur les Phénomènes de la Vie communs aux Animaux et aux Végétaux*, **1878**, I, p. 136.
- [8] Lettre de Berzelius à Mulder, 10 juillet **1838**.
- [9] Dumas et Boussingault, *Essai de Statique chimique des Êtres organisés*, Leçon du 20 août 1841. Magendie pourrait être à l'origine de cette image de la fonction de transport effectuée par la digestion, la question du « mouvement

nutritif » étant considérée comme fondamentale (1816).

- [10] Dumas et Cahours, Sur les matières azotées neutres de l'organisation, *Ann. Chim.*, **1842**, 6, p. 385.
- [11] Liebig J., Sur les matières alimentaires azotées du règne végétal, *Ann. Chim.*, **1842**, 4, p. 186.
- [12] Boussingault J.B., Recherches expérimentales sur le développement de la graisse pendant l'alimentation des animaux, *Ann. Chim.*, **1845**, 14, p. 419.
- [13] Lettre de J.B. Boussingault à J.B. Dumas (**1844**), in dossier Dumas, *Arch. Ac. des sciences*.
- [14] Il y en a même un qui est « aussi gras que Rayer » (professeur de médecine) !
- [15] Boussingault J.B., Recherches expérimentales... *op. cit.*, p. 435.
- [16] Il faut noter que le texte reste inchangé, même dans la 3e édition (fév. 1944), p. 40-1. Cependant, dans la partie Documents, est ajouté un paragraphe intitulé Théorie de la digestion, où sont mentionnées les recherches de Bouchardat et Sandras (1842-43). « Une publication anticipée, à certains égards du moins, de nos vues personnelles, nous a paru tout à fait nécessaire en 1841, exposés que nous étions à perdre tous nos droits », p. 113.
- [17] Prix proposé par l'Académie des sciences pour l'année 1794, *Ann. Chim.*, **1792**, 14, p. 216. On sait que Lavoisier en fut le rédacteur.
- [18] *Leçons sur les Phénomènes...*, *op. cit.*, I, p. 134.
- [19] Comte, 39^e Leçon de Philosophie chimique, professée en **1835-36**.
- [20] Cf. Holmes F.L., *Cl. Bernard and Animal Chemistry*, **1974**, p. 119-20, qui cite un manuscrit où Magendie exprime son opinion sur les chimistes : « Monsieur Dumas qui réduit l'animal à une locomotive, et M. Liebig qui considère qu'un bon manteau est l'équivalent d'un bon repas ».
- [21] Lettre à Ch. Gerhardt, 6 mars 1845.
- [22] Pour Bouchardat et Sandras, par exemple (*Ann. Sc. Nat.*, **1842**), il se passe autre chose, dans l'organisme vivant, qu'une simple dissolution par HCl.
- [23] *Leçons sur les Phénomènes...*, *op. cit.*, I, p. 136.

La gélatine face aux extraits et aux bouillons de viande

Georges Bram* professeur, **Hervé This**** physico-chimiste INRA, attaché à la direction scientifique « Nutrition humaine et Sécurité des aliments », **Claude Viel***** professeur

Summary : *Gelatine opposite to meat extracts and beef-tea*

After an history of gelatine and its utilization in alimentation as substitute of meat, the authors discuss and compare the nutritive value of Liebig's meat extract (extractum carnis) of beef-tea, then they expose the controversy developed about respective qualities and nutritive power of each of them, in particular for gelatine.

The French-German 1870's war finished, the use of nitrate fertilizers put an end to scarcities which devastated France, and the question of nutritive power of beef-tea, meat extract and gelatine was no longer asked. The modern science will not search to know if only one of these products is able to feed exclusively, but today the meat extracts as food gelatines are considered more lower than beef-teas or calves-foot jellies prepared by classical culinary recipes.

Mots clés : *Gelatine, bouillons de viande, nutrition, Papin, Liebig.*

Key-words : *Gelatine, nutrition, beef-teas, Papin, Liebig.*

À la fin du XVII^e siècle, quand Denis Papin met au point son « digesteur », la viande de bœuf reste un luxe, et la gélatine semble un principe nutritif essentiel, au moins en France. Toutefois, l'intérêt de la gélatine est contesté. La controverse s'amplifie avec la mise au point, par Justus von Liebig, de son « extractum carnis » : ce dernier fut d'abord annoncé comme le composant nutritif principal des bouillons. Longtemps les nutritionnistes débattent du rôle de la gélatine. Les livres de cuisine se font l'écho de ces controverses, et la valeur nutritive de la gélatine restera débattue jusqu'au XX^e siècle.

Les cuisiniers savent, au moins depuis le premier livre de cuisine en langue française, que le chauffage dans l'eau de tissus conjonctifs, de cartilages, de tendons ou d'os procure des solutions susceptibles de prendre en gelée : le collagène est dissocié, et les molécules de gélatine s'associent en formant un gel. Ces gelées, systèmes quasi solides, donc, étaient-elles analogues d'un point de vue nutritif, à la viande ? À une époque où le bouillon était un aliment essentiel (n'oublions pas la poule au pot) et où l'on ignorait la constitution chimique des aliments, ainsi que les propriétés nutritives de leurs constituants, on pouvait facilement le croire, d'autant que les bouillons faisaient également partie

de l'arsenal médical. En fait, l'idée n'était pas complètement fautive, car la gélatine est une protéine (qui manque toutefois de tryptophane).

Les « savants » qui se préoccupèrent d'optimiser l'utilisation des denrées pensèrent que les os contenaient des matières nutritives : les chiens s'en nourrissent, d'une part ; le pied de veau est classiquement utilisé pour la confection des gelées. Pouvait-on en extraire une partie nutritive ?

Denis Papin, en 1681, semble être le premier à avoir eu l'idée de ramollir les os pour en extraire des nutriments utiles à l'alimentation humaine. Il conçoit son « digesteur », ou marmite autoclave (*figure 1*), alors qu'il est à Londres. Il propose au roi Charles II de préparer en 24 heures 150 kg de gelée destinée aux maisons d'indigence et aux hôpitaux. Aucune suite n'est donnée à sa requête car, ont dit certains, alors qu'il va donner une réponse favorable, le roi aperçoit un placet pendu au cou de ses chiens de chasse, qui le supplie de ne pas les priver de leurs os, nourriture qui leur revenait de droit. Ce serait donc une misérable plaisanterie qui aurait étouffé les vues philanthropiques de Papin.

Son procédé (*figure 2*) consistait à chauffer, à une température comprise entre 120 et 130 °C, sous pression, les os en présence d'eau. Toutefois, la gélatine est alors dégradée, et la solution récupérée a un fort goût ammoniacal. Les villes de Rouen et de Clermont-Ferrand utilisent le procédé pour fabriquer un aliment pour les pauvres, mais le goût rebutant limite le développement du procédé.

Pour pallier cette altération de la gélatine, on cherche un autre procédé. En 1758, Hérissant, s'intéressant à la nature chimique des os, montre que les acides dilués dissolvent la partie calcaire de l'os, laissant intacte la matière organique. Quand on lave ensuite à grande eau pour éliminer les sels et l'excès d'acide, on obtient une substance qui semble « iso-

Communication

* Institut de chimie moléculaire et Groupe d'Histoire et de Diffusion des Sciences d'Orsay (GHDSO), Université Paris-Sud, bât. 307, 91405 Orsay. Tél. : 01.69.41.72.66. Fax : 01.69.85.54.93.

** Laboratoire de chimie des interactions moléculaires, Direction de la nutrition, Collège de France, 5, place Marcelin Berthelot, 75005 Paris. Tél. : 01.44.27.12.11. Fax : 01.43.25.18.29. E-mail : hthis@paris.inra.fr

*** Faculté de Pharmacie, 31, avenue Monge, 37200 Tours. Tél. : 02.47.36.71.73. Fax : 02.47.36.71.74. E-mail : viel@univ-tours.fr

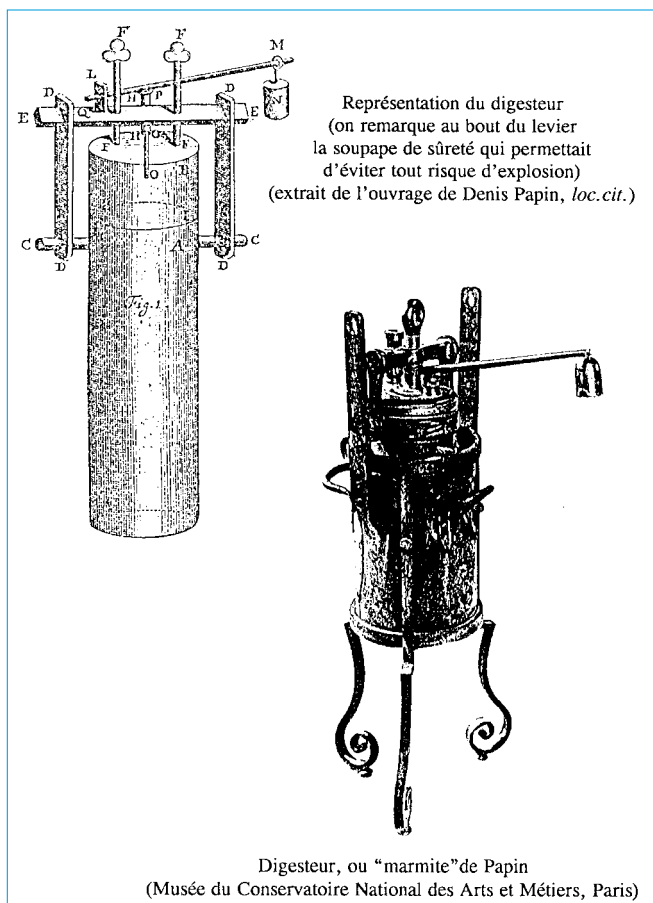


Figure 1.

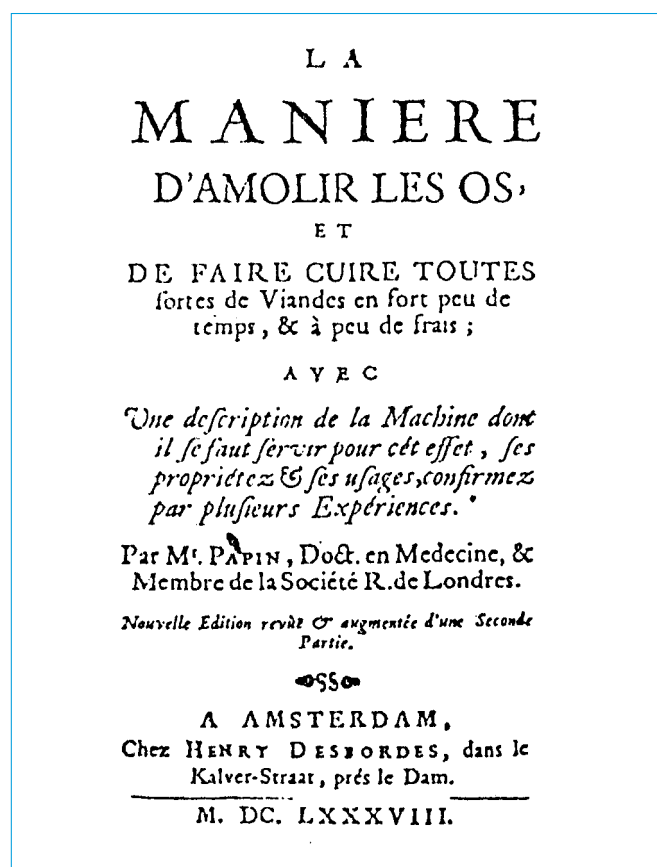


Figure 2 - Page de titre de l'ouvrage de Denis Papin (1688).

mère » (selon Guérard), c'est-à-dire identique à celle de Papin ; elle est nommée osséine (on obtient ensuite la gélatine en ajoutant de l'eau chaude à l'osséine).

En 1775, Changeux publie un mémoire sur l'extraction de la gélatine des os, dans lequel il montre que la quantité de gelée obtenue dépend du degré de division de l'os : « *J'ai râpé des os de différentes duretés, et j'ai mis ces os râpés dans des marmites communes à un feu très médiocre. Tous ces os m'ont donné, après un temps très court, c'est-à-dire moins d'une heure d'ébullition, des gelées savoureuses, et aussi restaurantes que les gelées de viande* », gelées « *que l'on assaisonnera avec le sel, et si l'on veut avec quelques aromates* ». Changeux envisage également les tablettes de bouillon, fabriquées depuis longtemps par les cuisiniers ; il envisage la théorie de leur confection, sans se limiter à une description, comme ses prédécesseurs.

En 1791, Proust se fondant sur le travail de Changeux, publie une remarquable étude sur la gélatine des os. Il découvre que les os procurent beaucoup plus de gélatine que les viandes, que les os d'un même animal ne donnent pas la même quantité de gelée, que les gelées fournies par les os de divers animaux ne sont pas toutes de la même qualité... Il donne également sa recette de « pastilles » de gelée, analogues aux tablettes préparées jusqu'alors. Ces pastilles, mêlées à du bouillon de viande, semblaient pouvoir donner un aliment économique et d'excellente qualité nutritive.

En 1802, Cadet de Vaux publie un mémoire sur la gélatine des os, sur ordre du gouvernement. L'auteur propose un procédé d'extraction, mais d'Arcet père, Guyton de Morveau et Deyeux le critiqueront.

Puis en 1806, le chimiste anglais, Charles Hatchett, confirme les travaux d'Hérissant et, en 1810, d'Arcet fils réalise une étude systématique sur l'action des acides, notamment de l'acide chlorhydrique, sur les os ; il met au point un procédé applicable à grande échelle, qui donne lieu à un brevet d'invention qu'il exploite dès 1812 à la manufacture de l'île aux Cygnes, au Gros-Caillou, à Paris. Il fait subir aux os deux macérations acides, à température ordinaire, tout d'abord dans de l'acide chlorhydrique à 6 °Bé pendant 10 jours, puis dans un acide à 1 °Bé pendant 24 heures ; il finit par un lavage à grande eau, suivi d'une immersion dans une solution de carbonate de sodium, d'un lavage à l'eau jusqu'à neutralité, et d'un séchage à l'étuve.

À la suite de déconvenues dues surtout à l'incurie de ceux auxquels d'Arcet avait confié l'exploitation de son procédé, la qualité du produit ne répondait que rarement aux désirs des consommateurs, et les ventes de gélatine alimentaire chutèrent ; d'Arcet abandonna son procédé d'extraction à l'acide pour en revenir à celui de Denis Papin, dont son père s'était autrefois occupé.

En 1817, il proposa un procédé très codifié, qui, bien qu'issu de celui de Papin, comportait un changement fondamental de l'appareil utilisé et des conditions de température et de pression, qui évitaient la dégradation excessive de la gélatine. L'opération se faisait dans des cylindres en fonte, les os broyés, débarrassés de graisse, étaient soumis à une extraction en continu par la vapeur d'eau à 107 °C maximum, sous une pression de 960 mm de mercure. Dans ces conditions, la dissolution gélatineuse est claire et non alté-

rée, tant que l'appareil d'extraction est maintenu dans un état de propreté parfaite. Cet appareil a fonctionné avantageusement dans plusieurs hôpitaux parisiens et de grandes villes de province, mais il a ensuite été abandonné à Paris en raison, selon d'Arcet, « de la négligence dans la surveillance et le service des appareils et toujours par des causes qu'il eût été très facile d'annuler, si les administrateurs compétents l'avaient voulu ».

Toutefois, deux importantes questions n'avaient pas été prises en compte par d'Arcet et par ceux qui, avant lui, avaient préconisé la gélatine à des fins alimentaires : 1. La gélatine est-elle nutritive ? 2. Son usage est-il sans inconvénient pour l'organisme ?

Les commissions qui se sont successivement réunies de 1814 à 1841, le plus souvent sous les auspices des Académies des sciences et de médecine, notamment la Commission de la gélatine, ont montré l'innocuité de la gélatine pour l'organisme. En revanche, le pouvoir nutritionnel de la gélatine fut controversé, tant il est vrai que le problème était difficile tel qu'il était posé. Des expériences avec des chiens avaient été faites par W. Edwards dans les années 1830, et il avait été montré que la gélatine seule ne suffit pas à nourrir des chiens, mais la Commission présidée par Magendie n'avait pas retenu les aspects positifs de la gélatine, d'où la controverse.

Il faut signaler que la question était compliquée par une rivalité avec les études de Justus von Liebig, qui avait attribué des vertus nutritives à son « extractum carnis ». Liebig avait mis au point cet « extractum carnis » en 1847, à Giessen, alors que la chimie avait commencé à identifier dans le bouillon des molécules organiques variées : acide lactique, créatine, créatinine, acide inosique... Se fondant à la fois sur les connaissances incomplètes de l'époque et sur les procédés culinaires classiques, Liebig comme bien d'autres avant lui, cherche le meilleur moyen de cuisiner la viande pour en préserver les qualités nutritives. Son extrait était obtenu par évaporation à basse température d'un bouillon confectionné à partir de viande maigre hachée (l'utilisation de viande hachée pour la confection des bouillons ou des tablettes de viande est ancienne : dès 1801, Fourcroy la mentionne). Dans ses *Nouvelles Lettres sur la Chimie*, Liebig insiste sur les vertus nutritives de son extrait et, discutant le rapport établi par Magendie au nom de la Commission de la gélatine, il souligne que, puisque la gélatine n'apporte rien à la valeur nutritive d'un bouillon, ce sont nécessairement les composés de l'extrait de viande qui sont nécessaires de celle-ci.

Liebig n'emporte toutefois pas l'adhésion de tous et, le bouilli n'ayant plus de goût (le bouilli est la viande qui a servi à confectionner un bouillon ; on le considérait, de ce fait, comme sans pouvoir nutritif), la question des propriétés nutritives du bouillon devient : le pouvoir nutritif du bouillon réside-t-il dans l'« extractum carnis » ou dans la gélatine ?

Alors que beaucoup d'études concluent à une inutilité nutritionnelle de la gélatine, notamment celle de la Commission de la gélatine, présidée par Magendie, qui déconseillait même son utilisation, une autre école s'attachait à démontrer la nocivité de l'« extractum carnis » : selon

Armand Gautier, par exemple : « M. Muller a observé qu'à doses un peu fortes, l'extrait de Liebig produit des effets dangereux. Quant à son alimentation ordinaire il ajoutait 30 grammes d'extrait en vingt quatre heures, il était pris de diarrhées sérieuses. Un chien pesant 6 520 grammes reçut quotidiennement 200 grammes de pain, 200 grammes d'eau, 20 grammes de graisse et 20 grammes d'extrait, le sixième jour, il fut pris de diarrhée, le neuvième il se mourait péniblement. A la dose de 40 grammes d'extrait, la diarrhée arriva au bout de trois jours, l'animal refusa de manger, on lui donna de force des boulettes d'extrait et de mie de pain ; le sixième jour, l'animal entièrement exténué était incapable de tout mouvement. Sur des chats, des expériences alternées ont été plusieurs fois répétées et ont conduit aux mêmes résultats. Remarquons bien que tous ces animaux recevaient en aliments ordinaires plus que leur régime d'entretien. Quant à l'alimentation fondée exclusivement sur l'emploi de l'extrait de viande, M. Kemmerich a reconnu que ce régime tuait les animaux plus rapidement que la privation absolue de tout aliment ».

La question resta ainsi ouverte jusqu'au siège de 1870, où Frémy, devant la pénurie alimentaire des Parisiens, suite au siège par les Prussiens, présenta à l'Académie des sciences une note qui recommandait l'emploi alimentaire de l'osséine, jugeant que l'avancement des connaissances en chimie et en physiologie devait conduire à réexaminer la question des propriétés nutritives de la gélatine. Cette dernière retrouve alors une utilité comme aliment de remplacement. L'appel de Frémy était relayé par le gouvernement qui, pendant le siège, réquisitionna les os de boucherie, tandis que A. Guérard, membre de l'Académie de médecine, se fit l'ardent défenseur de la gélatine, argumentant point par point les résultats expérimentaux et les conclusions des différents rapports publiés.

La guerre finie, l'usage des engrais azotés mettra progressivement fin aux disettes qui ravageaient la France, et la question du pouvoir nutritif du bouillon, de la gélatine ou des extraits de viande ne se posera plus. Les passions retombées laisseront les chimistes et les médecins analyser sereinement les qualités nutritives de ces aliments. La science moderne ne cherchera plus à savoir si l'on peut se nourrir exclusivement de l'un de ces trois produits, mais la cuisine conservera les traces des controverses : aujourd'hui, les extraits de viande, comme les gélatines alimentaires, sont considérés comme bien inférieurs aux bouillons ou aux gelées préparées à partir de pied de veau par des procédés culinaires classiques.

Références

- Brock W.H., *Justus von Liebig. The Chemical Gatekeeper*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- Changeux, *Journal de physique de l'abbé Rozier*, 1775, 6, p. 33.
- Chevreul, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 1870, 71, p. 855 et 912 ; 72, p. 44 et 67.
- Coulier, *Gélatine (Bromatologie)*, *Dictionnaire encyclopédique des Sciences médicales*, P. Asselin et G. Masson, Paris, 1881, 7, p. 220.
- D'Arcet, *Mémoires et documents divers relatifs à l'emploi alimentaire de la gélatine des os*, Paris, 1829 et 1830.
- Dorvault F., *L'Officine* (21^e éd. sous la direction de J. Leclerc), Vigot, Paris, 1982, p. 213 et 695.

- Fourcroy, *Chimie*, in : *Encyclopédie méthodique*, Panckoucke, Paris, **1742**, tome second.
- Gautier E.-J. A., *Chimie appliquée à la physiologie, à la pathologie et à l'hygiène*, Librairie F. Savy, Paris, **1874**, tome 1, p. 115.
- Girardin J., *Rapport sur l'emploi de la gélatine des os dans le régime alimentaire des pauvres et des ouvriers*, F. Baudry, Rouen, **1831**.
- Guérard A., *Mémoire sur la gélatine*, J.-B. Baillière et fils, Paris, **1871** ; *Gélatine, Dictionnaire de Médecine, ou Répertoire général des Sciences médicales*, Béchet, Paris, **1832-1846**, 14, p. 40.
- Hérissant, *Mémoires de l'Académie royale des Sciences*, Paris, **1758** [1763], p. 322.
- Von Liebig (Justus), *Nouvelles Lettres sur la Chimie* (traduction Ch. Gerhardt), Charpentier, Paris, **1852**, p. 193.
- Magendie, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **1841**, 13, p. 237.
- Papin (Denis), *La manière d'amolir [sic] les os*, Estienne Michallet, Paris, **1682**.
- Proust, Recherches sur les moyens d'améliorer la subsistance du soldat, Ségovie, 1791, *Journal de physique, de chimie, d'histoire naturelle et des arts* (J. Ch. Delaméthrie), an IX (**1801**), 53, p. 227.
- This H., Bram G., *C. R. Acad. Sci. Paris*, **1998**, 1, série IIc, p. 675.



D.R.

L'épandage de vinasse de betteraves sur les champs de grandes cultures

*Céréales, produits protéiques et betteraves en France, en Allemagne et autres pays européens
(résultats de nos propres recherches de vingt années)*

Jurgen Debruck*, Wilhelm Lewicki**

Déjà, dès 1840, Justus von Liebig avait demandé dans sa chimie organique de recycler les sous-produits de la fermentation d'alcool des mélasses de betteraves pour assurer le recyclage des sulfates de potasse et d'autres oligo-éléments nutritifs sur les champs de betteraves.

En effet, la France avait commencé déjà très tôt (après la deuxième Guerre mondiale) à épandre les vinasses provenant des distilleries de mélasse et des levureries. Aujourd'hui, environ 350 000-400 000 tonnes par an sont épandues très efficacement en automne sur 150 000 hectares de champs de

céréales récoltées, et au printemps avant l'ensemencement. Les effets de la vinasse épandue, selon nos recherches de 20 ans en République Fédérale d'Allemagne de la E.V.A. Ludwigshafen et LVA Bernburg, démontrent que ce liquide organique nourrit non seulement les plantes avec l'azote natif de la betterave (glutamate et bêtaïne), avec le sulfate de potasse et autres oligo-éléments, mais aussi elle nourrit fortement les micro-organismes du sol par le sucre inverti non fermenté. Par cet effet, le dynamisme des sols après épandage de vinasse pour décomposer la paille et autres matières organiques augmente considérablement par une multiplication de la population des micro-organismes, surtout ceux de l'espèce *Azotobacter* et contribue ainsi à la fixation de l'azote de l'air au sol et rend ainsi disponible l'azote aux plantes (effet similaire aux légumineuses).

Par cette solution organique nutritive et naturelle, les plantes et les racines se développent mieux, aident à une augmentation de la disponibilité des éléments nutritifs des grandes cultures et améliorent leur résistance, leur qualité et le rendement quantitatif par hectare. Par le bore présent dans la vinasse, une prévention contre la pourriture des cœurs des plantes (surtout betteraves) est assurée. On présente des résultats de nos recherches en comparaison avec d'autres engrais organiques et minéraux et on démontre les avantages économiques et écologiques de l'utilisation de l'épandage de vinasse sur les champs de grandes et petites cultures pour contribuer à une manière naturelle de nourrir les hommes aujourd'hui et demain.

Aujourd'hui, la vinasse est utilisée aussi comme engrais organique pour jardin et maison.

Communication (résumé)

* Centre de recherches et d'expériences du pays Sachsen-Anhalt à Bernburg, Allemagne.

** Société Épandage-Vinasse-Ausbringungs-GmbH, Ludwigshafen/Rhein, Allemagne.
Tél. : +49 (621) 66943-10.
Fax : +49 (621) 66943-11.

La gastronomie moléculaire...

La chimie n'oublie pas le citoyen qui cuisine

Hervé This* physico-chimiste INRA, attaché à la direction scientifique « Nutrition humaine et Sécurité des aliments »

Dictons et tours de main

Gastronomie moléculaire ? Pourquoi a-t-on donné un titre si pompeux à ce qui semble n'être que de la science des aliments ? La discipline est née d'une constatation que nous avons faite en 1991, avec le physicien Nicholas Kurti (1908-1998) : la cuisine domestique ou de restaurant, dans les pays industrialisés comme dans les pays en développement, se fonde sur la perpétuation d'un savoir-faire empirique, plus que sur la compréhension des phénomènes mis en œuvre. De ce fait, les livres de cuisine continuent à rassembler pêle-mêle des observations remarquables et des dictons contestables, voire faux, accumulés au fil des siècles. On dit, par exemple, qu'un cochon de lait doit avoir la tête coupée au sortir du four sinon sa peau s'amollit : est-ce vrai ? [1] On dit que les femmes qui ont leurs règles ne peuvent faire de mayonnaise sans voir celle-ci tourner : est-ce vrai ? On dit que les pommes de terre en salade absorbent plus la vinaigrette quand elles sont chaudes : est-ce vrai ? [2] Les cuisiniers et certains chimistes disent que, lors de la confection d'un bouillon, on doit toujours mettre la viande dans l'eau froide, sans quoi la « coagulation de l'albumine » formerait à la surface de la viande une croûte qui préviendrait la sortie des jus : qu'en penser [3] ?

Les questions sont innombrables et leur exploration rationnelle doit être pluridisciplinaire : elle doit allier la chimie, la physique, la biologie, l'histoire, la sociologie... et une bonne connaissance théorique et pratique de la cuisine. Ce travail, au cœur de la gastronomie moléculaire, en constitue le premier objectif.

Cette discipline est une branche particulière de la science des aliments qui, depuis des siècles, contribue au développement de l'industrie agro-alimentaire. C'est l'application la plus appliquée, si l'on peut dire, de la chimie et de la physique fondamentales. L'emphasis ne porte pas sur l'aliment, mais sur la cuisine - domestique ou de restaurant - et sur la dégustation.

L'écart entre la science des aliments et la cuisine domestique n'a pas toujours été aussi grand qu'aujourd'hui, et la gastronomie moléculaire ne se distinguait pas de la science des aliments, lorsque celle-ci naquit : des chimistes tels que Lavoisier [4] se préoccupait de cuisine quand il examinait la densité des bouillons ; Parmentier se préoccupait de cuisine, quand il promouvait la pomme de terre [5] ; Justus von Liebig et bien d'autres cherchèrent à rationaliser la confection du bouillon [3] ; Eugène Chevreul (1786-1889) fonda son œuvre sur la compréhension des corps gras...

Pour y revenir, la gastronomie moléculaire se préoccupe principalement de cuisine domestique ou de restaurant, parce que la science des aliments « classiques » s'en est détachée. De surcroît, depuis que les cours d'économie domestique ne sont plus systématiquement dispensés dans les écoles, les citoyens sont livrés aux ouvrages de cuisine réalisés par des particuliers, professionnels ou amateurs, pour réaliser les plats qu'ils consomment, jour après jour. Ils sont exposés à un mélange de vérités et d'erreurs qu'il est utile de séparer : le développement des arts culinaires dépend de ce travail de débroussaillage.

gastronomie moléculaire, impose nécessairement une compréhension générale des pratiques culinaires. Or, la rationalisation de ces pratiques semble être la base indispensable d'un perfectionnement de la cuisine : comprendre pour mieux pratiquer, et mieux former les jeunes cuisiniers, voici le deuxième objectif que nous avons assigné à la gastronomie moléculaire.

Examinons un exemple : la réduction des vins pour la confection des sauces. De nombreux cuisiniers commencent leurs sauces en faisant réduire « à sec » des échalotes avec du vin [6]. Pourquoi utiliser un liquide coûteux pour le faire partir en vapeur ? Des expériences avec divers vins montrent que les comportements sont variés : en raison de différences évidemment imputables à la composition des raisins et aux méthodes de vinification et d'élevage des vins (certains contiennent beaucoup de glucose, d'autres peu, par exemple), la « réduction » des vins laisse dans les casseroles un liquide sirupeux ou, au contraire, des échalotes quasi pures.

Observons alors ces dernières en cours de réduction : non seulement elles s'amollissent, mais leur couleur vire parfois au doré. Pourquoi cette coloration ? Au moins pour deux raisons : d'une part, le vin contient des acides aminés et des sucres réducteurs qui peuvent former des composés colorés par des réactions de Maillard ; d'autre part, le glucose peut caraméliser. La comparaison d'échalotes cuites dans cinq conditions : avec de l'eau, avec de l'eau et du glucose, avec un vin blanc sec de mauvaise qualité, avec le même vin additionné de glucose, avec un vin riche en glucose corrobore l'hypothèse de la coloration par caramélisation [7]. Cette observation aura une conséquence culinaire pratique : un cuisinier qui veut préparer sa sauce et qui ignore la teneur en glucose du vin qu'il fait réduire aura intérêt à ajouter par avance un peu de glucose,

La compréhension des procédés et phénomènes culinaires

L'exploration des tours de mains et dictons culinaires, premier objectif de la

Conférence (résumé)

* Laboratoire de chimie des interactions moléculaires, Collège de France, 11, place Marcelin Berthelot, 75005 Paris.
Tél. : 01.44.27.12.11. Fax : 01.43.25.18.29.
E-mail : hthis@paris.inra.fr

s'il veut renforcer la note de glucose caramélisé (raisin confit) qu'il cherche généralement à créer. Notons aussi que l'idée de la caramélisation du glucose peut alors s'étendre : dans les desserts, par exemple, on pourra remplacer des caramels de saccharose par des caramels de glucose, au goût original, mais aussi par des caramels de bien d'autres sucres : lactose, fructose...

On le voit, l'exploration des procédés culinaires classiques conduit à des innovations culinaires.

Nouveaux produits, nouveaux procédés, nouveaux instruments

La gastronomie moléculaire propose également d'introduire en cuisine des procédés, des ingrédients et des instruments nouveaux.

Examinons tout d'abord la question des nouveaux ingrédients. Les chimistes ne peuvent manquer de s'étonner de voir, côté cuisine, les rayonnages d'épices, de condiments et d'aromates, et, côté laboratoire, des corps tels que l'hexanal, le trans-hexenal, le 1-hexanol, le 1-octène-3-ol ou le benzyl *trans*-2-méthylbuténoate.

Pourquoi ne pas enseigner aux cuisiniers d'utiliser ces produits ? Celui qui n'a pas les moyens de s'offrir une grande huile d'olive pourra ajouter l'hexanal, par exemple. Celui qui ne dispose pas de champignons sauvages pourra mettre un peu de 1-octène-3-ol ou de benzyl *trans*-2-méthylbuténoate dans ses plats (ces deux molécules ont un remarquable arôme de champignon ou de sous-bois). Celui qui n'aura pas les moyens d'acquérir de vieux whiskeys fera gagner ses boissons en rondeur en y ajoutant un peu de vanilline (la vanilline, qui donne de la rondeur aux whiskeys, est une des molécules qui sont formées quand l'alcool éthylique réagit avec la lignine, lors du vieillissement des alcools en fût).

Passons maintenant aux ustensiles nouveaux : les laboratoires de chimie abondent de matériels bien conçus qui mériteraient de s'introduire en cuisine. Un bon filtre, par exemple, donne un bouillon bien plus limpide qu'un chinois de cuisine, même si celui-ci est garni d'un linge. Une colonne de verre qui surmonte un fritté de verre permet de former des mousses, par injection d'air, à la base de la colonne, à travers le fritté. Une ampoule à décanter, d'autre part, trouvera facilement un usage pour la séparation des molé-

cules aromatiques ou sapides : si l'on met, dans une ampoule, de l'huile, de l'eau et un ingrédient au goût puissant, on pourra séparer les molécules aromatiques et sapides de cet ingrédient, afin de créer deux goûts à partir d'un seul.

Enfin on pourra introduire de nouveaux procédés, tel l'enfleurage, bien connu de l'industrie des parfums, mais inutilisé en cuisine.

L'invention de plats nouveaux

La gastronomie moléculaire ne devra naturellement pas s'empêcher d'inventer des plats nouveaux, mais la difficulté sera souvent de familiariser le public avec ces nouvelles recettes. Une des façons d'éviter les difficultés consisterait à n'utiliser que des ustensiles et des ingrédients déjà présents dans les cuisines. Par exemple, l'ampoule à décanter que nous avons mentionnée pourra être remplacée par un simple bocal équipé d'un couvercle ; au lieu d'utiliser le robinet inférieur de l'ampoule, on procédera à une simple décantation. Mais quel dommage de faire ainsi !

Un autre exemple, l'observation du procédé de confection d'une crème Chantilly peut inciter un gastronome moléculaire à transposer le procédé. Dans le principe, ce dernier est la transformation d'une émulsion en une mousse (la crème est une émulsion ; la crème fouettée est un système hybride entre la mousse et l'émulsion). Comment transposer ? Remarquons tout d'abord que, si l'on chauffe du chocolat avec de l'eau, on obtient une émulsion de chocolat que nous avons proposé de nommer béarnaise au chocolat (le procédé, en effet, est analogue à celui de préparation de la béarnaise ; l'eau utilisée correspond au vinaigre dans la béarnaise ; les lécithines présentes dans le chocolat correspondent au jaune d'œuf ; le beurre de cacao correspond au beurre). Puis, si l'on fouette la sauce en posant la casserole sur un lit de glaçons, on obtient (quand les proportions sont appropriées) une mousse de texture analogue à celle de la crème Chantilly : nous avons proposé de nommer cette mousse « chocolat Chantilly ». Notons que le procédé s'applique à d'autres corps gras : par exemple, par le même procédé, on confectionne du Reblochon Chantilly, du Roquefort Chantilly, du Crottin de Chavignol Chantilly, etc.

Science et citoyenneté

Les objectifs précédents sont tous tournés vers le citoyen qui cuisine. C'est lui qui bénéficie des explorations culinaires ou des innovations mises au point à partir de la compréhension des procédés culinaires. C'est à lui qu'on propose des ingrédients, des outils ou des procédés nouveaux. C'est à lui, enfin, que l'on essaie de montrer que les sciences sont un moyen remarquable de comprendre le monde. Notamment la gastronomie moléculaire veut faire disparaître l'image négative que les sciences ont trop souvent donnée, surtout en ces temps d'affaires (vache folle, dioxine, OGM...). Si l'on parvient à faire comprendre que la cuisine se ramène à des opérations chimiques et physiques, le citoyen sera amené à distinguer utilement la science, recherche de connaissance, et les applications de la science.

Références

- [1] Manger magique, *Revue Autrement*, Paris, 1996.
- [2] Loiseau B. (*Trucs, astuces et tours de main*, Hachette, Paris, 1990, p. 183) écrit que les pommes de terre destinées à être mises en salade doivent être assaisonnées (sel, poivre, huile et vinaigre) « quand elles sont encore tièdes. C'est à ce moment, en effet, qu'elles absorbent le mieux les ingrédients ».
- [3] This H., Bram G., Liebig et la cuisson de la viande : une remise à jour d'idées anciennes, *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 1998, Série IIc, p. 675-680.
- [4] Antoine Laurent de Lavoisier (*Oeuvres complètes*, t. III, p. 71), dans ses expériences de novembre 1783 : *Mémoire sur le degré de force que doit avoir le bouillon, sur sa pesanteur spécifique et sur la quantité de matière gélatineuse solide qu'il contient*.
- [5] Balland A., *La chimie alimentaire dans l'œuvre de Parmentier*, J.-B. Baillière et fils, Paris, 1902.
- [6] Daguin A., *Le nouveau cuisinier gascon*, Editions Stock, Paris, 1981.
- [7] International Workshop on Molecular Gastronomy « N. Kurti », Erice, mai 1999.

Conclusion du colloque

La sécurité alimentaire par la chimie

Pierre Louisot* professeur

La sécurité sanitaire de l'alimentation est, pour les consommateurs de nombreux pays, une exigence parmi les plus fortes. Ceci est d'autant plus manifeste que la sécurité quantitative des apports est, au moins pour l'instant, assurée dans nos contrées riches. Mais, d'ici l'an 2025, c'est à dire demain, il faudra nourrir deux milliards d'hommes supplémentaires sur la terre. Qu'en sera-t-il de la quantité et plus encore de la qualité de leur alimentation ? Personne ne peut actuellement répondre à cette question.

Quoi qu'il en soit, il paraît bien normal que nos concitoyens, quantitativement satisfaits, recherchent un lien entre la qualité de leur alimentation et leur bonne santé ou plutôt - c'est la tendance actuelle - une relation, supposée de cause à effet, entre certains composants de leur alimentation et les maladies les plus variées. De la diarrhée au cancer, tout est prétexte pour mettre en cause nos aliments, souvent qualifiés - signe majeur du mépris - de « chimiques ».

Il faut dire que les habituels professionnels vivant de la panique ou de la recherche de prétendus scandales, ne se privent pas d'agiter le chiffon rouge alimentaire ! Ceci explique, au moins en partie, qu'en dehors de la réalité incontestable d'erreurs ou d'accidents toujours possibles qu'il convient de découvrir, de signaler et de corriger, les médias les plus classiques entretiennent largement le spectre du désastre permanent en remuant quotidiennement du prion, de l'amiante, du maïs transgénique, du plomb, de la dioxine, des antibiotiques, etc. Si le consommateur n'était pas inquiet, cela relèverait vraiment du miracle ! Dans cette ambiance perpétuellement surréaliste, le « chimique » est toujours fort bien placé dans la gamme

des horreurs ! Nous sommes mêmes en ce moment dans une phase d'actives turbulences dans laquelle la voix des gourous sonne avec succès le tocsin nutritionnel.

C'est pourquoi j'ai choisi de participer sous forme conclusive à ces débats en montrant combien le « chimique » si décrié est en fait l'un des outils les plus précis, les plus sûrs, les plus scientifiquement exigeants et les plus contrôlés de toute la chaîne agro-alimentaire, allant du producteur, au transformateur, au distributeur et enfin au consommateur, point final du dispositif.

Si l'on appliquait à tous les acteurs de la chaîne les règles draconiennes que l'on impose - très justement d'ailleurs - au chimique, il est évident que la sécurité alimentaire en sortirait nettement renforcée.

Il convient d'analyser la situation avec à l'esprit trois concepts protecteurs parfaitement complémentaires :

- la sécurité alimentaire est-elle bien assurée par les acteurs de la chaîne agro-alimentaire ?

- la sécurité alimentaire est-elle bien assurée par les règlements, les experts et les contrôles ?

- la sécurité alimentaire est-elle bien assurée par le consommateur lui-même ?

La sécurité au niveau de la production agricole

Au niveau de la production agricole, la chimie minérale, organique ou biologique - pour respecter les appellations traditionnelles - est à l'origine de développements décisifs dans l'enrichissement des sols, la sélection des semences, la protection des cultures et la conservation des produits.

Sur l'enrichissement des sols, la chimie a apporté l'analyse des terres et l'addition mesurée d'engrais de qualité, permettant en quelques décennies d'atteindre des rendements inespérés au

début de ce siècle. Le dosage de plus en plus pondéré de ces engrais est fondé sur le souci économique autant que sur un comportement écologique, l'un n'excluant évidemment pas l'autre.

Les perfectionnements du machinisme agricole, en particulier dans l'épandage de plus en plus rigoureux des désherbants chimiques et plus généralement de tous les phyto-sanitaires, actifs dans la gamme du gramme par hectare pour certains et dont il ne reste pratiquement rien dans les produits récoltés, le développement des procédés de conservation de ces récoltes, en particulier des silos à grains, les conditions draconiennes de transport du lait et des céréales, les plans de surveillance et d'auto-contrôles dans les élevages, tous ces facteurs concourent à faire des productions agricoles françaises des références en matière de qualité et de sécurité.

Mais personne, encore une fois, n'est à l'abri d'une erreur ou d'un accident : le risque nul n'existe pas plus dans la chaîne alimentaire que dans la circulation automobile.

Il faut cependant évoquer ici les dangers potentiels incontestables d'une tendance actuelle réverse qui porte le nom attractif, commercialement parlant évidemment, d'agriculture « biologique », par opposition à l'agriculture actuelle qui serait, par attitude simpliste, typiquement « chimique ». Cette agriculture « anti-chimique » soulève pourtant de fortes inquiétudes sécuritaires pour plusieurs raisons.

Il y a tout d'abord la nature même des « intrants » qu'elle est autorisée à employer pour enrichir ses sols. On y trouve de nombreux produits naturels non contrôlés, à commencer par le fumier et les engrais au sang. Il va sans dire que le risque, bien connu depuis longtemps dans l'agriculture ancestrale, de transmission de maladies parasitaires ou microbiennes par les excréments animaux, se double actuellement d'un risque totalement non maîtrisé de trans-

Conférence

* Faculté de Médecine Lyon-Sud, Département de biochimie, INSERM U. 189-CNRS, BP 12, 69921 Oullins Cedex.
Tél. : 04.78.86.31.55. Fax : 04.78.50.71.52.

mission potentielle de virus ou de prions tels que ceux de l'encéphalite spongiforme bovine, dont on ne sait actuellement rien des conditions éventuelles de passage à l'homme. Il est évident que des précautions s'imposent.

En outre, dans certaines conditions de culture, il apparaît même dans les produits de cette agriculture « anti-chimique » des concentrations en nitrates supérieures à celles observées en agriculture classique. Ceci doit être considéré comme mineur compte tenu de la très faible dangerosité métabolique des nitrates chez l'homme.

Mis à part le cas des nitrates, la composition en métabolites nutritifs des produits issus de ce type d'agriculture n'est pas significativement modifiée par rapport à celle des produits classiques. « L'allégation de meilleure santé », couramment évoquée sur le plan commercial, n'a donc aucun fondement sérieux et ne trompe pas d'ailleurs les associations de consommateurs les plus éclairées.

Il faut surtout insister sur le fait que, en l'absence de traitements de conservation appropriés, concernant en particulier les céréales, apparaît le risque majeur de prolifération fongique, donc de mycotoxines, dont le pouvoir cancérogène n'est hélas plus à démontrer.

Il faut aussi savoir que ce type d'agriculture n'a pas à répondre à une obligation de résultat, mais simplement à une obligation de moyens, ce qui est tout à fait différent.

L'« anti-chimique » n'est vraiment pas la panacée !

Tant que ce type d'agriculture gardera son petit côté « antiquité » sympathique à divers courants de consommateurs, et une part de marché minime, les problèmes sécuritaires passeront au second plan. Mais si les produits issus de telles pratiques agricoles anti-chimiques devaient envahir le marché, dépasser le niveau local et entraîner des délais de transport ou de conservation importants, alors nous nous retrouverions en face des risques sanitaires bien connus autrefois, en particulier les toxi-infections alimentaires et les potentialités cancérogènes.

La sélection des semences et les biotechnologies modernes

Une autre intervention de la chimie biologique et de la biologie moléculaire mérite d'être évoquée à ce stade de la discussion concernant les productions agricoles : c'est l'impact du génie géné-

tique, et plus généralement des biotechnologies modernes, dans la sélection des semences.

En l'absence de la chimie au sens strict du terme, la sélection des semences reposait jusqu'à maintenant sur la génétique classique, faite du hasard des croisements et de l'incertitude des résultats, sans compter les longs temps de latence pour obtenir les nouvelles variétés.

Depuis qu'est apparue l'analyse chimique du génome, fondée sur la détermination des séquences nucléotidiques des gènes, la précision dans l'intervention sélective est extraordinaire. On introduit dans le génome d'une plante tel ou tel gène extérieur parfaitement défini dans sa structure comme dans sa fonction métabolique, afin de transmettre à la plante une propriété nouvelle jugée intéressante.

Cette véritable microchirurgie du génome, fondée exclusivement sur les étonnantes possibilités de l'analyse chimique au niveau le plus essentiel, celui des nucléotides, par le biais des enzymes de restriction, est le succès le plus spectaculaire des dernières années.

La perception par le public n'en est pour l'instant pas bonne.

Trois raisons principales à cela :

- La première tient au fait que les nouvelles propriétés acquises par la plante grâce au génie génétique, par exemple la résistance à un herbicide ou à la pyrale, sont sans aucun effet sur le consommateur, lequel ne perçoit en rien les avantages potentiels qui ne lui sont pas directement accessibles. Son désintérêt pour ce genre d'approche scientifique nouvelle est donc parfaitement compréhensible. Il en sera probablement tout autrement lorsque les produits issus de plantes génétiquement modifiées bénéficieront de saveurs nouvelles, de meilleures conditions de conservation, de compositions nutritionnelles scientifiquement recommandées, de capacités de croissance en zones de sécheresse pour les pays en voie de développement (dont il serait d'ailleurs intéressant d'avoir le point de vue fondamental sur les biotechnologies modernes car une grande partie de leur avenir nutritionnel en dépend), etc.

- La seconde raison tient au fait que certaines approches techniques demandent à être mieux explicitées, plus d'ailleurs sous l'angle de l'environnement que de la sécurité alimentaire.

- La troisième raison, plus banale, dépend étroitement de l'action anti-scientifique émanant soit de courants volontai-

rement obscurantistes, soit d'associations ou de mouvements qui ont trouvé dans toute cette « affaire des OGM » un fond de commerce particulièrement porteur. « L'anti-chimique » y perçoit une nouvelle jouvence !

Il est d'ailleurs assez paradoxal de constater la facilité avec laquelle l'opinion publique accepte avec enthousiasme les pratiques de la thérapie génique chez l'enfant atteint d'un déficit métabolique congénital, alors que ces mêmes pratiques scientifiques appliquées à un grain de maïs ou à une tomate sont jugées éminemment condamnables. Il s'agit pourtant dans les deux cas de la même procédure de biochimie et de biologie moléculaire. Sans doute y a-t-il là une très intéressante étude à conduire en terme de perception des risques et de communication sur le difficile terrain scientifique.

La sécurité au niveau des industries agro-alimentaires

Au niveau des procédés de transformation, et spécialement des industries agro-alimentaires, l'impact de la chimie est majeur et cohérent. C'est l'un des domaines les plus élaborés dans lesquels interviennent la chimie d'analyse comme la chimie de synthèse. Qu'il s'agisse de l'amélioration constante des technologies, des additifs alimentaires, des auxiliaires technologiques, des arômes, de tout ce qui concourt à améliorer la présentation des aliments, leur saveur, leur palatabilité, leur couleur, leur conservation, etc., tout vient de la chimie et offre des garanties maximales de sécurité.

Il faut savoir qu'en la matière, tous ces produits sont en effet soumis à la règle fondamentale dite de la « liste positive », ce qui signifie que tout ce qui n'est pas expressément autorisé par les instances nationales ou internationales, est rigoureusement interdit d'emploi.

Peu de domaines sont régis par des règles sécuritaires aussi draconiennes que celles appliquées en chimie alimentaire. Les dossiers de demandes d'autorisation d'emploi comprennent des données structurales précises, des compositions détaillées, la liste des impuretés soigneusement définies, des études toxicologiques à court, moyen et long termes conduites sur des animaux de référence, des études de mutagenèse et de cancérogenèse avec l'application de coefficient de sécurité

énormes, des conditions d'utilisation souvent très restrictives, une surveillance et un suivi après autorisation, l'hypothèque d'un retrait d'autorisation toujours possible en cas d'éléments scientifiques nouveaux, etc.

Telles sont les extraordinaires précautions prises à l'égard de ces produits chimiques. Les industriels de l'agro-alimentaire subissent ces contraintes et en acceptent la rigueur, car il y va de l'avenir même de leurs entreprises, sachant que tous ont un intérêt évident à conserver le consommateur satisfait par la qualité des produits et en bonne santé après leur utilisation !

Les règlements, les normes et les instances d'expertises

Les règlements et les normes d'utilisation des produits chimiques en alimentation sont établis par des instances internationales ou nationales comme le Codex Alimentarius (FAO-OMS), le Comité Scientifique de l'Alimentation Humaine au niveau de l'Union européenne et les textes nationaux (Code rural, Code de la Santé, Code de la Consommation).

Une dérive relativement récente mérite d'être signalée. En effet, les méthodes analytiques, particulièrement en chimie, permettent maintenant de détecter des quantités infinitésimales de contaminant éventuel dans un produit alimentaire, de l'ordre du picogramme et bientôt du femtogramme, avec les réserves habituelles sur la valeur des échantillons et la précision de telles mesures. Dans un climat de peur pénale généralisée, les instances chargées d'établir les limites maximales résiduelles autorisées semblent avoir de plus en plus tendance à retenir comme limite permise non pas la quantité de produit appréciée sur la base de critères toxicologiques soigneusement démontrés mais, fascinées par un souci hypersécuritaire souvent non fondé, à privilégier la quantité détectable grâce à des méthodes analytiques de plus en plus sophistiquées.

Il est à craindre que dans l'avenir, si l'on en venait sans raison scientifique objective à éliminer les produits alimentaires contenant un femtogramme de tel ou tel contaminant naturel ou artificiel, nous ne courrions plus aucun risque toxicologique, mais que nous mourrions tout simplement de faim ! Il y a là matière à réflexion.

Les instances d'expertises et l'AFSSA

Les instances d'expertises sont nombreuses, spécialement en France - le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique (par sa section Alimentation Nutrition), la Commission d'Étude des Produits Destinés à une Alimentation Particulière (CEDAP), la Commission Interministérielle et Interprofessionnelle de l'Alimentation Animale (CIIAA), la Commission de Technologie Alimentaire (CTA), le Centre National d'Études et de Recommandations sur la Nutrition et l'Alimentation (CNERNA), l'Observatoire des Consommations Alimentaires, la Commission du Visa Préalable de la Publicité, l'Académie de Médecine, le Conseil National de l'Alimentation, le Conseil National de la Consommation, et cette liste est probablement incomplète - elles suggèrent, donnent des avis, commentent, recommandent, déconseillent, communiquent !

Ce qui fait beaucoup de monde, beaucoup trop ! Cette multiplicité des structures, sans coordination significative entre elles, était à l'origine d'une redondance certaine dans les évaluations scientifiques, à commencer par l'expertise chimique. En fait, le résultat final n'a pas été si mauvais, puisque ce sont les mêmes experts chimistes ou toxicologues qui étaient sollicités par les différentes instances évoquées précédemment, et qu'ils étaient par ce simple fait les acteurs unitaires de la cohérence certaine des multiples avis !

Cette situation française pittoresque ne pouvait plus durer et c'est la raison pour laquelle le législateur, par une bonne loi souhaitée par tous, a donné naissance voici un an à peine, à l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA), laquelle se substitue à la majorité des instances existantes, et qui se trouve maintenant placée devant quatre tâches prioritaires :

- organiser l'évaluation des risques, la gestion des risques restant évidemment entre les mains du politique,
- régler le difficile problème des experts, de leur recrutement, de leurs conditions de travail et de leur prise en considération,
- communiquer objectivement sur la sécurité sanitaire des aliments, afin au moins de limiter l'extraordinaire désordre qui règne dans les médias sur ce sujet pourtant fondamental dans la vie courante de nos contemporains,
- organiser ses relations avec les ins-

tances internationales, en particulier européennes.

Les dispositifs de contrôle

La France dispose de services de contrôle bien organisés, spécialement sur le plan chimique, toxicologique et microbiologique. Ils sont correctement implantés sur le territoire national et relèvent, pour la partie publique, des trois ministères des Finances (DGCCRF), de l'Agriculture (SVD) et de la Santé (DDASS).

Les contrôles sont soit ciblés, soit de routine par sondage, soit répondent à des plans de surveillance préalablement concertés. Leur efficacité dépend également de l'appui technique de laboratoires d'analyses chimiques, toxicologiques et microbiologiques bien équipés en matériel et en personnels compétents. Il en va évidemment de même pour un certain nombre d'institutions indépendantes qui participent efficacement à l'effort général de qualité.

Les méthodes analytiques de détection de fraudes font appel à des techniques physiques et chimiques de plus en plus sophistiquées et à des chimistes bien au fait de la modernité. C'est un point évidemment fondamental de l'action sécuritaire et, là encore, la chimie donne le bon exemple.

Le consommateur, par son comportement personnel, participe-t-il à l'effort sécuritaire général en matière alimentaire ?

Rien n'est moins sûr !

S'il est un aspect de la chimie, et plus spécialement de la chimie biologique, dont le consommateur est totalement maître, c'est bien son équilibre métabolique.

Il y a plusieurs manières dans le monde d'accéder au métaboliquement correct :

- Il y a l'équilibre français et sa tripléte alimentaire toulousaine très cardioprotectrice : foie gras, cassoulet, vin rouge.
- Il y a l'équilibre nord-européen, déjà moins rassurant pour la santé, mais heureusement corrigé chaque année par des vacances salutaires en France.
- Il y a l'équilibre chinois, riche en riz, en légumes et en poissons.
- Il y a l'équilibre sud-américain, riche en viandes
- Il y a également plusieurs manières d'atteindre le métaboliquement incorrect. La plus efficace est représentée par le déséquilibre nord-américain, riche en tout, avec une destruction totale des

repas et une boulimie permanente : 30 pour 100 d'obèses - et quels obèses ! - 10 000 morts par an pour cause d'intoxication alimentaire (contre quelques dizaines de cas en France). Un vrai désastre métabolique.

Mais la France n'est pas à l'abri de perturbations métaboliques, en particulier sur le long terme, si le consommateur imprudent ou naïf se laisse bercer par les sirènes des illusionnistes de la santé. Quelques dangers parmi bien d'autres méritent d'être mis en exergue :

- La destruction des repas et la consommation permanente à l'américaine.

- Les régimes de carence, qui garantissent « la ligne » des jeunes filles, mais qui leur garantissent aussi sur le long terme, par insuffisance d'apport calcique, l'ostéoporose, les tassements vertébraux et les sciatiques de leurs vieux jours.

- Les gavages en vitamines et minéraux de toutes sortes - lesquels n'ont strictement rien à voir avec la nécessaire correction de déficits vitaminiques médicalement prouvés - et dont on ne sait rien des effets maléfiques ou bénéfiques sur le long terme.

- Les spécialités exotiques venant de pays asiatiques, africains ou amazoniens,

décoctions miracles chargées du prestige des gourous, et recommandées pour réveiller les appétits défaillants, à commencer bien sûr par l'appétit sexuel.

- Les boissons excitantes, appelées évidemment énergétiques alors qu'elles ne génèrent aucune énergie, encouragées par certains narco-états européens, principalement destinées à soutenir dans leurs transes nocturnes quelques adolescents à peine débarrassés de leurs derniers boutons d'acné !

- La crispation sur un métabolique repère : le cas le plus typique est le cholestérol. « En avoir ou ne pas en avoir » est le mobile le plus courant des échanges chimiques de l'immeuble ou du quartier.

En conclusion

On peut affirmer que la sécurité alimentaire des français est correctement assurée, et que les mesures les plus rigoureuses sont prises dans le domaine de la chimie alimentaire lequel, pour l'ensemble des raisons précédemment évoquées, est une incontestable référence.

Mais rien ne se fera sans la vigilance personnelle du consommateur, sans son

éducation à l'école comme après l'école, sans le maintien d'une bonne hygiène de vie dont le comportement alimentaire est une composante essentielle, sans une méfiance permanente à l'égard des gourous de tous poils qui prennent volontiers l'alimentaire pour cible.

On doit affirmer sans réserve qu'un équilibre métabolique raffiné est le fruit d'une alimentation diversifiée, profitant - souvent grâce à la chimie - de l'extraordinaire choix de produits naturels ou transformés qui s'offrent actuellement aux consommateurs, que des manœuvres alimentaires irréfléchies peuvent perturber gravement cet équilibre, et que ceci n'est souvent visible qu'à long terme.

Protéger et sécuriser notre alimentation dépend autant de chacun d'entre nous que du gouvernement français ou de l'Union européenne.

Tout le monde sait bien que la dégustation d'un bon repas, judicieusement arrosé et métaboliquement correct, est ce qu'il y a de meilleur pour émousser la vie lorsque tout le reste, avec l'âge, est tombé en désuétude !

Assurer, sous toutes ses formes, comme le fait la chimie, la sécurité alimentaire des Français, c'est au fond assurer la pérennité de leur civilisation.



D.
R.

Recherche

Le prix Nobel de chimie 2000

L'Académie Royale des Sciences suédoise a décidé d'attribuer le prix Nobel de chimie de l'année 2000 conjointement à Alan J. Heeger (university of California, Santa Barbara, Californie, États-Unis), Alan G. MacDiarmid, université de Pennsylvanie, Philadelphie, États-Unis) et Hideki Shirakawa (université de Tsukuba, Japon), pour la découverte et le développement des polymères conducteurs.

Le montant du prix, 9 millions de couronnes suédoises, va à parts égales aux trois lauréats.



Alan J. Heeger, 64 ans. Il est né en 1936 à Sioux City, Iowa (États-Unis). De nationalité américaine, il est professeur de physique et directeur de l'Institut des Polymères et Solides organiques de l'université of California à Santa Barbara.



Alan G. MacDiarmid, 73 ans. Il est né en 1927 à Masterton, Nouvelle-Zélande. Aujourd'hui de nationalité américaine, il est professeur de chimie à l'université de Pennsylvanie (États-Unis).



Hideko Shirakawa, 64 ans. Il est né en 1936 à Tokyo. De nationalité japonaise, il est professeur de chimie à l'Institut de science des matériaux de l'université de Tsukuba (Japon).

Les prix Nobel 2000 de physique et de médecine

• Le prix Nobel de physique a été attribué pour moitié conjointement à Zhores I. Alferov (Russie) et Herbert Kroemer (États-Unis) pour le développement d'hétérostructures semi-conductrices pour l'électronique rapide et l'optoélectronique, et pour moitié à Jack S. Kilby (États-Unis) pour sa contribution à l'invention du circuit intégré.

• Le prix de médecine récompense les travaux des professeurs Arvid Carlsson (Suède), Paul Greengard et Eric Kandel (États-Unis) dans le domaine de la transmission du signal dans le système nerveux.

Programmes du CNRS : sept nouveaux programmes pour 2000-2004

Le CNRS conduit depuis 1997 une vingtaine de programmes pluridisciplinaires répartis en plusieurs grands axes. Leur budget total concerne environ 7 % des moyens destinés aux laboratoires. Par ces actions, le CNRS marque une double ambition : susciter l'émergence de nouvelles thématiques à la frontière des différentes structures traditionnelles ; répondre à des défis scientifiques et technologiques ainsi qu'à des enjeux socio-économiques ou à des problèmes de société. En l'an 2000, le CNRS pilote sept nouveaux programmes.

Les programmes fonctionnent généralement sur la base d'appels d'offre ouverts sur la communauté scientifique la plus large, y compris hors CNRS. Ils sont un vecteur privilégié de partenariat avec les entreprises et les autres partenaires publics. Les appels d'offre permettent également, en interne, le ciblage d'équipes au sein des laboratoires et leur mise en relation par les autres modes d'intervention des programmes (séminaires, formation, publications, colloques), constituant ainsi des réseaux et des communautés interlaboratoires de savoirs et de savoir-faire. Un des objectifs majeurs des programmes est de développer l'interdisciplinarité au service de l'avancement des connaissances, du développement économique et technologique ou de la résolution de questions complexes de société.

Sept nouveaux programmes ont été lancés par le CNRS en l'an 2000 : *Puces à ADN ; Bioinformatique ; Molécules et cibles thérapeutiques ; Environnement et Climat du Passé : hiStoire et Evolution* » : ECLIPSE ; Origine de l'homme, du langage et des langues ; Nano-objet individuel ; Astroparticules : « Observatoire Pierre Auger » et Groupement de recherche « Phénomènes cosmiques de haute énergie ».

• Les programmes scientifiques du CNRS : <http://www.cnrs.fr/cw/fr/prog/progsci/programme.html>

Le pilotage administratif des programmes : <http://www.sg.cnrs.fr/bpc/programmes/progra.htm>

Contact : Nicolas Rubel, Service de la programmation des moyens, Direction de la stratégie et des programmes du CNRS.

E-mail : nicolas.rubel@cnrs-dir.fr