

## FAISONS DES EXPÉRIENCES SIMPLES

### La culture scientifique, un enjeu de la Gastronomie moléculaire

#### *La chimie, science mal aimée parce que redoutée*

Dans la rue, arrêtons un passant et demandons-lui ce qu'il pense de la chimie : souvent, hélas, il l'associe à des usines polluantes, nauséabondes, dangereuses... Pensez ! La « dioxine dans les poulets », Seveso, Bhopal s'il a de la mémoire, et les gaz de combat s'il est plus âgé... Naturellement la chimie n'est pas la seule science incriminée : la physique a eu sa bombe nucléaire, et la biologie ses prions. Au total, le désintérêt des jeunes pour les carrières scientifiques et techniques, révélé par la chute des inscriptions dans les filières scientifiques des universités, montre peut-être une crainte de chômage mais, sans doute aussi, une perte de confiance du public dans les sciences.

À noter sans attendre la confusion que l'on fait souvent entre la science, recherche de connaissances, et ses applications. Qui porte la responsabilité de l'accident de Bhopal ? Le public incrimine la chimie, mais la faute en revient à ceux qui faisaient fonctionner l'usine. La chimie, recherche de connaissance, pourrait être accusée, mais pas de l'accident de Bhopal : elle n'est coupable que d'être l'honneur de l'esprit humain, c'est-à-dire une volonté constante d'exploration du monde. Jean-Anthelme Brillat-Savarin, l'immortel auteur de la *Physiologie du goût*, disait : « L'âme, cause toujours active de perfectibilité. »

La confusion entre la science et ses applications s'est progressivement doublée d'une confusion entre science, technologie et technique. Il existe mille « bonnes » raisons pour que cette confusion (entérinée par le détournement du mot « technologie » dans une acception qui mêle vaguement science, technologie et technique) s'instaure : le public demande à la science de justifier le coût de son fonctionnement ; les chercheurs ne veulent pas manquer des occasions de se montrer utiles à la société qui les paye, en mettant au point des applications de leurs recherches ; certains considèrent même que la science doit être prati-

quée comme le faisait Archimède, la quête technique posant les questions auxquelles la recherche doit répondre ; etc.

Cette confusion me semble être à l'origine d'un transfert de responsabilités, des utilisateurs de résultats de la science vers la science elle-même. D'où les attaques contre la chimie quand seule l'industrie chimique (et pas toute !) est responsable de drames. D'où aussi, probablement, le désintérêt des étudiants pour les filières scientifiques des universités.

Comment restaurer la confiance et l'intérêt ? En favorisant la culture scientifique ? Et qu'est-ce que cette fameuse « culture scientifique » qui semble si naturellement nécessaire, surtout à « l'élite scientifique » ?

### *La méthode du flamant rose*

Le paléontologue américain Stephen Jay Gould, connu notamment pour ses articles et ses livres de vulgarisation, utilise souvent le procédé de l'exemple : « Il est très efficace d'aborder les grands problèmes d'ordre général en partant des petits détails. Cela ne sert à rien de vouloir écrire un livre sur "le sens de la vie". [...] Il faut s'attaquer par la bande aux grands problèmes, et non de front. » Et c'est ainsi qu'il part d'une observation insolite pour s'interroger et remonter vers les questions de fond, telle l'évolution du vivant. La méthode est belle ; pourrions-nous l'utiliser pour traiter le difficile problème de la culture scientifique ?

Avant de nous lancer, que réclamons-nous ? Sans doute pas un vernis de connaissances inutiles. Ni une connaissance dont « l'élite scientifique » gaverait un public passif avec le sentiment de faire son devoir civique. Non, la culture scientifique n'a de sens, je crois, que si elle est active, citoyenne, quotidienne, permanente.

Un exemple ? Un automobiliste transporte une batterie usée dans le coffre de sa voiture. Au cours d'un virage, la batterie se renverse et l'acide coule dans le coffre. Il n'est pas inutile de savoir que la batterie contient de l'acide sulfurique et qu'il y aurait danger à utiliser une éponge, à main nue, pour l'éliminer. Toutefois l'automobiliste ne sera véritablement « cultivé scientifiquement » que s'il utilise ses connaissances pour réparer l'incident : l'acide sulfurique est acide ? Neutralisons-le au bicarbonate de sodium, présent dans la cuisine. Et c'est ainsi que la science, rendue familière par son usage quotidien, sera définitivement acceptée.

Notons au passage que le grand public n'est pas seul destinataire de culture scientifique. Le monde scientifique, lui aussi, mérite de se rappeler toujours que la science est l'école du doute, et que la vérification doit être permanente. Par exemple, ce même monde scientifique perpétue l'expérience de l'encre sympathique, où du jus de citron permet-

trait d'écrire des messages invisibles qui seraient révélés par la chaleur ; pour expliquer l'effet, on dit même que l'acide ascorbique catalyse la dissociation de la cellulose. Est-ce vrai ? Avant d'examiner les causes, assurons-nous des effets. Une première expérience, à cette fin, consiste à écrire des messages au jus de citron et à comparer les effets obtenus avec une solution d'acide ascorbique (quand on dilue cette poudre blanche dans de l'eau, on voit que la solution concentrée est brune, et la solution diluée légèrement jaune), avec une solution d'acide citrique et avec de l'eau pure. On observe d'abord que le jus de citron et la solution d'acide ascorbique laissent une légère trace jaune, tandis que la solution d'acide citrique et l'eau ne laissent aucune trace (sauf une légère désorganisation des fibres du papier). Puis, à la chaleur, les solutions d'acide citrique, d'acide ascorbique et le jus de citron colorent le papier dans une teinte qui dépend à la fois du composé dissous et de sa concentration : la solution d'ascorbique engendre une teinte plus foncée que la solution d'acide citrique, plus proche de celle du jus de citron.

Ainsi, de cette première expérience, nous tirons au moins trois conclusions :

1. la confidentialité d'un message serait mal assurée par ce procédé ;
2. la prétendue décomposition de la cellulose par l'acide ascorbique n'est pas seule en cause ;
3. plusieurs des composés du jus de citron pourraient contribuer au brunissement.

Testons maintenant le rôle du papier. La cellulose intervient-elle ? Pour le savoir, écrivons sur de la porcelaine blanche avec les solutions précédemment préparées : on obtient les mêmes jaunissements ou brunissements ! Enfin, puisque l'explication proposée semble définitivement douteuse, testons divers composés organiques : solution d'acide tartrique, solution d'acide acétique dilué, jus d'oignon... Chaque fois, le papier brunit à la chaleur, et c'est probablement une décomposition thermique des composés organiques qui semble à la base de l'effet. Cette hypothèse est corroborée par la découverte, par Georges Bram (GHDSO, Université Paris-Sud), d'un texte chimique ancien qui mentionne une foule de composés susceptibles d'être utilisés pour la réalisation d'encre sympathique : tous ont en commun d'être des solutions de corps organiques.

### *La Gastronomie moléculaire*

Après ce détour, revenons à la question : comment semer la bonne parole scientifique, comment développer la culture scientifique ? Pas en se contentant de semer des connaissances. Elles ne sont pas inutiles,

bien au contraire, mais elles sont insuffisantes. Ce qui manque, essentiellement, c'est une transmission de la méthode. Or la science se fonde, on l'oublie parfois, sur la méthode expérimentale.

D'où la question suivante : comment transmettre la méthode expérimentale ? Une abstraction se capte mieux sur l'exemple, surtout quand un besoin a été créé. D'où l'importance, en vulgarisation scientifique, de questions telles que : « Pourquoi l'estomac ne se digère-t-il pas lui-même ? » Une telle question appelle aussitôt une réponse. Et plus la question s'impose naturellement, plus l'interlocuteur réclame cette culture de méthode que l'on souhaite transmettre. Tout cela est déjà dans la *Rhétorique* d'Aristote, et dans Aristophane qui signalait qu'« enseigner, ce n'est pas remplir des cruches, c'est allumer un brasier ».

Allumons un brasier, en France, terre de culture gastronomique, grâce à la cuisine. C'est là le cinquième objectif de la discipline scientifique que nous avons nommée la Gastronomie moléculaire. Examinons ce dont il s'agit.

Fondée en 1988 avec Nicholas Kurti<sup>1</sup>, la Gastronomie moléculaire a cinq objectifs<sup>2</sup> :

1. Recueillir les tours de main et dictons culinaires, et les tester expérimentalement.
2. Analyser les gestes, recettes, méthodes et pratiques culinaires classiques, afin d'en proposer des rationalisations et des améliorations.
3. Introduire en cuisine des ustensiles, méthodes et ingrédients nouveaux.
4. Inventer des plats nouveaux en se fondant sur les modélisations et expérimentations effectuées dans le cadre des trois premiers types de travaux.
5. Utiliser la cuisine afin de communiquer les résultats des sciences au public.

#### *Tours de mains et dictons culinaires*

Le premier objectif, nécessairement pluridisciplinaire, commence par un recueil des dictons et des tours de mains présentés dans les livres de cuisine et propagés oralement dans le monde culinaire actif. Un tel

---

(1) Nicholas Kurti (1908-1998) fit l'essentiel de sa carrière au Laboratoire Clarendon d'Oxford. Il consacra sa carrière à la physique des basses températures, découvrant notamment la désaimantation adiabatique nucléaire. Honoré par de nombreux prix scientifiques (Médaille Holweg, etc.), il fut membre de très nombreuses commissions et de plusieurs académies des sciences. Voir par exemple : Hervé This, *Froid, magnétisme et cuisine : Nicholas Kurti (1908-1998, membre d'honneur de la SFP)*, in *Bulletin de la Société française de physique*, Mai 1999, n° 119.

(2) *La Gastronomie moléculaire et physique*, Thèse de l'Université Paris VI, 1996.

recensement impose une exploration des sources anciennes ou modernes, françaises ou étrangères. Il précise évidemment les comportements alimentaires et leur évolution, donnant même une évaluation quantitative des prises alimentaires.

L'enjeu de cette recherche est à la fois technique, social et politique. En 1969, lors d'une conférence à la Royal Institution<sup>1</sup>, N. Kurti s'était attristé que l'on connaisse mieux la température au centre des étoiles qu'au cœur des soufflés. Prolongeons sa remarque : n'est-il pas étonnant que l'humanité envoie des sondes sur Mars alors que, simultanément, elle continue à utiliser — et, surtout, à enseigner aux jeunes cuisiniers — des tours de main culinaires douteux, voire faux ? Les questions qu'examine la Gastronomie moléculaire semblent individuellement futiles, mais l'enjeu du travail de recherche est important. Par exemple, doit-on ajouter du sel au blanc d'œuf que l'on bat en neige ? Doit-on utiliser des ingrédients à température ambiante pour faire des mayonnaises ? Doit-on vraiment cuire les terrines à 150°C au bain-marie ? Les salades de pomme de terre sont-elles plus tendres quand les rondelles de pomme de terre sont mises, encore chaudes, dans la sauce vinaigrette ? Et ainsi de suite : les questions sont innombrables, et les individus qui cuisinent, même dans les milieux cultivés, traînent en héritage des gestes dont ils ignorent le bien-fondé et l'efficacité, parce que les opérations culinaires domestiques n'ont jamais été clairement examinées du point de vue chimique, physique et biologique.

L'exemple des salades de pommes de terre n'est que superficielle-ment une provocation : c'est surtout une bonne introduction à cette partie, qui évoque les enjeux de la Gastronomie moléculaire. Considéré hâtivement, cet exemple tend à faire croire que la Gastronomie moléculaire est une activité futile, qui se préoccupe de détails culinaires sans importance. Pourtant, la réputation de plus d'un chef a tenu à la réalisation perfectionnée d'un plat : pensons à Joël Robuchon (Restaurant Joël Robuchon, Paris), dont la purée est célèbre dans le monde entier. Pourtant, les industriels aussi commercialisent des plats préparés, et la salade de pomme de terre tient un rôle notable dans leurs gammes (la plupart des rayons traiteurs de supermarché en proposent). L'absorption de la vinaigrette par les pommes de terre est alors un problème économique important (sur de grosses productions, quelques grammes de vinaigrette en plus ou en moins représentent des sommes considérables), en même temps qu'un atout concurrentiel notable.

Voyons maintenant pourquoi la Gastronomie moléculaire a aussi des enjeux politiques, économiques, éducatifs et scientifiques. Nous obser-

(1) Nicholas Kurti, *The physicist in the kitchen*, *Proc Roy Instn*, 1969, 42, n° 199, pp. 451-467.

verons tout d'abord que le citoyen qui cuisine ne bénéficie qu'indirectement des résultats de la Science des aliments. Les études des propriétés gélifiantes des chairs animales, par exemple (principalement effectuées à la Station INRA de Theix), ont débouché sur la mise au point de la « cerise de bœuf<sup>1</sup> », dans les années 1990, mais elles n'ont conduit à aucune modification des pratiques culinaires. Le citoyen a eu la possibilité d'acquérir des « cerises de bœuf » (le produit, bien que remarquable, n'a pas eu le succès escompté), mais les résultats scientifiques ne lui ont été communiqués ni sous leur forme scientifique initiale ni sous une forme adaptée à la pratique culinaire. Les millions de personnes qui cuisinent quotidiennement, rien qu'en France, n'ont donc pu bénéficier des résultats des recherches qu'ils subventionnent, en tant que contribuables ; elles n'ont pu perfectionner leurs pratiques culinaires à la lumière des résultats obtenus. La communication scientifique insuffisante de la Science des aliments explique-t-elle en partie le rejet de la science dans les aliments par les citoyens (écoutons le public parler de « nourriture industrielle ») ? La Gastronomie moléculaire, en se proposant de mettre les résultats de la recherche à la disposition de tous, a clairement un rôle politique important à jouer.

D'autre part, les enjeux de la Gastronomie moléculaire sont également économiques. Nous avons esquissé ces enjeux en évoquant le cas des salades de pomme de terre, mais il y a plus : ne parlait-on pas, naguère, d'« économie domestique » ? Cette économie à l'échelle de l'individu se double d'une économie à l'échelle du pays. Nous l'examinerons maintenant à propos de la filière viande, mais toute l'activité agro-alimentaire est concernée. Suivons cette filière à partir des biochimistes de l'INRA, qui font un remarquable travail, notamment à Theix, dans l'élucidation des mécanismes biochimiques qui ont lieu au cours de la contraction musculaire. Ces études débouchent sur des recherches de sélection animale, par leurs collègues des centres plus appliqués, tels les domaines de l'Orfavière, du Magneraud, de Jouy-en-Josas... Puis des agronomes multiplient ces animaux, des éleveurs cherchent les meilleurs moyens de proposer des animaux en bonne santé et de bonne qualité, les chevillards, les abatteurs et, finalement, les bouchers abattent les animaux et détaillent la viande afin de lui donner une grande tendreté. Pour peu qu'un acheteur de cette viande, mal formé à la cuisine, fasse bouillir inconsidérément la viande vendue, le résultat est lamentable et toute l'activité de la filière est incriminée. L'individu qui cuisine, en fin de filière, en est aussi la sanction.

---

(1) Des chairs peu prisées, mais très goûteuses, (collier, etc.) étaient hachées et des pièces étaient reformées, à l'aide de protéines de bœuf qui gélifiaient.

La Gastronomie moléculaire a également des enjeux éducatifs. Elle a la mission d'enrichir les enseignements de science appliquée dans les établissements d'enseignement hôtelier, culinaire ou agronomique. Elle est la recherche sans laquelle ces enseignements s'appauvrissent.

La Gastronomie moléculaire veut notamment, nous l'avons vu, construire une banque des dictons et tours de main<sup>1</sup>, les tester, puis épurer les livres de cuisine ou les enrichir des dictons et tours de main oubliés mais avérés (parfois certains gestes anciens devront être modifiés : voir, par exemple, un travail sur le changement de couleur des fruits rouges en présence de sels d'étain  $\text{Sn}^{2+}$ , dans la thèse *La Gastronomie moléculaire et physique*, Université Paris VI, 1996).

Cette banque de dictons veut servir ensuite de base à la publication d'ouvrages culinaires — pour les professionnels ou pour le public — qui seront débarrassés des scories du développement empirique de la cuisine.

La chimie et la physique sont les principales disciplines utilisées pour l'exploration des dictons culinaires, mais des recours à d'autres disciplines sont parfois indispensables : biologie, toxicologie, pharmacie... Car la Gastronomie moléculaire vise la résolution de questions culinaires et non la pratique d'une discipline scientifique particulière : si la résolution d'une question impose l'utilisation d'optique (pour comprendre, par exemple, pourquoi une mayonnaise s'éclaircit quand on lui ajoute le jus d'un citron), cette science devra être utilisée ; si la résolution d'une autre question impose l'utilisation de chimie organique (pour comprendre la réduction des vins, par exemple), la chimie organique sera mise à contribution, etc.

Signalons aussi que la cuisine n'est pas seulement visée par la Gastronomie moléculaire, sans quoi le titre moins pompeux de « cuisine moléculaire » ou de « physico-chimie culinaire » aurait suffi. En revanche, certains phénomènes physico-chimiques qui se produisent lors de la dégustation méritent une exploration qui prolonge celle de la cuisine. Pourquoi certains vins rouges deviennent-ils désagréables quand ils sont consommés en même temps qu'une salade vinaigrée, par exemple ? Là encore, la Gastronomie moléculaire a des réponses à donner. Pour englober les explorations physico-chimiques de la cuisine et de la dégustation, nous avons repris le terme de « gastronomie », largement accepté dans les milieux culinaires depuis la *Physiologie du Goût*, de Jean-Anthelme Brillat-Savarin : « La gastronomie est la connaissance raisonnée de tout ce qui a rapport à l'homme, en tant qu'il se nourrit.

---

(1) On prévoit notamment la création d'un site Internet, sur le réseau I.N.R.A., qui recensera les dictons examinés.

Son but est de veiller à la conservation des hommes, au moyen de la meilleure nourriture possible. Elle y parvient en dirigeant, par des principes certains, tous ceux qui recherchent, fournissent ou préparent les choses qui peuvent se convertir en aliments. [...] La gastronomie tient : À l'histoire naturelle, par la classification qu'elle fait des substances alimentaires ; À la physique, par l'examen de leurs compositions et de leurs qualités ; À la chimie, par les diverses analyses et décompositions qu'elle leur fait subir ; À la cuisine, par l'art d'apprêter les mets et de les rendre agréables au goût ; Au commerce, par la recherche des moyens d'acheter au meilleur marché possible ce qu'elle consomme, et de débiter le plus avantageusement ce qu'elle présente à vendre ; Enfin, à l'économie politique, par les ressources qu'elle présente à l'impôt, et par les moyens d'échange qu'elle établit entre les nations. »

Signalons enfin que les explorations des dictons et tours de main culinaires posent des questions scientifiques concrètes, qui irriguent les disciplines scientifiques : la condensation des tanins dans les vins, l'adhérence des mets aux ustensiles de cuisson, la réalisation de croustillant, la caramélisation, la coagulation, l'obtention de textures spécifiques, etc. sont des phénomènes qu'examinent la chimie ou la physique modernes, du point de vue fondamental<sup>1</sup>.

### *Modélisation et rénovation des pratiques*

Le deuxième objectif — l'analyse et la modélisation des recettes, procédés ou gestes culinaires — est indissociable du premier : il serait dommage d'explorer les tours de main et dictons culinaires sans chercher une compréhension globale de la cuisine, et il serait dommage d'explorer les recettes, procédés, gestes et méthodes culinaires sans chercher à les rationaliser ou à les améliorer.

Au cours de ce travail d'analyse, on prévoit une modélisation de la totalité des recettes de cuisine, base d'une analyse des comportements alimentaires. Quelle est la part du connu et de l'inconnu ? Quelle partie de ces recettes sait-on modéliser ? Le chantier est considérable. Il commence seulement.

L'objectif numéro 3, l'introduction de méthodes, d'outils et d'ingrédients nouveaux en cuisine, a été décrit, pour la partie des outils, dans un article de *L'Actualité chimique*<sup>2</sup>. Il s'impose tout naturellement : une rationalisation des méthodes culinaires ne peut s'effectuer sans une transformation des méthodes, des outils et des ingrédients.

---

(1) Voir par exemple la thèse de Valérie Ratsimba à l'Université de Bourgogne : *Contribution à l'étude analytique, microbiologique et sensorielle des dianhydrides du D-fructose, composants essentiels de la partie non volatile du caramel*, 2000.

(2) Hervé This, *La Gastronomie moléculaire*, in *L'Actualité chimique*, Juin 1995.



Il est tout à fait étonnant que la cuisine se pratique aujourd'hui presque comme au Moyen Âge. Seul le four à micro-ondes est une innovation de principe. Les robots, l'acier inoxydable, les plaques électriques, etc. ne sont que des perfectionnements techniques légers, qui n'ont pas modifié le principe des opérations culinaires effectuées.

Pourtant, les laboratoires de recherche sont pleins d'ustensiles et de méthodes qu'il serait utile d'introduire en cuisine. L'article publié dans *L'Actualité chimique* était précisément une liste non exhaustive des matériels de laboratoires qui faciliteraient ou perfectionneraient le travail culinaire : la colonne à reflux est plus efficace qu'un couvercle, les bacs à ultrasons font des émulsions bien plus efficacement que les cuillers en bois, etc.

Les ingrédients, aussi, pourraient changer, car les sociétés productrices d'arômes ou de composés chimiques définis ont une large gamme qui pourrait être source d'innovations en cuisine (ces produits sont déjà utilisés dans l'industrie alimentaire, mais les conditions d'exercice culinaire des consommateurs individuels ou des restaurants imposeraient des formulations et des conditionnements différents, assortis d'un règlement spécifique). Nous avons déjà réussi à faire adopter par plusieurs pâtisseries la bêta ionone, par exemple, pour les desserts qui doivent avoir un goût de violette, et nous faisons couramment l'apologie du 1-octène-3-ol, au remarquable arôme de sous-bois, que la cuisine peut utilement utiliser quand la saison des champignons est terminée. Bien d'autres molécules seraient utiles, non seulement pour l'enrichissement de l'arôme, mais aussi pour leurs qualités sapides. Dans un article publié en 1995 dans *Scientific American*<sup>1</sup>, nous espérons voir le temps où des cuisiniers utiliseraient de telles molécules. Le *4th International Workshop on Molecular Gastronomy*, en mai 1999<sup>2</sup>, a été précisément l'occasion de confronter les cuisiniers et les scientifiques sur ce thème. Progressivement les cuisiniers s'habituent à l'emploi de préparations aromatiques, et certains en sont venus à utiliser des composés définis.

Enfin les méthodes pourraient être transformées. Aujourd'hui, par exemple, quelques chefs pratiquent couramment des infusions ou des macérations de plantes aromatiques dans l'eau ou dans l'huile. Pourquoi se cantonner à la température ambiante ou à la température d'ébullition de l'eau pour effectuer les extractions ? Pourquoi ne pas varier les matières grasses ? Pourquoi ne pas reprendre à l'industrie des

---

(1) Hervé This et Nicholas Kurti, *Physics and Chemistry in the kitchen*, in *Scientific American*, avril 1995.

(2) Après la mort de Nicholas Kurti, en novembre 1998, nous avons proposé de renommer ces rencontres *International Workshop on Molecular Gastronomy « N. Kurti »*.

parfums ses méthodes d'extraction, et les adapter aux conditions d'exercice de l'Art culinaire ?

### *L'invention de mets nouveaux*

Le quatrième objectif découle quasi nécessairement des trois premiers. Par exemple, en utilisant un résultat obtenu par Madeleine Djabourov, Jacques Leblond et Pierre Papon, de l'E.S.P.C.I, à Paris<sup>1</sup>, on peut perfectionner la confection des gelées (gels de gélatine). M. Djabourov et ses collègues avaient étudié la prise des gels (précisément sur l'exemple de la gélatine) et testé la théorie de la percolation pour décrire le phénomène (sur une idée initiale de Pierre-Gilles de Gennes, E.S.P.C.I et Collège de France, Paris), et ils avaient analysé la relation entre la structure du gel et la température de prise. La mise en pratique culinaire de leur étude a été présentée lors de la conférence de lancement du Groupement de recherche CNRS « Systèmes moléculaires organisés », au siège du CNRS : le cuisinier du siège a divisé une même solution de gélatine en deux moitiés, qui ont été placées l'une en chambre froide et l'autre à température ambiante. Les participants au Groupement de recherche, tout comme les journalistes invités, ont apprécié la différence de textures : les gelées prises à basse température sont aqueuses, cassantes et elles tiennent mal au réchauffement, tandis que les gelées prises à température ambiante, de même composition, sont fermes, bien prises, et thermorésistantes.

Bien d'autres innovations sont possibles. Le « chocolat Chantilly », par exemple, découle immédiatement d'une bonne compréhension physico-chimique de l'opération qui consiste à fouetter de la crème. Cette dernière est une émulsion, c'est-à-dire une dispersion de gouttelettes de matière grasse (du lait) dans l'eau (du lait) ; les gouttelettes sont stabilisées par diverses molécules « tensioactives », c'est-à-dire ayant une ou plusieurs parties qui se dissolvent dans l'eau (« hydrophiles ») et une ou plusieurs parties qui ne se dissolvent pas (« hydrophobes »). Quand on fouette cette émulsion en la refroidissant, le fouet introduit des bulles d'air, qui sont stabilisées par les tensioactifs présents, et l'on obtient une mousse, la crème fouettée, qui se nomme la crème Chantilly si l'on y ajoute du sucre.

Peut-on généraliser le procédé ? Celui-ci est seulement la transformation d'une émulsion en une mousse. Par exemple, commençons par confectionner une émulsion chaude de chocolat en mêlant dans une casserole un peu d'eau (par exemple, 20 centilitres) et du chocolat (225

---

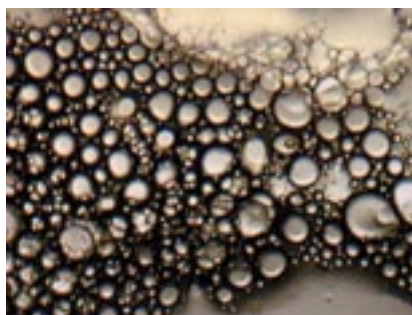
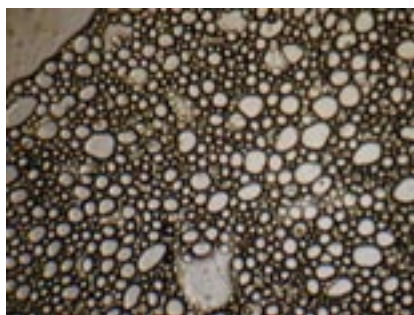
(1) M. Djabourov, J. Leblond et P. Papon, *Gelation of aqueous gelatin solutions*, I. *Structural investigation*, in *J. Phys. France*, 1988, 49, 319-332 ; et M. Djabourov, J. Leblond et P. Papon, *Gelation of aqueous gelatin solutions*, II. *Rheology of the sol gel transition*, in *J. Phys. France*, 1988, 49, 333-343.

grammes de chocolat à croquer), car ce dernier contient du beurre de cacao. Si l'on chauffe, le chocolat fond, et sa matière grasse se disperse spontanément en gouttelettes enrobées des molécules de lécithines qui étaient présentes dans la tablette de chocolat : on obtient l'émulsion chaude que je nomme une « béarnaise de chocolat ». Il ne reste alors qu'à poser la casserole sur des glaçons et à fouetter : on obtient une mousse aussi légère que de la crème Chantilly. Puisque la crème engendre une mousse qui se nomme crème Chantilly, nommons cette mousse de chocolat un « chocolat Chantilly ».

Et n'omettons pas de généraliser le procédé au fromage : d'un roquefort, on fera une « Béarnaise de roquefort », qui engendrera un « Roquefort Chantilly ». D'un munster, d'un crottin de Chavignol, on fera un Munster Chantilly, un Crottin Chantilly, etc.

Bien d'autres recettes de plats nouveaux (et le raisonnement qui y conduit) ont été divulguées aux professionnels et au public<sup>1</sup>. La dernière innovation en date est apparue quand on a cuit une « mayonnaise au blanc d'œuf » dans un four à micro-ondes et qu'une sorte de solide plein d'huile a été formé.

Allons-y doucement. La mayonnaise classique est une émulsion que l'on obtient en divisant des gouttelettes d'huile dans l'eau présente dans un jaune d'œuf (un jaune, c'est de l'eau pour moitié) ; ces gouttelettes sont stabilisées par les protéines et les lécithines du jaune. Le même procédé peut être appliqué au blanc d'œuf : à un blanc, composé de 90 pour cent d'eau et de 10 pour cent de protéines, ajoutons de l'huile goutte à goutte en fouettant.



Dans une émulsion qui gélifie, les gouttes d'huile voisines fusionnent. Ici on a photographié, vue au microscope, une même zone d'une « mayonnaise » faite d'eau, de gélatine et d'huile.

(1) Le chocolat Chantilly, par exemple, a été mis à la carte de plusieurs restaurants gastronomiques : le *Trianon Palace*, dirigé par Gérard Vié, la *Table d'Anvers*, dirigée à l'époque par Christian Conticini et Philippe Conticini. La recette de ce plat a été publiée par la revue *Elle*, dans son numéro du 21 décembre 1998, ainsi que dans *The Chemical Intelligencer*, juillet 1998.

Nous obtenons finalement une émulsion blanche et ferme, sans autre goût que celui de l'huile<sup>1</sup>.

L'innovation est venue de l'idée saugrenue suivante : puisque la mayonnaise est une émulsion dont les gouttelettes sont tapissées de protéines, et que ces protéines coagulent à la chaleur, qu'obtiendrait-on si l'on cuisait au four à micro-ondes la mayonnaise ? On récupère une masse semi-solide, où toute l'huile est emprisonnée. Et si l'on presse cette masse, on parvient à en faire sortir l'huile. Une sorte d'éponge à huile peu ragoûtante.

Peut-on d'un petit mal faire un grand bien ? Conservons le principe en cherchant ses vertus culinaires. Remplaçons l'huile par du chocolat fondu (éventuellement avec un liquide : jus d'orange, Cointreau, café...) dont on s'assurera que la température est inférieure à la température de coagulation du blanc d'œuf (62°C) : en fouettant ce chocolat fondu dans du blanc d'œuf, comme on fouette une mayonnaise, on obtient d'abord une émulsion de chocolat. Passons au four à micro-ondes : on obtient en une minute environ un gâteau de chocolat d'une remarquable texture et d'un goût puissant. Un nom pour cette préparation ? « Gel émulsionné de chocolat » conviendrait, mais comment faire manger cela à mes interlocuteurs ? Après mûre réflexion, je propose plutôt « Dispersion de chocolat ».

Les innovations proposées par les cuisiniers professionnels sont plutôt des associations inédites d'ingrédients. En revanche, les mets nouveaux qui sont fondés sur la science sont plutôt des innovations de fond, de principe. (Une « théorie du goût » et un « tableau des doubles cuissons » circulent aujourd'hui dans les milieux culinaires ; ils proposent respectivement une réflexion générale sur les moyens techniques de donner du goût à un plat et un grand nombre de nouvelles méthodes de cuisson.) La réflexion théorique, indispensable dans le cadre d'une activité scientifique, surtout quand elle touche à l'art, s'impose d'autant plus qu'elle a été excessivement négligée jusqu'ici<sup>2</sup>. L'application des sciences à la cuisine conduit tout naturellement à une telle réflexion.

Concluons cet examen du quatrième objectif en mentionnant que les propositions de rénovation des pratiques culinaires auxquelles ces travaux conduisent doivent être prudentes. Dans un discours prononcé

---

(1) Ce qui semble être un défaut est en fait un avantage : si l'on voulait faire une mayonnaise de girolles grillées, on obtiendrait un piètre résultat en ajoutant les girolles à une mayonnaise classique, car le goût du jaune d'œuf, du vinaigre et de la moutarde l'emporteraient nettement ; en revanche, dans la mayonnaise au blanc d'œuf, le goût de la girolle ressort parfaitement.

(2) L'Art culinaire est notamment reconnu par l'envoi de cuisiniers à la Villa Médicis, par le ministère des Affaires étrangères.

à l'Union des industries chimiques, en 1894<sup>1</sup>, le chimiste Marcelin Berthelot a donné l'exemple de ce que l'on doit éviter : il a prédit qu'en l'an 2000 (c'était le titre de son discours), l'agriculture et la cuisine auraient disparu, en raison des progrès de la chimie. Un siècle après, toutefois, on observe que la cuisine (et l'agriculture) sont restées, et que le public n'est pas près d'échanger le coq au vin, la choucroute, les braisés... contre les pilules nutritives envisagées par Berthelot<sup>2</sup>.

Afin d'éviter de répéter de telles erreurs, nous proposons d'ancrer l'innovation dans la tradition. Cette idée justifie notamment l'insistance que nous mettons dans l'exploration des tours de main et dictons culinaires classiques. Elle justifie aussi que l'on présente les innovations comme des variations mineures de pratiques déjà en vigueur, même quand les innovations proposées rompent avec les pratiques. Par exemple, bien que le chocolat Chantilly n'ait jamais été inventé par la cuisine, on a repris dans le titre du plat le nom d'un plat classique afin de le faire mieux accepter ; et la Dispersion de chocolat a un nom proche du quotidien.

### *Gastronomie moléculaire et culture scientifique*

Revenons enfin à la question de la culture scientifique : le cinquième objectif de la Gastronomie moléculaire ne relève pas de l'exercice de la science, mais se justifie par la teneur des quatre autres objectifs. Puisque notre discipline est une application des sciences expérimentales à la cuisine (domestique ou de restaurant, essentiellement), on doit d'abord parvenir à communiquer les *résultats* des explorations à tous les cuisiniers. Cependant, une telle communication est insuffisante : afin de faire progresser l'Art culinaire de façon durable, on veut communiquer aussi les *méthodes* qui ont obtenu ces résultats. C'est ainsi que l'on combattra la « recette », qui est l'application automatique et généralement irraisonnée de préceptes anciens, et que l'on contribuera à stimuler la réflexion des cuisinières et cuisiniers, ce qui ne manquera pas de favoriser leur créativité. Autrement dit, au lieu de donner seulement des résultats d'expériences, on cherchera le plus possible à indiquer les bases scientifiques qui permettraient à n'importe qui de parvenir au même résultat.

Le problème du gonflement du soufflé par exemple (pourquoi les soufflés gonflent-ils ?) montre bien la relation entre le travail de recher-

---

(1) Marcelin Berthelot, *En l'an 2000*, Discours prononcé au Banquet de la Chambre syndicale des produits chimiques, 5 avril 1894.

(2) Membre de l'Académie des sciences, professeur au Collège de France, Berthelot fut aussi, rappelons-le, un homme politique influent, puisqu'il fut même ministre des Affaires étrangères, et adversaire efficace de l'introduction dans l'enseignement, en France, de la théorie atomiste. Cf. Jean Jacques, *Marcelin Berthelot, autopsie d'un mythe*, Éditions Belin, Paris, 1983.

che et le travail de vulgarisation qu'impose l'étude expérimentale des plats. Les cuisiniers, et les livres de cuisine qu'eux-mêmes ou d'autres publient, expliquaient naguère (certains des plus influents persistant dans l'erreur, le combat n'est pas terminé) que les soufflés gonflaient en raison d'une dilatation de l'air introduit dans l'« appareil » à soufflé (c'est-à-dire dans la préparation qui est placée dans les ramequins) sous la forme principale de blancs d'œufs battus en neige. Toutefois un calcul de thermodynamique simple montre que le phénomène de dilatation de l'air n'explique pas bien le gonflement du soufflé. Ayant expérimentalement exploré la dynamique des soufflés (en partie avec Nicholas Kurti), nous avons démontré que les soufflés gonflent principalement en raison d'une vaporisation de l'eau présente dans l'appareil : au contact du fond du ramequin (ce fond est à une température peu différente de celle du four, c'est-à-dire comprise entre 150 et 200°C pour la majorité des recettes), l'eau des couches inférieures du soufflé s'évapore, et les bulles de vapeur formées sont piégées dans le soufflé tout en poussant les couches supérieures de soufflé vers le haut (une partie des bulles s'échappe par la face supérieure). Ce résultat doit être communiqué à la communauté culinaire, parce qu'il rectifie une erreur qui se propage depuis longtemps (notamment dans l'enseignement hôtelier), mais il a des conséquences pratiques : puisque c'est la vaporisation qui est le principal phénomène responsable du gonflement du soufflé, on devra chauffer ce dernier par le fond pour le faire mieux gonfler, et on devra le cuire dans des ramequins dont le fond communique efficacement la chaleur à l'appareil à soufflé, par contact avec une sole chaude et, éventuellement, après avoir démarré le soufflé à froid, en posant son fond sur une flamme.



Les soufflés sont plus gonflés quand on utilise des blancs battus en neige très ferme (à droite) : les bulles de vapeur créées par évaporation de l'eau, au fond du ramequin, sont alors gênées dans leur remontée par la mousse de blanc. Au contraire, dans des soufflés préparés à partir de blancs peu fermes (à gauche), les bulles de vapeur viennent crever en surface, sans soulever notablement les couches supérieures du soufflé.

On voit ainsi qu'au total, un travail de vulgarisation scientifique et technique doit accompagner le travail de recherche. Des millions de personnes qui cuisinent, rien qu'en France, ne bénéficient pas, dans leur pratique culinaire, des avancées de la science. La Gastronomie moléculaire, en se fixant son cinquième objectif, veut combler cette lacune. En expliquant ses résultats et ses méthodes, elle contribuera à une présentation générale des sciences au public sous une forme qu'on espère... appétissante. En retour, cet objectif impose la mise au point d'expériences simples, que tous les publics peuvent comprendre (la thèse précédemment citée présentait, en introduction, les types de matériel auxquels on s'efforce de se limiter pour les explorations scientifiques des dictons et tours de main culinaires : essentiellement un petit microscope, une balance, un thermoscope et un pH-mètre).

Cet objectif impose aussi le type de publication des résultats scientifiques obtenus : à côté de revues telles que *Lebensmittel und Technologie*, on ne doit pas négliger de présenter résultats et méthodes aux millions de lecteurs de *Elle* ou de *Vogue*, aux téléspectateurs des grandes chaînes de télévision, etc.

Notons enfin, à propos de ce cinquième objectif, que le grand public n'est pas le seul visé. Les élèves et étudiants des divers établissements d'enseignement général ou spécialisé (culinaire, hôtelier, agronomique) peuvent bénéficier, grâce à la Gastronomie moléculaire, d'une initiation aux sciences expérimentales qui nous semble cruciale pour le développement de l'Art culinaire.

Pour en revenir à la chimiphobie publique, il sera notamment utile de souligner, à l'attention du public, que la cuisine est ainsi toute chimique : le cuisinier qui grille sa viande et lui donne une belle couleur blonde ou brune ne fait rien d'autre que de faire réagir les sucres de la viande avec des acides aminés, afin de former des composés sapides, aromatiques et colorés, par des réactions variées : de Maillard, de Strecker, de caramélisation, etc. Or on ne peut détester ce que l'on aime : on ne peut donc détester la chimie puisqu'on aime les steaks grillés. Mieux encore, le public chimiphobe a intérêt à maîtriser cette science qu'il redoute. Veut-il une bonne viande grillée ? Il doit alors savoir, notamment, les conditions optimales de formations des molécules aromatiques, sapides et colorées. Veut-il manger sa viande grillée sans risque pour sa santé ? Il doit alors comprendre que bien des opérations qu'il effectue couramment, en cuisine, peuvent engendrer des composés dangereux... quand ils sont en concentrations excessives.

*Science, technologie, technique*

Terminons en revenant à la confusion qui entoure l'emploi des mots « technique », « technologie », « science ». La Gastronomie moléculaire donne le moyen de montrer la distinction au public.

Une technique est une mise en œuvre de moyens en vue de la réalisation de biens. La technologie, pour ceux qui rechignent à l'usage d'anglicismes parce qu'ils pensent avec Lavoisier que la pensée se confond avec la langue, c'est l'étude des techniques. Et la science, c'est la recherche de connaissances. L'usage de la langue anglaise, ainsi que les conditions d'exercice de la science, ont contribué à la confusion entre les trois activités. Quand des chimistes synthétisaient la vitamine B12, par exemple, faisaient-ils un travail technique, technologique ou scientifique ? Quand ils synthétisaient cette vitamine parce qu'ils voulaient la vendre, leur activité était technique. Quand ils examinaient la synthèse de la vitamine B12 parce qu'elle était un exemple d'une synthèse totale d'un produit organique, par exemple, leur activité était technologique. Quand ils profitaient de leur recherche d'une voie de synthèse pour inventer des réactions chimiques nouvelles ou pour analyser les mécanismes de réactions utilisées lors de la synthèse, et si la vitamine B12 n'était qu'une sorte de prétexte à cette exploration, alors il y avait de la science.

Et la Gastronomie moléculaire ? Raisonnons sur l'exemple des gnocchis. On dit que les gnocchis jetés dans de l'eau bouillante sont cuits quand ils remontent à la surface de l'eau. Le tour de main est-il juste ? Et, s'il l'est, pourquoi l'est-il ? Face à un tel dicton (« on dit que... »), tour de main, ou procédé culinaire, la Gastronomie moléculaire commence par un test expérimental, dans les conditions culinaires qui accompagnent l'énoncé du dicton. Ces conditions sont parfois recueillies oralement, mais, souvent, elles proviennent de livres de cuisine. D'où une première étude historique, souvent intéressante, parce qu'elle montre les évolutions des habitudes et comportements alimentaires, ainsi que les progrès de la technique culinaire.

Dans le cas des gnocchis, on recherchera ainsi des recettes classiques, dans des livres modernes ou anciens, français ou étrangers, et l'on cherchera dans quelles recettes précises le dicton se retrouve. En l'occurrence, il s'applique à de nombreuses préparations analogues, et le test expérimental initial portera sur un modèle représentatif : par exemple, sur des gnocchis de pomme de terre, que l'on prépare à partir de pulpe de pomme de terre (des pommes de terre sont cuites à four chaud, puis pelées, et l'on écrase la chair cuite), d'œuf (entier ou jaune seul, selon les recettes), d'un peu de lait (c'est donc essentiellement de l'eau) et de farine. On obtient une pâte que l'on travaille à la cuiller en bois, puis



avec laquelle on forme des cordons que l'on détaille en petits bouchons. Ce sont ces bouchons qui sont jetés dans l'eau bouillante.

Avant de passer en cuisine-laboratoire, observons que les gnocchis ne sont pas un plat de riche, au contraire : pomme de terre, un peu d'œuf, du lait. Alors pourquoi avoir affublé la Gastronomie moléculaire d'un nom si prétentieux ? Réglons son compte à la remarque qui voudrait faire de la discipline une science à l'attention des riches : quelle que soit la connotation du titre de la discipline, ceux qui ont peu à manger ont évidemment intérêt à tirer le meilleur parti des ingrédients dont ils disposent. Et c'est ainsi qu'on s'intéressera tout particulièrement aux procédés qui conduisent à rendre mangeables, par la préparation culinaire, des ingrédients qui ne le sont pas (pensons aux galettes de farine de gland préparées par les Corses, en période de disette : de l'argile qui captait les facteurs antinutritionnels était mêlée à la farine de gland).

Revenons au dicton proprement dit... et testons-le expérimentalement. On voit alors que, comme cela est bien décrit, les gnocchis tombent d'abord au fond de la casserole. Tandis qu'ils cuisent, ils s'« allègent » progressivement : les mouvements de convection les décollent légèrement, mais ils commencent par retomber ; puis leurs mouvements se font plus amples et, enfin, les gnocchis viennent flotter franchement à la surface. Conclusion : le dicton est, au moins, partiellement exact, puisqu'il stipule bien que les gnocchis flottent.

Deux questions se posent alors : Pourquoi les gnocchis flottent-ils ? Sont-ils cuits au moment où ils flottent ?

La première question est de pure curiosité. Et l'analyse est la suivante : puisque les gnocchis « crus » tombent d'abord au fond de la casserole, c'est qu'ils sont plus denses que l'eau. D'ailleurs, ils sont composés de pomme de terre (plus dense que l'eau, il suffit d'en mettre une dans l'eau pour s'en convaincre), de jaune d'œuf (moins dense que l'eau, mais guère), de lait (dans certains cas, il est remplacé par du bouillon, de densité quasi égale à celle de l'eau) et de farine (plus dense que l'eau, comme le montre encore l'expérience). Lors de la cuisson, les grains d'amidon apportés par la farine s'« empèsent » (ils absorbent des molécules d'eau et gonflent, par un mécanisme bien exploré par des biochimistes de la station I.N.R.A. de Nantes). Cependant, la densité totale, si elle se rapproche de celle de l'eau, ne peut devenir inférieure par ce dernier mécanisme. Les gnocchis ne flottent, par conséquent, que s'ils s'enrichissent de parties moins denses que l'eau. Des bulles, par exemple, d'air dissous ou de vapeur d'eau.

Testons l'hypothèse de l'air dissous : nous l'éliminons en faisant bouillir longuement de l'eau, puis nous déposons les gnocchis : ils tombent, mais remontent ensuite à la surface. Ce ne sont donc pas des bul-

les d'air dissous qui sustentent les gnocchis. Alors, la vapeur d'eau ? Les bulles de vapeur d'eau ne s'apercevant pas facilement, comment nous assurer de leur présence ? En prélevant des gnocchis qui flottent, en les faisant rouler sur un plan de travail, afin d'éliminer les bulles éventuelles, puis en remettant les gnocchis dans l'eau : ils replongent, et ils flotteront de nouveau, plus tard, quand de nouvelles bulles se seront agrégées aux gnocchis. Observons d'ailleurs que du chou-fleur détaillé en petits bouquets a le même comportement ; dans ce dernier cas, la rugosité de la surface permet de bien voir la vapeur, en surface, sous l'apparence d'une couche brillante qui se détache quand on agite les morceaux du chou-fleur<sup>1</sup>.

Simultanément, nous devons examiner le dicton. Tout tient dans le mot « cuit » : qu'est-ce qu'un gnocchi qui est cuit ? Il faut sans doute que l'œuf soit coagulé, ce qui donne de la tenue à l'édifice, et il faut aussi que l'amidon soit bien empesé ; une température supérieure à 60°C environ est nécessaire pour atteindre ces objectifs. Or si l'on cuit de petits et de gros gnocchis et si l'on mesure la température à cœur, une fois qu'ils sont remontés en surface, on observe que les plus gros gnocchis n'ont pas une température à cœur suffisante : autrement dit, il n'est pas vrai, *stricto sensu*, que les gnocchis sont cuits quand ils flottent. Dans les livres de cuisine de demain (à l'attention du grand public ou des jeunes qui se destinent à la profession de cuisinier), on devra préciser — si l'on veut donner des indications justes aux lecteurs — que les petits gnocchis sont effectivement cuits quand ils remontent, mais on gagnera à préciser que, pour les gros gnocchis (gros de combien ? on le précisera), la cuisson doit se poursuivre après que les gnocchis sont remontés (on précisera quel temps de séjour en surface s'impose).

Le test du dicton culinaire est un travail technologique : on étudie la technique culinaire qui consiste à considérer comme cuits des gnocchis qui sont remontés à la surface. En revanche, l'étude des causes de la remontée est une recherche pure de connaissance. Il s'agit de science.

Si la composante technologique est notable en Gastronomie moléculaire, ce serait une erreur de couper la discipline de sa composante scientifique, car le public est friand d'informations qui l'aident à comprendre le monde où il vit. Mieux encore, la transmission des résultats scientifiques valorise la communication des résultats technologiques, en même temps qu'elle communique un état d'esprit que je trouve important. Faire des gnocchis cuits, c'est bien ; faire des gnocchis mieux cuits, c'est mieux ; faire des gnocchis mieux cuits en sachant pourquoi on les

---

(1) Travail effectué par Valérie Michaut au Laboratoire de chimie des interactions moléculaires du Collège de France.

fait mieux et en acquérant les outils intellectuels pour proposer des variations ou des perfectionnements, c'est encore mieux. En corollaire, on comprend également que des missions d'enseignement et de communication accompagnent nécessairement la mission de recherche. Disons-le en une phrase : l'examen des dictons et tours de main, apparemment futile, doit toujours conduire à la compréhension, à la modélisation, à l'innovation... et à l'information.

Dans le cas des gnocchis, par exemple, on pourra chercher à mieux établir les mécanismes de sustentation, en étudiant la répartition des bulles de vapeur, leurs relations avec les aspérités des gnocchis, la répartition de ces aspérités et l'évolution de cette répartition en cours de cuisson ; on pourra aussi chercher à mieux comprendre les mécanismes de gonflement des gnocchis en relation avec l'empesage des grains d'amidon individuels ; on pourra chercher à examiner l'évolution des cellules de pomme de terre durant la cuisson, etc. Voilà pour la recherche, c'est-à-dire pour la compréhension et la modélisation. Pour l'innovation, on cherchera à faire de meilleurs gnocchis, ou des gnocchis plus tendres en se fondant sur les modèles établis, par exemple, ou encore des gnocchis qui reprendront les principes essentiels des gnocchis mais changeront les ingrédients...

Toujours, les résultats techniques, technologiques et scientifiques des études seront donnés au public sous une forme accessible, je préfère dire appétissante, comestible et digeste : il ne me semble pas répréhensible d'attirer le public vers les sciences en l'appâtant avec de la cuisine.

**Hervé This**

### *Bibliographie*

Jean-Anthelme Brillat Savarin, *Physiologie du goût*, Éditions Flammarion (collection Champs), 1982.

M. Faraday, *Histoire d'une chandelle*, Éditions Hetzel (sans date).

*Mon métier boulanger*; Rouen, Institut national de la boulangerie pâtisserie, 1980.

R. Blanc, N. Kurti et H. This, *Blanc Mange*, BBC Books, 1994.

M. Belitz et W. Grosch, *Food Chemistry*, Éditions Springer Verlag, 1987 (nouvelle édition 1999).

M. J. Lewis, *Physical Properties of foods and food processing systems*, VCH Publishing, 1987.

G. Linden et D. Lorient, *Biochimie agro-industrielle*, Éditions Masson, 1994.

M. Djabourov, J. Leblond et P. Papon, *Gelation of aqueous gelatin solutions*, I. Structural investigation, *J. Phys. France*, 1988, 49, 319-332.

M. Djabourov, J. Leblond et P. Papon, *Gelation of aqueous gelatin solutions*, II. Rheology of the sol gel transition, *J. Phys. France*, 1988, 49, 333-343.