

La gastronomie moléculaire

Hervé This* rédacteur en chef adjoint de Pour la Science

On dit parfois que la chimie, c'est de la cuisine. Quel honneur !

Extrait du glossaire des *Secrets de la casserole*, par H. This, Éditions Belin, 1993.

Dans un bécher, placez huit millimètres cubes de jaune d'œuf, huit centimètres cube de moutarde, huit centimètres cubes de vinaigre, un milligramme de sel, un milligramme de poivre. Puis à l'aide d'un agitateur rotatif de large diamètre, ajoutez de l'huile de tournesol à raison de dix centilitres par minute pendant deux minutes.

Ce procédé permet d'obtenir une sauce émulsionnée froide... quand tout se passe bien. Quelle est la parenté exacte de cette sauce et de la mayonnaise ? Pourquoi l'expérience échoue-t-elle parfois ? Et, plus généralement, peut-on faire de la science dans une cuisine, alors que l'on ne dispose que d'ingrédients aux compositions variables et que l'on manipule dans des conditions pas toujours bien contrôlées ?

Poussons le trait : une mayonnaise qui rate remet-elle en cause l'activité que, avec Nicholas Kurti (professeur de physique à l'université d'Oxford, membre de la *Royal Society*), nous nommons «gastronomie moléculaire», et que je présente dans cet article ? Voilà beaucoup de questions ; examinons les successivement.

Première question : quelle sauce avons-nous préparée et pourquoi une mayonnaise rate-t-elle parfois ?

La recette classique de la mayonnaise stipule qu'un jaune d'œuf (environ 30 grammes) permet d'obtenir un demi-litre de sauce au maximum ; au-delà, la sauce «tourne». L'expérience proposée ici (due à M. Mcgee de Palo Alto) réfute la recette classique, parce qu'elle montre que l'on peut obtenir, avec les mêmes ingrédients, une quantité de sauce qui, selon les calculs et selon les expérimentations, atteint un volume compris entre 3 et 33 litres. Comment la chimie et la physique mettent-elles en défaut la pratique culinaire classique ?

La mayonnaise classique s'obtient par la même méthode que celle qui est indiquée plus haut, à la différence que les 8 millimètres cubes de jaune sont remplacés par un jaune d'œuf entier (8 centimètres cubes). Au microscope, on vérifie facilement que la mayonnaise classique et la mayonnaise moderne sont des émulsions de type huile dans eau (*figure 1*), ce dont on ne s'étonnera pas : on mêle de l'huile à une solution aqueuse obtenue par mélange du jaune d'œuf, du vinaigre et de la moutarde. Les molécules tensio-actives du jaune (des molécules comportant une partie hydrophobe et une partie hydrophile) assurent l'émulsification de l'huile, parce qu'elles enrobent les gouttelettes d'huile, plaçant leur partie hydrophobe dans l'huile et leur partie hydrophile dans l'eau.

Pourquoi les recettes classiques préconisent-elles de limiter la quantité de sauce à un demi-litre environ ? Parce que les chefs ont observé que la mayonnaise tourne quand la quantité d'huile est excé-

sive. Là s'arrête d'ailleurs leur compréhension du phénomène, mais les physico-chimistes ont les moyens d'aller plus loin : ils savent que l'émulsion est possible tant que la quantité d'eau est suffisante pour «accueillir» l'huile, et tant que la quantité de molécules tensio-actives suffit pour tapisser toutes les gouttelettes d'huile formées. Partant de cette observation, ils calculent facilement que la quantité de molécules tensio-actives apportées par un jaune d'œuf entier (lécithines et protéines) ainsi que par la moutarde suffit pour émulsionner plusieurs litres d'huile. En revanche, ils calculent également que la quantité d'eau indiquée dans la recette classique est insuffisante pour obtenir une telle quantité de mayonnaise.

C'est bien ce que l'expérience démontre : progressivement, quand on prépare une mayonnaise classique, la viscosité augmente considérablement et, au microscope, on voit les gouttelettes d'huile, initialement sphériques, se déformer en polyèdres pour occuper le volume au maximum. Pour préparer plusieurs litres de mayonnaise à partir d'un seul jaune d'œuf, le «truc» est simple : il suffit d'ajouter de l'eau quand elle vient à manquer, c'est-à-dire, en pratique, quand on voit la viscosité de la sauce augmenter. Puis on poursuit l'ajout d'huile jusqu'à ce que la viscosité augmente à nouveau, on ajoute encore de l'eau, etc.

L'expérience proposée en tout début d'article consistait à effectuer cette même «mayonnaise extrême» d'une façon particulière : au lieu de fabriquer plusieurs litres de sauce à partir d'un jaune d'œuf, nous avons indiqué comment préparer un bon bol de mayonnaise à partir d'une goutte de jaune ; les

* Membre honoraire du Club international Les toques blanches.
Pour la Science, 8, rue Férou, 75006 Paris.
Tél. : (1) 46.34.21.42. Fax : (1) 43.25.18.29.

Révélation gastronomiques

par **Hervé This**
Relié, 320 p.
Belin, Paris, 1995

Le livre que je propose est celui que j'aurais toujours aimé avoir. Comment un tel livre doit-il être ?

Fiable, d'abord. Je veux un livre où les conseils donnés garantissent la réussite.

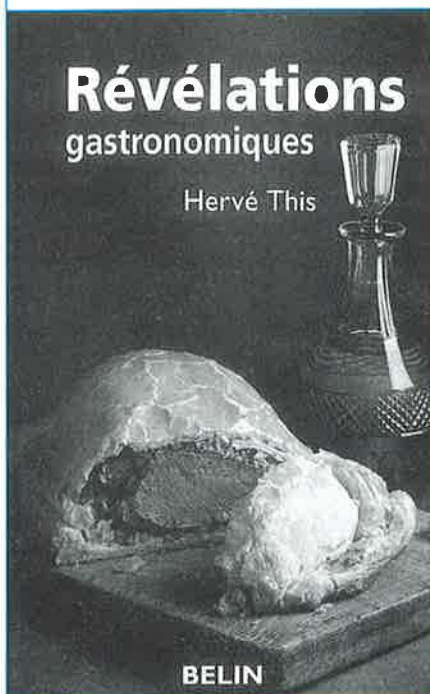
Sobre, ensuite : j'en ai soupé de ces livres où des photographies superbes me laissent espérer la réalisation de plats que les auteurs ont mis des journées à préparer, puis que des photographes ont montrés sous un aspect merveilleux, mais pratiquement irréalisables.

Pratique, enfin : c'est au moment où j'exécute une recette que j'ai besoin de tous les conseils qui me feront réussir mes plats.

Voilà pourquoi je me propose de livrer simultanément les gestes, décomposés en autant d'étapes qu'il en existe vraiment dans les recettes, et les tours de main, connus des cuisiniers chevronnés. J'y ajoute des commentaires et descriptions physico-chimiques des opérations effectuées, car j'ai la conviction que la chimie et la physique peuvent contribuer aux progrès de l'Art culinaire. Bon appétit !

Révélation gastronomiques

Hervé This



BELIN

proportions sont identiques, mais on évite de préparer des litres de mayonnaise dont on n'a généralement pas besoin et l'on peut utiliser la majorité du jaune à d'autres usages... culinaires.

Deuxième question : peut-on tirer des conclusions fiables d'expériences imparfaitement contrôlées ?

La confection d'une telle «mayonnaise extrême» rate quand elle est mal exécutée. Pourquoi ? L'examen de cette question mérite que l'on se préoccupe du phénomène plus général de ratage des mayonnaises. Plus haut, nous avons observé qu'une mayonnaise classique tournait quand la quantité d'eau est insuffisante, et nous avons également évoqué les conditions de réussite d'une émulsion. Pourtant, même quand on se place dans les conditions de la réussite en termes de composition, la sauce tourne parfois. Une interprétation de cet échec peut être donnée à partir d'une autre observation des chefs : l'huile doit être ajoutée lentement, au début, puis plus rapidement ensuite. Et le gastronome moléculaire qui connaît ce conseil parvient le plus souvent à monter ses mayonnaises extrêmes, alors que les mêmes sauces peuvent rater quand elles sont confiées à des personnes moins accoutumées à la mayonnaise.

Comment interpréter le conseil culinaire ? Observons tout d'abord, dans l'hypothèse d'une mayonnaise qui ne serait qu'à deux dimensions, que la quantité d'eau libre pour accueillir une nouvelle gouttelette d'huile est insuffisante quand les gouttelettes sont trop grosses, comme le montre le schéma de la *figure 2* à gauche, alors que la même quantité d'eau est suffisante pour accueillir de petites gouttelettes (*figure 2* à droite). Or, on montre expérimentalement que la taille des gouttelettes dépend de l'agitation de la mayonnaise : une simple observation au microscope révèle que le diamètre des gouttelettes d'une mayonnaise initialement montée à la fourchette est divisé par dix ou plus par l'emploi d'un mixeur ou par la prolongation du battage au-delà du temps nécessaire pour assurer l'émulsification. Puisque l'eau est en concentration minimale dans la mayonnaise extrême, il importe de réduire autant que possible le diamètre des gouttelettes d'huile à tous

les stades de la préparation. Et, de fait, il m'est souvent arrivé de devoir remonter des mayonnaises extrêmes dont j'avais confié la poursuite de la préparation, en cours de conférence, à un assistant. Il suffisait, sans ajouter aucun ingrédient supplémentaire (sauf un peu de vinaigre, au cas où la quantité d'eau aurait été insuffisante), de reprendre un peu de la phase aqueuse et d'y verser le reste de la mayonnaise tournée en fouettant vigoureusement. L'hypothèse de l'eau disponible n'est d'ailleurs pas démontrée : on peut également imaginer que, dans certains cas, le ratage provient d'un mélange insuffisant, qui ne disperse pas correctement les molécules tensio-actives à la surface des gouttelettes, ou qui ne fait pas venir l'huile dans les micelles de molécules tensio-actives préexistant dans le jaune, etc.

Ainsi le degré de contrôle, dans la préparation d'une mayonnaise, détermine la réussite : un cuisinier qui n'aurait qu'une médiocre connaissance physico-chimique du système mayonnaise aurait des déboires fréquents ; un gastronome moléculaire qui s'arrêterait à la composition de son émulsion, sans se préoccuper de sa structure détaillée, parviendrait à monter des mayonnaises extrêmes, mais avec des échecs inexplicables ; et celui qui maîtriserait tous les paramètres ne raterait jamais les mayonnaises que le seul examen de la composition chimique révélerait possibles.

Notamment, les variations de composition du jaune d'œuf, du vinaigre ou de l'huile ne compromettent pas la réussite d'expériences aussi robustes que la préparation d'une mayonnaise ; mais elles déterminent naturellement le volume maximal de sauce que l'on peut préparer, dans l'hypothèse où la méthode employée est optimale. On ne dit pas, ici, que la composition exacte du jaune d'œuf ou du vinaigre sont sans importance ; ils ne le sont pas, mais on prétend que des expériences de gastronomie moléculaire sont possibles.

Troisième question : des expérimentations ratées remettent-elles en cause la gastronomie moléculaire ?

Un des critères de la science est sa réfutabilité. Une théorie est scientifique si elle conduit à des prévisions que l'on

peut tester expérimentalement. Restons sur l'exemple de la mayonnaise. Que pouvons-nous prévoir et tester ? Par exemple que l'on obtiendra encore une sauce de type mayonnaise si l'on change la nature des tensio-actifs. Dans la mayonnaise classique, ces tensio-actifs sont principalement les molécules de lécithine ou de protéines du jaune, mais, plus généralement, les protéines alimentaires sont généralement de bons tensio-actifs. Notamment, les protéines du blanc d'œuf ont des propriétés tensio-actives que les cuisiniers utilisent afin de former des mousses : les protéines, partiellement dénaturées par le cisaillement du fouet, tapissent les bulles d'air qui sont introduites dans le liquide par l'action du même fouet. Puisque le blanc d'œuf est une solution aqueuse de protéines tensio-actives, l'ajout d'huile

devrait conduire, si l'on fouette correctement, à une émulsion aussi ferme que la mayonnaise. C'est bien ce que l'on vérifie : au début de l'ajout d'huile, une mousse apparaît mais, progressivement, elle retombe et l'aspect devient crémeux, comme celui d'une mayonnaise blanche. Le microscope vérifie que l'on a bien formé une émulsion.

Une telle expérience est un bon exemple du début d'un travail de gastronomie moléculaire. Pourquoi seulement le début ? Parce que la «mayonnaise au blanc d'œuf» est gastronomiquement minable : il y manque le goût du jaune d'œuf, du vinaigre, du sel, du poivre et de la moutarde. Que devrait faire le gastronome moléculaire pour mériter son titre ? Il devrait poursuivre les expériences afin de chercher si une variation de la nouvelle mayonnaise ne donne pas

de meilleur résultat gastronomique que la mayonnaise au blanc d'œuf, ou, mieux encore, que la mayonnaise classique (essayez par exemple l'émulsion froide formée par dispersion d'huile dans une essence de champignon très corsée, où l'on a dissout une feuille de gélatine - protéine tensio-actives). D'autre part, il poursuivra ses explorations de cette sauce très importante qu'est la mayonnaise («sauce qui tient lieu de religion aux Français», indique Ambrose Bierce dans son *Dictionnaire du diable*) afin de déterminer plus finement les conditions de stabilité des émulsions de type huile dans eau, analyser le rôle des ions apportés par le sel ou le vinaigre, le rôle de l'acidité...

A chaque fois, il cherchera une expé-

rience simple permettant de tester une hypothèse, comme dans la pratique de la chimie classique. Et son activité de recherche se révélera utile si elle montre que certains tours de main des cuisiniers sont fondés ou, au contraire, inutiles, si elle introduit des instruments nouveaux qui facilitent le travail des cuisiniers ou des cuisinières.

Revenons une dernière fois à notre troisième question : l'interprétation des expériences de gastronomie moléculaire est-elle possible et les expériences ratées compromettent-elles la gastronomie moléculaire ? Non, car les critères de travail ne diffèrent pas de ceux de la chimie ou de la physique : tant que les gestes sont bons, les expériences réussissent. En chimie, quand on change le protocole d'une synthèse un peu complexe, les rendements chutent et les produits visés ne sont pas formés. De même, en physique, on n'obtiendra pas un signal RMN si l'accord en fréquence est inapproprié. Dans le cas de la chimie comme dans celui de la physique, certains paramètres expérimentaux importent, mais d'autres sont sans influence sur la réussite de l'expérience, et c'est le mérite de l'homme de science que de déterminer quels sont les critères de la réussite : dans certains cas, la composition des réactifs est importante, mais le matériau du réacteur n'intervient pas dans le résultat de l'expérience ; dans d'autres, le matériau d'une sonde est de toute première importance, mais la composition chimique exacte d'un fluide caloporteur n'intervient pas.

En gastronomie moléculaire, également, on doit connaître les paramètres clefs des expériences. En confection de mayonnaise, par exemple, le type de tensio-actif utilisé importe modérément, mais l'on doit réunir une phase aqueuse, des tensio-actifs et une phase hydrophobe. Plus généralement, on doit considérer la «fonctionnalité» des molécules utilisées.

Les dictons de la cuisine

Ayant ainsi légitimé l'activité de gastronomie moléculaire, cherchons son utilité. Dans d'innombrables cas, l'art culinaire gagne à s'associer à la chimie et à la physique : il suffit d'ouvrir un livre de cuisine. J'en prends un au hasard (*La cuisine de Madame Saint Ange*, éditions

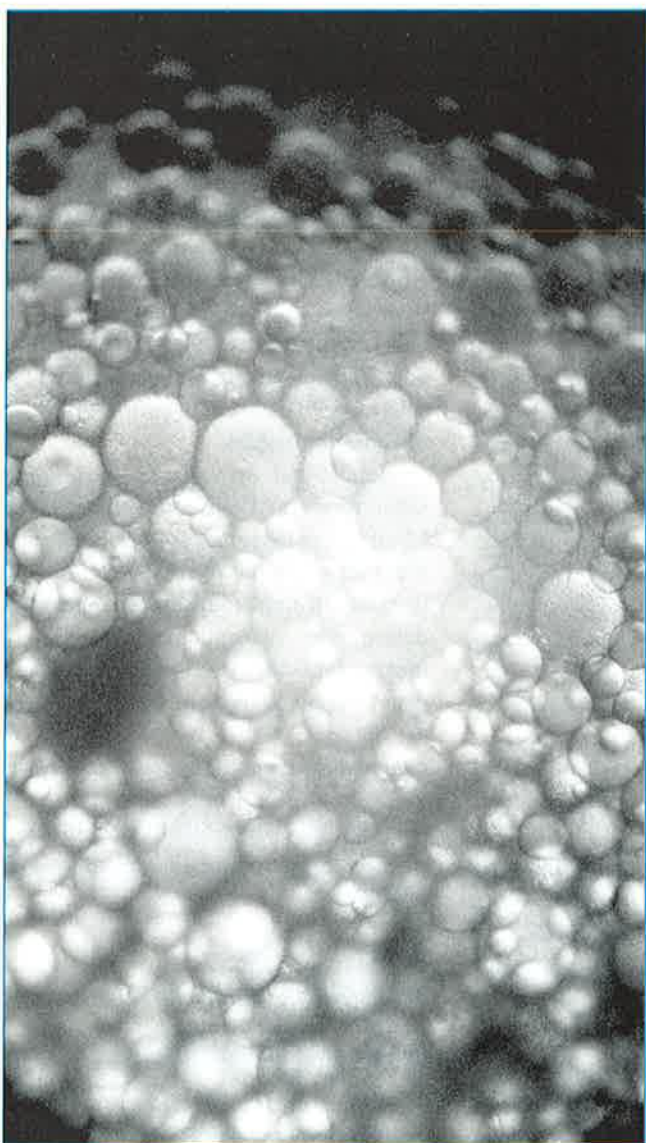


Figure 1 - La mayonnaise est une émulsion de type huile dans eau.

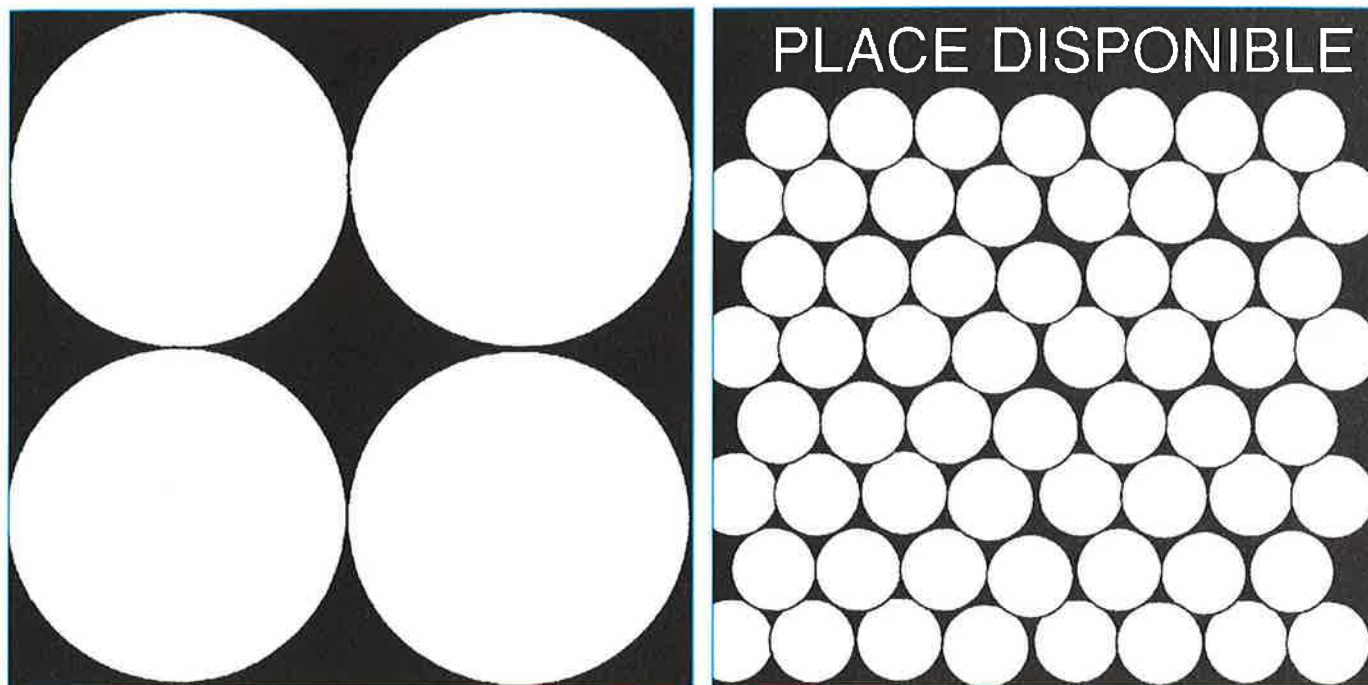


Figure 2 - Dans une mayonnaise, la quantité d'eau libre pour accueillir une nouvelle gouttelette d'huile dépend de l'agitation de la mayonnaise.

Larousse) et je lis : «on ne bat pas bien des blancs [d'œufs] s'ils ont conservé la moindre parcelle de jaune ou s'ils ont été déposés dans un récipient gras» ; «la fraîcheur importe peu» ; «des œufs en réserve depuis plusieurs jours montent plus facilement et demeurent plus fermes que des blancs séparés de leur jaune au moment d'être fouettés» ; «c'est toujours à l'eau froide que doit être mis le lard qu'on veut blanchir. Mis à l'eau bouillante, il ne se dépouillerait pas bien de son sel» ; «les feuilles de gélatine, avant d'être utilisées, doivent être mises à tremper dans l'eau froide» ; «ne pas couvrir un jus qu'on met en réserve avant son complet refroidissement, parce que cela peut le faire aigrir plus promptement» ; «il convient d'ajouter ici qu'on évite de délayer un roux sur le feu parce qu'il en résulte une sauce grumelleuse»...

Pour chacune de ces citations, le physico-chimiste s'interroge immanquablement : le conseil donné est-il exact ? Si oui, pourquoi l'est-il ? Si non, comment les cuisiniers en sont-ils venus à donner de mauvais conseils ? Ces questions sont utiles, car les bons conseils, s'ils sont compris, peuvent peut-être être améliorés ; et les mauvais conseils seront utilement éliminés des livres de cuisine modernes.

Ainsi, les chefs disent que, quand on veut obtenir de l'eau bouillante et salée, il faut mettre le sel dans l'eau qui bout

déjà, sans quoi l'eau met plus longtemps à bouillir ; l'expérience montre que ce conseil doit être abandonné, car, en pratique, on ne mesure que des variations de durée de mise à ébullition inférieures à l'erreur expérimentale. Inversement, ils disent que le cochon de lait rôti doit avoir la tête coupée à la sortie du four sans quoi la peau s'amollit ; l'expérience prouve que ce conseil dont on avait tout lieu de douter (pourquoi la tête aurait-elle eu une influence sur le croustillant de la cuisse, alors que le sang ne circule plus) est bon, pour une raison inattendue : une fois la tête ôtée, la vapeur formée par action du feu sur les jus s'évacue de la cavité abdominale, de sorte qu'elle ne perfuse plus les chairs et qu'elle n'amollit plus le croustillant de la peau, en y ramenant de l'eau que le feu avait évaporée.

Chaque geste culinaire mérite d'être interprété, compris, discuté ; cet examen peut rénover une pratique qui a peu changé depuis que l'homme a inventé le feu, et les chimistes et les physiciens en savent aujourd'hui assez pour que des gastronomes moléculaires, se fondant sur les avancées fondamentales, effectuent des expériences simples et finissent enfin par comprendre comment les soufflés montent, comment la truffe libère ses arômes dans une truffe en croûte, comment une béarnaise vient à rater ou une crème anglaise à prendre sans grumeler.

L'introduction de nouveaux outils

Le chimiste qui s'intéresse à la cuisine n'est pas condamné à cette seule activité d'interprétation des gestes anciens. Il peut aussi innover, soit par des substitutions, gastronomiquement éclairées, des ingrédients des recettes classiques, soit par l'invention de recettes nouvelles fondées sur l'examen de la fonction des ingrédients employés, soit enfin en proposant l'introduction d'outils connus dans les laboratoires, mais absents des cuisines.

Un exemple : le bouillon. Les chefs donnent des conseils particulièrement stricts sur la conduite de la confection d'un bouillon. Voici en vrac quelques conseils relevés dans des livres de cuisine : «Mettez toujours votre viande dans l'eau froide, car l'eau bouillante empêche les sucs contenus dans la viande de se marier à l'eau» ; «au contact de l'eau bouillante, l'albumine coagule et emprisonne les sucs» ; «le bouillon doit venir à l'ébullition très lentement sinon l'albumine coagule, se durcit ; l'eau n'ayant pas eu le temps nécessaire pour pénétrer la viande, empêche la partie gélatineuse de l'osmazome de s'en dégager» ; «s'il y avait arrêt dans l'ébullition, la faire reprendre doucement, de façon toute progressive» ; «un bouillon étant trouble doit être clarifié par l'utilisation de blanc d'œuf que l'on fouette à froid, tandis que l'on ajoute au bouillon

de la viande de bœuf hachée et quelques légumes émincés». On le voit, le bouillon est un sujet... trouble. Pourquoi tous ces conseils, alors qu'il semble qu'une cuisson prolongée puisse extraire tous les composés de la viande ? Les conseils donnés visent-ils seulement à obtenir un liquide clair, qu'il n'est pas besoin de clarifier ? Dans ce cas, il serait intéressant de tester l'utilisation d'une centrifugeuse, qui éliminerait le trouble éventuel en un clin d'œil (on pourrait aussi recourir à une distillation). Autrement dit, doit-on introduire une centrifugeuse en cuisine ? C'est une de mes propositions actuelles.

Plus généralement, l'examen du catalogue de la société Prolabo donne quelques autres idées : un sonicateur pour la confection d'émulsions ; des homogénéiseurs pour la réalisation des émulsions ; des pistolets pulvérisateurs pour déposer finement des solutions goûteuses à la surface d'un plat, de la même façon que l'on saupoudre un gâteau de sucre glace ; des seringues pour saler des frites à cœur avant de les cuire ; des conductimètres pour tester rapidement la microstructure d'une émulsion ; des salinomètres pour s'assurer que les plats sont salés à point ; des pH-mètres pour déterminer si une confiture prendra quand elle refroidira ; des duromètres, des texturomètres et des pénétromètres pour déterminer le degré de cuisson d'une viande ou d'un poisson ; des viscosimètres pour ajuster finement la texture de sauces ; des microscopes pour observer si la quantité de bulles d'air nécessaire au bon gonflement de gougères a été introduit ; des bains-marie de précision pour ne plus jamais rater un beurre blanc ; des burettes et des pipettes pour doser finement des composés aromatiques puissants ; des rubans chauffants pour cuire localement ; des récipients d'azote liquide pour confectionner des glaces et des sorbets ; des centrales de microfiltration tangentielle ; des réfractomètres pour juger de l'état d'un caramel ; des thermocouples pour mesurer en continu la température au cœur des soufflés ou des viandes ; des cloches à vide et des trompes à eau pour faire lever des soufflés à froid...

Nous avons cité ainsi des outils, qui seraient utiles en cuisine, mais d'autres catalogues (tel celui d'Aldrich Chimie)

contiennent également des produits utiles : puisque le vieillissement des alcools en fût de chêne s'accompagne de la formation de vanilline, par réaction de l'alcool éthylique et de la lignine du bois, pourquoi ne pas utiliser directement de la vanilline dans des alcools trop jeunes (faites l'essai : trois gouttes d'extrait de vanille liquide dans un litre de whisky lui donnent une rondeur plaisante). Plus généralement, pourquoi ne pas introduire quelques gouttes de benzyl trans-2-méthyl-2-butanoate, de butyrate de méthyle, de hepta-2-one, etc. dans les plats cuisinés. ? Ce serait un moyen comme un autre d'ajouter les saveurs de sous-bois ou de fleurs qui font défaut quand la saison des champignons est passée.

Une activité formatrice

Non seulement l'activité de gastronomie moléculaire peut contribuer à faire progresser l'art culinaire, en expliquant les gestes classiques et en introduisant de nouveaux outils ou de nouveaux ingrédients, mais elle est également un remarquable outil didactique.

Auprès du grand public, tout d'abord : pour améliorer l'image publique de la chimie, quel meilleur exemple pourrait-on prendre que celui de la cuisson d'un steak ? A ceux qui disent détester la chimie et ses nuisances, la gastronomie moléculaire montre qu'ils pratiquent la chimie dans leur cuisine : si la viande brunit dans la poêle, si sa saveur et ses arômes se développent par l'action de la chaleur, c'est parce que le cuisinier ou la cuisinière commande la réaction de Maillard, entre les sucres et les acides aminés de la viande. La conclusion s'impose : puisque la chimie est pratiquée par tous, en cuisine, pourquoi critiquer les industriels qui, par une pratique peu différente, produisent des médicaments qui soignent, des textiles qui habillent, des plastiques qui peuplent les loisirs...?

En faculté des sciences, également, la gastronomie moléculaire s'impose comme une mine d'exemples à l'enseignement de la physique ou de la chimie. Sur l'invitation de la faculté des sciences de Tours, qui organise une maîtrise de sciences et de techniques «Le goût et son environnement», nous avons ainsi organisé des travaux pratiques qui consistent

en un test expérimental et rigoureux des divers conseils donnés à propos de la confection des bouillons, de la réalisation des pâtes à choux, du dégorgeage des légumes... Les étudiants ont cherché à comprendre les phénomènes physiques et chimiques utiles pour ces trois opérations culinaires, ils ont appris à utiliser une méthodologie rigoureuse dans la pratique de la cuisine. Certes les comptes rendus d'expérience sont étranges quand on les compare à ceux d'une séance de travaux pratiques qui aurait été consacrée à la synthèse de mononitrobenzène, mais les plans ne diffèrent pas notablement, et l'enthousiasme des étudiants est manifeste. Certains proposent (ou font chez eux) des expériences complémentaires, ils discutent les opérations classiques ; bref, ils se livrent à une véritable activité de recherche en gastronomie moléculaire.

Comme en chimie organique ou en physique thermique, par exemple, ils font des fautes que l'enseignant peut corriger : l'un change les conditions expérimentales sans se rendre compte qu'il s'écarte de son cadre d'interprétation initial ; l'autre ne sait pas calculer la proportion de gonflement d'une gougère en appliquant la loi des gaz parfaits aux bulles d'air contenues dans les blancs en neige, le troisième cuit des soufflés sans mesurer le diamètre des ramequins ou sans signaler à quelle vitesse précise la température a chuté quand il a ouvert la porte du four... Mais, au total, les étudiants ont le sentiment de participer à une activité utile : le perfectionnement de la gastronomie.

Ce faisant, ils se convainquent que la chimie, avec sa composante intellectuelle (qui d'entre nous a vu une molécule, un atome ?) et avec sa composante expérimentale, est la plus belle des sciences. Ont-ils vraiment tort ?