

La chimie et les sens ? Il y a tant de découvertes à faire !

La chimie et les sens ? Il y a là un immense chapitre de la connaissance, mais, surtout, il y a un chapitre qui est loin d'être clos !

Les étudiants ont parfois le sentiment que la connaissance (scientifique, notamment) est si développée qu'il n'y aurait plus rien à trouver. Erreur ! D'ailleurs, il faut sans attendre leur citer William Thomson, anobli sous le nom de Lord Kelvin, qui déclara en 1900 : « *Il n'y a plus rien à découvrir en physique aujourd'hui, tout ce qui reste est d'améliorer la précision des mesures.* » À peine avait-il fait cette déclaration que les deux tsunamis de la relativité et de la mécanique quantique balayaient la physique.

Dans cette discipline scientifique qu'est la gastronomie moléculaire, les questions ouvertes se comptent par

dizaines de milliers. Par exemple, si l'on sait ce qui sort d'un tissu végétal lors d'un traitement thermique en phase aqueuse (« bouillon de légumes »), on ignore encore largement comment les composés migrent du tissu vers la solution. Par exemple, on ignore pourquoi des abricots, pourtant sucrés, deviennent si acides lors d'une cuisson. Par exemple, on ignore si effectivement les œufs de brochets sont toxiques. Par exemple, quand on cuit des haricots verts dans de l'eau (« traitement thermique de gousses immatures de *Phaseolus vulgaris* L. en solution aqueuse à 100 °C »), il y a d'abord une odeur de « haricots crus », puis vient un moment où cette odeur change, et les haricots sont cuits. Quelles modifications physico-chimiques sont-elles responsables du phénomène ? Par exemple...

Les questions abondent, et il faudra des générations de scientifiques pour en venir à bout, sans compter que de nouvelles questions apparaîtront.

Ici, on se focalisera sur les aliments, et l'on montrera que leur élaboration pourra évoluer considérablement, notamment si l'activité culinaire se modernise et que les cuisiniers et cuisinières basculent – pour des raisons qui seront discutées – vers la « cuisine note à note », cet homologue culinaire de la musique de synthèse.

1 Le goût, une sensation synthétique

Pourquoi avoir choisi de discuter les perspectives de découvertes scientifiques ou technologiques sur l'exemple des aliments et du « goût » ? Parce que le goût est une sensation synthétique, qui se fonde sur des stimulations variées, encore bien mal connues. Nous verrons que l'exploration de ces dernières peut contribuer à des constructions améliorées, mais, sans attendre, signalons que la plus grande confusion terminologique règne dans le milieu scientifique à ce propos, avec des usages très idiosyncratiques des termes odeur, arôme, goût, flaveur...

La proposition a été faite de conserver le mot « goût » pour désigner la sensation née de la « dégustation » des mets. On voit que la proposition est cohérente. Toutefois, ce goût est influencé par la couleur des aliments, et l'on en a pour preuve récente que

des travaux de G. Morrot, F. Brochet et D. Dubourdieu ont fait apparaître que des œnologues décrivent leurs sensations, à la dégustation de vins blancs, par des mots d'objets blancs (lilas, tabac, beurre...), alors qu'ils décrivent par des noms d'objets colorés (cassis, framboise, cerise...) des vins rouges.

L'odeur que l'on perçoit avant de mettre l'aliment en bouche, aussi, guide la perception, au point que l'on peut tromper les sens en parfumant un aliment avec des composés odorants caractéristiques d'un autre aliment. Observons, à ce stade, que l'on parle justement de composés « odorants », pour signaler qu'ils ont une odeur, ce qui peut ne pas être leur unique caractéristique gustative : l'acide acétique du vinaigre blanc, par exemple, a aussi bien une odeur qu'une saveur acide.

Saveur : c'est le résultat de la liaison de certains composés à des récepteurs de cellules de la langue et de la bouche. Parfois, ces cellules sont nommées gustatives, mais, dans la mesure où elles détectent des molécules sapides, il serait plus juste de les nommer « cellules sapictives », et les groupes visibles de telles cellules seraient nommés « bourgeons de la saveur », ou « bourgeons sapictifs ».

En bouche, d'ailleurs, la mastication contribue à la libération de molécules qui passent en phase aqueuse et remontent vers le nez, par les fosses rétronasales : ces molécules sont de même nature que celles qui stimulaient le

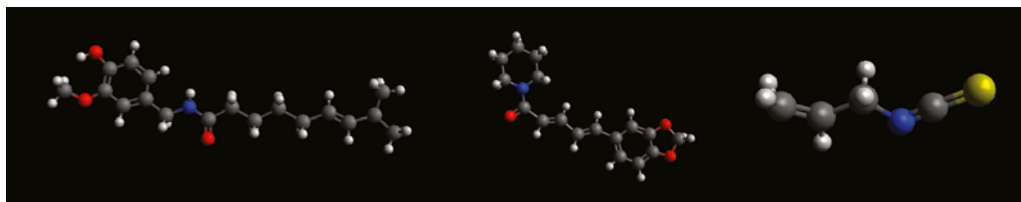


Figure 1

La capsaïcine, la pipérine et l'isothiocyanate d'allyle, trois molécules correspondant à des piquants différents.

nez quand on hume l'aliment, et ce sont donc encore des molécules « odorantes ». Comment distinguer l'odeur anténasale (quand on hume) et l'odeur rétronasale (quand on mastique) ? Je propose simplement de parler d'odeur anténasale et d'odeur rétronasale !

En bouche, toujours, certains composés se lient à des récepteurs particuliers, reliés au nerf « trijumeau », qui, venant de l'arrière du crâne, se divise en trois branches qui irriguent le nez et la bouche : ces récepteurs correspondent à des piquants et des frais. Pourquoi le pluriel à ces deux mots ? L'expérience le montre simplement : la consommation d'une petite quantité d'isothiocyanate d'allyle suscite un piquant qui rappelle le raifort ou le wasabi, alors qu'une consommation de pipérine pique l'avant de la langue, et une consommation de capsaïcine fait sentir du piquant dans le nez. Il n'y a donc pas un, mais des piquants, et de même pour les frais (**Figure 1**).

La « flaveur », terme introduit dans les années 1950 ? On voit mal sa place, dans ce panorama. Les « arômes » ? Le mot, en français, désigne l'odeur des plantes aromatiques, ou aromates, de sorte que ce serait un mauvais service à rendre à la science qu'est la physiologie

sensorielle d'utiliser ce mot pour une autre acception. Et, en conséquence, c'est une erreur que de parler de l'arôme d'un vin ou d'une viande, par exemple. Pour le vin, son odeur est nommée le « bouquet », et l'on parvient à y reconnaître des composantes, des « notes ».

2 L'aliment, un système physico-chimique constructible à toutes les échelles

Ces considérations terminologiques étant données, passons à l'aliment, dont on propose de considérer qu'il soit une construction à toutes les échelles, de l'échelle macroscopique à l'échelle moléculaire. Par exemple, l'aliment de la **Figure 2** a

Figure 2

L'aliment peut être vu comme une construction à toutes les échelles.



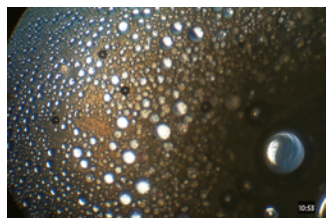


Figure 3

Une émulsion, vue au microscope.

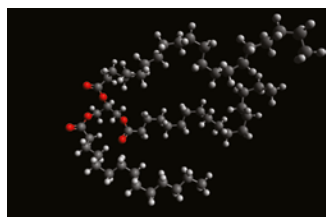


Figure 4

Structure d'un triglycéride.

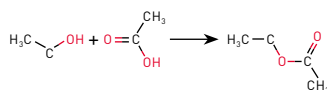


Figure 5

Une réaction d'estérification simple.

clairement une structure macroscopique, avec une base de sauce, sur laquelle reposent des herbes ciselées, sur laquelle vient l'élément jaune, sous l'élément couleur crème, avant, au-dessus, une autre couche de sauce. Dans un tel cas, il y a superposition d'éléments, ce que l'on peut désigner par la lettre grecque sigma (σ).

Toutefois, l'emploi d'instruments optiques de grossissement (loupe, binoculaire, microscope...) montre des organisations qui ne sont pas visibles à l'œil nu. Ainsi la **Figure 3** est une image, au microscope, d'une émulsion : le système physico-chimique est principalement constitué de gouttelettes d'huile dispersées dans une phase aqueuse. Certes, on observe trois bulles d'air (formes rondes avec des « bords » noirs épais), mais elles sont très secondaires, négligeables, d'autant qu'elles sont peut-être un artefact de la préparation. Ici, on gagnera à observer que les gouttelettes d'huile ont un diamètre compris entre 0,1 mm et 0,0001 mm, et que ces gouttelettes sont réparties aléatoirement, ce qui peut se désigner formellement par le symbole « / ».

Observons aussi que les physico-chimistes de l'aliment désignent par « huile » (*oil* en anglais, O) toute phase composée majoritairement de triglycérides, et par « eau » (*water* en anglais, W) toute solution aqueuse, telle que vin, thé, jus de fruit, bouillon... Ici, l'emploi des symboles conduit à désigner l'émulsion par la formule O/W, et, mieux, D0(O)/D3(W) : des gouttelettes

de « dimension » nulle sont aléatoirement dispersées dans une phase continue à trois dimensions, le mot « dimension » étant utilisé non pas pour désigner les dimensions géométriques, mais les dimensions topologiques.

Avant de passer à un grossissement supérieur, restons un moment sur le terme « triglycérides », qui a été utilisé pour désigner la nature de l'huile. Car les huiles et les graisses alimentaires sont effectivement constituées de tels composés, et non pas d'acides gras (**Figure 4**). Oui, il n'a pas d'acides gras (ou des quantités très faibles) dans les huiles, contrairement à que des publicités fautives ne cessent de répéter ! En effet, la réaction d'un acide carboxylique (un composé hydrogéné-carboné qui porte le groupe -COOH) avec un alcool (un composé qui porte un groupe -OH) produit un ester, dans lequel il n'y a plus d'alcool ni d'acide, mais éventuellement un résidu d'alcool et un résidu d'acide (**Figure 5**).

De même, en supposant qu'un triglycéride soit obtenu par triple estérification de glycérol par trois acides gras, le produit ne contient plus de glycérol, mais seulement une sorte de vestige, que l'on nomme « résidu de glycérol », si l'on veut se faciliter la pensée, et des résidus d'acides gras.

3 Le monde nanoparticulaire : dangereux ? Et au-delà ?

Passons maintenant à un grossissement supérieur, et nous pourrions voir, par exemple, des « nanoparticules », structures

qui peuvent être naturelles ou artificielles. Par exemple, les micelles de caséine de la **Figure 6** sont naturellement présentes dans le lait, preuve s'il en fallait que les nanoparticules ne sont pas les objets démoniaques que certains critiquent. Dans l'alimentation, on connaît d'autres nanoparticules, mais sont-elles artificielles ou naturelles ?

Je propose un usage des mots qui ne soit pas gauchi, détourné : est naturel ce qui n'a pas fait l'objet d'interventions de l'être humain ; le reste est artificiel. Les aliments sont-ils naturels ? Non, mille fois non : pour arriver à des carottes en salade, il aura fallu semer, cultiver, récolter, laver, peler, râper, et mêler à une sauce ! Une salade de carotte, et tous les aliments, sont donc parfaitement artificiels. Le dioxyde de titane, considéré comme un additif de code E171, dont la toxicité a été réévaluée en juin 2016 par l'Agence européenne de sécurité des aliments : le produit reste autorisé. Ce dioxyde de titane est-il naturel ou artificiel ? Le minerai est bien naturel, mais la production de poudres colorantes (en blanc) est donc artificielle, et c'est aux producteurs de s'assurer (par des tamisages) qu'ils livrent des poudres de granularité sans risque.

Risque ? Ce mot, dans le contexte des aliments et de la chimie, doit être expliqué, tant le public craint la toxicité, sans doute en raison de campagnes publiques menées par des marchands de peur que nous devons absolument combattre. Surtout, il y a lieu d'expliquer qu'il existe

une différence essentielle entre le danger et le risque. Un couteau est dangereux, et la preuve en est que certains s'en servent pour tuer. En revanche, un couteau enfermé dans un tiroir fermé à clé ne présente aucun risque. De même, pour des composés que nous ajoutons à nos aliments, tel le dioxyde de titane... ou pour tous les ingrédients alimentaires, à commencer par l'eau, dont l'abus conduit à des désordres physiologiques graves. Bref, le législateur doit se focaliser sur les risques, et non sur les dangers. Sans évidemment gober naïvement que ce qui est naturel serait nécessairement sain, et ce qui est artificiel nécessairement mauvais. Descendons encore d'un cran, pour arriver à l'échelle moléculaire : là encore, il peut y avoir des organisations voulues par un cuisinier. Par exemple, la **Figure 7** montre des framboises, et les mêmes framboises auxquelles on a ajouté un sel d'étain (II) : l'association de l'ion métallique aux composés phénoliques responsables de la couleur conduit à une absorption différente de la lumière.

Ici, le virement au pourpre est subi, mais on comprend

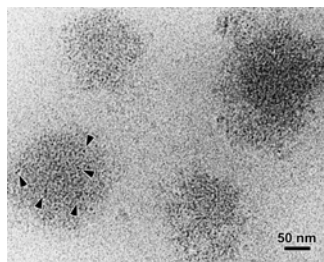


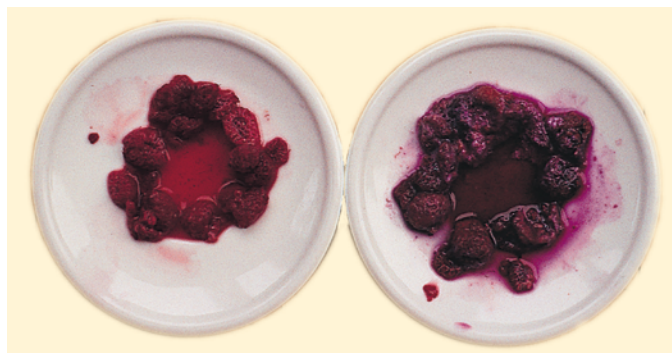
Figure 6

Images de cryomicroscopie électronique en transmission de micelles de caséines figées dans un film de glace vitreuse. Les flèches indiquent des points plus sombres dans une micelle qui pourraient correspondre à des nanoclusters de phosphate de calcium.

Source : Jean-Luc Puteaux (CERMAV-CNRS).

Figure 7

L'ajout d'un sel d'étain sur des framboises produit un changement de couleur (à droite).



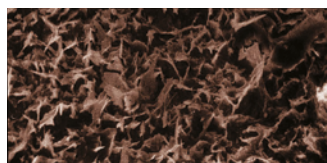


Figure 8

Chocolat.

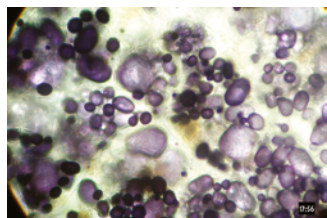


Figure 9

Tissu des tubercules de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L.

qu'il puisse être dirigé, la cuisine étant véritablement un « art chimique », qui peut grandir en se fondant sur une meilleure connaissance des réactions qui se produisent lors des transformations, ce qui est l'objet de la discipline scientifique nommée « gastronomie moléculaire ».

Comment appréhender la structure des aliments dans toute sa complexité ? Le langage formel nommé DSF (« *disperse systems formalism* ») a été introduit pour donner une vision synthétique des organisations aux différentes échelles. Pour chacune, une longueur de référence étant donnée, on utilise des symboles pour désigner les phases, pour désigner les dimensions, et pour désigner les répartitions spatiales. Ainsi, aux deux phases « eau » et « huile » déjà évoquées, il suffit le plus souvent d'ajouter la phase « gaz » (G) et la phase solide (S). Pour les dimensions, on aura les dimensions 0, 1, 2, 3, et, éventuellement, des dimensions fractales. Enfin, les opérateurs /, x, σ , + et $\text{\textcircled{a}}$ se sont révélés suffisants pour la description de tous les systèmes considérés jusqu'à ce jour. Le symbole / désigne ici, comme dit précédemment, la dispersion aléatoire ; le symbole x désigne l'imbrication de deux phases ; le symbole σ désigne la superposition ; le symbole + désigne la coexistence de deux phases, et le symbole $\text{\textcircled{a}}$ désigne, comme le veut l'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), l'inclusion.

Par exemple, la formule $D2(L1)\sigma D2(S1)\sigma D3(S2)\sigma D$

$3(S3)\sigma D2(L2)$ peut décrire l'image de la **Figure 2** : ici, L1 désigne la sauce liquide inférieure, S1 la couche d'herbes, S2 la masse jaune inférieure, S3 la masse supérieure et L2 la sauce supérieure.

Ce formalisme est particulièrement utile pour la distinction des « gels », dont les aliments sont principalement constitués. Observons, en effet, que l'IUPAC nomme gel tout système solide qui contient une quantité notable de liquide. À ce titre les viandes ou les poissons (faits d'environ 75 % d'eau), mais aussi les fruits et les légumes (jusqu'à 99 % d'eau dans une laitue) sont des gels. Ces divers gels ont des formules DSF différentes. Par exemple, le « parenchyme » d'un tissu végétal, fait de cellules jointives, peut être décrit par la formule $D0(W)/D3(S)$, tandis que le tissu musculaire est décrit par la formule $D1(W)/D3(S)$, qui montre bien que des cellules allongées, ou « fibres musculaires », sont dispersées aléatoirement (bien qu'alignées) dans le tissu musculaire. Pour certains aliments, tel le chocolat, de formule $D3(O)x D3(S)$, quand la température est comprise entre 34 et 37 °C, la structure de gel est méconnue (**Figure 8**). Pour d'autres, tel le tissu des tubercules de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. (**Figure 9**), le gel est complexe, notamment avec la dispersion de granules d'amidon dans les cellules, ce dont rend compte la formule DSF : $[D0(S1)/D0(W)]/D3(S2)$.

Puisque des gels variés apparaissent ainsi distincts, grâce à ce formalisme, la question s'impose : combien de « gels »

différents existent-ils ou peut-on imaginer ? Une programmation informatique simple permet de répondre à cette question : il existe 16 gels de « classe 1 » (une seule phase liquide dispersée dans une phase solide), un peu moins de 1 500 gels de classe 2 (avec deux possibilités de dispersion), et bien davantage pour les classes supérieures. On observera que, ces listes étant produites, on peut tout aussi bien aller reconnaître dans les objets du monde naturel des gels originaux ou produire des gels en se fondant sur des formules que l'on choisit.

C'est ici la distinction entre science, technologie et technique qui s'impose, ainsi qu'un examen du mot « chimie », et de l'activité ainsi désignée. Commençons par la technique : le mot vient du grec *techné*, qui signifie « faire ». Un cuisinier qui produit un mets fait un travail technique, même s'il sait bien que le choix des ingrédients, qui vise à faire « bon », c'est-à-dire beau à manger, résulte d'un processus artistique. La science, si c'est une science de la nature, est alors de nature bien différente, puisqu'il s'agit de chercher les mécanismes des phénomènes à l'aide d'une méthode qui se résume en (1) identification d'un phénomène ; (2) caractérisation quantitative de ce dernier ; (3) réunion des résultats des mesures en lois synthétiques ; (4) recherche, par induction, de mécanismes quantitativement compatibles avec ces lois ; (5) recherche de prévisions théoriques, fondées sur le corpus de mécanismes identifiés ; (6)

tests expérimentaux de ces prévisions théoriques, et l'on boucle à l'infini pour améliorer les « théories ». On le voit, ce processus n'a pas de fin, parce que les scientifiques savent bien que leurs théories sont insuffisantes par nature, et ils ne peuvent que chercher à réfuter leurs propres productions, à l'opposé complet des fausses sciences, des pseudo-sciences, qui veulent à tout prix faire croire qu'elles sont « vraies ». La technologie, enfin, est littéralement l'amélioration des techniques, et l'on peut distinguer une technique « locale », sans apport de science, et la technologie « globale », qui part de résultats scientifiques pour en faire de l'innovation.

La chimie, dans toute cette affaire ? Puisque la technique n'est ni la technologie ni la science, puisque la science n'est pas la technologie, il faut trois termes pour désigner les activités qui se rapportent à la mise en œuvre des réactions entre composés (des « réactifs ») pour l'obtention de « produits ». À quel champ le mot « chimie » s'applique-t-il ? Les études historiques montrent que la chimie a toujours été l'activité de préparation de produits à partir de réactifs. C'est donc une activité technique, et c'est à ce titre que la cuisine est bien un « art chimique », le mot « art » étant ici considéré dans l'acception d'un travail de l'être humain : le cuisinier qui produit du caramel à partir de sucre de table, ou saccharose, est bien un technicien qui part d'un réactif (le saccharose) et qui obtient un produit... d'ailleurs au terme d'une réaction

extraordinairement énergétique, puisque la température doit monter jusqu'à plus de 150 °C, ce qu'hésiterait à faire un chimiste moderne.

Comment, alors, nommer la technologie de la chimie ? Cette activité n'est pas confondue avec la chimie, et elle n'a pas de nom, actuellement, à ma connaissance. En revanche, on parle justement des industries de la chimie, telle l'industrie des parfums, l'industrie des engrais, l'industrie des cosmétiques...

Et la science de la chimie ? *Stricto sensu*, puisque c'est une science de la nature, c'est donc une branche de la physique, de sorte qu'il ne serait pas absurde de parler de physique chimique. Les « scientifiques de la chimie » y sont hésitants, notamment parce qu'ils voient une différence essentielle entre des champs disciplinaires où les équations sont centrées sur l'énergie, et leur activité qui, souvent, se focalise sur les caractéristiques électroniques des molécules, et envisage les interactions plus localement. Bref, pour des raisons historiques, et souvent contingentes, on parle de chimie, mais c'est donc absurde, et cela risque de créer des confusions, de sorte que, au minimum, si l'on n'adopte pas la terminologie de « physique chimique », on devrait parler de « sciences de la chimie ».

4 Organiser différemment les composés des ingrédients

Ces précautions étant prises, il n'est pas inutile, pour revenir à l'aliment, de distinguer

les ingrédients, que sont aujourd'hui les tissus végétaux et animaux, par exemple, et les aliments, qui sont le produit de la transformation « culinaire », qu'elle ait lieu dans une cuisine domestique ou dans une usine (le plus souvent, c'est la même). Les ingrédients, d'ailleurs, ne sont pas constitués de produits « chimiques », produits par la chimie, mais bien de composés, c'est-à-dire, selon la définition, des corps constitués d'une même espèce moléculaire. Et il devient amusant de poser, sur les ingrédients, un regard de scientifique, pour reconnaître dans les ingrédients des assemblages spontanés de composés. Une carotte ? C'est d'abord de l'eau, puis des polysaccharides (celluloses, hémicelluloses, pectines...), puis des saccharides plus simples (glucose, fructose, saccharose...), des acides aminés (leucine, alanine, acide gamma aminobutyrique...), des acides organiques (succinique, malique...), des caroténoïdes (carotène bêta, par exemple), et ainsi de suite jusqu'à des composés présents à l'état de traces, tels les composés odorants qui contribuent à l'odeur de la carotte.

Dans une racine de carotte, tous les composés constitutifs sont organisés spontanément, mais ne pourrions-nous les organiser différemment ? On comprend que le nombre de possibilités est alors infini, ce qui ouvre à l'alimentation des perspectives extraordinaires d'innovation. Plus précisément, a été nommée « cuisine note à note » la nouvelle technique culinaire qui ne part

plus d'ingrédients classiques, mais qui utilise des composés purs pour construire des aliments, avec toutes leurs dimensions nutritives, sensorielles, etc. Cette forme de cuisine s'apparente à la musique de synthèse, qui ne fait pas usage d'instruments classiques, mais d'ondes sonores pures en vue de créer des musiques nouvelles. Nous y reviendrons.

Pour l'instant, montrons que la construction d'un aliment de synthèse, « note à note », n'est pas difficile. Commençons par observer que la question de la construction d'un aliment constitué de plusieurs parties macroscopiques se ramène à la construction d'objets macroscopiques séparés, que l'on assemble ensuite. Pour chaque objet, il est bon de commencer par définir une forme, ce qui peut être donné par une forme, un moule (Figure 10). Puis il s'agit de définir une consistance, ce qui s'obtient par des moyens techniques variés, qui vont de la simple coagulation au filage de fibres creuses, par exemple. Toutefois, l'avènement de techniques nouvelles (« pianocktail », imprimantes 3D, cuisson extrusion...) ne doit pas faire oublier que des techniques simples permettent déjà des résultats remarquables (Figure 11 : le pianocktail). On commencera par observer que la coagulation d'une solution aqueuse à 10 % de protéines conduit à une matière qui a la consistance d'un blanc d'œuf cuit, alors que la coagulation d'une solution à 25 % conduit à une matière analogue à une viande cuite. Puis on reconnaîtra que

les « surimis », dont le succès est mondial, sont simplement obtenus par mélange d'un empois d'amidon (une « sauce blanche ») à de la chair de poisson broyée, ce que l'on pourra reproduire par dissolution de 20 à 25 % de protéines dans de l'eau : coulée en couche assez mince, puis scarifiée (par un peigne, une fourchette), cuite à la vapeur, puis colorée (du paprika pour le surimi classique), et parfumée, cette matière a été nommée un « dirac », et elle s'apparente donc à une viande artificielle (Figure 12 : le dirac de Montréal).

Donner à cette matière, ou à une autre, une couleur n'est guère difficile, puisque l'on dispose aujourd'hui des pigments naturels ou de colorants de synthèse, dont l'innocuité a été testée, ce qui a conduit à les faire figurer dans la catégorie des « additifs ». Donner de la saveur ? Il n'est pas difficile de dissoudre des composés sapides (sucres, acides organiques, acides aminés, sels minéraux...) dans la phase aqueuse, tandis que l'odeur s'obtient le plus souvent en dissolvant des composés odorants dans des phases huile. De même pour les composés trigéminaux, qui, selon les cas, se dissoudront dans une phase ou une autre.

5 Des découvertes récentes, gages de découvertes à venir

Est-ce tout ? Avec les composantes nutritionnelles (protides, lipides, glucides, micronutriments...), les composantes sensorielles,



Figure 10

Construction.



Figure 11

Microréacteur plexiglass.



Figure 12

Dirac de Montréal.

avons-nous tout pour faire des aliments ? Les résultats des dernières années montrent que le compte n'est pas bon !

Ainsi, il y a une quinzaine d'années, une équipe de Dijon conduite par Philippe Besnard a découvert que l'organisme savait détecter des acides gras à longues chaînes insaturées (nous disons bien « acides gras », ici), après que des enzymes lipases détachaient ces derniers des triglycérides. Autrement dit, par eux-mêmes, les triglycérides n'ont pas de « goût », alors que les acides gras insaturés à longue chaîne en ont¹. Comment nommer la sensation due à ces composés ? Ce n'est pas une saveur, ni une odeur, et il faudra sans doute forger un terme, si l'on ne peut pas utiliser la longue expression « *détection d'acides gras insaturés à longue chaîne* ». En l'occurrence, j'ai proposé « lipaction » pour la perception.

Plus récemment, Michael Tordoff et ses collègues du Centre Monell, à Philadelphie, ont découvert un récepteur des ions calcium, qui conduit à une saveur qui n'est ni sucrée, ni acide, ni salée, ni...

Ici, s'imposent deux observations. Tout d'abord, la bonne compréhension de la biologie de l'évolution aurait dû faire penser que les deux découvertes précédentes seraient faites : pour que l'organisme humain se développe, il a besoin d'acides gras insaturés, de sorte qu'il s'imposait

qu'il puisse les détecter, afin de signaler une éventuelle déficience. De même, la découverte des récepteurs des ions calcium est allée de pair avec des travaux sur les « faims spécifiques de calcium » : de même que notre organisme manifeste régulièrement la faim, en se fondant sur des informations physiologiques, il peut signaler que la consommation de calcium s'impose, afin de disposer de suffisamment de cette espèce importante pour les os².

D'autre part, il est essentiel de signaler que la théorie des quatre saveurs est réfutée depuis des décennies : nous savons reconnaître bien plus de saveurs que quatre. Par exemple, l'acide glycirrhizique de la réglisse a une saveur particulière, de réglisse, et le bicarbonate de sodium, par exemple, a une saveur « savonneuse » (Figure 13 : l'acide glycirrhizique). Mieux, les acides aminés, fautive-ment catalogués comme sucrés ou amers, ont des saveurs originales. En conclusion, c'est surtout l'absence de mots et la connaissance insuffisante des saveurs qui a conduit à cette théorie périmée des quatre saveurs.

Concernant les odeurs, également, ce monde reste très mal connu, même si l'on estime avoir identifié environ 7 500 des 10 000 composés odorants des ingrédients alimentaires. Comment construire une odeur, par exemple ? Si certains composés ressemblent

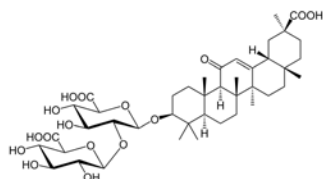


Figure 13

Acide glycirrhizique.

1. Laugerette F., Gaillard D., Passilly-Degrace P., Niot I., Besnard P. (2007). Do we taste fat?, *Biochimie*, 89 : 265.

2. Tordoff M.G., Alarcón L.K., Valmeki S., Jiang P. (2012). T1R3: A human calcium taste receptor, *Sci. Rep.*, 2 :496.

à l'odeur d'ingrédients classiques, telle la vanilline pour la vanille, les mélanges de composés odorants donnent des résultats que l'on ne sait pas prévoir. Parfois le mélange conduit à une fusion, et parfois à un accord, sans que l'on sache prévoir le résultat.

Surtout, plus généralement, les composés odorants ou sapides, par exemple, ont des effets différents selon la manière dont ils sont libérés : la cuisine pourrait grandir en introduisant des idées voisines de celles de la « galénique » pour la confection des médicaments à partir de principes actifs. On gagnera à considérer que l'aliment est un système physico-chimique qui interagit avec la bouche, alors qu'il est divisé au cours de la mastication. Les divers éléments, en effet, peuvent libérer certains de leurs composés dans la salive, et, inversement, absorber certains composés de la salive (ions minéraux, protéines), pour conduire à des lois de libérations qui peuvent être variées. Par exemple, avec le même gélifiant, de l'eau et un soluté (par exemple du saccharose), on peut faire une bille gélifiée à deux couches, dont une

est chargée du soluté ; selon que cette couche est centrale ou périphérique, on obtient une libération lente ou une libération rapide (Figure 14). Et, avec plus de couches, des lois plus complexes peuvent être obtenues. On ne manquera pas de rapprocher cette question de la « bio-activité » (la libération des composés) de la liste des gels, précédemment présentée : quelles bio-activités auront les divers gels ? La question reste à examiner, mais on entrevoit des systèmes qui pourraient, sur mesure, avoir des goûts qui se succéderaient (un système simple a été publié en 1991, lors de l'éclipse du Soleil).

6 Demain, la cuisine note à note

Que mangerons-nous demain ? Nous avons déjà évoqué la cuisine note à note, mais nous allons voir maintenant que ce champ peut se développer considérablement grâce à la chimie.

L'idée de la cuisine note à note a été proposée en 1994, dans un article de la revue *Scientific American*, alors que nous commençons à introduire l'emploi de composés purs pour amender des vins ou

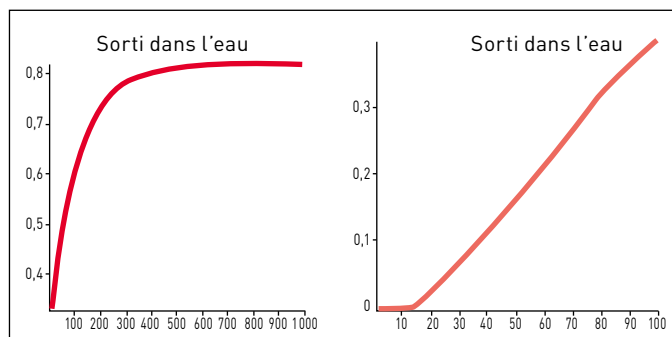


Figure 14

Avec le même gélifiant, de l'eau et un soluté (du saccharose), on peut faire une bille gélifiée à deux couches, dont une est chargée du soluté ; selon que cette couche est centrale ou périphérique, on obtient une libération lente ou une libération rapide.

des alcools. Il apparut alors que la généralisation de ce simple amendement pourrait conduire à une nouvelle forme de cuisine.

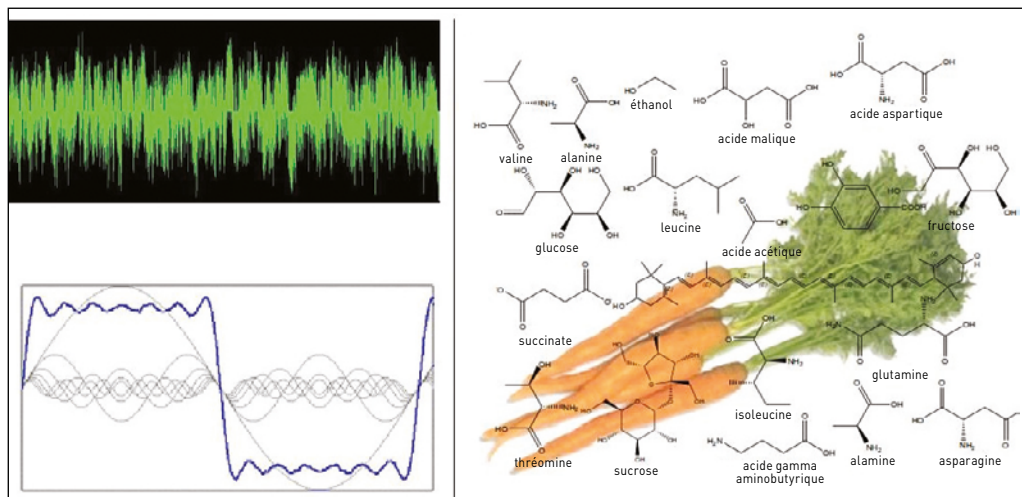
Puis, progressivement, l'idée s'est imposée, au point que ce qui était alors une provocation est devenu une évidence. Ainsi, de même que la musique faisait usage d'instruments (violons, flûte, etc.) il y a quelques siècles, la cuisine fait classiquement usage d'ingrédients que sont les tissus végétaux ou animaux. Puis, il y a environ un siècle, les physiiciens découvrirent que chaque son peut être décomposé en une somme d'ondes sonores de fréquences déterminées, alors que les scientifiques de la chimie découvrirent que les ingrédients étaient faits de composés particuliers (Figure 15). Se fondant sur les progrès scientifiques, les pionniers de la musique de synthèse ont utilisé les premiers électroniques et ordinateurs, il y a cinquante ans, et leurs avancées ont conduit aux synthétiseurs actuels, en

vente jusque dans les magasins de jouets pour quelques dizaines d'euros. Et pour la cuisine ? La connaissance des composés des aliments ne peut-elle, de même, conduire à des préparations simples, à portée des enfants ? La réponse est un « oui » énergique, qui fait entrevoir une cuisine où les réfrigérateurs et bacs à légumes auront disparu, pour céder la place à des étagères portant des composés, purs ou en mélanges.

Pourquoi souhaiter un tel futur ? Les raisons ne manquent pas, et nous allons en considérer quelques-unes, dans le désordre. Premièrement, la disparition de certaines espèces animales ou végétales conduit à penser que, sauf si des biologistes parviennent à faire revivre ces espèces, il ne serait plus possible de les consommer : nous devons changer notre alimentation. Cela n'est pas simple, car le comportement humain de néophobie alimentaire nous empêche de manger ce que

Figure 15

De même que chaque son peut être décomposé en une somme d'ondes sonores de fréquences déterminées, les ingrédients sont faits de composés particuliers.



nous ne connaissons pas. Par exemple, tels qui consomment du fromage de Munster, à l'odeur pourtant puissante, consommeront difficilement ce fruit qu'est le durian, et qui fait les délices de populations d'Asie, et *vice versa*. Ou encore, alors que les Français consomment des grenouilles et des escargots, ils ne consomment pas de limaces, pourtant abondantes.

Quels que soient les choix alimentaires de demain, ils se feront dans un contexte de dépenses énergétiques contraintes. Car il est exact que nous gaspillons beaucoup d'énergie aujourd'hui ! Un camion qui transporte dix tonnes de tomates transporte en réalité 9,5 tonnes d'eau ! Pourquoi faire parcourir des centaines de kilomètres à ce qui pourrait tenir sur une moto, sans compter que les techniques actuelles du froid ne sont pas durables, consommatrices d'énergie et libératrices de gaz destructeurs de la couche d'ozone ?

Surtout se posera la question de la sécurité alimentaire, la production d'assez d'aliments, pour une population mondiale

dont on prévoit qu'elle atteindra 8 à 11 milliards d'individus, alors que nos systèmes agricoles peinent à en nourrir six milliards aujourd'hui (sur sept qui occupent la planète) (Figure 16). La lutte contre le gaspillage a été clairement identifiée comme une possibilité d'augmenter l'efficacité des systèmes agricoles, mais elle passera peut-être par le fractionnement au champ des produits agricoles. Les techniques de fractionnement et de craquage sont au point, et elles sont déjà utilisées pour produire des composés phénoliques à partir de vin, par exemple, mais aussi pour les industries du lait ou du blé. La mise en œuvre de telles techniques aurait l'intérêt de réduire le gaspillage, et, aussi, de produire de l'innovation, clé d'un enrichissement du monde agricole, sur lequel pèse la double charge de la sécurité alimentaire et de l'entretien des paysages.

Bien sûr, à plus court terme, la cuisine note à note s'impose comme un art nouveau, avec des goûts inédits. Le premier plat de cuisine note à note servi dans un restaurant a

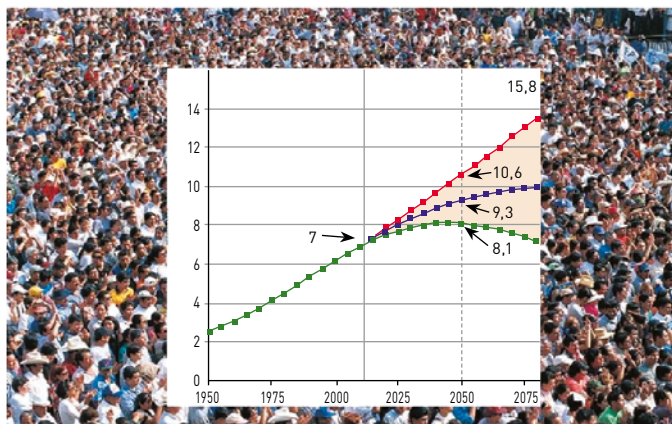


Figure 16

On prévoit que la population mondiale atteindra 8 à 11 milliards d'individus, alors que nous nos systèmes agricoles peinent à en nourrir six milliards aujourd'hui.

été présenté à Hong-Kong en 2009 : il était le fruit d'une proposition technique de l'auteur de cet article, « mise en art culinaire », par le cuisinier français Pierre Gagnaire (**Figure 17**).

Puis ce premier plat note à note a été suivi d'une production à Strasbourg, par les cuisiniers alsaciens Hubert Maetz et Aline Kuentz, avant que des chefs de l'École du cordon bleu ou des Toques blanches internationales ne présentent des productions lors de dîners ou de réceptions.

En 2011, un banquet de cuisine note à note a été servi

lors du lancement de l'Année internationale de la chimie par l'équipe du traiteur français Potel&Chabot, dirigée par le chef Jean-Pierre Biffi, et toute une série de réalisations se sont succédées jusqu'au Colloque *La chimie et les sens*, où l'équipe du traiteur français Lenôtre a servi des plats note à note, lors d'un déjeuner pour 1 000 personnes. À ce jour, donc, la démonstration de la possibilité de la cuisine note à note est faite, ainsi que son intérêt. On devrait donc bientôt voir se développer cet art culinaire moderne dans le monde entier.



Figure 17

La cuisine note à note s'impose comme un art nouveau, avec des goûts inédits. Le premier plat de cuisine note à note servi dans un restaurant a été présenté à Hong-Kong en 2009.

Où chercher ? Partout

Comment concevoir les plats note à note ? Nous avons précédemment esquissé une méthode, mais nous avons également montré que les découvertes récentes sont légion. Ce flot ininterrompu de découvertes est une bonne indication du fait qu'il y a encore beaucoup à découvrir devant nous. Les jeunes, qu'ils se destinent à la chimie, à la technologie de la chimie ou aux sciences de la chimie, peuvent être rassurés : il leur suffira de bien travailler pour récolter les fruits de leur labeur, découvertes ou inventions. Alors que les systèmes nanoparticulaires commencent seulement à être explorés, alors que la cuisine note à note est embryonnaire, les questions ouvertes qui se posent par dizaines de milliers à la gastronomie moléculaire sont la garantie quasi absolue de nouveautés innombrables.

Chaque composante du goût, qu'il s'agisse de physiologie sensorielle ou de bio-activité (la « galénique alimentaire »), mérite d'être explorée, certain que l'on est de découvrir des aspects nouveaux du monde, dont la technologie fera usage pour une technique rénovée. Le physicien américain Richard Feynman disait qu'il y avait beaucoup à découvrir aux petites dimensions, mais il n'est peut-être pas obligatoire de se préoccuper de très petits objets pour faire avancer les sciences. L'étude de la matière molle, promue par le physicien français Pierre Gilles de Gennes, reste très insuffisante, sans compter que l'interaction de cette matière avec le vivant imposera des études des sciences chimiques et de biologie.

N'hésitons pas : lançons-nous, avec lucidité et rigueur, dans nos travaux techniques, technologiques ou scientifiques, selon nos goûts personnels.

L'auteur déclare qu'il a travaillé avec de trop nombreuses sociétés privées pour qu'il puisse toutes les citer, mais que ces collaborations n'affectent en rien son jugement. Il s'enorgueillit que ses collaborations passées ou présentes lui fassent mieux connaître le contexte général d'applications des sciences, et il observe que sa loyauté est entière, et que sa logique ne pâtit pas de proximités économiques, familiales ou idéologiques.