

cellule, de manière à définir un milieu interne à la cellule. Nous imitons très bien ce processus ; les fabricants de cosmétiques utilisent de tels liposomes.

L'autre question est la reconnaissance moléculaire. Bien entendu, dans l'auto-assemblage, il y a déjà reconnaissance moléculaire, puisque l'auto-assemblage est la reconnaissance du même par le même. Mais la reconnaissance par complémentarité, où la clé est complémentaire de la serrure qu'elle ouvre, est autrement créative. De telles adaptations mutuelles de formes sont fréquentes dans le vivant : ainsi les enzymes agissent sur les seules molécules dont la forme épouse celle de leur site actif, complémentaire. Cette adaptation mutuelle clé-serrure s'est perfectionnée au cours des siècles, et elle a été réglée par l'évolution.

L'asymétrie du récepteur joue un rôle primordial : sur un site actif, l'enzyme accepte la molécule gauche et refuse la molécule droite. Cette sélection est très importante en pharmacie, car il faut éviter de vendre des produits où 50 molécules sur 100 sont inactives, voire dangereuses.

LIMITES DE LA SYNTHÈSE CHIMIQUE

Le répertoire des outils de la chimie et des réactions est un ensemble suffisant : étant donné le plan d'une molécule, sa formule, on est capable de la construire. L'impossible est de synthétiser plus qu'une infime fraction du monde extraordinairement diversifié des possibles. L'octane a huit atomes de carbone, et il existe 2 028 conformations différentes de ces huit atomes. L'étude de ces 2 028 conformations est encore accessible, mais une molécule naturelle typique du monde vivant aura, par exemple, 18 carbones asymétriques et 262 144 stéréo-isomères aux propriétés différentes. Nous ne pouvons pas synthétiser ces 262 144 molécules afin de les comparer une à une à la substance naturelle et de déterminer quelle est la bonne !

Cette impossibilité de tout faire prouve par l'absurde l'inanité de toute gestion de la recherche par secteurs d'activité, lotis en lopins hyperspécialisés. Il importe au contraire d'encourager le nomadisme scientifique, qui assure les grandes percées. La logique de la découverte n'est pas dans l'immobilisme d'un découpage territorial ; la recherche vit dans le dynamisme d'un constant réaménagement des frontières, d'ailleurs arbitraires, posées entre les sous-disciplines.

Il est extrêmement tentant d'opposer la recherche universitaire, acadé-

mique, et la recherche industrielle. Aujourd'hui, étant donné l'extrême sensibilité de très nombreux tests biologiques, les chimistes sont tentés de travailler à l'aveuglette : ils constituent des chimiothèques en synthétisant 10 000 molécules apparentées, ils les soumettent à des tests biologiques et repèrent ainsi une dizaine de molécules actives. Ces méthodes évacuent l'intelligence, l'imagination créatrice, et je suis très hostile à leur développement. En science, une idée, même simpliste, vaut beaucoup mieux que pas d'idée du tout. Il me semble impossible que l'on obtienne de très bons résultats par ce moyen. En outre, nous ne connaissons pas toutes les propriétés des 700 000 molécules synthétisées chaque année, et le danger de toxicité imprévue va grandissant avec cette technique des chimiothèques. Le risque de prolifération lié à la mise sur le marché pharmaceutique de molécules insuffisamment connues est réel.

Tout scientifique partage son temps entre le ludique et l'utile. Le paradoxe est que l'utilité sociale naît très souvent d'une recherche parfaitement désintéressée. Je crois assez peu à la recherche ciblée vers des objectifs appliqués.

Les chimistes ont voulu et su synthétiser des molécules en forme de solides platoniciens : le tétraèdre, le cube, l'octaèdre, l'icosaèdre et le dodécaèdre. Cette activité, à la fois gratuite et coûteuse, s'est révélée payante : la molécule de cubane, en forme de cube, est utile dans la lutte antivirale et pour fabriquer des explosifs.

Pourquoi la lutte antivirale ? Parce que les enzymes n'ont pas l'habitude d'interagir avec des cubes : aussi ceux-ci restent-ils actifs très longtemps dans l'organisme sans être détruits. Pourquoi des explosifs ? Parce que les six faces carrées du cube sont sous forte tension et ne demandent qu'à s'ouvrir en libérant une forte énergie. L'armée américaine a été vivement intéressée... et le Pentagone s'est saisi du cube. Je ne connais pas de molécules naturelles en forme de cube, mais nous n'avons encore exploré qu'une infime portion de la diversité naturelle.

Ce rapprochement de l'artifice et du naturel nous amène à un autre sujet : la distinction arbitraire et fictive entre molécule naturelle et molécule artificielle. La législation américaine protège certaines substances naturelles, en particulier la vanilline, qui est l'arôme au goût de vanille des glaces à la vanille : c'est l'arôme alimentaire le plus utilisé dans le monde entier. La substance naturelle coûte environ 50 000 dollars le kilogramme ; la substance de

synthèse, environ 17 dollars le kilogramme. C'est dire les trafics pour faire passer la vanilline de synthèse comme vanilline naturelle. Pour réprimer la fraude, on analyse les impuretés isotopiques qui se trouvent dans la vanilline naturelle et dans la vanilline de synthèse. On détecte aussi, par les mêmes méthodes, la chaptalisation, car le sucre de betterave a un enrichissement en deutérium différent du fructose présent dans le raisin. Le laboratoire de Maryvonne et Gérard Martin, à l'Université de Nantes, est spécialisé dans ce type d'identification.

CHIMIE MINÉRALE ET CHIMIE ORGANIQUE

La distinction est conventionnelle, un peu arbitraire, et peut être néfaste, car le front actif de la science chevauche les frontières entre les disciplines. Comme toute interface, celle de la chimie minérale et de la chimie organique est active et productive. Parmi les espèces chimiques qui sont à la fois des espèces organiques et des espèces minérales, il y a tous ces complexes organométalliques où un métal porte des groupements qui sont organiques. La plupart des catalyseurs dans les réacteurs industriels sont des complexes organométalliques.

Certains scientifiques cherchent, dans ce *no man's land* entre minéral et organique, les indices de l'origine de la vie... C'est une intuition que, sentimentalement, j'aurais tendance à partager, mais que, rationnellement, je ne peux pas justifier. Ici nous sommes en pleine science-fiction, voire métaphysique. Dans ce domaine de l'origine de la vie, je trouve que les auteurs, que mes collègues, sont terriblement dogmatiques, fonctionnant par exclusion mutuelle, avec des affirmations beaucoup trop tranchées et catégoriques. D'autre part, leurs écrits utilisent des procédés typiques des romanciers : dans Balzac et dans une publication traitant des origines de la vie, on trouve le même souci de descriptions extrêmement minutieuses, avec la volonté de donner une impression de réel, alors que, bien sûr, on nage en pleine fiction.

Ce très grand problème n'est pas propre à la chimie, mais c'est effectivement l'une des frontières actuelles de la chimie.

Pierre LASZLO est professeur de chimie à l'École polytechnique.

Une retranscription de ce débat, enregistré avec Émile Noël, sera diffusée sur France Culture le 7 février 1996, à 9 heures.

Biot et l'origine des météorites

MARCEL WEYANT

Le 6 floréal an 11 (le 26 avril 1803), une pluie de météorites est tombée en Normandie, à L'Aigle. Bien que depuis l'Antiquité, de nombreuses personnes aient été témoins de la chute de pierres tombant du ciel, l'idée d'une origine extraterrestre de certaines roches était encore reléguée, au début du XIX^e siècle, dans le domaine de la fable. La météorite de L'Aigle a joué un rôle décisif dans le lent cheminement de l'incrédulité vers l'agrément.

À la fin du XVIII^e siècle, par un rationalisme excessif, le monde savant refuse l'idée que des pierres puissent tomber du ciel. Un rapport d'experts dépêchés par l'Académie royale des sciences après la chute d'une météorite à Lucé, dans la Sarthe, en 1768, illustre cette incrédulité. La commission est composée de trois membres dont le chimiste Lavoisier. Ce dernier croit «pouvoir conclure [...] que la pierre [...] ne doit point son origine au tonnerre, qu'elle n'est point tombée du ciel [...]. L'opinion qui nous paraît la plus probable, celle qui cadre le mieux avec les principes reçus en physique, avec les faits rapportés par M. l'abbé Bachelay et avec nos propres expériences, c'est que cette pierre [...] aura été frappée par la foudre et qu'elle aura été ainsi mise en évidence [...]».

Il est alors de bon ton de railler ceux qui prétendent avoir observé des chutes de pierres venant du ciel. Le premier scientifique qui a le courage de braver les préjugés de ses confrères est le physicien allemand Ernst Chladni. En 1794, il postule l'existence de corps célestes de petite taille, susceptibles d'entrer en collision, et de libérer des fragments de roches et de fer qui peuvent atteindre la Terre sous l'effet de l'attraction gravitationnelle. Il se heurte à de nombreuses critiques. Neuf ans plus tard, la chute de la météorite de L'Aigle oblige les incrédules à admettre l'origine extraterrestre des météorites. Le compte rendu factuel que Jean-Baptiste Biot fait de l'événement y contribue notablement.

Biot (1774-1862) est professeur de physique au Collège de France et membre de l'Observatoire de Paris quand il part mener son enquête sur la

météorite de L'Aigle. Son rapport est un modèle d'honnêteté intellectuelle, fondée sur une enquête minutieuse sur le terrain.

LES PRÉPARATIFS

«Depuis que l'attention des savants s'est dirigée vers l'examen des classes minérales que l'on dit être tombées de l'atmosphère, toutes les ressources de la critique et de l'expérience ont été employées pour constater cet étonnant phénomène et jeter quelque lumière sur sa cause [...]. C'est un grand pas de fait dans l'étude de la nature, que de savoir examiner un phénomène dont on ne voit encore aucune explication complète, et cette sorte de courage n'appartient qu'aux hommes les plus éclairés [...]».

Toujours dans les questions douteuses, l'ignorant croit, le demi-savant décide, l'homme instruit examine : il n'a pas la témérité de poser des bornes à la puissance de la nature. Suivons donc avec zèle, et sans que rien nous arrête, le phénomène qui nous occupe maintenant :
et s'il arrive
enfin,



Jean-Baptiste Biot.

comme je l'espère, que nous réussissions à le mettre hors de doute, n'oublions pas que c'est l'envie de tout expliquer qui l'a fait rejeter si longtemps [...].

J'ai senti que l'exactitude et la fidélité la plus scrupuleuse pouvaient seules rendre utile aux sciences la mission dont j'étais chargé. Je me suis considéré comme un témoin étranger à tout système ; et pour ne rien hasarder de ce qui pourrait ôter quelque confiance aux faits que je vais rapporter, je me bornerai dans ce mémoire à les exposer tels que je les ai recueillis et, en développant les conséquences immédiates qui résultent de leurs rapports, je m'abstiendrai même d'examiner en quoi elles se rapprochent ou s'écartent des hypothèses que l'on a imaginées.

Avant de partir, [...] je priai le citoyen Haüy de vouloir bien m'éclairer de ses lumières sur ce qui concernait la minéralogie du pays que j'allais parcourir. Le citoyen Coquebert Montbret, correspondant de la classe, me fournit les connaissances qui m'étaient nécessaires sur la géographie physique du même pays. Enfin le citoyen Fourcroy voulut bien me donner une copie des lettres qu'il avait reçues de L'Aigle, relativement à l'apparition du météore.

Je partis de Paris le 7 messidor, [...] mais je ne me rendis pas directement dans ce lieu même [L'Aigle]. Si l'explosion du météore avait réellement été aussi violente qu'on nous l'annonçait, on devait en avoir entendu le bruit à une très grande distance. Il était donc conforme aux règles de la critique de prendre d'abord des informations dans des lieux éloignés sur ce bruit extraordinaire, sur le jour et l'heure auxquels on l'avait entendu, d'en suivre la direction, et de me laisser conduire par les témoignages jusqu'à l'endroit même où l'on disait que le météore avait éclaté.[...]

Guidé par ces considérations, je me rendis d'abord à Alençon, chef-lieu du département de l'Orne, situé à 15 lieues au Sud-Ouest de la ville de L'Aigle.

Chemin faisant, le courrier de Brest à Paris me dit que, le mardi 6 floréal dernier, à neuf lieues par-delà Alençon, entre Saint-Rieux et Pré-en-Pail, il vit dans le ciel un globe de feu qui parut, par un temps serein, du côté de Mortagne, et sembla tomber vers le Nord. Quelques instants après, on entendit un grand bruit semblable à celui du tonnerre ou au roulement continu d'une voiture sur le pavé. Ce bruit dura plusieurs minutes, et fut sensible, malgré celui de la chaise de poste qui roulait [...].

À Alençon, on avait entendu parler vaguement de ce phénomène, mais

on n'avait rien vu ; et aucun bruit extraordinaire ne s'était fait remarquer. Ce qui n'est pas étonnant dans une grande ville, au milieu du tumulte d'un jour de marché [...].

Le citoyen Lamagdelaine, préfet, n'ayant pu me donner de renseignements par lui-même, me fournit avec beaucoup de complaisance tous les moyens d'en obtenir à L'Aigle et dans les divers endroits où je m'arrêterais. Je quittai Alençon le 10 messidor et me mis en route pour L'Aigle, avec un guide actif et intelligent.

TÉMOIGNAGES CONCORDANTS

Le premier endroit habité que nous rencontrâmes est Seez, petite ville à dix lieues au Sud-Ouest de L'Aigle. On y avait entendu le bruit du météore ; on en indiquait précisément le jour, l'heure et les diverses circonstances. C'était comme un coup de tonnerre très fort qui semblait partir du côté Nord, et dont le roulement, accompagné de plusieurs explosions successives, dura cinq ou six minutes.

Des personnes crurent d'abord que c'était le bruit d'une voiture roulant sur le pavé ; elles ne furent désabusées qu'en ne voyant rien arriver, quoique le bruit continuât. Ces personnes furent d'autant plus étonnées que le ciel était parfaitement serein, sans le moindre nuage, et qu'on n'y remarquait rien d'extraordinaire. On disait de plus que des voyageurs venant de Falaise et de Caen avaient entendu fortement la même explosion, et qu'ils avaient eu grande peur [...].

Ces informations me donnaient lieu de penser que les effets du météore s'étaient étendus sur un espace beaucoup plus considérable que nous ne l'avions imaginé. Comme mon but était d'abord de circonscrire exactement cet espace, je suivis les indications que je venais de recevoir, et me dirigeai vers Argentan [...]. Sur la route j'interrogeai une foule de paysans, tant passagers que travaillant aux champs. Hommes, femmes, enfants, tous ont entendu l'explosion le même jour et la rapportent à la même heure, un mardi, entre midi et deux heures [...]. J'arrivais [à L'Aigle], le jour même de mon départ d'Alençon. Je sus que

toute la ville avait entendu au jour et à l'heure indiqués, un bruit effroyable. Il n'était point tombé de pierres à L'Aigle même, on en avait seulement entendu parler [...].

En rapprochant ces récits, faits par des hommes éclairés, de ceux que nous avons recueillis dans les campagnes sur une étendue de plus de dix lieues de rayon, nous voyons qu'ils sont absolument d'accord pour le jour, l'heure et la nature de l'explosion [...].

Je viens maintenant à la question même de la chute des masses ; et comme c'était là la partie la plus importante du phénomène, c'est celle aussi à laquelle je donne le plus de soin, de détail et de temps. Les premiers renseignements que je reçus à L'Aigle sur cet objet me furent donnés par le citoyen Humphroy, et sont relatifs à une pierre pesant 8,56 kilogrammes, que l'on dit être tombée à la Vassolerie, village situé à une lieue au Nord de L'Aigle. [...]

J'ai examiné avec notre confrère Leblond le trou d'où cette masse a été tirée. Peut-on raisonnablement supposer qu'une masse aussi considérable eût existé depuis longtemps sans avoir été remarquée, dans un lieu où l'on passait fréquemment ; que tout à coup les enfants de la maison et les voisins se fussent réunis par un simple hasard,

pour affirmer qu'ils avaient entendu tomber dans ce même lieu quelque chose de très lourd avec un très grand bruit ; que toutes ces circonstances eussent coïncidé avec ce qui se passait au même instant à deux lieues de là, et qu'enfin aucun des spectateurs ne se fût rappelé d'avoir vu précédemment cette pierre ? Voilà pourtant toutes les particularités dont il faudrait supposer la réunion pour infirmer la vérité de ce témoignage.[...]

LES CONCLUSIONS DE L'ENQUÊTE

Si l'on rapproche, d'après les règles de la critique, les témoignages moraux et physiques que je viens de rapporter avec fidélité, on y trouvera une réunion de preuves dont l'accord ne convient qu'à la vérité même. En effet, considérons d'abord les témoignages physiques. On n'a jamais vu, avant l'explosion du 6 floréal, de pierres météoriques entre les mains des habitants du pays. Les collections minéralogiques faites avec le plus de soin, depuis plusieurs années, pour recueillir les produits du département, ne renferment rien de semblable ; les mémoires que possède le Conseil des mines sur la minéralogie et la géologie des environs de l'Aigle n'en font aucune mention.

Les fonderies, les usines, les mines des environs que j'ai visitées, n'ont rien dans leurs produits ni dans leurs scories qui ait avec ces substances le moindre rapport. On ne voit dans le pays aucune trace de volcan. Tout à coup, et précisément depuis l'époque du météore, on trouve ces pierres sur le sol et dans les mains des habitants du pays ; elles sont si communes que l'on peut estimer le nombre de celles que l'on montre à deux ou trois mille.

Maintenant, si l'on consulte les témoignages moraux, que trouve-t-on ? Vingt hameaux dispersés sur une étendue de plus de deux lieues carrées, dont presque tous les habitants se donnent pour témoins oculaires et attestent qu'une épouvantable pluie de pierres a été lancée par le météore. Dans le nombre se trouvent des hommes faits, des femmes, des enfants, des vieillards ; ce sont des



Sur cette carte des environs de l'Aigle, on a repéré les sites où l'on a retrouvé des météorites, après l'événement du 6 floréal de l'an 11 : la « limite de l'étendue sur laquelle des pierres ont été lancées » est une ellipse.

paysans simples et grossiers, qui demeurent à une grande distance les uns des autres ; des laboureurs pleins de sens et de raison ; des ecclésiastiques respectables, des jeunes gens qui, ayant été militaires, sont à l'abri des illusions de la peur : toutes ces personnes, de professions, de mœurs, d'opinion si différentes, n'ayant que peu ou point de relations entre elles, sont tout à coup d'accord pour attester un même fait qu'elles n'ont aucun intérêt à supposer ; elles le rapportent toutes au même jour, à la même heure, au même instant, avec les mêmes circonstances, avec les mêmes comparaisons ; et ce fait, si universellement, si fortement attesté, n'est qu'une conséquence des preuves physiques rassemblées précédemment : il est tombé dans le pays des pierres d'une nature particulière, à la suite de l'explosion du 6 floréal.

Bien plus, on montre encore des traces des débris, qui attestent matériellement la chute de ces masses, dont on ne parle qu'avec effroi. On dit les avoir vues descendre le long des toits, casser des branches d'arbres, rejaillir en tombant sur le pavé ; on dit qu'on a vu la terre fumer autour des plus grosses, et qu'on les a tenues brûlantes dans les mains.

Ces récits ne se font, ces traces ne se montrent que dans une étendue de terrain déterminée. C'est là seulement, qu'il est possible de trouver encore quelques pierres météoritiques ; on n'en connaît pas un seul morceau qui ait été trouvé sur le terrain hors de cet arrondissement, et il n'y a pas un seul témoin qui prétende avoir vu tomber des pierres ailleurs.

Enfin une troisième espèce de preuve résulte de certaines particularités physiques unanimement racontées par les habitants du pays, qui sont trop peu éclairés pour en avoir prévu les conséquences : je veux parler des changements successifs observés dans la dureté de ces pierres et dans l'odeur qu'elles exhalaient ; changements qui, au rapport des témoins, [...] se sont opérés dans l'espace de quelques jours après l'explosion du météore ; changements dont j'ai moi-même observé très sensiblement les traces en cassant des morceaux de dimensions différentes ; et ce nouveau rapprochement des témoignages et des faits ne sert qu'à montrer entre eux un nouvel accord.

Ainsi toutes les preuves, soit physiques, soit morales, qu'il a été possible de recueillir, se concentrent et convergent pour ainsi dire vers un point unique ; et si l'on considère la manière dont nous avons été conduits, par la comparaison des témoignages, au lieu de l'explosion, le nombre de renseignements pris sur les



Les représentations les plus fantaisistes de l'origine des météorites ont été imaginées : ici des canons projettent des pierres, que le personnage du premier plan tente de déterrer.

lieux, et leur accord avec ceux qui avaient été recueillis à dix lieues de là, la multitude des témoins, leur caractère moral, la ressemblance de leurs récits et leur coïncidence parfaite, de quelque part qu'ils soient venus, sans qu'il ait été possible de découvrir à cet égard une seule exception, on en conclura sans le moindre doute que le fait sur lequel ces preuves se réunissent est réellement arrivé, et qu'il est tombé des pierres aux environs de L'Aigle, le 6 floréal, an 11.

Alors l'ensemble des témoignages donnera de ce phénomène la description suivante.

L'HISTOIRE RECONSTITUÉE

Le mardi 6 floréal an 11, vers une heure après midi, le temps étant serein, on aperçut de Caen, de Pont-Audemer et des environs d'Alençon, de Falaise et de Verneuil, un globe enflammé, d'un éclat très brillant et qui se mouvait dans l'atmosphère avec beaucoup de rapidité. Quelques instants après, on entendit à L'Aigle et autour de cette ville, dans un arrondissement de plus de trente lieues de rayon, une explosion violente qui dura cinq ou six minutes. Ce furent d'abord trois ou quatre coups semblables à des coups de canon, suivis d'une espèce de décharge qui ressemblait à une fusillade ; après quoi on entendit comme un épouvantable roulement de tambours. L'air était tranquille et le ciel serein, à l'exception de quelques nuages, comme on en voit fréquemment.

Ce bruit partait d'un petit nuage qui avait la forme d'un rectangle et dont le plus grand côté était dirigé Est-Ouest.

Il parut immobile pendant tout le temps que dura le phénomène ; seulement les vapeurs qui le composaient s'écartaient momentanément de différents côtés par l'effet des explosions successives. Ce nuage se trouva à peu près à une demi-lieue au Nord-Nord-Ouest de la ville de L'Aigle ; il était très élevé dans l'atmosphère ; car les habitants de la Vassolerie et de Boislaville, hameaux situés à plus d'une lieue de distance l'un de l'autre, l'observèrent en même temps au-dessus de leurs têtes.

Dans tout le canton sur lequel ce nuage planait, on entendit des sifflements semblables à ceux d'une pierre lancée par une fronde, et l'on vit en même temps tomber une multitude de masses solides exactement semblables à celles que l'on a désignées sous le nom de pierres météoriques. [...]

Je me suis borné dans cette relation à un simple exposé des faits ; j'ai taché de les voir comme tout autre les aurait vus, et j'ai mis tous mes soins à les présenter avec exactitude. Je laisse à la sagacité des physiciens les nombreuses conséquences que l'on peut en déduire, et je m'estimerai heureux s'ils trouvent que j'ai réussi à mettre hors de doute un des plus étonnants phénomènes que les hommes aient jamais observés.»

Marcel WEYANT est géologue et chargé de recherches au CNRS, à l'Université de Caen.

Le texte intégral de J.-B. Biot a été réédité dans la revue *Patrimoine normand* (n°3, juin-juillet 1995, Éditions Heimdal).

Fibres et confitures

La récupération des pectines par cuisson-extrusion.

Le spectre de la confiture qui ne prend pas hante les cuisinières et les cuisiniers dès l'hiver, quand se préparent les marmelades d'oranges : parfois le jus reste jus, au lieu de former la masse semi-solide attendue. Comment éviter cette Berezina culinaire ? Au Centre INRA de Nantes, Jean-François Thibault, Catherine Renard, Monique Axelos et Marie-Christine Ralet répondent à cette question, mais leur objectif et leur intérêt sont surtout industriels : ils montrent que la technique de cuisson-extrusion utilisée notamment pour préparer les petits biscuits pour apéritifs permet de récupérer une grande quantité de pectine, c'est-à-dire de la protéine gélifiante, de pulpes de citrons, d'oranges, de betteraves...

L'échec occasionnel des confitures semble paradoxal : les pectines sont des molécules qui, associées à la cellulose et à d'autres polysaccharides (de longues molécules formées par l'enchaînement de sucres simples), composent les parois végétales de la plupart des végétaux ; seules les céréales n'en comportent pas. Pourquoi ne parvient-on pas toujours à les extraire ? Parce que le chauffage modéré auquel on procède afin de ne pas évaporer les arômes volatils des fruits ne dissocie pas bien les parois cellulaires ; les pectines sont présentes, mais elles ne sont

pas libres et, de ce fait, ne s'associent pas en un réseau qui occupe tout le volume de la solution, formant un gel.

Industriellement un problème différent se pose : les résidus de la pression des pommes, lors de la fabrication du jus de pommes ou du cidre, les pulpes de citrons et d'oranges qui proviennent de la préparation des jus de fruits, ou, enfin, les pulpes de betteraves, après l'extraction du sucre, laissent une quantité considérable de fibres végétales, qu'on souhaiterait valoriser. Classiquement on récupère les pectines à partir de ces fibres en les traitant à l'acide, à chaud : on détache ainsi des pectines, que l'on doit ensuite purifier. La matière produite sert de gélifiant, d'épaississant ou d'enrobage des chips, et on envisage de l'utiliser pour dépolluer les eaux usées (les pectines se lient fortement aux ions métalliques qui polluent ces eaux).

Toutefois l'extraction à l'acide a plusieurs inconvénients : elle risque de dégrader les molécules de pectine, en coupant les liaisons entre les sucres constitutifs ou en modifiant les groupes chimiques portés par les sucres et responsables des propriétés de gélification, et elle pollue.

À Nantes, les physico-chimistes, qui étudient depuis plusieurs années la cuisson-extrusion pour le filage des viandes ou le traitement de l'amidon, ont

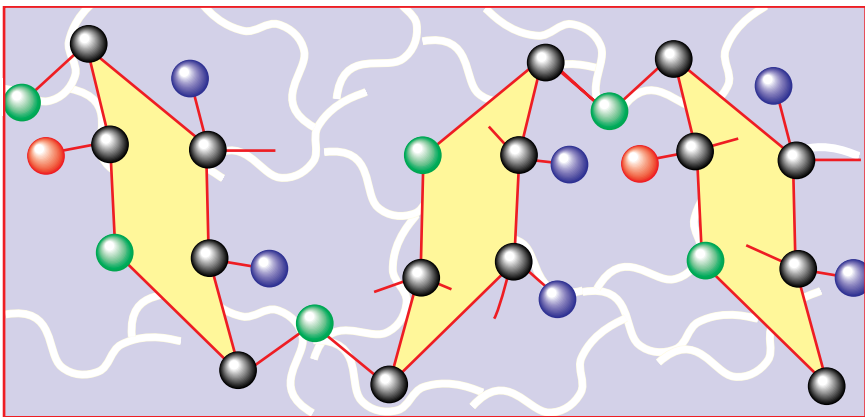
eu l'idée de reprendre le processus pour traiter les pulpes de fruits et extraire les pectines. Dans les appareils de cuisson-extrusion utilisés dans l'industrie agro-alimentaire (la méthode provient de l'industrie des polymères), une ou plusieurs vis d'Archimède à pas variable cisailent la matière en la convoyant vers une buse de sortie, où a lieu une détente rapide ; sur la longueur de l'appareil, plusieurs zones de chauffage portent la matière à des températures contrôlées.

Quelles matières végétales pouvaient fournir des pectines susceptibles de gélifier ? Les propriétés des pectines dépendent de leur composition chimique, qui varie selon les végétaux : si les pectines des citrons verts, des citrons, des oranges ou des pommes font de bons gélifiants, celles des pulpes de betteraves ne gélifient pas, mais permettraient de complexer les ions lourds ou de produire des gels superabsorbants après modification chimique. Les différences de propriétés des pectines tiennent surtout à leur méthoxylation : les sucres dont l'enchaînement forme le squelette de la molécule portent des quantités variées de groupes latéraux méthoxy $-COOCH_3$, qui s'associent en milieu acide. Cette association assure la prise en gel. En conséquence, toute extraction destinée à produire des pectines gélifiants ou épaississants doit respecter ces chaînes latérales.

La cuisson-extrusion a plusieurs atouts : non seulement l'équipement est bien plus simple et bon marché que les installations d'extraction classique (les vis testées à Nantes mesurent un mètre de long seulement), mais le traitement est rapide et automatisable. Elle procure autant de pectines que le traitement classique, à l'acide et respecte la composition des molécules. Les chercheurs nantais ont observé que, lors de la cuisson-extrusion des matières végétales, le cisaillement est le facteur principal ; en évitant le chauffage, on respecte les pectines.

Comment tirer parti de ces résultats dans votre cuisine ? À froid, séparez le jus des fruits de la matière fibreuse et broyez finement cette matière, qui renferme les pectines (en l'absence d'un cuiseur-extrudeur, utilisez le robot-coupe) ; puis ajoutez la matière broyée au jus et cuisez doucement. Enfin, comme les molécules de pectine risquent de se lier plutôt aux atomes de cuivre de votre bassine qu'entre eux, ne laissez pas refroidir votre confiture dans la bassine : faites la plutôt prendre dans des récipients en verre.

Hervé THIS



Les pectines sont de longues molécules composées par l'enchaînement de sucres simples (hexagones déformés). Les atomes de carbones, d'oxygène et les groupes hydroxyle (OH) sont respectivement en noir, vert et bleu ; les groupes méthoxy $-COOH_3$ (représentés par des boules rouges) assurent des liaisons entre molécules adjacentes, ce qui assure la prise en gel des confitures. En fond, on voit un cuiseur-extrudeur à deux vis, ouvert.

Prochain rendez-vous *France Info* et *Pour la Science*, le 27 février 1995, avec la chronique *Info Sciences* de Marie-Odile Monchicourt.