

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