

La chimie et l'origine de la vie

André Brack* *directeur de recherche*

Chemistry and the origin of life

Import of extraterrestrial prebiotic organic molecules gains increasing credit with the discovery of chiral amino acids in the Murchison meteorite and with the analysis of a large collection of micrometeorites extracted from Antarctic ice. Plausible precursors of membranes and of catalytic peptides have been reconstructed in the laboratory. A precellular RNA world using RNA for both information transfer and chemical catalysis is well documented. However, chemists failed to reproduce the formation of substantial amounts of RNA ribose under prebiotic conditions. Some chemists are searching for ribose analogs. Others are now tempted to consider that primitive replicating systems must have used simpler autocatalytic informational molecules. The clues which may help chemists to understand the emergence of life on Earth about 4 billion years ago may still be present in the Martian sub-surface.

Autocatalyse, chimie, origine, vie.

Autocatalysis, chemistry, life, origin.

La 11e Conférence internationale sur les origines de la vie, qui s'est tenue à Orléans du 7 au 12 juillet, a permis de mesurer le chemin qui restait à parcourir avant de pouvoir proposer une explication argumentée de l'origine de la vie. L'impression générale est que le nœud de l'énigme, c'est-à-dire le passage de la matière organique inanimée aux premiers systèmes vivants est maintenant bien cerné.

En amont, la production de petites molécules organiques ne pose plus de problèmes majeurs dans la mesure où l'on dispose maintenant de trois sources possibles : l'atmosphère primitive (méthane ou dioxyde de carbone), les sources chaudes sous-marines et l'espace. L'idée d'une importation de molécules organiques extraterrestres gagne du terrain grâce à l'étude des comètes et à l'analyse des météorites et des micromé-

téorites. Dans ce contexte, les chimistes attendent avec impatience la mission Rosetta qui procédera en 2011 à l'analyse *in situ* du noyau et des poussières de la comète Wirtanen. Les acides aminés analysés récemment dans la météorite de Murchison apportent un éclairage nouveau sur l'homochiralité des protéines et sur celle des systèmes vivants en général. Les acides α -aminés disubstitués comme l'isovaline, l' α -méthyl norvaline et l' α -méthyl isoleucine présentent des excès énantiomériques de l'ordre de 10 % alors que les acides α -aminés monosubstitués sont présents sous forme de mélanges racémiques. Cette observation suggère une synthèse asymétrique d'acides aminés extraterrestres, peut-être sous l'influence de la radiation synchrotron polarisée circulairement d'une étoile à neutrons, vestige d'une supernova. Les acides aminés monosubstitués racémiseraient dans l'espace par arrachement du proton $C\alpha$, une réaction impossible avec les acides aminés disubstitués.

Une intéressante collection de micrométéorites a été récemment extraite de la glace bleue de l'Antarctique et analysée. Dans la gamme allant de 50 à 100 μm , environ 80 % des grains renferment de la

matière organique (7 % de carbone) et n'ont pas fondu lors de la traversée atmosphérique. Des acides aminés, dont l'acide α -amino isobutyrique, ont été détectés dans ces micrométéorites de l'Antarctique. On peut estimer à environ 10^{20} g la quantité de carbone apportée par ces grains cométaires et astéroïdaux à la surface de la Terre pendant la phase de bombardement intense. Cette quantité représente environ 100 fois la quantité de carbone engagée dans la biomasse actuelle. L'exemple récent de la météorite martienne ALH 84001, abusivement médiatisée, confirme la très grande richesse de ces petits corps extraterrestres. L'extraordinaire précision atteinte par les sondes ioniques et électroniques actuellement disponibles permet de mieux décrypter les messages qu'ils contiennent. La matière organique et les carbonates qu'ils renferment, même sans être aussi spectaculaires que d'hypothétiques microbactéries fossilisées, portent néanmoins la signature bien réelle d'événements très anciens. La microanalyse fine des météorites et micrométéorites est maintenant possible. Elle doit être développée.

En aval de l'origine de la vie, le dernier ancêtre commun n'a pas encore

* Centre de Biophysique Moléculaire, UPR 4301, CNRS, rue Charles Sadron, 45071 Orléans Cedex 2.
Tél. : 02.38.51.55.76. Fax : 02.38.63.15.17.

été identifié malgré des données phylogéniques de plus en plus abondantes. La « température » du dernier ancêtre commun, mésophile ou hyperthermophile, est toujours le centre d'un débat animé et indécis. Cet ancêtre cellulaire serait peut-être vieux de quelques 3,8 milliards d'années. On savait que la vie microbienne (cyanobactéries filamenteuses, vraisemblablement photoautotrophes) était déjà diversifiée il y a 3,465 milliards d'années. On savait également que le sédiment d'Isua, vieux de 3,8 milliards d'années, présente une teneur en ^{13}C ($\delta^{13}\text{C} = -13\text{‰}$) suggérant une origine biologique. En effet, les molécules biologiques sont caractérisées par des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ comprises entre -20 et -30 ‰ alors que les valeurs correspondantes pour les carbonates marins se situent entre -10 et 0 ‰. Une analyse récente des sédiments marins associés à des dépôts de fer rubané vieux de 3,872 milliards d'années fournit une valeur de -40 ‰ tout à fait compatible avec une origine biologique.

L'étau se resserre donc. Mais à quoi ressemblait cet ancêtre commun ? A une cellule associant acides nucléiques et protéines à l'intérieur d'une membrane ? C'est le système que les chimistes ont essayé de modéliser pendant de longues années. Aujourd'hui, ils disposent de bons modèles expérimentaux pour les membranes primitives, notamment grâce aux travaux de Guy Ourisson. Les peptides catalytiques ont également été modélisés en laboratoire. La difficulté majeure est venue de l'ARN et plus parti-

culièrement de son sucre, le β -D-ribofuranose pour lequel il n'existe aucune méthode de synthèse simple, donc plausible. Les chimistes se sont alors inspirés de la fonction primordiale de la cellule qui est, très schématiquement, de transférer une information chimique de manière autonome en faisant quelques erreurs permettant au système d'évoluer. Dans ce nouveau contexte, il faut identifier la molécule qui porte l'information et le dispositif qui permet son transfert. Dans la cellule, les deux fonctions sont séparées et assurées par des molécules différentes. Faire porter les deux fonctions par une même molécule présenterait l'avantage d'une plus grande simplicité. L'ARN est un bon candidat pour cumuler les deux fonctions car l'éventail de ses propriétés catalytiques (ribozymes) s'élargit sans cesse. Toutefois, sa formation et son accumulation sur la Terre primitive demeurent peu plausibles. Une voie de contournement intéressante a été empruntée par Albert Eschenmoser. Elle consiste à remplacer le furanose récalcitrant par le pyranose beaucoup plus docile. Il faut maintenant refaire le monde des pyranosyl-ARN et Eschenmoser s'y emploie avec ardeur et brio.

L'ARN transfère l'information de sa séquence par un mécanisme qui s'apparente à l'autocatalyse chimique. Julius Rebek ne garde de l'ARN que l'appariement des bases pour assurer le transfert par autocatalyse d'une information portée par un dimère de type A-B. Günter von Kiedrowski abandonne

même l'appariement des bases et décrit des systèmes autocatalytiques divergents pour lesquels le complexe ternaire [A-B/A,B] déplace le complexe binaire [A-B, A-B] nouvellement formé.

Voilà la cellule, monstre de complexité, réduite à un système autocatalytique capable d'évoluer. L'autocatalyse est particulièrement séduisante car elle devrait permettre d'amplifier un excès énantiomérique, même léger, jusqu'à l'homochiralité. Vie et chiralité ont vraisemblablement été étroitement associées dès l'origine. Résoudre les deux énigmes simultanément serait particulièrement judicieux.

Voilà l'énigme à la portée des chimistes organiciens. La vie primitive n'était vraisemblablement pas une cellule à la complexité redoutable et redoutée, ni même un ARN, mais peut-être plus simplement une molécule à plusieurs sites A-B-C... capable de transférer son architecture en faisant de temps à autre de petites erreurs.

La chimie était à l'origine de la vie. Les chimistes se doivent donc d'en découvrir les mécanismes primordiaux sous peine de voir la solution apportée par d'autres corporations. Des chimistes organiciens de renom se sont déjà lancés dans l'aventure prébiotique. Forte de ces renforts, notre communauté devrait rapidement remporter des succès et gagner ses lettres de noblesse, à condition, toutefois, que tous les chimistes concernés pratiquent une chimie sérieuse et... ne vendent pas la peau de l'ours avant de l'avoir tué !

Nouvelles coordonnées de la Société Française de Chimie

Tél. : 01.40.46.71.60.

Fax : 01.40.46.71.61.