

Sur proposition de l'UNESCO, 2011 a été déclarée Année Internationale de la Chimie (AIC) par la 63^e Assemblée générale des Nations Unies. 2011 a été choisie par l'UNESCO en particulier en raison du centenaire du Prix Nobel de Chimie de Marie Curie, scientifique emblématique de la 1^{re} partie du 20^e siècle. À la Société Française de Physique, nous n'oublions pas que Marie Curie était autant physicienne que chimiste. Elle a fait partie de la SFP et a été membre du Bureau de la SFP – la 1^{re} femme au Bureau dès le début du 20^e siècle ! – cette même époque qui a vu l'émergence de la mécanique quantique, jalon essentiel dans l'interprétation des liaisons et réactions chimiques. Depuis cette époque, les recherches en physique et en chimie sont restées intimement liées, avec de multiples collaborations entre les chercheurs des deux disciplines.

La Société Française de Physique est très heureuse de s'associer à l'AIC 2011, et a invité le professeur Jean-Marie Lehn, prix Nobel de chimie 1987, à nous présenter dans *Reflets de la physique* une vue générale de cette science, qui intervient partout dans notre monde.

Martial Ducloy

Vers la matière complexe : Chimie ? Chimie !



Jean-Marie Lehn
Prix Nobel de chimie 1987

Au commencement fut le Big Bang, et la physique régna. Puis la chimie vint, aux températures plus clémentes ; les particules formèrent des atomes, qui s'unirent pour donner naissance à des molécules de plus en plus complexes, qui s'associèrent à leur tour en agrégats organisés et en membranes, dessinant les cellules primitives d'où émergera la vie [1]. De la matière divisée à la matière condensée, à la matière organisée, à la matière vivante, et jusqu'à la matière pensante, l'Univers a évolué vers une complexification de la matière, par auto-organisation [2, 3] sous la pression de l'information.

Comment la matière devient-elle et est-elle devenue complexe est la question la plus fondamentale posée à la science, puisqu'elle demande comment (et pourquoi) l'évolution de l'Univers a donné naissance à un organisme capable de se poser une telle question et de se donner les moyens d'y répondre en créant la science, une entité capable, dans un raccourci radical, d'interroger l'Univers même dont il est issu !

Ce processus d'auto-organisation a opéré d'une part, à grande échelle, celle du cosmos, conduisant à la structuration de l'Univers et, d'autre part, à l'échelle de la matière moléculaire. Comme nous l'apprend la cosmologie, l'auto-organisation de l'Univers résulte de l'opération de forces gravitationnelles sur des inhomogénéités initiales en densité ou en vitesse d'expansion au tout début de sa création [4]. L'auto-organisation de la matière moléculaire, non vivante, vivante et pensante [2, 3], peut être considérée comme résultant de l'action des forces électromagnétiques opérant sur une infinie diversité de combinaisons structurales possibles. L'auto-organisation du cosmos est ainsi due à la gravitation et celle de la matière moléculaire à l'interaction électromagnétique.

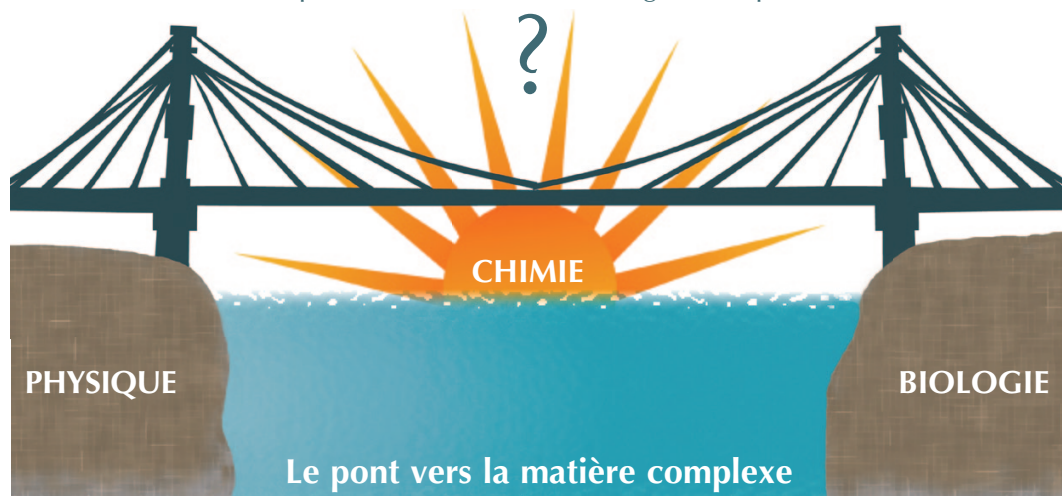
La chimie, science de la structure et de la transformation de la matière, joue un rôle majeur dans ce contexte et est au cœur du monde biologique, le niveau de complexité le plus élevé que nous connaissons. Elle établit le pont entre les lois de l'Univers et les règles de la vie (*figure ci-contre*).

Avant l'évolution biologique, une évolution prébiotique purement chimique a eu lieu, par action des forces électromagnétiques intra- et intermoléculaires, opérant une sélection sur la diversité des structures moléculaires et conduisant à une complexification progressive de la matière, du monde non vivant au monde vivant, sous la pression de l'information moléculaire.

La chimie s'efforce de maîtriser la combinaison et la recombinaison des atomes pour former des molécules de plus en plus complexes. Pour ce faire elle utilise les briques fondamentales de la matière, les atomes définissant les éléments qui constituent le Tableau Périodique de Mendeleïev. Notons que ce tableau, issu de la chimie, représente une des plus grandes découvertes de la science, puisqu'il nous dit de quoi est formée toute la matière observable (non noire !), de la planète Terre jusqu'aux confins de l'Univers, cette matière dont nous sommes faits nous-mêmes, ces 5 % de la matière totale de l'Univers, "The Matter that Matters", comme j'aime à la définir !

LA QUESTION PRIMORDIALE

Comment la matière devient-elle complexe de la particule élémentaire à l'organisme pensant



Durant ces 150 dernières années, la chimie moléculaire a développé un puissant arsenal de procédés pour créer ou rompre des liaisons covalentes entre atomes de façon contrôlée et précise, et les a utilisés pour construire de nouvelles molécules et de nouveaux matériaux de plus en plus sophistiqués, présentant une gamme de propriétés originales d'un grand intérêt, autant au fondamental qu'à l'appliqué.

Par-delà la chimie moléculaire basée sur la liaison covalente, s'est développée la chimie supramoléculaire qui édifie des systèmes chimiques plus complexes à partir de composants interagissant *via* des forces intermoléculaires non covalentes [1, 5]. Elle a ouvert la voie à la mise en œuvre du concept d'information moléculaire en chimie, dans le but d'arriver progressivement à contrôler les caractéristiques spatiales (structurales) et temporelles (dynamiques) de la matière, ainsi que son auto-organisation [1-3]. Elle explore le stockage de l'information au niveau moléculaire dans les caractéristiques structurales (géométriques et électroniques) des molécules, et sa lecture, son transfert et son traitement au niveau supramoléculaire *via* des algorithmes interactionnels opérant à travers les processus de reconnaissance moléculaire. Elle est donc aussi science de la matière informée. L'exemple le plus frappant en est celui du génome qui définit les organismes vivants. Cette information génétique s'écrit en une longue séquence de quatre lettres moléculaires, et se lit par appariement de ces lettres en un système binaire de deux ou trois interactions supramoléculaires.

Une nouvelle direction s'est dessinée récemment, concernant la mise au point de systèmes chimiques moléculaires ou supramoléculaires dynamiques, capables de modifier leur constitution en réponse aux sollicitations de *stimuli* physiques ou d'effecteurs chimiques. Elle conduit à l'émergence d'une chimie adaptative et évolutive.

La chimie trace ainsi les voies et fournit les moyens permettant de révéler progressivement la manière dont s'opère la complexification de la matière par auto-organisation. En synergie avec les champs correspondants de la physique et de la biologie, elle conduit vers une science de la matière complexe, informée et évolutive.

Le but est, au fur et à mesure, de découvrir, comprendre et mettre en œuvre les lois qui gouvernent l'évolution de la matière, de l'inanimé à l'animé, et par là, d'acquérir la capacité de créer des formes nouvelles de la matière complexe. Le champ de la chimie est l'univers de toutes les espèces et de toutes les transformations possibles de la matière. Celles effectivement réalisées dans la nature ne forment qu'un seul monde parmi tous les mondes possibles en attente d'être créés. L'essence de la chimie n'est pas de découvrir seulement mais de créer, surtout. Le livre de la chimie n'est pas à lire seulement, il est à écrire ! La partition de la chimie n'est pas à jouer seulement, elle est à composer !

La Chimie, Art de la Matière ?

Pour finir sur une note un peu provocatrice, on pourrait dire que la Chimie est à la Physique ce qu'un quatuor de Beethoven est aux lois de l'acoustique...*

Jean-Marie Lehn

Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires (ISIS), Strasbourg

Références

- 1• J.-M. Lehn, *Supramolecular Chemistry: Concepts and Perspectives*, VCH, Weinheim (1995).
- 2• M. Eigen, "Self-organization of matter and the evolution of biological macromolecules", *Naturwissenschaften* **58** (1971) 465 ; *Self-Organizing Systems*, F.E. Yates (ed.), Plenum, New-York (1987).
- 3• J.-M. Lehn, "Toward complex matter. Supramolecular chemistry and self-organization", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **99** (2002) 4763 ; J.-M. Lehn, "Toward self-organization and complex matter", *Science*, **295** (2002) 2400.
- 4• M.J. Rees, *Our Cosmic Habitat*, Princeton University Press, Princeton, N.J. (2003) ; P. Coles, *Cosmology: A Very Short Introduction*, Oxford Paperbacks (2001) ; P.G. Ferreira, "The cosmic microwave background", *Physics World* **16**, n°4 (avril 2003), p. 27.
- 5• *Comprehensive Supramolecular Chemistry*, J.L. Atwood, J.E.D. Davies, D.D. MacNicol, F. Vögtle, J.-M. Lehn (eds), Pergamon, Oxford (1996).

*En toute amitié (respectueuse) !