

La nature, la meilleure des chimistes ?

La nature ne cesse de nous étonner et de nous éblouir. Malgré nos avancées techniques fulgurantes depuis l'ère industrielle, certaines créations de l'univers restent aujourd'hui des mystères pour nos modestes cerveaux d'homo sapiens, comme en attestent la matière noire et ces terrifiants poissons-pokémons des abysses.

Outre ces curiosités, on ne peut qu'être admiratif face à son harmonie et sa longévité. Depuis 3,8 milliards d'années déjà, la nature développe des solutions pour s'adapter aux changements d'environnement et maintenir la vie, organisant et optimisant ses écosystèmes mieux qu'un tiroir de Marie Kondo. Elle résout des problèmes complexes et apporte de nouvelles fonctionnalités à travers l'évolution et la sélection naturelle. Ainsi, on peut visualiser notre planète comme un immense laboratoire de R&D à ciel ouvert.

Prendre le vivant comme modèle

Dans notre contexte actuel de crise environnementale, les questions de durabilité deviennent une priorité, et s'inspirer de la nature s'impose comme une évidence. Plus encore, nous devrions nous dépêcher de le faire, car nous faisons également face à une crise de la biodiversité, nous faisant perdre une grande partie du précieux savoir accumulé !

La nature résout ses problèmes plus astucieusement que nous. Elle a misé depuis le départ sur le développement durable : circularité, énergies renouvelables, utilisation de ressources abondantes... Elle réalise la plupart de ses réactions à température et pression ambiantes, en somme de l'authentique chimie douce, pour aboutir à des systèmes et des matériaux ultra performants. Alors, lorsqu'un problème est constaté, la première question à se poser n'est-elle pas : « Est-ce que la nature ne l'aurait pas déjà résolu ? ».

Le biomimétisme est une démarche spécifique de la bio-inspiration, qui, en plus de prendre le vivant comme modèle, a pour objectif de répondre aux défis d'un développement soutenable. Ainsi, des solutions durables déjà développées dans la nature sont transposées à des technologies humaines. Cette démarche permet de répondre à des problématiques du quotidien dans de nombreux domaines : l'architecture, le design, le transport, l'économie, mais aussi... la chimie !

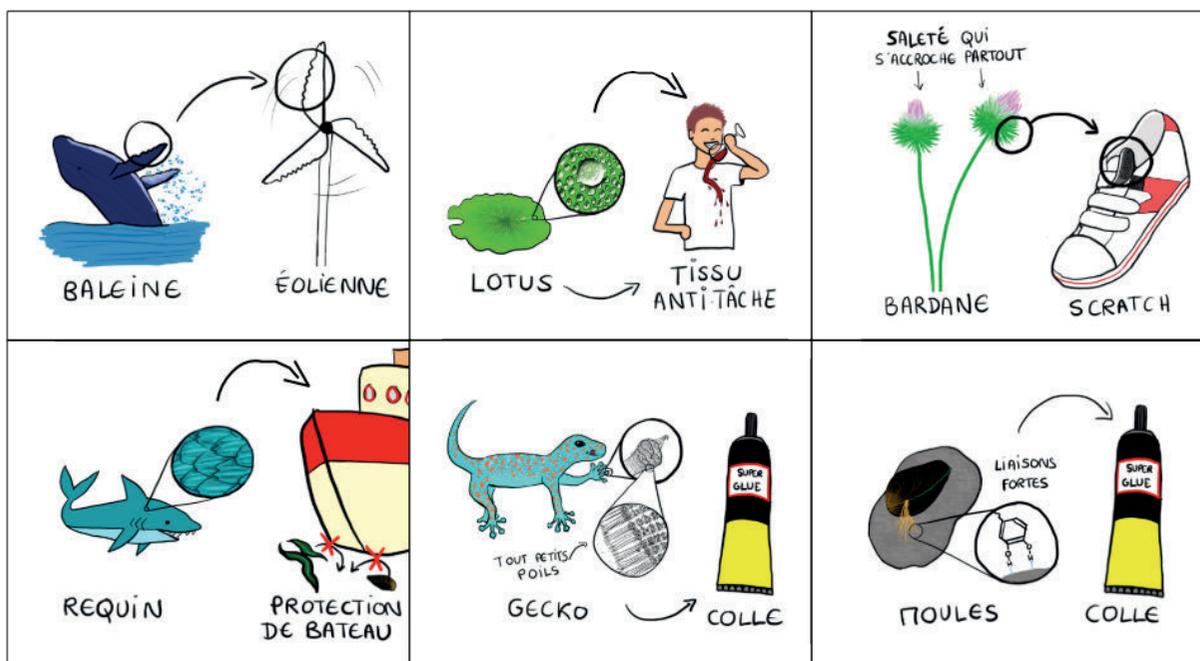
On peut différencier trois grands types de biomimétisme : forme, matériaux et procédés, ou écosystémique [1]. Parmi les exemples les plus connus [2-5], des adhésifs naturels peuvent être mimés par leur forme, comme les pattes de gecko [6], ou par leur chimie, comme le byssus des moules [7] (voir figure). Encourager et faciliter cette démarche, tel est le défi du Cee-bios, une société coopérative à intérêt collectif, dont le but est d'accélérer la transition écologique et sociétale par le biomimétisme [8]. Cette structure mène de nombreuses recherches, aussi bien dans le domaine des matériaux du vivant que pour développer de nouvelles méthodologies, outils et ressources, pour faciliter l'appropriation de la démarche biomimétique elle-même. Elle est également impliquée dans des missions d'enseignement et d'élaboration de cursus dans l'enseignement supérieur. Ceebios accompagne aussi des entreprises qui souhaiteraient trouver des solutions à leurs

problématiques en s'inspirant du vivant. Enfin, un programme d'accélération de la R&D biomimétique, appelé Biomig, est lancé. Il a, entre autres, pour vocation de créer une immense base de données des matériaux du vivant, pour trouver des sources d'inspiration pour répondre à des fonctionnalités données [9].

Recherche fondamentale et réelles innovations

Ainsi, la première étape pour récupérer le savoir de la nature, c'est de la comprendre. Le rôle de la recherche fondamentale est alors crucial et de nombreux laboratoires académiques s'investissent dans cette démarche. Parmi les exemples les plus marquants de chimie bio-inspirée, on peut citer la découverte des procédés sol-gel par Jacques Livage qui permettent de réaliser des matériaux vitreux ou céramiques en conditions douces, de la même manière que les microalgues diatomées forment leur squelette de verre [10]. Également, les travaux de Marc Fontecave sur les relations structures-propriétés des métalloprotéines ont eu un impact considérable dans le domaine de la catalyse chimique [11]. Les recherches de Carole Duboc, directrice de recherche au CNRS, s'inscrivent dans cette thématique. Celle-ci est la coordinatrice du LabEx Arcane à Grenoble, qui regroupe sept laboratoires de chimie. Les enzymes sont des catalyseurs fréquemment érigés en modèle dans la démarche biomimétique, car prodigieusement efficaces en conditions douces, mais difficiles à copier telles quelles. L'idée est alors de comprendre le mécanisme pour imiter les propriétés structurales et électroniques clés permettant la réaction, et ainsi mimer l'activité de l'enzyme sans avoir à reproduire fidèlement la structure du site actif complexe. Ces recherches ouvrent des applications pour l'environnement et l'énergie, telles que la production de dihydrogène ou la valorisation chimique du CO₂. Pour décrire cette relation d'échange bilatérale nature-chercheur recherchée au sein d'Arcane, le terme le plus adéquat est celui de « bio-driven chemistry » [12].

La démarche du biomimétisme n'est pas nouvelle et a déjà inspiré de belles innovations à l'échelle industrielle. En chimie, les acteurs de la cosmétique semblent particulièrement en avance en la matière. Parmi les pionniers, on retrouve l'Oréal, le groupe Pierre Fabre ou encore Mibelle Biochemistry. Le slogan de Mibelle Biochemistry est représentatif de son implication dans le domaine : « Inspired by nature, realized by science » [13]. Stéphane Poigny, directeur R&D et docteur en chimie organique, explique comment des fonctionnalités identifiées dans la nature ont pu être réadaptées à des applications cosmétiques, telles que la protection contre les rayonnements UV, pour laquelle elle a développé des solutions variées : les mycosporines pour le monde marin notamment dans les algues nori, les dérivés de l'acide sinapique dans le cas des jeunes pousses de cresson, ou bien encore les caroténoïdes pour les microalgues des neiges... Ces anti-UV naturels se révèlent être des antioxydants efficaces, biodégradables et non toxiques pour l'environnement, et donc des principes actifs prometteurs pour les formulations cosmétiques [14].



Exemples d'applications de bio-inspiration dans la vie quotidienne.

Dans d'autres secteurs, la transition vers plus de bio-inspiration est aussi en route. Pour les matériaux, où de grandes quantités sont requises, la valorisation de déchets de l'agriculture est par exemple une voie prometteuse vers plus de durabilité et de biodégradabilité à moindre coût [15]. Cependant, il faudra faire attention à ne pas confondre bio-inspiration et simple utilisation de bioressources. Comme le dit Janine Benyus, pionnière du biomimétisme : « *Le biomimétisme ne repose pas sur ce que nous pouvons prendre dans la nature, mais sur ce que nous pouvons en apprendre* » [16].

Il reste encore énormément à faire dans le domaine de l'innovation autour du biomimétisme. En attestent les nombreuses startups prometteuses ayant émergé récemment, souvent à l'interface chimie/biologie. Cette année, le prix de l'inventeur de l'année a récompensé Claude Grison, chercheuse au CNRS, notamment pour ses travaux sur les écocatalyseurs. Après avoir identifié des plantes aux capacités exceptionnelles d'accumulation de zinc sur un ancien site industriel, elle a fondé la startup Bioinspir qui utilise ces plantes gorgées en métaux pour réaliser de nombreuses réactions chimiques. Les micro-organismes sont souvent à l'honneur dans les projets d'innovation : bactéries bioluminescentes pour l'éclairage [17], colorants à partir d'enzymes microbiennes [18], biopolymères générés en bioréacteurs [19], matériaux à base de champignons [20]. 100 % basée sur la bio-inspiration, l'entreprise Tissium s'est inspirée de la compréhension des mécanismes d'adhésion des vers tubicoles et d'autres organismes marins pour développer des colles chirurgicales [21].

Ainsi, comme Stéphane Poigny, directeur R&D de Mibelle Biochemistry, le souligne : « *Il ne faut pas opposer la chimie et la nature, mais plutôt s'inspirer de la nature pour aller vers une chimie moins impactante* ».

La bio-inspiration, un véritable levier pour la chimie

Pour les jeunes chimistes qui voudraient suivre une voie plus en harmonie avec la nature et plus viable, il est possible de se former à la démarche biomimétique à travers différents cursus : Master en biotechnologie [22], en matériaux bio-inspirés [23], en « Nature inspired design » [24], ou en ingénierie écologique [25], formations délivrées par Ceebios et l'Institut des futurs souhaitables [26].

Enfin, si le biomimétisme vous fascine, un événement entièrement dédié au biomimétisme se tient tous les ans en octobre à la Cité des sciences et de l'industrie : la Biomim'expo ! Un salon qui regroupe tous les acteurs du biomimétisme, académiques comme industriels, dans tous les domaines (sciences, art, architecture, économie). Un rendez-vous à ne pas manquer !

Louise BRELOY,

Post-doctorante à l'ESPCI Paris-Université PSL

* louise.breloy@gmail.com

[1] G. Chapelle, M. Decoust, *Le vivant comme modèle : la voie du biomimétisme*, Albin Michel, 2015.

[2] <https://whalepowercorp.wordpress.com>

[3] www.velcro.fr/about-us/history

[4] S.S. Latthe, C. Terashima, K. Nakata, A. Fujishimaef, Superhydrophobic surfaces developed by mimicking hierarchical surface morphology of lotus leaf, *Molecules*, 2014, 19(4), p. 4256-83.

[5] A. Hoover, Sharks provide inspiration for ship coatings, *Extracts Spring*, 2005, 10(1).

[6] www.buygeckskin.com

[7] B.P. Lee, P.B. Messersmith, J.N. Israelachvili, J. H. Waite, Mussel-inspired adhesives and coatings, *Ann. Rev. Mater. Res.*, 2011, 41, p. 99-132.

[8] <https://ceebios.com>

[9] Y. Saikawa, K. Hashimoto, M. Nakata, M. Yoshihara, K. Nagai, M. Ida, T. Komiya, The red sweat of the hippopotamus, *Nature*, 2004, 429, 363.

[10] J. Livage, Les procédés sol-gel : de l'art du feu à la chimie douce, *L'Act. Chim.*, oct. 1997, 10, p. 4-10.

[11] M. Fontecave, *Chimie des processus biologiques : une introduction*, Collège de France/Fayard, 2009.

[12] <https://arcane.univ-grenoble-alpes.fr>

[13] <https://mibellebiochemistry.com>

[14] <https://mibellebiochemistry.com/products>

[15] T. Dey, T. Bhattacharjee, P. Nag, Ritika, A. Ghata, A. Kuila, Valorization of agro-waste into value added products for sustainable development, *Bioresour. Technol.*, 2021, 16, 100834

[16] J. M. Benyus, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, 1997.

[17] www.glowee.com

[18] www.pili.bio

[19] <https://polymaris.com>

[20] www.fungus-sapiens.com

[21] <https://tissium.com>

[22] www.supbiotech.fr/ecole-ingenieurs-biotechnologies

[23] <https://formation.univ-pau.fr/fr/accueil.html>

[24] <https://formation-continue.ensci.com/developpement-durable/nature-inspired-design>

[25] www.blue-eco-formations.com/formation-biomimetisme

[26] www.futurs-souhaitables.org/nos-formations