

Biomimétisme : le vivant, source d'innovation

par

■ **Kalina Raskin** ■

Directrice générale du CEEBIOS
(Centre européen d'excellence en biomimétisme de Senlis)

■ **Antonio Molina** ■

Président du CEEBIOS

En bref

Le biomimétisme (*bio* = vie, *mimesis* = imiter) est une stratégie d'innovation consistant à s'inspirer des organismes vivants pour faire évoluer les technologies et sociétés humaines vers plus d'efficacité : énergie, chimie douce, écomatériaux performants, écologie industrielle... En France, plus de cent soixante-dix laboratoires et quatre-vingts entreprises s'engagent dans le biomimétisme. Pour favoriser le succès de leur démarche au-delà de quelques réalisations pionnières, il faut construire des méthodologies génériques afin de garantir l'appropriation par les parties prenantes. Le Centre européen d'excellence en biomimétisme de Senlis (CEEBIOS) se propose de répondre à ces enjeux grâce au décloisonnement des disciplines, au rapprochement de la recherche fondamentale et de l'industrie, à la mobilisation des territoires et au développement de la formation. L'ambition est de positionner la France en pionnière du développement du biomimétisme comme outil de la transition écologique, réconciliant biodiversité, innovation et économie.

Compte rendu rédigé par Élisabeth Bourguinat

L'Association des Amis de l'École de Paris du management organise des débats et en diffuse les comptes rendus, les idées restant de la seule responsabilité de leurs auteurs. Elle peut également diffuser les commentaires que suscitent ces documents.

Séminaire organisé avec le soutien la Direction générale des entreprises (ministère de l'Économie et des Finances) et grâce aux parrains de l'École de Paris (liste au 1^{er} novembre 2017) :

Algoé¹ • ANRT • Be Angels • Carewan • CEA • Caisse des dépôts et consignations • Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris Île-de-France • Conseil régional d'Île-de-France • EDF • ENGIE • ESCP Europe • FABERNOVEL • Fondation Crédit Coopératif • Fondation Roger Godino • Groupe BPCE • Groupe OCP • HRA Pharma² • IdVectoR² • La Fabrique de l'Industrie • Mairie de Paris • MINES ParisTech • Ministère de l'Économie et des Finances – DGE • Ministère de la Culture – DEPS • PSA Peugeot Citroën • SNCF • Thales • UIMM • VINCI • Ylios

1. pour le séminaire Vie des affaires
2. pour le séminaire Ressources technologiques et innovation

Qu'est-ce que le biomimétisme ?

Antonio MOLINA : Le biomimétisme consiste à s'inspirer des solutions inventées par la nature pour développer des applications industrielles avec des coûts environnementaux et énergétiques bien moindres que ceux des approches classiques.

Si l'on comparait l'histoire de la vie sur Terre, apparue il y a 3,8 milliards d'années, à un voyage de Paris à Marseille, l'ère industrielle, qui a débuté il y a deux cents ans, correspondrait au dernier pas de ce voyage. La nature a eu le temps de développer des solutions beaucoup plus ingénieuses que celles de *l'homo sapiens*, et ce avec une grande économie de moyens. Les organismes vivants sont essentiellement constitués de quatre éléments, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, et ils tirent leur énergie presque exclusivement du soleil. Notre langage industriel est plus complexe, mais la nature dit bien davantage avec moins de mots et une syntaxe plus simple.

Jusqu'ici, les possibilités pour l'homme de s'inspirer de la nature étaient réduites, faute de moyens d'analyse permettant de comprendre de façon précise les solutions inventées par les organismes vivants. Depuis quelques années, on observe une croissance exponentielle des recherches et des articles publiés dans ce domaine. On a, par exemple, découvert récemment la composition de la colle de lierre, dont un seul gramme est capable de soutenir un poids de 20 tonnes... Les applications issues du biomimétisme sont donc en train de se multiplier.

Les domaines d'application

Kalina RASKIN : Voici quelques-unes des pistes en cours d'exploration.

L'énergie

Les questions liées à l'énergie sont cruciales pour tous les êtres vivants. Dans un contexte de réchauffement climatique, elles se posent à *l'homo sapiens* avec une acuité renouvelée, qu'il s'agisse de la diversification des sources d'approvisionnement, de l'optimisation de la consommation en fonction des saisons et des moments de la journée, ou encore du stockage de l'énergie.

Marc Fontecave, professeur au Collège de France et directeur d'un laboratoire de l'Université Pierre et Marie Curie, s'est inspiré des hydrogénases, des enzymes végétales ayant la capacité de séparer l'hydrogène et l'oxygène de l'eau à partir de l'énergie solaire, pour concevoir un processus de photosynthèse artificielle destiné à produire de l'hydrogène. Il a ensuite greffé des enzymes artificielles sur des structures très poreuses (initialement des nanotubes de carbone).

L'avantage de cette méthode par rapport aux technologies habituelles est que les catalyseurs qu'elle utilise sont abondants et bon marché. Son rendement est faible, mais ce n'est pas un problème si l'on peut démultiplier les surfaces à moindre coût. Sur un arbre, chaque feuille a un rendement énergétique faible, mais l'ensemble du feuillage représente une surface pouvant atteindre plusieurs hectares, ce qui représente alors un rendement considérable.

Les matériaux

Antonio MOLINA : Si nos os étaient massifs au lieu d'être poreux, nous aurions du mal à nous déplacer. Nous pouvons réduire fortement notre consommation d'énergie en allégeant les matériaux avec lesquels nous fabriquons nos moyens de transport, par exemple en mettant au point des matériaux poreux, tout en évitant que la migration des trous ne crée des zones de fragilité.

Kalina RASKIN : Certains logiciels d'optimisation de structures, comme Autodesk, intègrent des algorithmes issus de l'analyse mathématique des structures biologiques. Les formes qui en résultent présentent souvent

un aspect très organique, ce qui est logique dans la mesure où les règles d'optimisation font que la matière se concentre là où les efforts sont les plus importants et où elle est indispensable, comme c'est le cas dans la nature. L'étape suivante consistera à ajouter à ces matériaux, encore très homogènes, des gradients de propriété qui leur permettront d'offrir une performance encore accrue pour une quantité de matière plus faible.

Antonio MOLINA : Certains s'inspirent du fil d'araignée pour créer des matériaux de renforcement à partir d'une phase liquide, ce qui les rend capables de s'agglomérer aux parties de la structure à renforcer sans différence de phase.

Kalina RASKIN : En l'espace de deux ans, cinq entreprises (en Norvège, en Allemagne, aux États-Unis, et deux au Japon) ont annoncé le lancement de la synthèse artificielle de soie d'araignée, pour des applications dans le textile, le médical et la cosmétique.

Antonio MOLINA : Une autre piste est l'utilisation de matériaux agro-sourcés. Aujourd'hui, on sait fabriquer à partir de végétaux pratiquement tous les polyesters, mais aussi, depuis peu, des résines époxy. Cela simplifie beaucoup la question du recyclage, puisque lorsque ces matériaux sont incinérés, seuls le gaz carbonique et l'énergie captés par les plantes ayant servi à les produire sont rejetés. La démarche est d'autant plus intéressante lorsqu'elle est menée à partir de déchets industriels. Nous travaillons, par exemple, avec un fabricant de frites qui cherche à récupérer l'amidon rejeté dans l'eau de lavage.

Une autre possibilité concerne l'utilisation de la lumière comme source d'énergie. Au sein du groupe industriel Mäder¹, nous avons mis au point un processus de polymérisation par rayonnement ultraviolet qui nous permet de fabriquer des composites sans solvants, sans évaporation et avec une consommation énergétique très faible.

La chimie verte

Kalina RASKIN : Les principes de la chimie verte énoncés par les chercheurs Paul Anastas et John C. Warner dans les années 1990 rejoignent ceux de la chimie du vivant. Dans chacune de nos cellules se produisent à tout instant des milliers de réactions chimiques coordonnées entre elles afin que l'organisme réponde de façon optimale aux innombrables stimuli qu'il reçoit de son environnement. Comme la chimie du vivant, la chimie verte doit mobiliser de façon prioritaire les quatre éléments les plus abondants (carbone, hydrogène, oxygène et azote), recourir à l'énergie solaire, être réalisée à température et pression ambiantes, privilégier les solutions aqueuses, le recyclage métabolique, la catalyse enzymatique, et produire des molécules idéalement sans impact nocif, voire biodégradables ou métabolisables.

Parmi les exemples remarquables de chimie verte, on peut citer la fabrication de verre à température et pression ambiante, développée par Jacques Livage et Clément Sanchez, professeurs au Collège de France. Ils se sont inspirés de la capacité de certaines micro-algues, en particulier les diatomées, à synthétiser de fines carapaces de verre. Ce procédé, dit *sol-gel*, pourrait trouver des applications dans le bâtiment, pour protéger des façades remarquables, dans des objets du quotidien, par exemple pour revêtir la semelle des fers à repasser, ou encore dans la pharmacie, pour encapsuler des principes actifs dans un matériau biologiquement neutre et les libérer au bon endroit et au bon moment.

Un autre exemple de chimie verte est l'utilisation d'organismes vivants pour dépolluer le sol. La méthode consistant à cultiver des plantes hyperaccumulatrices de métaux lourds sur des sols fortement pollués, comme ceux des sites miniers, afin de séquestrer ces métaux, est pratiquée depuis longtemps, mais, jusqu'ici, on ne savait pas quoi faire ensuite des plantes collectées. On se contentait généralement de les brûler, ce qui ne faisait que déplacer le problème. La chercheuse Claude Grison a inventé une nouvelle discipline, l'éco-catalyse, consistant à utiliser ces plantes chargées de métaux comme des catalyseurs naturels et à s'en servir pour fabriquer de nouvelles molécules à haute valeur ajoutée, très difficiles à synthétiser par des procédés artificiels.

1. Antonio Molina, "Revitaliser l'industrie grâce à l'innovation", séminaire Ressources technologiques et innovation de l'École de Paris du management du 16 septembre 2015.