

Le biomimétisme, un concept, une philosophie pleine d'avenir

9 décembre 2016 par [Yvan Billa R&D](#) 1918 visites

Au sens littéral du terme, le biomimétisme (du grec bios, la vie et mímésis, imitation) indique notre capacité à nous tourner vers la nature pour trouver des solutions à nos problèmes techniques.

A Cependant, en 1997, une dimension fondamentale a été révélée par Janine Benyus lors de la parution de son livre Biomimicry. Pour cette auteure américaine, le biomimétisme n'est pas seulement une démarche inspirée du vivant pour produire des biens et des services innovants mais elle doit être aussi réalisée de manière durable et respectueuse de notre planète. Ce qui signifie : à l'échelle appropriée, sans gaspillage, en utilisant le moins d'énergie possible, sans produits toxiques, en préservant la diversité et le 'génie' de la vie. Aujourd'hui, le biomimétisme est devenu une science transdisciplinaire à part entière.

S'inspirer de la nature pour innover dans le domaine de la technologie est une activité que l'homme pratique depuis plusieurs siècles. Ainsi, par exemple, au XVe siècle, lorsque Léonard De Vinci conçut son célèbre ornithoptère, il observa minutieusement insectes, chauve-souris et oiseaux au vol battu pour construire une machine volante mue par propulsion humaine. En remontant encore plus loin dans le temps, des historiens suggèrent que l'invention de la roue, il y a plus de 5 500 ans, a été possible grâce à l'observation des bousiers, ces petits insectes qui roulent une sphère de bouse dans laquelle ils pondent leurs œufs afin que les larves s'en nourrissent.

Aujourd'hui, le biomimétisme consiste tout d'abord à observer et étudier les êtres vivants et leurs interactions pour comprendre leur fonctionnement, puis transposer les mécanismes du vivant vers des systèmes non biologiques. Le champ couvert par le biomimétisme englobe la plupart de nos activités : agriculture, énergie, science des matériaux, information, santé, etc. Son impact est considérable ; en témoigne la course dans laquelle se sont lancés scientifiques de tous horizons, ingénieurs, industriels, ONG et bureaux de consultants. Des biologistes détaillent le fonctionnement des organismes, résultat de près de 3,5 milliards d'années d'évolution, jalonnée d'essais et d'impasses ; les architectes scrutent la croissance des arbres pour construire des bâtiments plus solides et durables ; des urbanistes observent les fourmis pour résoudre les problèmes du trafic ; des ingénieurs s'inspirent des requins, hiboux, pélicans, etc. pour améliorer avions et voitures. Découvrons quelques exemples de biomimétisme dans ses trois principaux niveaux d'inspiration : la forme, les matériaux et procédés, les écosystèmes.

A la recherche de la forme la mieux adaptée

C'est probablement dans le domaine de l'aérodynamique que l'inspiration de la nature a été la plus féconde. L'ornithoptère de L. de Vinci n'a jamais volé, mais cet « homme-oiseau » constitue bien le premier prototype d'un objet volant autonome en énergie. Il aura fallu attendre 2 010 pour qu'un groupe international d'étudiants, mené par Todd Reichert de l'Université de Toronto, construise sur les plans de Vinci le « snowbird » et le fasse voler pendant quelques secondes.

Plus proche de nous, observons le TGV japonais : les ingénieurs se sont inspirés des plumes du hibou moyen duc et du bec du martin pêcheur pour réduire le bruit et la consommation électrique du Shinkansen 500 tout en augmentant sa vitesse

L'analyse au microscope de la peau de requin a révélé des rainures qui, en provoquant des micros tourbillons autour de l'animal (effet « riblet »), réduisent la résistance de l'eau. Cette étude a d'abord débouché sur la fabrication de combinaisons de natation avant d'inspirer les ingénieurs d'Airbus pour

réduire la résistance à l'air des avions de type A320.

A Toulouse, les chercheurs de l'IMFT et du laboratoire LAPLACE s'inspirent de la structure et du fonctionnement des ailes des grands prédateurs pour concevoir les ailes des avions de demain. Leur objectif est de développer des ailes et ailerons flexibles et « intelligents », capables de changer de forme et de se mouvoir en harmonie avec les sollicitations extérieures, comme des ailes d'oiseaux, mais adaptées aux très grandes vitesses des avions et à leur taille. Leurs travaux visent à accroître les performances aérodynamiques (augmentation de la portance et diminution de la résistance à l'air) et de manœuvrabilité des ailes d'avion, tout en réduisant le bruit généré par les bords de fuite (la partie arrière, la plus effilée). Pour ce faire, ils utilisent une association de 3 matériaux (alliages à mémoire de forme, actuateurs piézo, polymères à haute performance) pour obtenir en des endroits très précis de grandes ou de petites déformations des ailes de l'avion en réponse aux changements d'environnement.

La voiture n'est pas en reste dans cette course vers un aérodynamisme amélioré. Ainsi, en 2005 la marque Mercedes Benz a conçu Bionic, une voiture inspirée du poisson-coffre (*Ostracion cubicus*), un poisson tropical des récifs coralliens des océans Indien et Pacifique. Photobionnicarpoisson C'est sa forme, qui lui confère un coefficient de traînée très faible, et la rigidité de son exosquelette qui ont séduit les ingénieurs de Mercedes pour dessiner la carrosserie d'un « concept-voiture ». D'après des travaux récents d'une équipe belge, le poisson coffre serait loin d'être le meilleur modèle. Peut-être ce modèle restera-t-il au... coffre !

A la recherche de matériaux, de structures et de procédés

Aux Etats-Unis, 4 grandes industries de matériaux - papier, plastique, métaux et produits chimiques - représentent à elles seules 71% des émissions toxiques de l'industrie (ref. J.E. Young et A. Sachs, *the next efficiency revolution*, 1994). Le rêve d'un biomiméticien de la science des matériaux est de fabriquer à température et pression ambiantes et sans solvant des biomatériaux adaptés et évolutifs, à l'instar de ce que la nature fait : nanomatériaux, céramiques, verre, colle, ...

Velcro, scratch et compagnie

Fleur de bardane modèle pour velcro L'exemple le plus célèbre de matériau biomimétique est celui de la bardane (*Arctium*) de la famille des Composées dont les bractées en forme de crochets minuscules et élastiques ont inspiré Georges de Mestral, l'inventeur du velcro (velours crochet), qui déposa son brevet en 1952.

Depuis, les ingénieurs se sont intéressés à d'autres systèmes « collants ». Par exemple, le gecko (tel *Tarentola mauritanica*) n'a pas de ventouse au bout de ses pattes et pourtant il adhère aux parois, même lisses, grâce au système d'adhérence constitué d'une multitude de soies micrométriques qui recouvrent ses doigts. Une structure analogue se retrouve chez des araignées sauteuses de la famille des Salticidae et chez un insecte xylophage (*Clytus arietis*). Des biophysiciens s'en sont inspirés pour créer des adhésifs ultrarésistants et autonettoyants.

Les feuilles de plus de 200 plantes, les plumes de certains oiseaux ou encore les pattes de certains insectes sont super-hydrophobes, c'est à dire que l'eau n'adhère pas à leur surface. C'est en étudiant la feuille de lotus que les chercheurs ont découvert que sa surface n'était pas lisse mais très rugueuse comme le montre cette image de microscopie électronique.

Les scientifiques ont reproduit ces microstructures, puis ils en ont créées à l'échelle du nanomètre (10⁻⁹ m). Les applications sont nombreuses : tissus imperméables, bétons hydrofugés, revêtements de baignoire, à l'image de cette peinture autonettoyante destinée à revêtir les bâtiments : non seulement l'eau n'adhère pas mais elle entraîne dans sa chute toutes les particules de saleté. Aujourd'hui la NASA envisage d'utiliser de telles surfaces anti-adhérentes dans la construction d'objets spatiaux dont l'entretien paraît effectivement bien difficile !

Morphos, cristaux photoniques et ordinateurs

La couleur des ailes du Morpho (Amérique centrale) fascine depuis des siècles. Mais c'est l'avènement d'instruments d'optique sophistiqués (comme par exemple le microscope électronique à balayage) qui a permis de décortiquer la structure fine des écailles et de modéliser les propriétés optiques de l'aile. Sa couleur bleu vif n'est pas due à des pigments mais à la structure en « nanotrous » des écailles sur lesquelles la lumière se réfléchit. Des industriels s'en inspirent pour donner aux vêtements de la couleur sans colorants ni pigments ou lutter contre la contrefaçon en insérant dans les billets de banque ce type de nanostructure (Morpho complet).

Fil d'araignée et câbles plus forts que l'acier :

À la fois solide, résistant et élastique, le fil d'araignée a des qualités uniques, fortement convoitées dans plusieurs domaines de recherche : fabrication de gilets pare-balles, de câbles pour ponts suspendus, de fil de suture biocompatible pour la chirurgie...

La quête à l'appropriation du fil de l'araignée n'est pas nouvelle, mais malheureusement l'araignée ne s'élève pas comme les vers à soie. Et, malgré nos connaissances approfondies sur les gènes qui codent les protéines constitutives, nous n'avons pas encore très bien compris comment fait l'araignée pour les structurer et fabriquer une fibre insoluble et très résistante. Dans les années 90, des chercheurs ont réussi à faire exprimer des fragments de ces protéines dans des bactéries et mieux encore, des scientifiques canadiens en ont produit dans le lait de chèvres génétiquement modifiées (transgéniques). Mais, il reste une étape critique d'assemblage et de production à grande échelle. Il paraît que la firme allemande AMSilk est en passe d'en fabriquer des ... tonnes.

Béton vert, corail et biominéralisation.

Dans le domaine de la construction, la fabrication du béton de ciment est énergivore puisqu'elle nécessite de chauffer à 1450 °C un mélange de calcaire et d'aluminosilicates (argile). Approximativement 5% des émissions de gaz à effet de serre proviennent de cette industrie. Or le béton est un produit qu'on consomme sans modération : un peu plus de 3 milliards de tonnes par an ! Plusieurs pistes sont actuellement suivies pour produire du béton vert, comme celle développée par l'entreprise Calera aux États Unis : son fondateur Brent Constantz s'inspire de la façon dont les coraux construisent les récifs par biominéralisation. Dans son procédé, le CO₂ n'est plus émis lors de la cuisson mais au contraire utilisé pour fabriquer du carbonate de calcium solide, un ingrédient essentiel du ciment. On ne connaît pas encore les performances de ce ciment dont les procédés de fabrication restent secrets ; mais si cette approche marche, elle sera révolutionnaire. Le « recyclage » du CO₂ émis par d'autres industries (centrales nucléaires, serres,...) qui se trouvent à proximité des usines de béton et utilisé pour fabriquer un nouveau matériau est une illustration du principe de fonctionnement de l'écologie (ou symbiose) industrielle fondée sur l'utilisation des déchets comme ressources. Un exemple bien connu est celui de Kalundborg, une ville danoise dans laquelle 4 entreprises se sont regroupées en éco-parc dans lequel les déchets de chacune servent de combustible ou de matière première à l'entreprise voisine, constituant ainsi une chaîne d'utilisation de déchets industriels.

Bioluminescence, LED et éclairage public

Nous observons depuis très longtemps la capacité qu'ont de nombreuses espèces vivantes à produire de la lumière de manière autonome et à l'utiliser pour se repérer dans l'obscurité, communiquer, attirer des partenaires sexuels ou des proies, se camoufler ou repousser les prédateurs. Plus de 700 genres de 16 phyla différents sont lumineux, tels les bactéries, les vers, les insectes, les champignons, les méduses, les poissons... mais les araignées, les amphibiens, les crabes et les mammifères ne le sont pas. Cette lumière résulte d'une réaction biochimique, appelée bioluminescence et les recherches sur les différents mécanismes responsables de la bioluminescence ont eu de nombreuses retombées tant dans les activités humaines quotidiennes que dans le monde scientifique. Par exemple, la mise en œuvre de cette réaction dans un tube à essai, appelée chimioluminescence, est utilisée dans des bâtons lumineux, les

« glowsticks », employés à des fins d'éclairage ou de signalisation. L'étude de la cuticule de l'abdomen des lucioles a permis d'augmenter de 65% la puissance lumineuse des LED. Des plantes luminescentes ont également été créées selon ces principes et certains rêvent d'éclairer nos rues ou nos habitations sans électricité grâce aux techniques de bioluminescence. A l'inverse, des animaux marins, calmars, seiches ou pieuvres, experts en art du camouflage, nous apportent une application originale : la cape d'invisibilité. En effet, les pigments de la peau de ces animaux contiennent une protéine, la réflectine, qui en milieu acide devient opaque aux infrarouges. Elle est utilisée dans le domaine militaire pour dissimuler des hommes ou des équipements aux dispositifs de vision nocturne fondés sur l'émission des infrarouges.

Les recherches sur la bioluminescence d'autres animaux marins (méduse, corail...) ont conduit également à identifier deux protéines d'intérêt majeur au plan scientifique. La première, l'aequorine, émet de la lumière en présence de calcium et permet ainsi d'étudier les activités cellulaires liées au calcium (illustration bancs de méduses bioluminescentes *Aequorea victoria*, vivant sur la côte ouest de l'Amérique du nord. Les cellules situées en bordure de leur ombrelle contiennent l'aequorine et La GFP). La deuxième, la « green fluorescent protein » ou GFP, émet de la fluorescence lorsqu'elle reçoit une énergie lumineuse de longueur d'onde appropriée et permet de visualiser de nombreux phénomènes biologiques dans l'organisme de manière non invasive et en temps réel. Par exemple, il est possible de coupler une protéine donnée à la GFP et ainsi de suivre sa localisation dans la cellule (noyau, membrane, cytoplasme, etc.) ou encore d'étudier la migration de la cellule ainsi « marquée » dans un organisme au cours du développement (illustration poisson zèbre copyright, CNRS, CBD. La GFP de cet embryon transgénique de poisson zèbre "colorie" son système nerveux). Ces découvertes ont révolutionné la biologie et ont valu en 2008 l'attribution du prix Nobel de Chimie à ses découvreurs Martin Chalfie, Osamu Shimomura et Roger Tsien.

A la recherche de fonctionnements moins énergivores et plus rationnels

En observant des insectes sociaux, des architectes s'inspirent du système de climatisation passive des termitières pour construire des immeubles à faible consommation énergétique. Des informaticiens étudient les déplacements des fourmis pour optimiser les réseaux de communication et de transport.

Architecture et termites

Les termites de la famille des Macrotermitinés construisent leurs termitières de manière à créer un système de ventilation naturelle qui maintient une température intérieure constante de 30°C environ. Cette température est nécessaire au développement d'un champignon de grande taille (*Termitomyces*) qu'ils cultivent et qui leur assure des capacités digestives indispensables. (illustrations termites). Des cheminées centrales surplombent le nid par lequel l'air chaud est évacué, créant un courant d'air dans les parties basses du nid. Ce courant circule sous terre où il est rafraîchi au contact de puits profonds creusés par les termites ouvriers. Cet air frais remonte par le centre de la termitière qu'il rafraîchit et est évacué par les cheminées et ainsi de suite.

L'architecte Michael Pearce s'est inspiré de ce système de climatisation naturelle pour concevoir l'Eastgate Centre à Harare, au Zimbabwe. La température à l'intérieur des 31 000 m² de bureaux et de commerces est constamment de 25°. 90 % d'économie d'énergie par rapport à un immeuble similaire équipé de climatiseurs électriques sont réalisés.

Fourmis, circulation et internet

Chaque fourmi a des capacités limitées, mais le groupe peut réaliser des tâches complexes. Ainsi, certains comportements collectifs des fourmis permettent de résoudre des problèmes difficiles comme par exemple sélectionner le plus court chemin pour aller du nid à une source de nourriture. Les informaticiens et les ingénieurs ont pu transformer ce comportement collectif en méthodes utiles pour l'optimisation et le contrôle des réseaux. Elles portent le nom de « algorithmes d'optimisation par colonie de fourmis ». Ces algorithmes sont déjà testés dans les transports aériens, la sécurité des réseaux de communication ou le trajet des milliards d'informations transitant chaque seconde sur internet.

Conclusion

Nous n'avons ébauché ici qu'une fraction des succès ou promesses du biomimétisme. Ainsi, les végétaux n'ont été illustrés que par quelques exemples alors que ce règne est source de nombreuses inspirations (vêtements intelligents, structure de nos futures villes). Notre objectif était de mettre en évidence la partie visible de l'iceberg de la bioinspiration et de montrer que, si de nombreuses percées ont été réalisées dans ce domaine, le temps nécessaire pour comprendre les processus biologiques sous-jacents et les copier ou du moins s'en inspirer, est considérable. En résumé, le biomimétisme c'est une philosophie partagée par des biologistes, des architectes, des urbanistes, des chimistes, des physiciens, des ingénieurs, des collectivités territoriales, des amoureux de la nature, pour innover en s'inspirant des êtres vivants tout en préservant la biosphère. Souhaitons que nous amorçons ainsi une véritable transition vers un autre mode de vie dont nous avons réellement besoin, comme le dit si bien Janine Benyus : « Contrairement à la révolution industrielle, la révolution biomimétique ouvre une ère qui ne repose pas sur ce que nous pouvons prendre de la nature mais sur ce que nous pouvons en apprendre... l'Homo industrialis ayant atteint les limites de ce que pouvait supporter la nature entrevoit sa propre disparition en même temps que celle d'autres espèces qu'il entraîne avec lui... Plus nous nous rapprocherons de la nature, plus nous aurons de chance d'être acceptés sur cette Terre dont nous ne devons jamais oublier que nous ne sommes pas les seuls propriétaires ».

Source : Muséum d'histoire naturelle de Toulouse

Dominique Morello (Chercheuse CNRS, mise à disposition au Muséum), Mario Tovar Simoncic (historien des sciences), avec la contribution des scientifiques du CNRS suivants : Marianna Braza (Institut de Mécaniques des Fluides de Toulouse), Philippe Cochard et Marc Moreau (CBD), Jean François Guillet et Thomas Lorne (CIRIMAT) et Gérard Latil (CRCA).

Caractérisation de l'action selon les 5 compétences DD&RS

- [Compétence de changements \(accompagnement, innovation, adaptation...\)](#)

Objectifs de la ou les actions décrites

- [Etablir des modes de consommation et de production durables \(ODD n° 12 - Economie\)](#)
- [Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable \(ODD n° 14 - Biosphère\)](#)

Licence : [CC by-sa](#)

[Contacter l'auteur](#)