

CONCOURS INTERNE DE BIBLIOTHECAIRE TERRITORIAL

SESSION 2020
REPORTÉE À 2021

ÉPREUVE DE NOTE

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ :

Rédaction d'une note de synthèse, établie à partir d'un dossier portant au choix du candidat exprimé au moment de l'inscription :

- **soit sur les lettres et les sciences humaines et sociales**
- **soit sur les sciences exactes et naturelles et les techniques**
- **soit sur les sciences juridiques, politiques ou économiques**

Durée : 3 heures
Coefficient : 2

SCIENCES EXACTES ET NATURELLES ET LES TECHNIQUES

<p>À LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET :</p> <ul style="list-style-type: none">♦ Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif dans votre copie, ni votre nom ou un nom fictif, ni initiales, ni votre numéro de convocation, ni le nom de votre collectivité employeur, de la commune où vous résidez ou du lieu de la salle d'examen où vous composez, ni nom de collectivité fictif non indiqué dans le sujet, ni signature ou paraphe.♦ Sauf consignes particulières figurant dans le sujet, vous devez impérativement utiliser une seule et même couleur non effaçable pour écrire et/ou souligner. Seule l'encre noire ou l'encre bleue est autorisée. L'utilisation de plus d'une couleur, d'une couleur non autorisée, d'un surligneur pourra être considérée comme un signe distinctif.♦ Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.♦ Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

Ce sujet comprend 32 pages.

Il appartient au candidat de vérifier que le document comprend le nombre de pages indiqué.

S'il est incomplet, en avertir le surveillant.

Vous êtes bibliothécaire territorial dans la commune de Cultureville.

La directrice de la bibliothèque vous demande de rédiger à son attention, exclusivement à l'aide des documents joints, une note sur le biomimétisme.

Liste des documents :

- Document 1 :** « Biomimétisme en France. Un état des lieux » (Extrait) - Rapport en partenariat avec le ministère de la Transition écologique et solidaire - *ceebios.com* - Juillet 2018 - 8 pages
- Document 2 :** « Le biomimétisme, un outil d'innovation durable » - C. Chartier - *techniques-ingenieur.fr* - 28 juin 2017 - 6 pages
- Document 3 :** « Biomimétisme en architecture. État, méthodes et outils » (Extrait) - N. Chayaamor-Heil, F. Guéna, N. Hannachi-Belkadi - Revue Les cahiers de la recherche architecturale, urbaine et paysagère - *journals-openedition.org* - 2018 - 2 pages
- Document 4 :** « Quand l'architecture s'inspire de la nature » - F. Rosier - *lemonde.fr* - 18 octobre 2018 - 2 pages
- Document 5 :** « Exposition Bio'Inspiration » - Fiche - Museum d'histoire naturelle de Dijon - *mydijon.fr* - Décembre 2016 - 1 page
- Document 6 :** « Biomimétisme et bio-inspiration : nouvelles techniques, nouvelles éthiques ? » (Extrait) - L. Kamili - Revue Technique & Culture - *journals-openedition.org* - 15 janvier 2019 - 5 pages
- Document 7 :** « Nous ne sauverons pas la planète, c'est elle qui nous sauvera » - Sciences Po - *usbeketrica.com* - 25 mars 2019 - 2 pages
- Document 8 :** « Pourquoi le biomimétisme peut bouleverser nos vies ? » - Entretien avec Laura Magro - E. Leboucher - *colibris-lemouvement.org* - 13 août 2017 - 4 pages

Documents reproduits avec l'autorisation du C.F.C.

Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.

Biomimétisme en France. Un état des lieux

I. BIOMIMÉTISME EN BREF

« Le biomimétisme est une démarche qui consiste à aller chercher [son] inspiration, pour une innovation durable, dans la nature, où l'on trouve des stratégies à la fois performantes (...) et résilientes pour synthétiser et dégrader des matériaux, se fixer ou se déplacer, stocker ou distribuer l'énergie, traiter l'information, organiser les réseaux et les échanges, et bien d'autres choses encore »

Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable 2015-2020

« On est très loin de la complexité du vivant, il faut beaucoup d'humilité, on est dans un rapport comparable à un dessin d'enfant par rapport à la Madone de Léonard De Vinci »

- Pierre-Gilles de Gennes, 2000 -

Cité en France dès 2007 comme l'outil de la prochaine révolution industrielle*, le biomimétisme associe innovation et responsabilité sociétale en tirant parti des technologies et systèmes naturels, sélectionnés par 3.8 milliards d'années d'évolution, pour créer de nouveaux produits, services et modèles d'organisation durables.

Les réponses évolutives développées par les systèmes vivants intègrent par construction les multiples limites inhérentes à leur environnement naturel dans une perspective de survie sur le long terme : exploitation de sources d'énergies renouvelables (principalement d'origine solaire), utilisation majoritaire d'éléments atomiques abondants, réaction dans des conditions de température et de pression modérées, recyclage du carbone renouvelable (issu du dioxyde de carbone atmosphérique notamment), biodégradabilité et biocompatibilité des produits, gestion de l'information à coût énergétique et consommation de ressources maîtrisés, etc.

Ce sont aussi ces multiples limites - trop souvent oubliées par l'homme - que la démarche biomimétique a vocation implicitement à réintégrer dans le processus de création d'idées et le déploiement d'innovations plus soutenables.

« Parce qu'on exploite respectueusement ce que l'on connaît de manière intime. Parce que le biomimétisme montre que nous avons beaucoup à apprendre de la mer. Parce que la mesure, l'observation, l'évaluation de la faune et de la flore marines seront à la fois notre boussole et notre baromètre ».

- Edouard Philippe, Premier Ministre, Assises de l'Economie de la Mer Le Havre – Mardi 21 novembre 2017 -

« Parce que la nature doit travailler à des températures assez basses, elle est limitée aux matériaux organiques ou relevant de la chimie des solutions. La fascinante variété des matériaux naturels vient de la variété des architectures hiérarchiques naturelles que l'on peut observer dans le bois, les os, les coquillages. Inversement l'ingénieur a accès à une grande variété de matériaux constitutifs, mais est à ce jour assez peu inventif sur les architectures. L'association des deux stratégies, base du biomimétisme structural, peut s'avérer une source de très grandes innovations ».

- Yves Bréchet, Membre de l'Académie des Sciences, Haut-Commissaire à l'énergie Atomique, professeur des universités à l'Institut polytechnique de Grenoble, chercheur au laboratoire « Science et ingénierie des matériaux et des procédés » (SIMaP) de Grenoble. Leçon du Collège de France, 2013. -

UNE DÉFINITION NORMÉE POUR LE BIOMIMÉTISME

La bio-inspiration

Approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques

La biomimétique

Coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation dans le but de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, de leur abstraction en modèles et du transfert et de l'application de ces modèles à la solution.

Le biomimétisme

Philosophie et approches conceptuelles interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable (social, environnemental et économique).

Source : ISO 18458

* Rapport sur les apports de la science et de la technologie au développement durable - Tome II : La biodiversité : l'autre choc ? L'autre chance ? - LAFFITTE Pierre, SAUNIER Claude - Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, FRANCE.

LE BIOMIMÉTISME UN OUTIL POUR :

- La valorisation du carbone renouvelable
- La catalyse chimique soutenable à des fins industrielles
- La conversion et le stockage des énergies solaire, éolienne ou hydrolienne
- L'assemblage ou la synthèse écologique de matières pour la fabrication de matériaux aux propriétés fonctionnelles et performances environnementales élevées
- Le développement d'outils de traitement ou de gestion de l'information économes en énergie
- Des pratiques agronomiques respectueuses de l'environnement inspirées du fonctionnement des écosystèmes

OPPORTUNITÉS BIOLOGIQUES POUR L'INNOVATION



Matériaux

- Hierarchisés
- Multifonctionnels
- Composites, interfaces, lamellaires, hybrides
- Réactifs à l'environnement
- Stockent le CO₂ (biomasse et calcaire...)
- Production basée sur l'énergie solaire
- Auto-assemblés, manufacture additive
- Biocompatibles et recyclables
- 3 familles de polymères



Information

- Stockage moléculaire
- Transmission (chimique, électrique...)
- Agrégation
- Analyse
- Intelligence collective
exp : algorithmes inspirés des essaims, des réseaux de neurones, morphogénétiques
- Capteurs, Senseurs
exp : MEMS



Energie

- Energie solaire
- Séquestration du CO₂ atmosphérique
- Optimisation de la consommation selon les saisons, conditions locales et moment de la journée
- Sources diversifiées pour s'adapter aux conditions changeantes – décentralisation énergétique



Eau

- Purification
ex : Phytoremédiation, mycorémédiation, membranes, aquaporin, solvants...
- Récupération en milieu aride
ex : Stenocara du désert du Namib
- Gestion de la surabondance
- Stockage
- Transport et Distribution



Chimie verte

- 4 éléments abondants et majeurs (C,O,H,N)
- Energie solaire
- T et P modérées
- Solution aqueuse
- Recyclage métabolique
- Catalyse enzymatique
- Molécules biodégradables
- Molécules biocompatibles
- Pas de toxicité à long terme

Procédés

Systemes

Les interactions au sein des écosystèmes naturels s'appuient sur des cycles fermés, des boucles de rétroaction, des redondances, des sous-systèmes auto-adaptatifs et la variabilité. Ils sont la clé de leur performance, en termes de production de biomasse, de gestion des ressources et de résilience. Les principes de l'économie circulaire définis par l'ADEME :

1. L'utilisation modérée et la plus efficace possible des ressources non renouvelables
2. L'exploitation des ressources renouvelables respectueuse de leurs conditions de renouvellement
3. L'éco-conception et la production propre
4. Une consommation respectueuse de l'environnement
5. La valorisation des déchets en tant que ressources
6. Le traitement des déchets sans nuisance.

...convergent vers le fonctionnement des écosystèmes naturels. Le biomimétisme peut être ainsi un pilier majeur de l'économie circulaire.

Les stratégies bio-inspirées appliquées à la construction des villes durables visent à repenser la ville comme un écosystème qui devrait fournir, a minima, les mêmes niveaux de performance écologique que l'écosystème natif.

Dans cette nouvelle perspective de développement urbain, les bâtiments et autres structures artificielles seraient localement adaptées et fonctionneraient comme des organismes ou des écosystèmes naturels, assurant l'accueil de la biodiversité, la capture, la purification et le stockage des eaux de pluie, la conversion de la lumière du soleil en énergie utilisable et celle du dioxyde de carbone en oxygène, la protection des sols contre l'érosion, l'élimination des déchets...

Six principes* définissent l'approche agricole écomimétique :

- utiliser les caractères fonctionnels complémentaires pour la productivité et la résilience,
- maintenir la fertilité des sols à travers la canopée,
- encourager la coopération entre les plantes avec des fonctions différentes,
- contenir les infestations de ravageurs à travers les niveaux / réseaux trophiques complexes,
- utiliser les propriétés des plantes et des alternatives biologiques pour la lutte antiparasitaire,
- reproduire la succession écologique après une perturbation.

* Selon Eric Malézieux, propos adaptés du rapport du CGDD *Etude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France*, H. Durand, 2012



Economie circulaire



Ville régénérative



Agroécologie

SECTEURS INDUSTRIELS IMPACTÉS

Information & Communication

BioMASON

Velcro

Mercedes Bionic

Shinkansen

EEL Energy

ITKE

BioMatrica

Transport

Gecko Biomedical

Chimie

Énergie

Concept Vision Michelin

Santé & biomédical

Wavera

Seaboost



Cosmétique

Coloration structurale

Economie Circulaire

XTU Achitects

Agroalimentaire

La Ferme du Bec Hellouin



EXOneo

PropheSee

Bâtiment

Ecovative

Nanopass 33



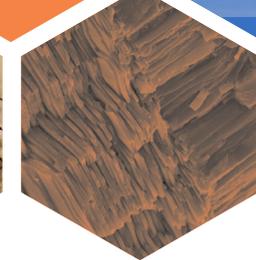
Matériaux avancés

Ecotone - Réinventons Paris Grand Métropole

Aéronautique et spatial

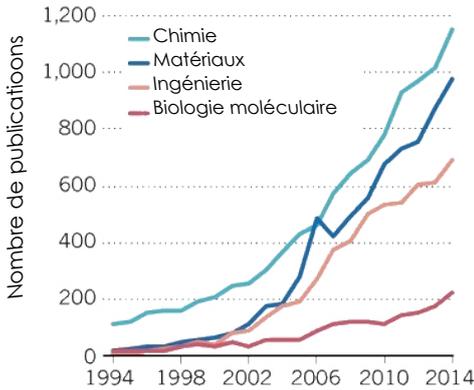
Airbus

Le biomimétisme en tant que **démarche et méthodologie d'innovation** est transversal par nature et d'intérêt pour **presque tous les secteurs d'activités industriels.**



CONTEXTE INTERNATIONAL

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT



Tendances des publications en biomimétique
Obtenue avec les termes biomim* et bioinspir*

Source : Interdisciplinarity: Bring biologists into biomimetics. Emilie Snell-Rood. Nature-Comment. 19 Janvier 2016.

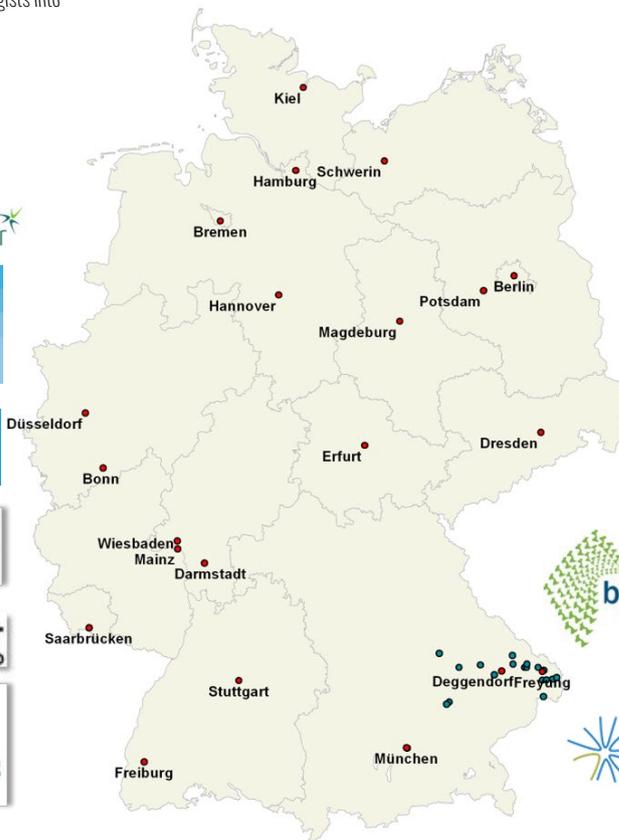
L'Allemagne est en tête de la recherche biomimétique en réseau. Il existe plus de 100 structures de recherche publique allemande en R&D impliquées dans les activités de biomimétique, deux grands réseaux de recherche institutionnels, BIOKON et KompetenznetzBiomimetik (KN), parmi les plus importants au monde dans le domaine. Par ailleurs en 15 ans, sous leur impulsion, dix réseaux territoriaux spécialisés se sont développés. L'État allemand accompagne la création de ces réseaux et de centres d'excellence dans le domaine des matériaux et structures bio-inspirés sans équivalent ailleurs (notamment B-CUBE, FIT, SFB TRR 141). Il y a investi plus de 120 millions d'euros depuis 2001.



En Grande-Bretagne, le Réseau NIM (Nature Inspired Manufacturing) amorcé par l'université Herriot Watt à Edimbourg, prend le relais du Réseau Biomimétique pour la durabilité industrielle (BIONIS).

L'agence nationale Suisse a lancé en 2015 son premier centre interuniversitaire (regroupant l'université de Fribourg, l'EPFL et ETH Zurich) dédié aux matériaux bio-inspirés, avec des investissements à hauteur de 26 millions d'euros.

RÉSEAUX ALLEMANDS



BIOKON
BIONIK KOMPETENZ NETZ

biomimicry
germany

BioMat

bayonik
BIONIK NETZ BAYERN

bionicum
ideemisch natur

bayern innovativ

TUM Leonardo da Vinci
Zentrum für Bionik

B-CUBE

FIT

SFB-TRR 141
BIOLOGICAL DESIGN
AND INTEGRATIVE STRUCTURES

Source : Kristina Wanieck, DIT

FORMATION AU BIOMIMÉTISME

La formation reste un enjeu majeur pour systématiser le recours au biomimétisme comme démarche d'innovation responsable chez les prochaines générations :

- sensibilisation à la biodiversité dès le plus jeune âge,
- appropriation de la démarche biomimétique dès les premiers enseignements scientifiques,
- intégration du biomimétisme dans les programmes universitaires pour chaque filière.

L'Allemagne compte à elle seule plus d'une quinzaine de formations diplômantes (licences et master) sur les **25 dédiées à la thématique** répertoriées en Europe*.

Toutes ces formations sont principalement destinées aux ingénieurs. Le concept de biomimétisme mériterait cependant d'être intégré à un plus large panel de domaines tels que la philosophie, les sciences sociales, le législatif, l'urbanisme, la chimie, l'agriculture, ...

Transdisciplinaire, cette démarche nécessite aussi d'être introduite aux écologues, biologistes et autres experts du vivant pour qu'ils prennent conscience des potentiels transferts de leurs connaissances à d'autres domaines d'applications.

De nombreux établissements en Europe se sont saisis de cette nouvelle approche pour **structurer**

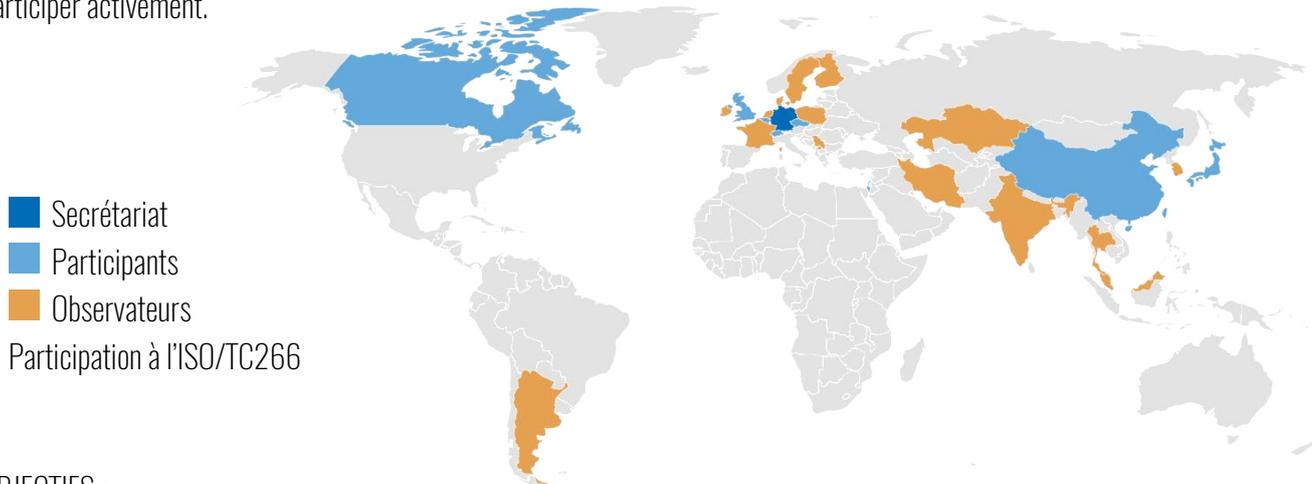
leurs laboratoires et leurs enseignements de manière transdisciplinaire. Apparaissent ainsi des écosystèmes réunissant étudiants, chercheurs et partenaires industriels autour de projets à forts potentiels innovants.

En France, de nombreux enseignants du supérieur se mobilisent autour de ce sujet et quelques établissements ont déjà ouvert des modules dédiés à la thématique (tels que l'X, SupBiotech, l'ENSCI les Ateliers, l'Université de Brest Orient, les Mines de Nancy, l'Université de Tours ou l'UTC).

* Synthèse des formations en Europe, nov 2017, CEEBIOS

LE CONTEXTE NORMATIF

Sous l'impulsion de l'Institut allemand de normalisation (DIN) en mai 2011, l'Organisation internationale de Normalisation (ISO) a lancé une consultation internationale pour constituer le comité technique 266 Biomimetics, auquel 9 états membres de l'ISO ont souhaité participer activement.



OBJECTIFS :

- permettre « la dissémination des principes bioniques pour l'efficacité énergétique, le développement technique durable et la préservation des ressources » ;
- « rendre le travail interdisciplinaire possible ». En effet, « si la connaissance du vivant a largement progressé, la combinaison de ces connaissances biologiques avec les techniques nouvelles de simulation et production de matériaux est encore exceptionnelle surtout en raison d'un manque de communication entre les scientifiques de différentes spécialités » ;
- « permettre une traduction efficace des résultats de recherche en produits techniques tout au long de la chaîne de valeur à travers une collaboration étroite des biologistes, ingénieurs, et experts d'autres disciplines ».

Depuis, 3 normes ont été rédigées par le comité ISO/TC 266, Biomimétique

Date: 2015-01-26
ISO 18458:2015(F)
ISO/TC 266/SC /GT 1
Secrétariat: DIN

Biomimétisme — Terminologie, concepts et méthodologie

Fournit un cadre pour la terminologie concernant la biomimétique à des fins scientifiques, industrielles et éducatives.

Elle classe et définit le domaine de la biomimétique, décrit de nombreux termes ainsi que le processus d'application des méthodes biomimétiques au produit biomimétique à partir d'idées nouvelles. Les limites et le potentiel de la biomimétique en tant qu'approche pour l'innovation ou en tant que stratégie de développement durable sont également illustrés.

Date: 2016-06-03
ISO/FDIS 18457
Secrétariat: DIN

Biomimétisme — Matériaux, structures et composants biomimétiques

Fournit un cadre de techniques biomimétiques pour le développement des matériaux, des structures, des surfaces, des composants et des technologies de fabrication.

Spécifie les principes des systèmes biologiques, et en particulier la performance des matériaux biologiques, des structures, des surfaces, des composants et des technologies de fabrication.

Date: 2014-12-18
ISO 18459:2014(F)
ISO/TC 266/GT 3
Secrétariat: DIN

Biomimétisme — Optimisation biomimétique

Spécifie les fonctions et domaines d'application d'outils informatiques, fondés sur des méthodes d'optimisation biomimétique, pour des problèmes structureaux.

Ces méthodes ont pour objectif une application optimale dans le domaine des matériaux pour une réduction du poids ou une amélioration de la capacité et de la durée de vie des composants.

Ainsi qu'une norme expérimentale AFNOR

XP X42-502

Date: 2017-03-08

Biomimétisme - Intégration de la biomimétique dans les démarches d'éco-conception

Fournit des lignes directrices pour tout type d'entreprise, quelle que soit sa taille, et en particulier les TPE et les PME qui souhaitent initier une démarche d'éco-conception par la biomimétique.

La biomimétique ne conduisant pas de manière systématique à des solutions durables, une innovation bio-inspirée visant la durabilité doit intégrer toutes les dimensions d'une biomimétique éco-responsable: conception, production, utilisation et fin de vie des produits employant de l'énergie et des ressources matérielles renouvelables, sans produits toxiques persistants, dans un réseau de relations équilibrées avec d'autres systèmes (cycle de vie). On parlera alors de biomimétisme (réf NF ISO 18458).

Une bonne compréhension des principes de conception biologiques dans leur globalité est la base de l'éco-conception par la biomimétique.

II. OPPORTUNITÉ FRANÇAISE

LA BIODIVERSITÉ, UN ATOUT MAJEUR

La France possède un patrimoine naturel exceptionnel : avec la métropole et les territoires outre-mer, elle est présente sur deux continents et dans tous les océans, sauf l'Arctique. C'est le **2^e espace maritime du monde** avec plus de 10 millions de km² sous sa juridiction.

Outre-mer, la majorité des territoires français (Nouvelle-Calédonie, La Réunion, Mayotte, Guadeloupe, Martinique, Polynésie et Wallis-et-Futuna) sont situés dans les régions du monde parmi les plus riches en biodiversité. Quant à la Guyane, elle est au cœur de l'un des derniers grands massifs forestiers de la planète, l'Amazonie.

On estime par ailleurs que les territoires français hébergent près de **10 % des espèces connues** au niveau mondial.*

* Cette estimation tient compte du dernier recensement opéré par le Muséum national d'histoire naturelle, accessible via le référentiel taxonomique national ou TAXREF.

En quelques chiffres, la part de la biodiversité mondiale représentée en France correspond à :

- au moins 50 % des mammifères marins ;
- 20 % des échinodermes et des cnidaires (coraux, méduses,...) ;
- 25 % des oiseaux ;
- 20 % des poissons marins et d'eau douce ;
- plus de 10 % des mammifères terrestres ;
- 7 % des insectes connus au niveau mondial. Les insectes représentent la moitié de la faune française.

Les collections du Muséum national d'Histoire naturelle sont les plus riches du monde, avec celles du Museum de Londres et de la Smithsonian institution de Washington. On estime à environ **68 millions de spécimens** l'ensemble des objets des collections du Muséum à la disposition des chercheurs, qui pourraient à l'avenir servir d'inspiration aux ingénieurs.

« Beaucoup de procédés industriels que nous mettons en oeuvre sont dispendieux en matières premières, coûteux en énergie et insuffisamment sélectifs. À l'opposé de ces procédés industriels physicochimiques, l'évolution a produit des solutions biologiques, beaucoup plus sophistiquées que les artefacts humains pour répondre aux pressions de sélection. Cette « mémoire de réussite » que constitue la biodiversité du vivant doit conduire à une montée de l'industrie basée sur la biologie et la biotechnologie qui jointe à la montée des nanotechnologies, sera un des ressorts de la prochaine révolution industrielle. »

Rapport n° 131 (2007-2008) de MM. Pierre LAFFITTE et Claude SAUNIER, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, déposé le 12 décembre 2007.

LA PRISE EN COMPTE INSTITUTIONNELLE



2007 Sénat, Le biomimétisme - outil de la prochaine révolution industrielle, Les apports de la science et de la technologie au développement durable, P. Laffite & C. Saunier



2016 Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages



2012 Commissariat Général au Développement Durable, Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France, H. Durand



2017 Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, Loi biodiversité: une opportunité pour le développement économique et la création d'emploi, E. Delannoy



2015 Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable



2018 Une stratégie Bioéconomie pour la France, Plan d'action 2018-2020, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation



2015 Conseil Economique, Social et Environnemental, Le biomimétisme: s'inspirer de la nature pour innover durablement, P. Ricard

COMPÉTENCES ACADÉMIQUES

Figure 1 . Répartition thématique des compétences académiques

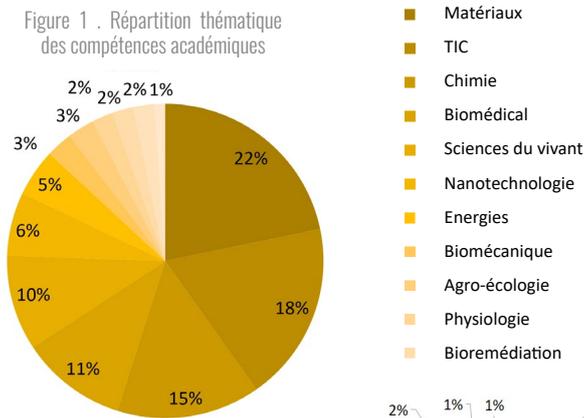


Figure 2 . Répartition des compétences académiques dans les territoires français

ÉVÉNEMENTS MAJEURS

- Dec 2012 ● **Colloque « Recherches bio-inspirées. Une opportunité pour la transition écologique ? »** - Paris
Organisé par le Ministère en charge du développement durable (Direction de la recherche et de l'innovation du Commissariat général au développement durable) et le Muséum National d'Histoire Naturelle
- Oct 2012 ● **1st International Conference on Bioinspired and Biobased Chemistry & Materials** - Nice
Organisé par le laboratoire N.I.C.E. (Nature Inspires Creativity Engineers)
- Juil 2013 ● **International Conference on Bioinorganic Chemistry (ICBIC16)** - Grenoble
Organisé par le CEA de Grenoble
- Mars 2014 ● **Colloque sur le biomimétisme** - Maison de la chimie
Organisé par NewCorp Conseil
- Oct 2014 ● **2nd International Conference on Bioinspired and Biobased Chemistry & Materials** - Nice
- Nov 2015 ● **Colloque « Biomimétisme et chimie durable »** - Maison de la Chimie
Organisé par le Labex Arcane et le Commissariat général au développement durable
- Dec 2015 ● **Colloque Recherches Bio-Inspirées**
Organisé par le Muséum National d'Histoire Naturelle, en partenariat avec le CEEBIOS et le Ministère en charge du développement durable (Direction de la recherche et de l'innovation du Commissariat général au développement durable)
- Sept 2015 ● **Congrès Internationaux de l'Institut des Métaux en Biologie** - Grenoble
Chemistry & Biology of Iron-Sulfur Clusters

En France, plus de **175 équipes de recherche** ont été identifiées sur le sujet du biomimétisme.* Plus d'une centaine d'entreprises, aussi bien des grands groupes que des PME, font appel à cette démarche, quel que soit leur secteur d'activité : énergie, construction, matériaux, cosmétiques...

La recherche en biomimétisme est nécessairement polymorphe, aux frontières disciplinaires, et nécessite des collaborations originales. Si de nombreux laboratoires y contribuent, ce positionnement n'atteint pas encore l'échelle institutionnelle.

En France, les outils GDR (Groupement de Recherche) et RTP (Réseau Thématique Pluridisciplinaire) du CNRS sont les supports principaux des initiatives structurantes autour des thématiques telles que la chimie bio-inspirée (French-BIC), la photosynthèse artificielle (Solar Fuels), la mécanique des matériaux biologiques (CellTiss, PhyP), les microtechnologies inspirées des insectes ...

Dans les appels à projets, cette pluridisciplinarité est encore difficile à gérer notamment dans les CES (Comités d'Évaluation Scientifique) de l'ANR (Agence Nationale pour la Recherche) qui ne présentent pas une structuration suffisamment transversale. Au CNRS, la Mission pour l'Interdisciplinarité présente des dispositifs non spécifiques au biomimétisme mais prometteurs pour son essor : Osez l'Interdisciplinarité !, défi Mécanobiologie, ...

*Équipes dont les travaux de recherche transdisciplinaires portent explicitement sur la compréhension et la transposition de phénomènes biologiques à d'autres disciplines.

- Juin 2016 ● **Biomim'Expo – 1ère édition** – Senlis
Organisé par NewCorp Conseil
- Oct 2016 ● **3th International Conference on Bioinspired and Biobased Chemistry & Materials** – Nice
- Juin 2017 ● **Biomim'Expo - 2ème édition** – Senlis
Organisé par NewCorp Conseil
- Sept 2017 ● **Congrès Internationaux de l'Institut des Métaux en Biologie** - Grenoble
Metallic nanoparticles: health, environment, applications and safer-by-design
- Juin-Déc 2017 ● **Concours recherche et innovation - « Biomimétisme - Inspiration du futur »** - 1ère édition - Lille
Organisé par l'Université de Lille, le CEEBIOS, Matikem et UP-tex
- 21-24 Mai 2018 ● **CuBICS - The Copper Bioinorganic Chemistry Symposium** - Marseille
Organisé par Aix-Marseille Université
- 17-20 Juil 2018 ● **Living Machines Conference - 7th International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems**
Paris à l'École Nationale Supérieure et au Muséum National d'Histoire Naturelle
- 6 Sept- 23 Oct 2018 ● **Biomim'Expo - 3ème édition** - Thématique à l'honneur : Habitat, Villes & Territoires de demain - Paris
- 14-17 Oct 2018 ● **4th International Conference on Bioinspired and Biobased Chemistry & Materials** - Nice

III. CEEBIOS

UN RÉSEAU NATIONAL DE COMPÉTENCES EN BIOMIMÉTISME

Créé en 2014, le CEEBIOS* répond aux recommandations émises pour la structuration et la mise en œuvre d'une feuille de route nationale du biomimétisme. Par son rôle de réseau, d'interface et d'accompagnement de projets de R&D innovants, le CEEBIOS vise à catalyser la richesse des compétences nationales du monde académique, de l'enseignement et de la R&D industrielle. Fondé notamment par trois pôles de compétitivité (MATIKEM, Uptex et

IAR), l'association CEEBIOS fédère un nombre croissant de grandes entreprises françaises telles qu'lcade, Air Liquide, Eiffage, Renault, L'Oréal, LVMH, RTE, Robot Dutilleul, Corning, Engie, Arcelor Mittal, Decathlon, Mäder, Vicat, Saint-Gobain ainsi que de nombreuses PME.

MISSIONS



Fédérer le réseau de compétences en biomimétisme



Accompagner les projets innovants



Contribuer à la formation



Développer les outils méthodologiques et de gestion de la donnée



Contribuer au développement de plateformes et démonstrateurs

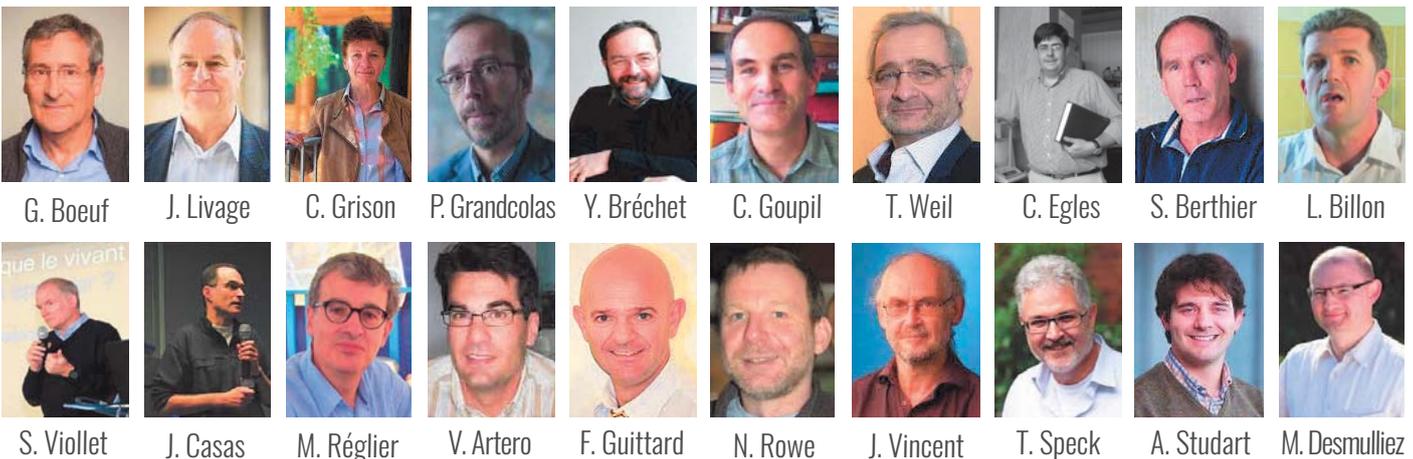


Communiquer influencer

TRAVAUX ET PUBLICATIONS



CONSEIL SCIENTIFIQUE



G. Boeuf

J. Livage

C. Grison

P. Grandcolas

Y. Bréchet

C. Goupil

T. Weil

C. Egles

S. Berthier

L. Billon



S. Viollet



J. Casas



M. Réglér



V. Artero



F. Guittard



N. Rowe



J. Vincent



T. Speck



A. Studart



M. Desmulliez

Le biomimétisme, un outil d'innovation durable

La nature est un réservoir de solutions technologiques originales et donc une source d'inspiration inépuisable pour les ingénieurs. S'inspirer de la nature nous apprend à nous satisfaire de peu en en obtenant plus et en polluant moins. L'approche systémique du biomimétisme revient à considérer plus humblement que l'humain fait partie de la nature et qu'il doit interagir avec celle-ci comme tout autre être vivant, c'est-à-dire dans le respect des écosystèmes et de leur équilibre. Retrouvez les concepts de base, les processus d'inspiration et quelques réalisations biomimétiques en images.

La **bio-inspiration** offre une possibilité unique, celle de fournir des méthodes, des directives et des outils qui s'appuient sur plus de 3,8 milliards d'années d'antériorité de résolutions de problèmes via la sélection naturelle. Dans de nombreux domaines, les organismes vivants surclassent toujours grandement nos solutions technologiques. Les solutions biomimétiques sont intéressantes, non seulement pour leur ingéniosité, mais aussi pour leur potentiel de **résilience écologique**. La nature, de façon indéniable, possède des stratégies d'optimisation de ressource encore inégalées par nos technologies actuelles. Ainsi, si la biomimétique est déjà pertinente par elle-même, c'est lorsqu'elle vise à prodiguer des **innovations durables** qu'elle atteint son plein potentiel. Elle devient alors un outils d'innovation extrêmement efficace, couplé d'un moyen de remettre en question nos besoins et notre façon de concevoir pour y répondre. S'inspirer de la nature nous apprend à nous satisfaire de peu en obtenant plus et en polluant moins.

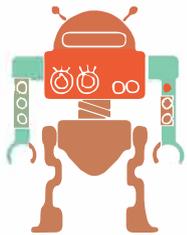
LA RÉSILIENCE ÉCOLOGIQUE...

... est la **capacité** d'un écosystème, d'un habitat, d'une population ou d'une espèce à retrouver un **fonctionnement** et un **développement normal** après avoir subi une **perturbation importante**.

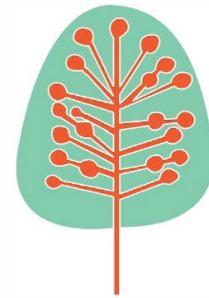
L'APPROCHE SYSTÉMIQUE...

Notre stratégie de développement consistant à dominer la nature et à exploiter ses ressources montre aujourd'hui ses limites. **L'approche systémique** du biomimétisme revient à considérer **plus humblement** que l'humain fait partie de la nature et qu'il doit interagir avec celle-ci **comme tout autre être vivant** c'est-à-dire **dans le respect des écosystèmes et de leur équilibre**.

DE QUOI PARLE-T-ON ?



Robotique



Éco-conception



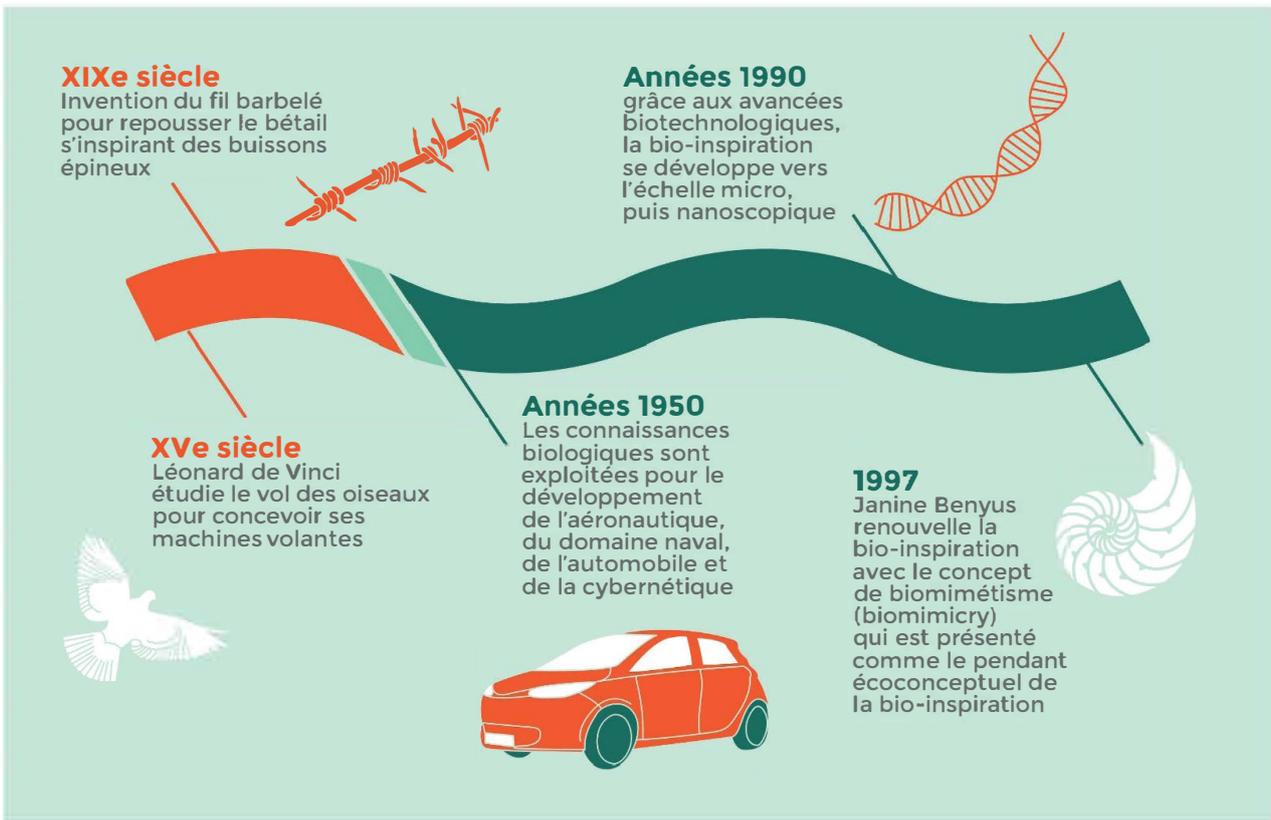
Bionique
discipline très liée à la robotique visant à la reproduction, l'augmentation ou le remplacement de fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques et/ou mécaniques

Bio-inspiration
processus créatif puisant son inspiration dans un ou plusieurs systèmes vivants

Biomimétique
processus créatif interdisciplinaire entre la biologie et la technologie dans le but de résoudre des problèmes anthropocentriques par l'abstraction, le transfert et l'application des connaissances issues de modèles biologiques

Biomimétisme
philosophie consistant à prendre la nature comme modèle, notamment à un niveau organisationnel afin de répondre aux enjeux du développement durable

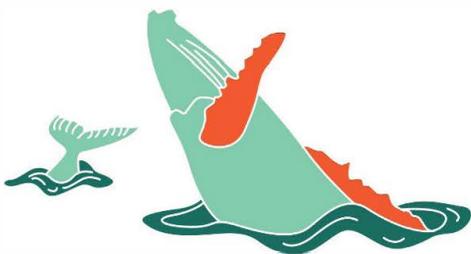




3 NIVEAUX D'INSPIRATION

les formes & les structures

Les pales d'éoliennes de la société WhalePower ont une forme inspirée de celle des nageoires pectorales de la baleine à bosse.



les procédés

L'imitation de la photosynthèse permettrait de développer des technologies innovantes dans le domaine du photovoltaïque et des piles à combustible.



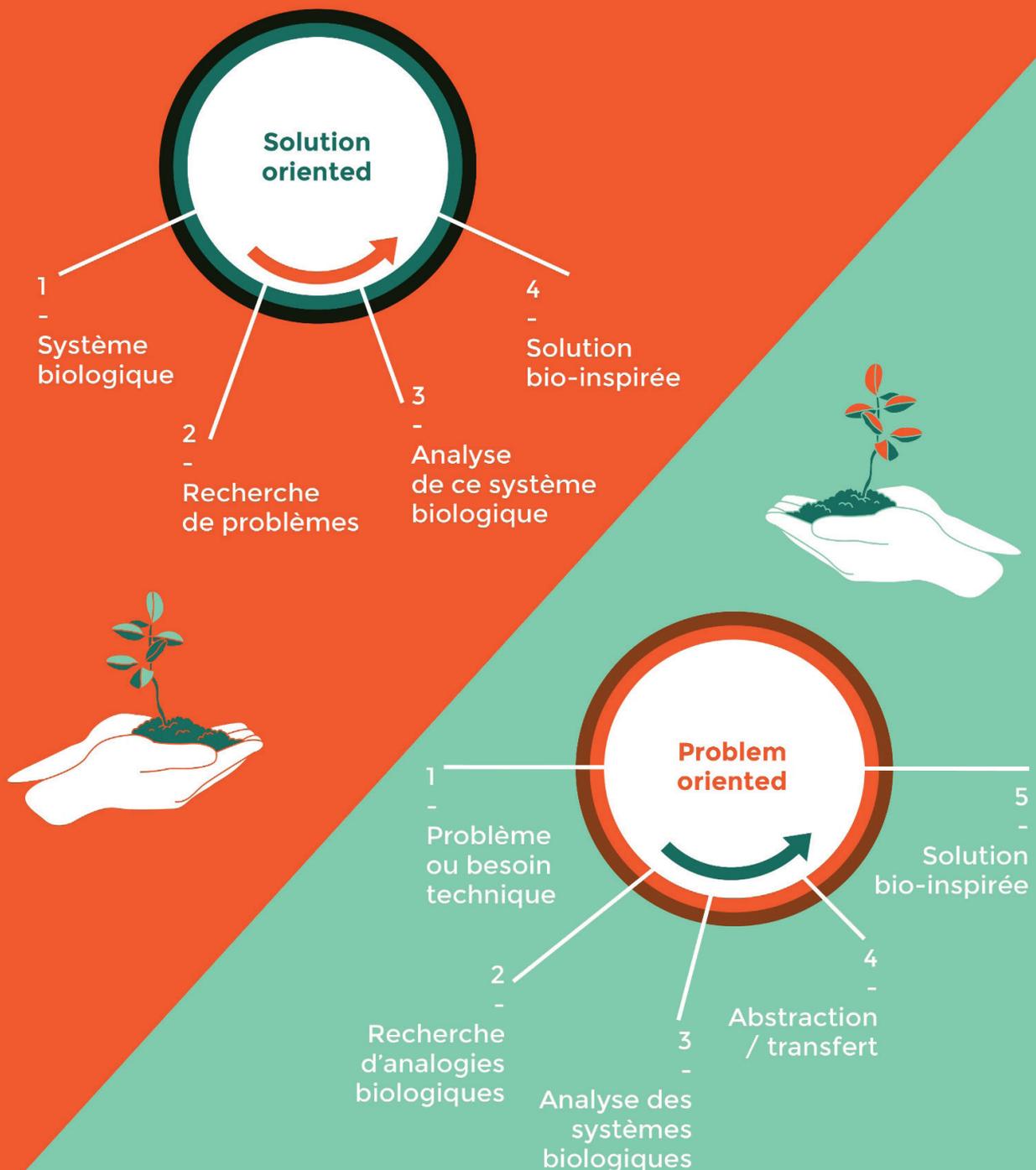
l'organisation & le fonctionnement des systèmes

L'observation des écosystèmes forestiers a permis de développer le concept de permaculture, un système agricole durable s'appuyant sur les interactions naturelles entre espèces.



2 PROCESSUS BIOMIMÉTIQUES DE RÉOLUTION DE PROBLÈME

qui exigent une collaboration étroite entre ingénieurs et biologistes tout au long du processus de conception.



RÉALISATIONS

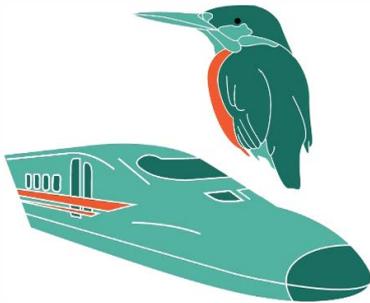
le TGV japonais inspiré du martin-pêcheur

Le Shinkansen est l'un des trains les plus rapides du monde avec ses 300km/h de vitesse de croisière en zone urbaine.

Des changements soudains de pression d'air, combinés à cette vitesse élevée, entraînaient une déflagration chaque fois que le train émergeait d'un tunnel.

Ce bruit était une problématique majeure à résoudre.

Féru d'ornithologie, Eiji Nakatsu s'est inspiré de la forme longue et tranchante du bec du martin-pêcheur capable de plonger pour attraper ses proies dans l'eau sans la moindre éclaboussure.



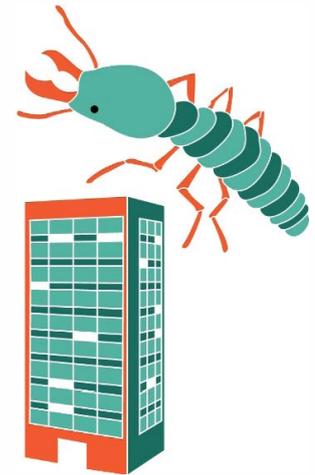
un adhésif inspiré du gecko

Ce ruban adhésif est un matériau présentant des filaments nanoscopiques inspirés des poils que l'on retrouve sous les pattes du gecko. Ces millions de «poils» petits et flexibles créent des liaisons de Van der Waals, forces d'attraction électromagnétiques intervenant au niveau moléculaire, permettant l'obtention d'un effet adhésif puissant.



un immeuble s'inspirant des termitières

Bâti en 1996, l'Eastgate Centre d'Harare (Zimbabwe) a été conçu après l'étude pendant plusieurs années par son architecte, Mick Pearce, des termitières. Ces édifices ont la capacité exceptionnelle de maintenir une température constante malgré une très forte amplitude thermique diurne. Ces insectes réalisent cette prouesse de façon passive grâce à la capacité thermique du bâtiment couplée à une gestion des flux d'air. Ce mécanisme repose sur l'ouverture et la fermeture de volets d'aération, par l'intermédiaire de structures fongiques, traversant la termitière.



ÉTAT DES LIEUX

80

départements de recherche publique investissent dans le champ de la bio-inspiration en France

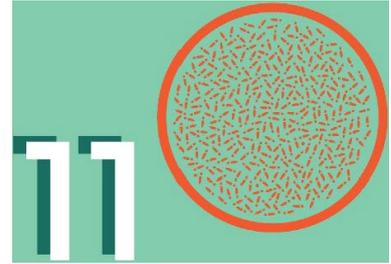
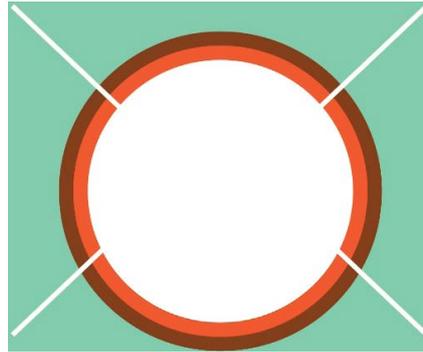


1,6

millions d'emploi aux États-Unis prévus en 2025

2015

Inauguration du Centre européen d'excellence en biomimétisme (CEEBIOS), à Senlis en France



découvertes médicales récompensées du prix Nobel s'inspirant d'organismes aquatiques

DES INDUSTRIELS IMPLIQUÉS



Verres auto-nettoyants inspirés des feuilles de lotus



Voitures décarbonées s'appuyant sur la gestion de l'énergie par le vivant

Eiffage

Habitat et aménagement des espaces inspirés des biosystèmes

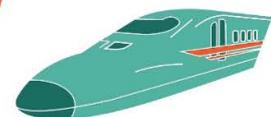


Saint Gobain

Renault

SNCF

Design, aménagement ferroviaire, gestion de foule, réduction de bruit, etc. bioinspirés



Biomimétisme en architecture. État, méthodes et outils

[...]

Outils pour le biomimétisme

Comme nous l'avons vu, le biomimétisme en tant que transfert des stratégies de la biologie vers d'autres disciplines est un champ de recherche émergent qui a conduit à la définition de concepts significatifs durant les dix dernières années. Le développement de tels concepts est décrit par un processus biomimétique comprenant plusieurs étapes. Cependant, pour surmonter les défis et faciliter le parcours des différentes étapes, des outils ont été développés dans divers domaines, comme l'ingénierie, l'informatique et la conception industrielle. Dans l'article « Biomimetics and its tools », les chercheurs présentent un panorama exhaustif de quarante-trois outils identifiés qui facilitent le processus de conception biomimétique. Les plus utilisés sont AskNature, Functional modeling, Natural language analysis, IDEA-Inspire software, SAPPHIRE model, TRIZ et BioTRIZ.

AskNature est une base de données en ligne destinée à inspirer les ingénieurs et concepteurs ainsi que d'autres innovateurs à la recherche d'informations issues de la biologie qui soient pertinentes pour leurs défis de conception. AskNature est une base de données publique contenant des informations en biologie classées par fonctions regroupées dans une taxonomie biomimétique. Elle permet d'établir un pont entre la biologie et des domaines variés innovants. AskNature peut aider à identifier des stratégies de la nature.

Natural language analysis est une méthode pour la génération et le classement de mots-clefs significatifs en vue de marier biologie et ingénierie.

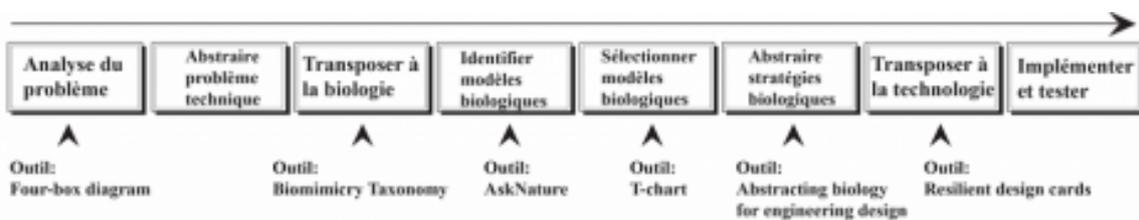
Functional modeling est un modèle développé par Nagel, qui renferme la représentation de systèmes biologiques utilisant des modèles fonctionnels pour faciliter le transfert entre la biologie et l'ingénierie.

IDEA-Inspire est conçu pour faciliter et stimuler l'idéation par des inspirations biologiques et le modèle SAPPHIRE est destiné à faire comprendre les systèmes biologiques.

BioTRIZ est une fusion entre le biomimétisme et la méthode d'innovation TRIZ . Lors de l'utilisation de TRIZ, les concepteurs décrivent un problème de conception comme une contradiction entre différentes exigences. La matrice de contradiction développée dans TRIZ permet de découvrir quels principes innovants pourraient résoudre le problème. L'approche BioTRIZ propose une nouvelle matrice de contradictions basée sur des phénomènes biologiques comme un moyen de stimuler le transfert entre la biologie et l'ingénierie. BioTRIZ est développé à l'université de Bath, en Angleterre par Nikolay et Olga Bogatyrev, biologistes russes, ainsi que par le professeur Julian Vincent. Cette méthode s'inscrit comme un outil d'éco-innovation. BioTRIZ est basé sur l'analyse de 500 phénomènes biologiques et 270 fonctions offertes par la nature. La méthode BioTRIZ est structurée de façon similaire à TRIZ avec une matrice de contradiction fondée sur seulement six grands principes : substance, structure, espace, temps, énergie et information, ce qui rend la méthode plus facile d'utilisation. BioTRIZ constitue donc une approche intéressante pour implanter des concepts biomimétiques dans la conception de produits.

La figure 15 suivante présente des utilisations possibles pour faciliter le parcours de différentes étapes d'un processus de conception biomimétique.

Figure 15. Utilisations possibles d'outils dans la pratique. Des outils peuvent être choisis pour certaines étapes du processus biomimétique pour faciliter les tâches correspondantes.

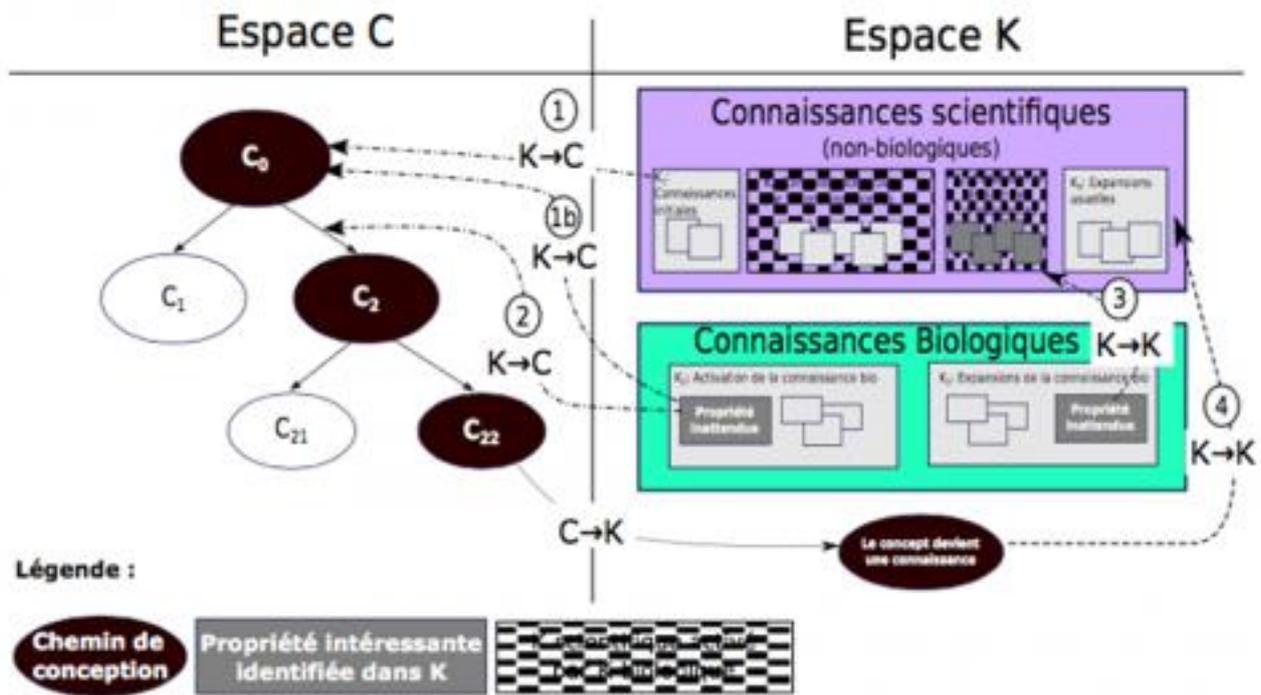


Une autre voie consiste à étudier le processus de génération de concepts innovants et bio-inspirés à l'aide de cadres théoriques mieux établis comme celui de la méthode C-K.

Théorie C-K

La méthode C-K se présente également comme une méthode innovante de conception ou de résolution de problèmes par la mise en relation de concepts (C) et de connaissances (K) pour générer des directions de conception novatrices et inattendues. La méthode C-K formalise un processus de conception comme une forme spécifique de raisonnement qui permettra de faire naître un concept encore inconnu basé sur des connaissances connues. Le langage permet d'exprimer l'idée conçue et peut être utilisé à divers niveaux allant d'une formalisation mathématique à une simple taxonomie. Par exemple, le projet de recherche piloté par le constructeur automobile Renault pour la génération de concepts de véhicules décarbonés vise dans un premier temps à mieux structurer l'utilisation de l'outil « biomimétisme » plutôt que de l'utiliser dans son approche actuelle.

Figure 16. Modèle général C-K pour la conception bio-inspirée.



Comme le montre la figure 16 ci-dessus, une analyse avec C-K permet de décrire le processus de conception bio-inspirée en quatre étapes (Salgueiredo, 2016) :

1. Identification de chemins de conception pour lesquels la bio-inspiration pourrait apporter des ruptures potentielles.
2. Identification de bases de connaissances biologiques avec des propriétés intéressantes. Ces propriétés contribuent à partitionner des chemins de conception « bloqués ». Cette étape peut être la première dans les cas où les connaissances biologiques sont à l'origine du processus de conception bio-inspirée.
3. Exploration et révision des connaissances traditionnelles et des connaissances biologiques.
4. Retour vers les connaissances traditionnelles pour le développement du chemin de conception bio-inspirée.

Les théories TRIZ et C-K sont utilisables en conception innovante afin de générer des innovations dites « de rupture » avec les approches actuelles. Le biomimétisme s'inscrit dans cette vision et peut donc aisément s'associer à ces méthodes comme source d'inspiration pour répondre aux attentes des écoconcepteurs.

Les outils présentés ci-dessus ont été décrits dans la littérature scientifique et sont utilisés par des ingénieurs dans l'industrie, mais ne le sont pas encore en conception architecturale. Certains d'entre eux pourraient être inclus dans une plateforme que nous envisageons de développer, dont la section suivante présente les principaux aspects.

[...]

lemonde.fr
F. Rosier
18 octobre 2018

Quand l'architecture s'inspire de la nature

Le pavillon présenté lors du salon Biomim'expo, qui s'ouvre le 23 octobre, à Paris, est un manifeste en faveur des solutions qui vont chercher dans les prouesses du vivant.

Le 23 octobre, un étrange pavillon se dressera, fier et gracile, à la Cité des sciences et de l'industrie, à Paris. Une ossature de bois blond aérienne, aux mailles polygonales. Des alvéoles d'un nid-d'abeilles ? Un squelette calcaire de corail ? Les motifs d'une carapace de tortue ? Ou encore – pour les férus de botanique – la trame des cellules végétales qui produisent la chlorophylle, vues sous le microscope ?

« *La maille polygonale est un motif fréquent dans le vivant, à toutes les échelles* », résume Nicolas Vernoux-Thélot, architecte DPLG. Il est le fondateur de l'agence In situ Architecture, qui a conçu et créé cet étonnant squelette, exposé à l'occasion de la troisième édition de Biomim'expo (le salon du biomimétisme). « *Si les cellules végétales ont adopté une organisation polygonale, ce n'est peut-être pas un hasard. En plus de cet agencement, les cellules sont entourées d'une paroi épaisse dont la résistance égale celle de l'acier* », explique Teva Vernoux, biologiste au CNRS et à l'Ecole normale supérieure (ENS) de Lyon.

Le grand livre de la nature

Voilà plus de dix ans que les deux frères mènent une réflexion commune. « *Je travaillais sur l'architecture des plantes, Nicolas sur l'architecture des bâtiments : sans doute pouvions-nous faire quelque chose ensemble* », raconte le biologiste.

« *Notre pavillon est un manifeste issu de la recherche de l'économie de matière, en minimisant son impact négatif sur l'environnement* », assure l'architecte. De fait, il est emblématique d'une démarche en plein essor : « *Copier le grand livre toujours ouvert de la nature* », selon le mot de l'architecte Antoni Gaudi (1852-1926), père de la Sagrada Família, à Barcelone.

L'enjeu, plus exactement, est de s'inspirer des prouesses du vivant – non de les copier servilement – pour repenser la conception des bâtiments, à des fins d'optimisation technique, énergétique, écologique. Les performances des animaux et des végétaux – dans leur incroyable diversité, leur admirable adaptation à leur environnement local – n'ont-elles pas été peaufinées par 3,5 milliards d'années de R&D ?

« *Les structures maillées polygonales ont été analysées en physique des matériaux* », explique Nicolas Vernoux-Thélot. Verdict : elles donnent, avec le minimum de matière, une résistance similaire, voire supérieure, à celle d'un matériau plein. Dès la fin du XIX^e siècle, le mathématicien russe Gueorgui Voronoï a formalisé ces structures. Depuis les années 1980, les structures en nid-d'abeilles sont utilisées dans l'industrie et dans les travaux publics, pour renforcer la résistance des matériaux, tout en garantissant une légèreté maximale.

Mais, jusqu'ici, ce type de structure n'avait guère été envisagé dans la conception même d'un bâtiment. Pour concevoir le pavillon éphémère, deux algorithmes ont été couplés : l'un dérive du modèle de Voronoï, l'autre est utilisé pour optimiser les agencements topologiques dans

l'industrie automobile et aéronautique. « *Voronoï a révélé l'importance des irrégularités : dans ces réseaux d'hexagones et de pentagones, elles limitent la propagation d'une fissure, ce qui renforce leur résistance mécanique.* »

Par rapport au mode de construction standard actuel en bois, cette structure polygonale « *peut représenter une économie de matériau de plus de 50 %* ». Autre atout du pavillon : « *Il a été assemblé avec des bois qui peuvent être issus de la filière du recyclage.* » Une prouesse permise par l'arrivée d'outils numériques ultraperformants : des fraiseuses numériques à cinq axes pour le débitage du bois. Elles permettent de « *découper des pièces uniques, aussi rapidement et au même coût que s'il s'agissait de pièces standardisées* ». Résistante et légère, cette structure polygonale est « *particulièrement intéressante pour les opérations de surélévation de bâtiment* », souligne Nicolas Vernoux-Thélot.

Outil biomimétique

Les deux frères ont aussi d'autres réalisations à leur actif. Comme la création d'un algorithme imitant le développement en spirale des organes – feuilles ou fleurs – des plantes, pour optimiser la disposition des bâtiments sur une parcelle, en vue de capter le maximum de lumière solaire. « *L'utilisation de cet outil biomimétique pourrait réduire de 40 % à 50 % le coût du chauffage* », indique Nicolas Vernoux-Thélot.

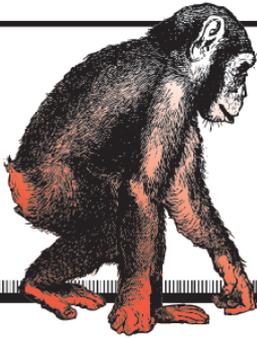
Avec le véritable biomimétisme, l'idée est bien de répondre à des enjeux de développement durable. Bien au-delà de la simple analogie formelle, de la seule visée esthétique ou du *greenwashing* (« blanchiment écologique ») qui n'épargne pas le monde de l'architecture.

« *L'architecte du futur construira en imitant la nature, parce que c'est la méthode la plus rationnelle, la plus durable et la plus économique* », notait Gaudi, visionnaire. En témoignent de fameuses réalisations à travers le monde. Un des pères du biomimétisme, l'architecte allemand Frei Otto (prix Pritzker en 2015), s'est ainsi inspiré des toiles d'araignée pour construire le célèbre toit tendu du stade de Munich, à l'occasion des JO de 1972.

Plus récemment, les belles références internationales sont les pavillons de l'ITKE, à l'université de Stuttgart (Allemagne). Ou encore les immeubles de bureaux de l'architecte zimbabwéen Mick Pearce (Eastgate à Harare, CH2 à Melbourne) : leur ventilation naturelle ascendante, combinée à une ventilation traversante nocturne, est en partie inspirée des termitières.

« *La première étape du biomimétisme, en architecture, consiste à s'inspirer d'une fonction du vivant pour répondre à une grande problématique de la construction : ventilation, allègement des structures, optimisation de la matière, gestion de l'énergie...* explique Estelle Cruz, architecte et ingénieure au Ceebios (réseau national de compétences en biomimétisme). *Aujourd'hui, une nouvelle génération de bâtiments biomimétiques émerge : ils se proposent de remplir un maximum de fonctions en imitant le fonctionnement de tout un écosystème.* » L'enjeu est d'intégrer divers « services écosystémiques » : purification de l'air ou de l'eau, limitation de l'érosion des sols, production de biomasse, stockage du carbone, optimisation énergétique... Un cercle vertueux, en somme, vers une empreinte positive de l'habitat. Mais patience : le concept émerge tout juste.

Exposition Bio'Inspiration



Le Chimpanzé

Pan troglodytes (Blumenbach, 1775)



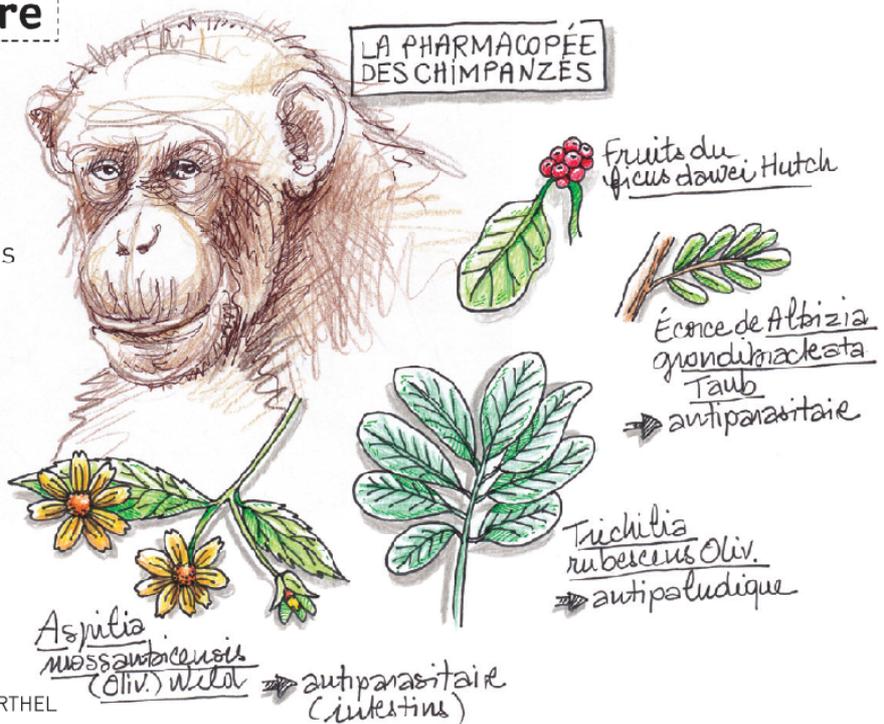
Observer

Comme de nombreux animaux, les chimpanzés consomment certaines des plantes spécifiques lorsqu'ils sont atteints de maladies ou de parasites.



Comprendre

Rugueuses et hérissées de petits poils, les feuilles d'*Aspilia* ingurgitées par l'individu provoque l'expulsion rapide des parasites intestinaux. Un groupe de chimpanzés a été observé ingérant une dizaine de plantes différentes capables de limiter la prolifération du *Plasmodium*, parasite à l'origine du paludisme. Certaines substances sont même préparées, mélangées à de la terre par exemple, augmentant leur efficacité.



S'inspirer

Médecine et pharmacie.



Avantages

- Capacité à trouver des remèdes dans son environnement immédiat.
- Auto-médication.



EN COURS D'ÉTUDE



EN COURS DE DÉVELOPPEMENT



COMMERCIALISÉ

La chercheuse Sabrina Krief associant une équipe pluridisciplinaire étudie les comportements de médication, ainsi que les substances utilisées. Sur près d'un millier d'extraits de plantes sélectionnés, une dizaine d'espèces contiennent des molécules actives pouvant être utilisées pour soigner les humains.

journals-openeditions.org
L. Kamili
Revue Technique & Culture 15 janvier 2019
Extrait

Biomimétisme et bio-inspiration : nouvelles techniques, nouvelles éthiques ?

[...]

Approches philosophiques : vers une nouvelle éthique environnementale ?

Lorsque Benyus [auteur du livre référence *Biomimétisme : quand la nature inspire des innovations durables*, 2010] propose de prendre la nature comme modèle à imiter, elle n'invite pas uniquement à repenser des process de production de manière à améliorer leurs performances techniques et écologiques. Imiter le vivant est présenté comme une action éthique, que certains philosophes environnementalistes essaient de développer et formaliser. Freya Mathews, auteur de *The Ecological Self*, ouvrage clé du courant de l'écologie profonde (*deep ecology*), envisage un biomimétisme qui serait au service d'une écologie politique radicale. Dans un article, elle considère que le biomimétisme nous rapproche plus « d'une intégrité écologique planétaire » que les mouvements environnementaux traditionnels. Il représenterait une sorte de « troisième voie » qui ne serait ni anthropocentrique comme l'approche environnementaliste conservacionniste et utilitariste (préserver pour les humains), ni écocentrique à l'instar de l'approche préservationniste et de l'écologie profonde dont elle se distancie ici (préserver des humains). Elle souligne plutôt le potentiel du biomimétisme dans l'élaboration et l'avènement d'une éthique environnementale « bio-inclusive » qui soit « compatible avec l'industrialisme des sociétés de masse modernes ». Henry Dicks, dans un article, avance que l'approche biomimétique pensée à partir des trois principes mis en exergue dès la première page du livre de Benyus – la « Nature » comme modèle, comme étalon, et comme mentor – propose un paradigme philosophique nouveau et radicalement différent de ceux qui ont caractérisé la pensée occidentale depuis les Grecs anciens. Les deux auteurs adhèrent au projet biomimétique mais estiment que, tel qu'il est formulé par Benyus et ses successeurs, il n'a pas été suffisamment développé d'un point de vue philosophique et demeure « ad hoc dans son approche et par conséquent décousu dans ses résultats : en pensant ce que pourrait être son éthique, ces deux articles cherchent à construire le biomimétisme comme objet philosophique.

Mathews s'appuie sur la notion de conatus empruntée à Spinoza, et définit la « conativité » comme la volonté de persister dans son être, caractéristique commune à tous les systèmes vivants naturels. Elle définit quatre modalités d'interaction et de traitement du conatus d'autrui par les humains, quatre « modes d'agentivité », incarnés dans des techniques spécifiques, et qui sont liés à autant de degrés de soutenabilité. La civilisation occidentale industrielle est caractérisée par un mode anthropocentrique d'interaction qu'elle nomme « imposer et contrôler » et qui vient contrarier les conativités des autres existants en nous plaçant « en dehors de la nature ». À l'autre extrémité, au plus haut degré de soutenabilité, se trouve le mode « synergique », qui consiste à se demander, à l'instar de McDonough et

Braungart : « qu'est-ce que le système du vivant veut que nous voulions ? ». L'auteur imagine ainsi une civilisation bio-synergique dans laquelle nos objectifs et nos volontés devraient être façonnés par ceux des autres existants, arguant qu'une démarche biomimétique réellement soutenable nécessite que « nous laissons la rivière modeler non seulement nos moyens [de production] mais également nos fins ».

Henry Dicks s'interroge de même sur le principe ontologique qui pourrait fonder une éthique du biomimétisme : quelle Nature est en jeu ? L'auteur invite à s'éloigner de la conception de la Nature que portent la bionique et la cybernétique, c'est-à-dire comme ensemble de « systèmes qui utilisent l'information pour atteindre un niveau accru de régulation et de contrôle ». Elle est pour lui plutôt à envisager comme *physis*, terme emprunté aux philosophes présocratiques, elle-même entendue comme *autopoiesis* ou production de soi – que Mathews préfère nommer « conativité ». Ainsi, l'injonction à prendre « la Nature comme modèle », qu'il nomme « principe poétique du biomimétisme » doit être comprise comme une invitation à imiter le processus même d'autopoïèse à l'œuvre dans la Nature dans son ensemble, pas uniquement dans ses formes ou ses fonctions. Pour lui, qui rejoint Mathews sur ce point, il n'y a donc de réellement biomimétique que l'imitation écosystémique. Le deuxième principe qu'il appelle « principe éthique du biomimétisme », « la Nature comme étalon », est ce qui distinguerait le biomimétisme de la bionique, de la biomimétique, de la bioinspiration ou encore du bio-design. Prendre la Nature non plus comme objet mais en tant que source de normes, implique donc qu'on s'y réfère désormais, sous forme des neuf principes édictés par Benyus, pour évaluer le comportement humain et en déduire les limites à lui imposer. La troisième proposition, « la Nature comme mentor » permet d'opérer le déplacement épistémologique souhaité par Benyus : l'humain se fait le disciple d'une Nature vue désormais comme locus premier de savoir et de sagesse. L'interprétation de la Nature non plus comme un ensemble de faits objectifs et indépendants, mais comme un processus de production de soi et dont les principes poétiques, éthiques et épistémologiques qui en dérivent constituent une nouvelle approche que Dicks nomme « naturalisme éclairé », à partir de laquelle une éthique environnementale biomimétique peut se déployer.

Mathews souligne enfin les « ambiguïtés éthiques » du biomimétisme tel qu'il est formulé par certains théoriciens et donne un premier aperçu des deux voies qu'il pourrait emprunter : préserver la nature telle qu'elle existe et s'y intégrer par une imitation radicale, ou bien créer une « nouvelle nature », – elle parle de « cauchemar baconien » – une « seconde nature » qui viendrait remplacer la première, les deux lui semblant « également biomimétiques » d'un point de vue technique et formel, mais radicalement opposées d'un point de vue moral. Dicks souscrit également à cette mise en garde : « en autorisant un capital artificiel à remplir les mêmes fonctions que le capital naturel, le biomimétisme pourrait en théorie aider à soutenir un monde presque entièrement artificiel ». La nécessité d'une éthique du biomimétisme, qu'elle s'oriente vers une civilisation bio-synergique ou un naturalisme éclairé est ici réaffirmée par les deux philosophes dont les approches ne sont plus seulement descriptives des possibilités du biomimétisme mais véritablement prescriptives. Ces efforts d'enrichissement de la démarche biomimétique proposée par Benyus demeurent néanmoins largement théoriques et, dirigés vers les principes, peinent à

rendre compte des pratiques.

L'imitation du vivant saisie par l'anthropologie

Un autre axe de réflexion important concerne la distinction faite par certains acteurs entre biomimétisme et bio-inspiration. Bien que cette distinction ne soit pas toujours opératoire – les différents théoriciens et praticiens s'accordent rarement quant à son contenu –, elle permet néanmoins de révéler certains des enjeux anthropologiques qui sous-tendent l'approche biomimétique.

L'article de Pitrou, Dalsuet et Hurand « Modélisation, construction et imitation des processus vitaux. Approche pluridisciplinaire du biomimétisme » met en lumière les apports de l'ethnologie pour l'étude de l'imitation, « thème privilégié pour l'anthropologie ». Les auteurs se demandent ce que signifie imiter, si cela veut dire « s'inscrire en continuité ou en discontinuité avec ce qui sert de modèle », et décrivent le hiatus entre les discours théoriques et les pratiques observées de la façon suivante : « Si, en tant que modèle théorique, le biomimétisme a le mérite d'inciter à renoncer à une éthique anthropocentrée par la valorisation de la vie et de la coopération, il peine cependant à se défendre de son application purement instrumentale », critique également formulée par Johnson.

Dans une perspective interdisciplinaire qui ouvre sur de nombreuses questions, les auteurs se demandent quelles sont les technologies d'imitation mises en place par le biomimétisme. Il convient ainsi de se pencher sur les configurations socio-économiques dans lesquelles est mis en œuvre le biomimétisme et de prêter attention aux processus techniques mobilisés pour saisir, orienter, contrôler, et bien sûr imiter les processus vitaux en jeu. En effet, les auteurs soulignent que le biomimétisme contemporain comme les pratiques traditionnelles impliquant de mimer ou de reproduire des êtres naturels, n'imité jamais la vie en tant que telle, mais plutôt des processus vitaux saisis par les humains. De la même façon, les biomiméticiens de l'Occident moderne n'imitent jamais la Nature en tant que telle, mais des processus écologiques et physiologiques objectivés par les sciences naturalistes.

Lors de journées d'études, diverses approches, visions et pratiques du biomimétisme ont été exposées, à partir desquelles les auteurs distinguent biomimétisme et bioinspiration. Cette dernière, guidée par « un idéal techniciste, confiant dans les pouvoirs de la science à dépasser la nature en l'imitant » ne comporterait aucunement d'impératif à produire des artefacts respectueux de l'environnement, à l'instar de la biomimétique ou de la bionique, tandis que le biomimétisme « au sens fort », marqué par « un sentiment de communauté avec le monde vivant », par la « biophilie », serait plus à même de réaliser l'idéal de reconnexion avec les cycles naturels. À l'instar de Mathews et Dicks, les auteurs avancent l'idée que deux voies se dessinent pour le biomimétisme, l'une plus durable, et l'autre plus artificielle et superficielle. L'apport de Pitrou et al. est de suggérer qu'un point clé pour explorer ces différences serait le niveau auquel se situe l'imitant et les techniques d'imitation mobilisées dans le processus, énonçant ainsi des premières pistes pour une enquête ethnographique sur les pratiques biomimétiques.

L'anthropologue Michael Fisch explore ces deux voies en interrogeant les relations entre nature et technologie dans les discours du biomimétisme, à partir de la comparaison entre

deux figures importantes : Janine Benyus, et Neri Oxman, chercheuse au MIT MediaLab et bio-designeuse reconnue. Fisch qualifie la vision de Benyus de « biomimétisme mainstream » et estime qu'il échoue à mettre en œuvre le nouveau système éthique qu'il promeut. Revenant sur les Principes du Vivant qui fondent l'approche benyusienne, il considère cette approche comme conçue sur le modèle de la science occidentale classique, en ce qu'elle vise à « identifier, catégoriser, abstraire et mettre en place un design soi-disant naturel pour le bénéfice de la civilisation et du progrès humains ». Le biomimétisme qu'elle propose est problématique pour lui car, cherchant à (ré)concilier capitalisme et écologie politique, il se rend « complice à maints égards des structures de dominance mêmes (sociales et naturelles) qu'il prétend dépasser ». S'appuyant sur les travaux de Simondon, Fisch suggère un cadre théorique alternatif pour penser le biomimétisme, qu'il nomme « néomatérialisme » : plutôt que de simplement reproduire la forme (ou la fonction) d'un organisme dans un objet matériel, il s'agit de comprendre la forme et la matière comme co-émergents dans un processus de croissance. Cette vision se trouve selon lui incarnée dans les travaux d'Oxman, présentés notamment lors de la conférence « Biomimicry 3.8 Education Summit and Global Conference » organisée en juin 2013 au MIT à Boston, et réunissant des spécialistes du biomimétisme, sur laquelle il pose un regard ethnographique.

Fisch décrit dans le détail le célèbre « Silk Pavilion » d'Oxman, un vaste dôme de soie créé par 6 500 vers à soie installés sur une structure métallique, sous l'influence de la gravité et de changements de lumière et de température, et soutient que son travail s'affranchit de la distinction entre nature et technologie humaine, par opposition à la vision de Benyus qui tend à renforcer l'établissement de ces frontières. La pensée analogique et une interprétation libre de « la nature » s'annoncent pour lui plus prometteuses et plus riches en possibilités, que la vision d'une Nature immaculée et indépendante mise en avant par Benyus. La démarche de Neri Oxman, qu'il situe du côté de l'inspiration plutôt que de la mimesis, présente une manière innovante, plus forte, d'imiter, éditer et travailler avec des organismes vivants sans purement et simplement les exploiter. L'approche de Benyus, orientée par le mimétisme et hantée par « de nombreuses idéologies et mouvements politiques qui ont assis leur pouvoir sur la revendication d'une relation privilégiée à la nature », est « à jamais troublée par la prémisse qui suppose qu'il y ait une relation à un original ». À l'inverse, l'inspiration n'est pas encombrée par cette relation entre l'original et la copie, le modèle et la reproduction.

Le Silk Pavilion permet aux vers à soie d'achever leur métamorphose complète après que l'œuvre soit terminée, et se démarquerait donc pour Oxman et pour Fisch de la simple bio-utilisation en intégrant dans son intention même le souci de leur devenir. Reprenant les travaux de Lien sur l'élevage industriel de saumons en Norvège, l'auteur affirme la nécessité de se demander « qu'est-ce que le saumon veut être ? » ou encore « qu'est-ce que le vers à soie veut être ? » dans le cas du Silk Pavilion. Cette question fait écho à celle que posaient déjà McDonough et Braungart, « qu'est-ce que la nature veut que nous voulions ? », et nous ramène aux interrogations éthiques soulevées par tous les auteurs considérés. [...]

L'analyse du texte de Benyus fait nettement apparaître la propension de l'auteur, et plus

généralement des acteurs du biomimétisme, à naturaliser ce qui n'est qu'une possibilité d'action technique sur le vivant. Qu'elles traitent le livre de Benyus comme une première proposition théorique à développer ou comme un discours dont il faut se distancier, les contributions en sciences humaines et sociales présentées convergent toutes vers l'idée qu'il existe bien deux grandes voies techniques pour le biomimétisme. La première consisterait simplement à transposer les fonctions biologiques observées dans le vivant en fonctions technologiques, contribuant ainsi à renforcer la séparation entre Nature et Culture. La seconde au contraire, tendrait à dépasser cette division en favorisant l'hybridation entre humain et nature, entre machine et vivant. Par ailleurs, prendre la nature comme « modèle » ainsi que nous y exhorte Benyus suppose également qu'on en fasse une source de normes, et de nombreux acteurs du biomimétisme tendent à valoriser moralement tout ce qui relève de la « nature ». Or, les deux options techniques développées supposent deux façons très différentes de coordonner l'action humaine avec les non-humains, et s'accompagnent de fait de propositions éthiques environnementales divergentes. Qualifiées et décrites de diverses manières par chacun des auteurs considérés, elles suscitent néanmoins les mêmes inquiétudes et les mêmes espoirs et tracent les contours d'un champ de la pratique structuré par deux pôles inverses qui représentent deux « choix techniques » possibles : une « seconde nature » artificielle d'une part, et une civilisation « bio-synergique » d'autre part. [...]

DOCUMENT 7

usbeketrica.com
Sciences Po
25 mars 2019

Nous ne sauverons pas la planète, c'est elle qui nous sauvera

Le biomimétisme nourrit plus que jamais l'innovation industrielle et technologique. Pourtant, au lieu de se contenter d'imiter les formes, les matières et les mécanismes à l'œuvre chez certaines espèces animales et végétales, peut-être vaudrait-il mieux s'inspirer de la résilience propre aux écosystèmes. C'est en tout cas ce que suggèrent J. Dixmier, C. Marion et G. Chataing, étudiants du Master Innovation & Transformation Numérique.

En février 2018, des chercheurs du CNRS et de l'Université d'Aix-Marseille présentaient AntBot, un robot capable de s'orienter sans GPS ni grande puissance de calcul. La muse de ses créateurs ? Cataglyphis, aka la fourmi du désert, qui a attiré l'attention des chercheurs par son intrigante capacité à s'orienter dans un environnement privé de phéromones. Un exemple qui révèle à quel point la nature peut constituer une source d'inspiration intarissable pour l'innovation.

Imiter la nature pour mieux la conquérir

Copier Mère Nature pour repousser les limites de notre condition d'humain est loin d'être une idée nouvelle. En ce qui concerne la mobilité, on pourrait même parler d'une vieille obsession : celle consistant à défier les lois de l'apesanteur en s'inspirant de nos amies les bêtes. Il y a 2 000 ans, l'homme de l'Antiquité se rêvait déjà en homme-oiseau. Ce fantasme universel a perduré au fil des siècles, quitte à ce que beaucoup se brûlent les ailes au passage. Quel est le point commun entre Léonard de Vinci, Otto Lilienthal et Clément Ader ? Tous, en leurs temps, ont imaginé des ornithoptères : des engins volants - avec plus ou moins de succès - dont la structure et la forme des ailes s'inspirent directement de celles des oiseaux et des chauves-souris.

Aujourd'hui encore, la bio-inspiration est très présente dans la manière dont les ingénieurs conçoivent les transports. L'un des exemples les plus célèbres de cette tendance est le Shinkansen, le train à grande vitesse japonais. Le problème initial concernait la forme du train : les formes pointues ont une bonne pénétration dans l'air, permettant un déplacement à grande vitesse. Mais à l'entrée d'un tunnel, la vague de pression qui se formait entraînait une surconsommation et un énorme bruit. Pour résoudre ce problème, les ingénieurs japonais se sont inspirés du martin-pêcheur, un petit oiseau capable de plonger dans l'eau à grande vitesse, sans éclaboussures. En imitant la forme de sa tête, la vitesse du train a pu augmenter de 10 % tout en réduisant sa consommation électrique de 15 %. Pour revenir à l'aéronautique, citons aussi l'exemple des « winglets », des avions de ligne nouvelle génération. Ce prolongement vertical de l'aile en forme d'aileron permet une économie de carburant de l'ordre de 5 % en phase de croisière. L'aigle et ses excellentes performances en plané ont directement inspiré cette invention.

« À l'ère de l'urgence environnementale, est-ce qu'on ne se tromperait pas de paradigme en voulant copier la nature sans chercher à s'y intégrer ? »

La conception bio-inspirée a de beaux jours devant elle, comme le confirme Denis Darracq, ingénieur en charge des recherches technologiques chez Airbus : *« En plus de la science, c'est dans la nature qu'il nous faut puiser l'inspiration afin de dessiner les avions de demain, des avions plus performants et respectueux de l'environnement ».*

Gare au « biomimwashing »

Cependant, s'inspirer de la nature, est-ce forcément être en accord avec elle ? Gare au « biomimwashing », met en garde Kalina Raskin, directrice générale du Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis (CEEBIOS). Une imitation ne suffit pas à garantir une approche durable ! D'autant plus qu'une réduction de la consommation d'un appareil

peut avoir des externalités négatives : c'est ce que les économistes appellent « l'effet rebond ». Si une nouvelle technologie divise par deux la consommation énergétique d'un avion, mais que l'effet de la baisse du prix du billet multiplie par trois le nombre de trajets, quid de son impact environnemental ? À l'ère de l'urgence environnementale, est-ce qu'on ne se tromperait pas de paradigme en voulant copier la nature sans chercher à s'y intégrer ?

Le biomimétisme technologique nous a apporté de grandes innovations, mais dans une optique de durabilité, il serait intéressant d'expérimenter un biomimétisme plus systémique. A-t-on déjà vu une quelconque espèce animale parcourir quotidiennement 10 000 km pour aller chercher sa nourriture ? Non. L'invention la plus brillante de la nature, c'est en effet sa résilience : des écosystèmes locaux intégrés et complémentaires. Si l'on veut se réintégrer à notre environnement, il semble nécessaire de rationaliser notre mobilité et celle de nos ressources. Pour inventer la mobilité durable, ce ne sont pas seulement nos moyens de transport qu'il va falloir repenser, mais l'organisation même de nos modes de vie : réinsérons-nous dans la nature, car nous sommes la nature !

Comme le souligne Alain Renaudin, fondateur de la Biomim'Expo : « La mondialisation n'existe pas dans le règne animal ». En effet, la nature se développe dans une logique effectuale, à partir des ressources dont elle dispose. Des grandes prairies saturées d'herbes hautes permettent l'existence de grands herbivores, comme les bisons d'Amérique, qui migrent en fonction des saisons et de l'état des ressources. Les forêts tempérées denses et riches en fruits secs sont quant à elles remplies d'écureuils, qui hibernent en hiver quand la nourriture se fait rare. Difficile, dans ces conditions, d'imaginer les bisons vivre en forêt et les écureuils dans des plaines rasantes... Et pourtant, avec la mondialisation, nous uniformisons nos modes de vie à travers le monde. Nous créons donc une situation où nous devons exploiter lourdement nos écosystèmes pour les adapter à nos standards - au lieu d'adapter nos modes de vie à nos milieux naturels. Or, la résilience de la nature tient justement au fait que chaque écosystème se construit à partir des contraintes de son environnement. Comme le disait déjà Charles Darwin : « Ce n'est pas le plus fort de l'espèce qui survit, ni le plus intelligent. C'est celui qui sait le mieux s'adapter au changement. »

Concrètement, on en est où ?

Rassurons d'ores et déjà les plus inquiets : reconnecter l'humanité à son environnement n'implique pas nécessairement de retourner à l'âge de pierre. Il existe déjà des initiatives concrètes inspirées par la fantastique capacité de la nature à optimiser le partage des ressources, créant des organisations symbiotiques entre les espèces. Sur le plan industriel, l'écoparc de Kalundborg, au Danemark, en est un exemple intéressant : les entreprises de la ville - une raffinerie, une centrale électrique et une usine de placoplâtre notamment - ont créé leur propre organisation circulaire, les rejets émis par les unes constituant les matières premières des autres. Ce système s'est développé spontanément, ses protagonistes faisant usage d'un bon sens naturel propre à toutes les organisations circulaires.

« Je ne crois pas au Big One, mais à la confluence des petites révolutions »

Pour l'avenir, il est donc possible et nécessaire d'imaginer l'organisation de modes de production plus intégrés localement, usant des ressources naturelles renouvelables de leur milieu, comme cela se passe spontanément dans chaque écosystème naturel. En brisant les silos et en créant de nouveaux ponts entre les disciplines, il est temps d'inventer une humanité plus rationnelle, intégrée et résiliente. Il serait cependant naïf de croire que cela puisse se faire du jour au lendemain : « Je ne crois pas au Big One, mais à la confluence des petites révolutions », confirme Alain Renaudin lorsque nous l'interrogeons sur l'existence d'éventuels exemples fonctionnant à grande échelle. Le chemin est donc encore long, mais les 4,5 milliards d'années de R&D mis gratuitement à notre disposition par notre planète devraient certainement nous aider. Comme se plaît à le dire le fondateur de la Biomim'Expo, « l'humanité ne sauvera pas la planète, c'est la planète qui nous sauvera ».

DOCUMENT 8

colibris-lemouvement.org
Entretien avec Laura Magro
E. Leboucher
13 août 2017

Pourquoi le biomimétisme peut bouleverser nos vies ?

C'est par l'approche humanitaire que Laura Magro s'est intéressée au biomimétisme. Sa thèse de doctorat portait, en effet, sur la mise au point de dispositifs de diagnostic médical à bas coût, adaptés au contexte guinéen. Et, de l'expertise dans l'innovation frugale comme vecteur de solidarité aux opportunités offertes par le biomimétisme pour répondre aux défis sociaux et environnementaux contemporains, il n'y a qu'un pas qu'elle a rapidement franchi. Aujourd'hui chargée de mission au Ceebios (Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis), cette ingénieure de recherche conjugue à présent ses valeurs humanistes et ses compétences scientifiques pour développer une approche responsable et bio-inspirée dans le secteur des matériaux. Dans la foulée de la deuxième édition réussie de la BiomimExpo, co-organisée par le Ceebios à Senlis les 29 et 30 juin dernier, elle nous dresse un état de l'art du biomimétisme et des possibles pour relever les grands défis de demain pour nos sociétés et la planète.

– Biomimétisme, bio-inspiration, économie circulaire... Parlons-nous de la même chose ?

Pas tout à fait. On entend d'ailleurs souvent des chercheurs dire qu'ils n'aiment pas trop le terme de biomimétisme, lui préférant celui de bio-inspiration. En fait, aujourd'hui, chacun les utilise plus ou moins à sa guise. Cela dit, nous devons préciser ces notions afin de faciliter le déploiement de ces nouvelles approches du développement technologique.

La bio-inspiration recoupe tout ce qui s'inspire de la Nature, du vivant. Un terme relativement large. Pour la bio-inspiration, je peux par exemple décider de copier toute ou partie du vivant comme bon me semble. Le biomimétisme consiste davantage à observer d'une façon rigoureuse un phénomène naturel physico-chimique ou biologique, pour chercher ensuite à le reproduire, comprendre les mécanismes clés qui sont sous-jacents et les appliquer à nos besoins humains et industriels. Cette démarche scientifique rigoureuse est nécessaire pour le biomimétisme alors qu'elle ne l'est pas forcément pour la bio-inspiration. Deuxième point essentiel du biomimétisme, la présence d'une sorte de cahier des charges du vivant, défini par M.B. Hoagland, B. Dodson et J. Hauck dans leur ouvrage "Exploring the way life works : the science of biology" et repris dans le cadre du biomimétisme par J.M. Benyus ("Biomimicry, innovation inspired by nature") en 1998 pour constituer des règles et processus biophysiques, architecturaux du biomimétisme en somme. Ceux-ci sont le garant du principe de durabilité. En effet, dans le vivant, le concept de déchet n'existe pas : tout déchet est une ressource pour une autre espèce. Ils conduisent également à travailler à une échelle plus locale avec beaucoup de modularité et de multifonctionnalité.

Quant à l'économie circulaire, elle représente plus l'application de la bio-inspiration à l'économie industrielle. Parfois, cette expression est davantage utilisée comme une métaphore par rapport à ce qui peut se passer dans le vivant. Il s'agit alors plus d'une inspiration que d'une approche scientifique rigoureuse.

– Mais qu'est-ce qu'il y a de réellement nouveau avec le biomimétisme, après tous les chercheurs et ingénieurs ne se sont-ils pas toujours inspirés de la nature ?

Bien sûr, dans l'histoire, il existe des démarches scientifiques s'inspirant fortement de la nature : Léonard de Vinci avec ses machines volantes, George de Mestral et le Velcro, ou encore toute l'industrie pharmaceutique qui a toujours cherché à comprendre l'activité de certains composés biochimiques dans divers organismes vivants, quitte à les modifier un peu pour les adapter à nos besoins, etc.

Aujourd'hui, je vois avant tout trois éléments qui peuvent expliquer cet engouement pour le biomimétisme, et son développement moderne. L'évolution de la science tout d'abord, qui nous permet d'explorer bien mieux le vivant. Si on se penche sur l'ADN, sa découverte est

relativement récente. Or, aller explorer le vivant à toute petite échelle, nous donne une connaissance et un regard sur lui inégalé. Ces nouvelles capacités d'observation dans l'infiniment petit et dans la compréhension du vivant qui en découle, nous permet de mettre au point de nouvelles stratégies pour tenter de le reproduire.

Au-delà de ces éléments scientifiques et techniques, il y a également le regard que l'on porte aujourd'hui sur notre environnement, sa biodiversité et le changement climatique. Et cette nécessité, finalement, de devoir innover pour faire face à ces nouveaux défis planétaires et sociétaux. Le biomimétisme intègre dès lors la nécessité de respecter davantage le vivant, de donner un cadre de développement durable à ce développement technologique et industriel.

Dernier point, le biomimétisme connaît un développement en filière récent. Surtout en France. L'enjeu de ce développement est de rassembler et de fédérer tous les acteurs du biomimétisme autour des mêmes méthodologies et démarches. Ce qui n'existait pas par le passé. Or, adopter une méthodologie commune permet de la rendre plus accessible dans les milieux industriels et de la populariser à vaste échelle.

– Pour l'industrie, l'intérêt du biomimétisme apparaît évident. Mais pour la vie des gens, qu'est-ce que cela peut vraiment changer dans leur quotidien ?

On pourrait répondre à votre question de deux manières. La première consisterait à dire que le biomimétisme ne change rien. Car il peut nous permettre de répondre strictement à nos besoins humains quotidiens sans bouleverser nos habitudes, seulement en le faisant de manière durable. Ainsi, tout ce que l'on utilise et produit devient plus "propre" : j'ai le droit de continuer à voyager ou de consommer, mais avec modération, à la condition que tous les impacts induits et l'énergie que j'utilise, demeurent en accord avec la préservation du vivant sur Terre.

Je pourrais sinon considérer que le biomimétisme change radicalement notre vie quotidienne, dans la mesure où cette approche nous pousse à fonctionner à une échelle beaucoup plus locale qu'aujourd'hui. Car les solutions qui sont standardisées à grande échelle sont rarement positives ou neutres pour la planète. Réadapter nos besoins et nos produits à un ancrage plus local suivant les spécificités du territoire, c'est l'une des clés du biomimétisme.

– Pour autant, le biomimétisme conduit-il toujours à des comportements et des productions plus écologiques ?

Pas toujours. Certaines innovations liées au biomimétisme sont très incrémentales, telle l'aile de l'A380 inspirée de celle d'un aigle : on a pu ainsi réduire la consommation des appareils, accroître leurs performances, etc. mais sans entraîner de rupture par rapport à ce qui existe déjà, en négligeant donc plusieurs impacts environnementaux. Fort heureusement, il existe de réelles innovations de rupture, qui sont fondées sur une logique du long terme. Prenons l'exemple de la photosynthèse artificielle* : elle permet d'obtenir de l'énergie propre reposant sur celle du soleil sans nécessairement passer par la production de panneaux photovoltaïques, lesquels dépendent de ressources fossiles qui s'épuisent – les terres rares, notamment.

Pour assurer un caractère plus durable aux innovations inspirées du biomimétisme, il existe aujourd'hui une norme ISO (TC 266) sur le biomimétisme visant à garantir les principes du vivant et de durabilité. Une norme française (xp-x42-502) est également née à l'initiative du Ministère de l'Écologie qui rapproche biomimétisme et éco-conception. En d'autres termes, le biomimétisme devient un outil d'innovation permettant de réduire l'empreinte carbone d'un produit, après analyse de son cycle de vie. Ainsi cette analyse et normalisation permettent de s'assurer du gain réel écologique du produit, des origines de sa conception jusqu'à sa distribution et sa possible revalorisation en tant que déchet. Le problème c'est qu'on accorde souvent beaucoup plus d'attention à l'aspect esthétique et à l'usage final du produit

biomimétique qu'à la phase de réalisation de celui-ci. On peut alors vite tomber dans les travers marketing du "biomimwashing"... C'est aussi et surtout pour ça que des normes existent aujourd'hui, pour poser un cahier des charges et des principes du vivant bien complet.

– On a parfois le sentiment que, seul, le secteur privé s'est emparé du biomimétisme, bien davantage que les laboratoires et les agences publics. Est-ce vraiment le cas ?

Effectivement, en France, le train vient seulement d'être lancé. Ce n'est pas le cas en Allemagne où cela fait déjà quinze ans qu'il est parti : il y a une véritable politique publique sur le biomimétisme avec un relai entre les différents Ministères de l'Éducation, de l'Environnement et de l'Industrie, et une structuration de tous les acteurs (privés et publics) à travers le réseau Biokon (homologue du Ceebios). En France, le premier texte officiel date de 2012 (émanant du Commissariat général au développement durable), qui identifie le biomimétisme comme levier d'innovation et vecteur de développement durable. Puis en 2015, dans le cadre du CESE (Conseil Économique Social et Environnemental) un rapport de Patricia Ricard a souligné l'opportunité du biomimétisme dans la perspective d'un développement durable. Cette même année, la Ministre Ségolène Royal citait le biomimétisme dans sa loi sur la biodiversité, comme "un des outils de préservation de cette biodiversité". Enfin, en 2017, le spécialiste Emmanuel Delannoy l'intègre dans un rapport sur "la biodiversité comme opportunité économique".

De notre côté, au Ceebios, bien que situé à Senlis dans les Haut-de-France, nous accompagnons d'autres régions, comme la Nouvelle Aquitaine depuis deux ans pour s'approprier le biomimétisme. Le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire vient d'ailleurs de nous financer pour initier une coordination inter-régionale, afin de dupliquer cette étude aquitaine à toutes les régions de France, dans le but de les accompagner dans leurs démarches en fonction des spécificités de leur territoire en terme de chercheurs, de pôles académiques et de tissus industriels.

En outre, nous allons nous employer à réunir toutes les parties prenantes du biomimétisme : start-ups, industriels, acteurs académiques..., autour de groupes de travail sur des thématiques spécifiques (habitat, matériaux...) et des formations sur le sujet. En veillant, chaque fois, à maintenir une approche pluridisciplinaire afin de croiser les regards et les approches entre biologistes, physiciens et ingénieurs, et réussir à trouver des façons de travailler et un langage communs. Cette démarche collective doit nous permettre de créer une méthodologie rigoureuse et accessible, duplicable, au-delà de l'inspiration d'une personne isolée, aussi géniale soit elle.

Enfin, sur la question du privé et du public, il y a un enjeu clé sur lequel nous souhaitons avancer tous ensemble : c'est celui de la libre circulation des données autour du biomimétisme et du vivant. Aujourd'hui le noyau dur du développement biomimétique est constitué d'une vingtaine d'espèces, qui sont ou ont été largement étudiées en bio-inspiration : la peau du requin et sa microsurface (hydrodynamique des maillots pour la natation, surface aérodynamique pour les avions, etc.), l'extrémité de l'aile de l'aigle pour celles des avions, les propriétés du mycélium du champignon... Mais lorsque l'on sait qu'il existe entre 10 et 40 millions d'espèces sur Terre, le champ des possibles devient incroyable. Et les informations sur elles deviennent capitales. Il existe aujourd'hui des bases de données telles que AskNature qui tendent à compiler toutes ces bio-inspirations partout dans le monde. L'enjeu à terme est que chacun puisse se les réapproprier pour pouvoir les appliquer sous une forme fonctionnelle, en termes d'innovations, d'outils de recherche, de produits innovants...

– À l’horizon des vingt prochaines années, si vous ne reteniez qu’un seul procédé ou un secteur biomimétique susceptible d’apporter un changement majeur dans nos vies, lequel serait-il ?

Sans hésiter, celui de la photosynthèse artificielle. Des chercheurs en France travaillent sur cette photosynthèse artificielle, qui selon moi est l’un des plus gros enjeux scientifiques en termes de durabilité pour la production d’énergie.

Sinon, plus en lien avec mon poste actuel, la thématique des matériaux dans la nature est riche d’enseignements. Il y existe une diversité de propriétés mécaniques (résistant mais pas cassant, élastique...) et fonctionnelles (auto-cicatrisant, autonettoyant, hydro ou aérodynamique, participant à la régulation thermique...) exceptionnelles qui peuvent, en outre, respecter les principes du vivant – en étant biodégradables et fabriqués dans des conditions de chimie douce (à pression et température ambiantes, dans l’eau).

Le secret de ces matériaux réside dans leur composition chimique à partir de seulement trois familles de polymères, eux-mêmes constitués des éléments chimiques les plus abondants, mais assemblées à différents niveaux de complexité (aux échelles moléculaires, supramoléculaires, nano et micrométriques) pour produire la diversité des formes que l’on connaît dans la nature : soie d’araignée, carapace de crustacé, écailles de poissons, cuticule des plantes, écorce des arbres, etc. Cette problématique des matériaux bio-inspirés concerne tous les secteurs industriels. Et elle est associée à des enjeux environnementaux colossaux en termes de disponibilité des ressources (matières premières), de gestion des déchets, d’énergie nécessaire pour les procédés de fabrication et de transformation. Or, nous ne sommes qu’au tout début de développements exceptionnels dans ce domaine...

* La photosynthèse artificielle est une nouvelle façon de produire de l’énergie en imitant le mécanisme biochimique de la photosynthèse naturelle des végétaux. Dans la nature, la plante capte le dioxyde de carbone (CO₂) présent dans l’air et l’eau du sol. L’énergie solaire est alors utilisée pour oxyder l’eau et réduire le gaz carbonique afin de synthétiser des substances organiques (glucides) grâce à l’énergie produite par la réaction. Pour la photosynthèse artificielle, une feuille artificielle est composée d’un assemblage de fines couches de différents métaux qui catalysent l’oxydation de l’eau une fois plongés dedans et exposés au soleil. Ce processus oxyde l’eau, comme dans la photosynthèse naturelle, et ré-assemble les atomes qui la composent de façon différente. Ces nouvelles molécules sont ensuite utilisées pour produire de l’énergie.