

ADEME RECHERCHE

#40 OCTOBRE 2022



SOMMAIRE

EXPOSÉ
Biomimétisme :
innover en
s'inspirant de
la nature

2

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS

Biomimétisme :
un atout pour
la transition
écologique

3

RENCONTRE
La recherche en
biomimétisme
a besoin
d'interdisciplinarité

5



L'ÉDITO

Baptiste Perrissin-Fabert

Directeur Général Délégué
par intérim de l'ADEME

Le biomimétisme interroge en profondeur nos objectifs, nos pratiques et nos exigences qui font souvent l'impasse sur la nécessité d'intégrer nos activités au monde biologique et à ses grands cycles biogéochimiques. Pour autant, la connaissance des modèles biologiques est encore loin d'être exhaustive et nécessite des travaux de recherche pour accroître cette connaissance du vivant, et aussi pour transférer les modèles biologiques au domaine technique.

C'est pourquoi l'ADEME a commencé à intégrer les principes du biomimétisme dans ses appels à projets de recherche et développement, ainsi que d'innovation (Investissements d'avenir, appels à projets recherche

« Nous inspirer du monde vivant pour identifier des stratégies de performance environnementale. »

(APR), programmation nationale des thèses...) pour inciter un grand nombre d'acteurs (économiques, académiques et territoriaux) à proposer des projets pluridisciplinaires pouvant répondre aux enjeux d'aujourd'hui et de demain.

Cette appropriation des concepts du biomimétisme doit nous permettre de nous inspirer du monde vivant pour identifier des stratégies de performance environnementale et de résilience au changement climatique et, surtout, de nous réconcilier avec la nature. La démarche biomimétique est une approche innovante et à fort potentiel pour relever les défis de la transition écologique et énergétique. •

BIOMIMÉTISME : INNOVER EN S'INSPIRANT DE LA NATURE

Le biomimétisme peut constituer une source d'inspiration continue pour soutenir les actions de l'ADEME les plus efficaces en faveur de la transition écologique.



Le biomimétisme – de bios = vie et mimésis = imiter – est une stratégie d'innovation qui consiste à s'inspirer des organismes et processus du vivant pour faire évoluer les technologies, les organisations, l'économie et la société vers plus de sobriété (énergie et matière), d'efficacité et de durabilité.

COMPRENDRE L'INTÉRÊT DU BIOMIMÉTISME

Cependant, l'innovation par la bio-inspiration ne comporte pas de façon intrinsèque et automatique des externalités environnementales positives. Il existe des applications bio-inspirées ne présentant aucun avantage environnemental par rapport aux produits qu'elles remplacent, voire créant de nouvelles difficultés d'ordres technique ou éthique :

- produits bio-inspirés toujours issus de dérivés du pétrole (ex. : revêtements superhydrophobes inspirés du lotus);
- technologies bio-inspirées faisant appel au génie génétique (ex. : synthèse de fibres de soie d'araignée par des mammières transgéniques);
- produits étant présentés comme « bio-inspirés ou biomimétiques » à des fins commerciales (ex. : moquettes imitant les motifs aléatoires du sol des forêts);
- innovations permettant des améliorations à la marge de l'impact environnemental de technologies existantes sans remettre en cause leur existence (ex. : injecteurs d'essence plus efficaces dans le secteur automobile)...

INNOVER EN S'INSPIRANT DE LA NATURE

Promu dans la stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable, le biomimétisme est une démarche consistant à « aller chercher [son] inspiration, pour une innovation durable, dans la nature, où l'on trouve des stratégies à la fois performantes, efficaces 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 ». La démarche biomimétique peut susciter des innovations de rupture (nouveaux processus ou nouvelles fonctions inventés) ou incrémentales (évolutions développées pour améliorer les propriétés/l'efficacité d'un produit/service). Elle peut également nourrir des innovations organisationnelles par transposition du biomimétisme à l'échelle écosystémique de l'entreprise et des territoires.

C'est en matière d'énergie que le biomimétisme peut constituer une source majeure d'inspiration. En effet, la nature sait fabriquer ou stocker de l'énergie à moindre coût, elle sait transformer efficacement l'énergie et elle réutilise tous les déchets qu'elle a créés.

La thermorégulation constitue par exemple un défi pour la recherche. Or la nature peut nous fournir des exemples de processus ou stratégies réalisés par le vivant dont nos technologies pourraient s'inspirer.

Exemple du potentiel fonctionnel associé aux modèles biologiques de thermorégulation (source : Ceebios)

Fonctions	Modèles biologiques
Produire de la chaleur	Graisse brune
Valoriser la chaleur fatale	Contraction musculaire et chair de poule
Isoler thermiquement	Trichomes végétaux
Limiter la radiation solaire	Canopée
Réguler l'émission infrarouge	Papillon Morpho
Ventiler passivement	Termitière
Utiliser de l'énergie thermique	Sudation

La chaleur est également la principale source de pertes énergétiques, notamment par le frottement des structures dans leur milieu fluide. Si cette contrainte énergétique est très forte, elle a conduit au cours du temps au développement d'un ensemble de stratégies d'hydrodynamisme et d'aérodynamisme visant à limiter les pertes.

Transposer ces solutions vers des domaines faisant face aux mêmes contraintes environnementales ouvre alors la voie à un grand nombre d'applications potentielles comme le montre le tableau ci-dessous.

Exemple du potentiel fonctionnel associé aux modèles biologiques d'hydro/aérodynamisme (source : Ceebios)

Fonctions	Modèles biologiques
Réduire les frottements de surface	Peau du requin et dauphin
Gérer les turbulences	Nageoires de baleine
Limiter les perturbations aéroacoustiques	Chouette effraie
Déplacement ondulatoire	Ondulation chez les poissons

LE BIOMIMÉTISME DANS LES APR DE L'ADEME

L'objectif de l'ADEME est d'intégrer progressivement les principes du biomimétisme dans ses APR. D'ores et déjà, la prise en compte des principes du biomimétisme a été intégrée aux appels à projets issus du PIA et à l'appel à candidatures thèses de 2022. Autre appel à projets de recherche de l'ADEME qui intègre le biomimétisme : PERFECTO. Ce dernier est parfaitement adapté à la mise en œuvre de solutions bio-inspirées du vivant issues du biomimétisme. Tous les projets PERFECTO reposent en effet sur une démarche d'écoconception de produit, bien ou service avec une forte dimension d'innovation. Le biomimétisme a donc toute sa place comme levier innovant d'écoconception, pour satisfaire une fonction (ex. : imperméabilité, isolation, etc.) à un coût acceptable et avec un gain environnemental significatif. Le projet Greenportech développé dans le second article de cette lettre est issu de l'appel 2019. ●

BIOMIMÉTISME : UN ATOUT POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Le biomimétisme est une source d'inspiration pour soutenir des recherches visant à faire évoluer les technologies, les organisations, l'économie et la société vers plus de sobriété (énergie et matière), d'efficacité et de durabilité.



Le projet S3, financé dans le cadre du PIA, a débuté en 2016. Il s'agit d'un ambitieux projet de 15 M€, porté par la société SBM Offshore avec Centrale Nantes et IFP Énergies nouvelles. Il vise à déployer un prototype houlomoteur, constitué d'un tube souple ondulant ancré en mer, qui convertit l'énergie des vagues en électricité via le matériau constitutif du système : un polymère électroactif. Ce polymère constitue une innovation bio-inspirée : il est constitué d'un matériau élastique déformable sans aucune pièce mécanique et permet la conversion des ondulations et pressions subies par le polymère en énergie. Le principe est le suivant : le tube est rempli d'eau de mer et est légèrement pressurisé. Il est placé juste sous la surface libre.

Sous l'action de la houle incidente, le tube se déforme et des ondes progressives sont générées à la surface et dans le fluide à l'intérieur du tube. Ces ondes ont leurs propres caractéristiques physiques et il en résulte une différence de pression entre l'écoulement extérieur et intérieur. Le travail fourni par cette différence de pression et les déformations de la paroi correspond à l'énergie des vagues qui est absorbée par le système.

Le démonstrateur de 1 mètre de diamètre et 60 mètres de longueur sera déployé au large de Monaco et permettra également de mieux étudier les interactions entre le système et l'environnement marin, et de confirmer l'impact environnemental réduit.

LES HYDROLIENNES ONDULÉES COMME DES POISSONS

Le projet porté par Blue Mimetic a pour objet de développer une hydrolienne marine de petite puissance, avec un système d'ancrage innovant, pour alimenter notamment les fermes aquacoles en électricité. Le mouvement méca-

nique ondulatoire des poissons est reproduit afin de convertir une énergie mécanique en une énergie électrique. L'énergie des courants est prédictible, quantifiable, localisée et régulière.

Ce système viendrait en substitution des groupes électrogènes nuisibles pour la faune marine (pas de pollution sonore ni d'agression de la faune). Des essais en mer sont prévus cette année à l'aide d'un démonstrateur afin de finaliser sa conception. Les bienfaits pour l'environnement sont multiples : pas de déchets ni d'émission de CO₂ en fonctionnement, pas d'impact paysager. Ce projet fait l'objet d'un cofinancement ADEME, Conseil Régional des Hauts-de-France dans le cadre du fonds Fratri (Fonds régional pour la troisième révolution industrielle).

L'AGRIVOLTAÏSME DYNAMIQUE

Dans un autre domaine, le PIA a permis de financer une innovation de rupture, portée par Sun Agri. Biomimétique car inspirée de l'agroforesterie, le projet permet de concilier, sur une même parcelle, production agricole et production énergétique, sans conflit d'usages. L'agrivoltaïsme est une discipline de recherche développée depuis 2009 par Sun'R en collaboration avec l'Inrae. Les panneaux photovoltaïques sont pilotables en temps réel et s'orientent prioritairement selon le besoin d'ombre ou d'ensoleillement de la plante.

Les objectifs du programme Sun'Agri 3 sont de démontrer les bénéfices de l'agrivoltaïsme dynamique en situation réelle, sur cultures viticoles, arboricoles et sous serres. Ce programme permet en effet de réduire jusqu'à 20 % la consommation en eau des plantes. Ensuite, le projet améliore le développement de produits complémentaires tels que les panneaux bifaciaux, des systèmes de protection antigrêle et des serres fermées.

LE BIOMIMÉTISME POUR L'ÉCOCONCEPTION

Issu de l'appel à projets PERFECTO 2019, le projet Greenportech a consisté à développer une plateforme flottante habitable à coût optimisé, écoconçue, inspirée par le biomimétisme.

Face à l'urbanisation croissante des villes, cette solution permet d'imaginer une alternative à la construction autour de structures flottantes écoconçues, modulaires et démontables.

Cette nouvelle plateforme, le Greenportech, doit améliorer la structure existante Triportech. Elle doit être encore plus modulaire pour s'adapter à tous les marchés visés (bureaux, restaurants, commerces, hôtels, etc.), et écoconçue pour diminuer l'impact environnemental tout au long du cycle de vie du produit, et être partiellement ou totalement autonome en eau et en énergie.

Ceebios a apporté son expertise pour identifier ce qui, dans la nature, pouvait apporter une solution supplémentaire d'écoconception en matière de gestion de l'eau, thermorégulation, camouflage et stabilisation. La flottabilité et la portabilité ont par exemple été inspirées du nénuphar géant d'Amazonie.

En partant d'une approche produit, la démarche d'écoconception a intégré une réflexion sur le cycle de vie du produit avec une vision multicritère où le biomimétisme a pu être utilisé pour déterminer la solution la plus adéquate dans le design du produit.

LES RECHERCHES SUR LE DÉVELOPPEMENT DE BIOCONTRÔLES

Depuis l'origine de la bio-inspiration posant les principes du vivant comme modèle de conception, de production et d'organisation, les applications peuvent prendre différentes formes de transferts et d'applications : jusqu'à la capacité à mimer le vivant à travers des solutions techniques ou modèles d'organisation en passant par les autres ramifications issues du vivant comme modèle, comme par exemple le biosourcing, le biocontrôle ou la famille des solutions fondées sur la nature.

Le biocontrôle consiste à utiliser des organismes vivants ou substances naturelles pour prévenir ou réduire les dommages causés par des organismes nuisibles (ravageurs, plantes adventices et pathogènes). On s'inspire ainsi des mécanismes à l'œuvre dans la nature comme par exemple l'introduction de l'ennemi naturel du ravageur pour l'éradiquer.

Le projet Fourmanioc a permis la mise au point d'un produit de biocontrôle efficace contre l'espèce de fourmi « manioc » présente en Guadeloupe. Constitué de substances 100 % naturelles, le produit se présente sous forme de granulés,


ZOOM SUR ...

Les bâtiments bio-inspirés pour la transition écologique

L'ADEME publie en octobre, à l'occasion de la Biomim'Expo, dans la collection « Ils l'ont fait », un guide intitulé « S'inspirer du vivant pour la transition écologique du bâtiment – Comment mettre en œuvre le biomimétisme dans vos projets », conçu et réalisé par Ceebios, le Centre d'études et d'expertises en biomimétisme.

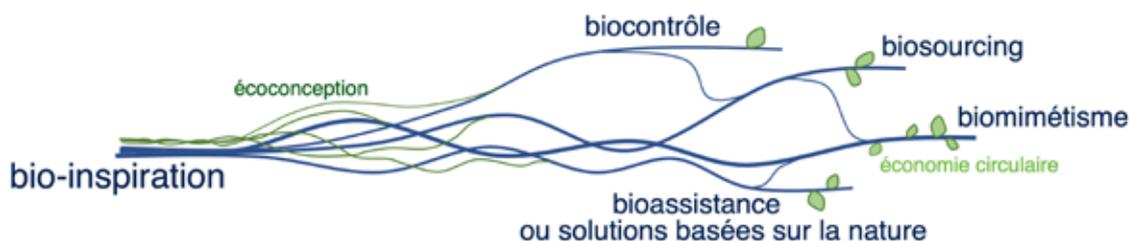
La démarche du biomimétisme facilite une intégration du vivant comme un modèle pour guider les choix architecturaux, énergétiques et techniques, dans un objectif de transition écologique et de régénération des écosystèmes. Ce guide illustre par des constructions bio-inspirées une sélection de problématiques techniques, écologiques et énergétiques du bâtiment, résolues par la démarche du biomimétisme : réduire la consommation d'énergie primaire, gérer le confort d'été, rénover l'existant, optimiser les consommations d'eau, alléger les structures, préserver les écosystèmes.

placés sur le trajet des fourmis. Transportés par les fourmis à l'intérieur de leur nid, ces granulés sont dispersés sur le champignon, qui devient toxique pour les larves et la reine. À la différence des pesticides conventionnels, ce produit n'agit pas directement sur la fourmi en tant qu'individu mais sur le champignon qui nourrit la colonie. En Guadeloupe, les fourmis coupeuses de feuille, aussi appelées « fourmis manioc », contribuent substantiellement à la baisse des rendements agricoles. Une enquête épidémiologique¹ a permis d'évaluer les pertes économiques pour le secteur agricole guadeloupéen à environ 9 M€ par an, soit 12 à 15 % du produit brut agricole de l'archipel.

Le projet Fourmanioc répond donc à un enjeu important d'autant qu'en France, il n'existe plus de traitement autorisé contre ce ravageur, les produits phytosanitaires précédemment utilisés ayant été interdits en raison de leur nocivité. •

1. Menée par la Fredon Guadeloupe à l'été 2020.

BIOMIMÉTISME : VERS LA CO-CONCEPTION D'UN AVENIR EN CO-BÉNÉFICE MUTUEL ENTRE L'HOMME ET LA NATURE





KALINA RASKIN
Directrice générale
de Ceebios (Centre
d'études et d'expertises
en biomimétisme)



IMAN BAHMANI-PIASECZNY
Référénte experte
nationale sur
le biomimétisme
à l'ADEME

« LA RECHERCHE EN BIOMIMÉTISME A BESOIN D'INTERDISCIPLINARITÉ »

Fruit de près de 4 milliards d'années d'évolution, le vivant est une source d'inspiration à part entière. Les recherches menées en biomimétisme visent à comprendre son fonctionnement complexe pour imaginer des solutions au service de la transition écologique et énergétique. Une approche ambitieuse qui nécessite de développer l'interdisciplinarité au sein du monde de la recherche et de l'innovation.



U'est-ce que le biomimétisme et quel est le rôle de Ceebios sur ce sujet ?

Kalina Raskin : Le biomimétisme consiste à analyser et comprendre le fonctionnement du vivant dans ses différents environnements puis à établir en quoi ce fonctionnement pourrait être imité dans nos processus humains. Il s'agit d'une approche scientifique interdisciplinaire qui fait dialoguer les biologistes, les chimistes, mais aussi les physiciens, les mathématiciens, etc.

Ceebios joue un rôle de chef d'orchestre entre les expertises publiques et privées, coordonne les initiatives et accompagne la conception et la mise en œuvre de solutions bio-inspirées concrètes.

Ceebios mène-t-il également des travaux de recherche ?

K. R. : Oui ! Et nos travaux en propre sont complémentaires de ceux qui existent en s'intéressant principalement à la méthodologie. Notre objectif est de guider et stimuler l'interdisciplinarité pour accélérer le biomimétisme. Nous menons également des travaux pour automatiser l'acquisition et le traitement de données biologiques comme ceux entrepris avec le Museum national d'histoire naturelle et le pôle Euramaterials via la plate-forme BiOMIg. L'objectif est de s'appuyer sur la richesse des exper-

tises et collections du Museum (68 millions de spécimens) pour développer des matériaux vertueux inspirés du vivant.

Depuis quand l'ADEME s'intéresse-t-elle au biomimétisme et pourquoi ?

Iman Bahmani-Piaseczny : Nous réfléchissons à ce sujet depuis plus de trois ans avec au moins deux objectifs : encourager la pluridisciplinarité dans les projets de recherche que nous accompagnons, mais aussi identifier dans le monde du vivant des stratégies de résilience des écosystèmes. Celles-ci nous permettraient de repenser nos modes de production, de consommation et d'organisation, etc., autrement dit, d'assurer la mise en œuvre d'une transition écologique et énergétique responsable et pérenne.

BIO EXPRESS

Ingénieure physico-chimiste diplômée de l'ESPCI-ParisTech et docteur en neurosciences de l'UPMC, Kalina Raskin a pris la direction générale de Ceebios en 2017. Très active sur ce sujet (elle est notamment conseillère éditoriale « biomimétisme » pour la revue *Techniques de l'ingénieur* et a participé au groupe d'experts « Nature-based solutions » à la Commission européenne), elle entend aider la France à s'emparer du biomimétisme et à en faire un levier de la transition écologique.

Quels travaux de recherche inspirés du vivant pourraient favoriser la mise en œuvre de la transition écologique et énergétique ?

K. R. : De nombreux travaux de très haut niveau sont menés par des Français sur ces sujets. Je pense notamment aux travaux qui réunissent l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, le CEA, le Collège de France et d'autres organismes européens qui ambitionnent de produire de l'hydrogène grâce à un processus imitant la photosynthèse. Par

ailleurs, un nombre croissant de chimistes talentueux travaillent sur la compréhension de la chimie du vivant (qui, ne l'oublions pas, est extrêmement sophistiquée, efficace et performante) pour trouver des solutions permettant de limiter la production et l'utilisation de substances dangereuses pour l'environnement et de réduire le coût énergétique de fabrication de la matière. À titre d'exemple, on imite déjà la capacité d'éponges ou d'algues unicellulaires à fabriquer du verre à température et pression modérées alors que, pour ce faire, nos processus industriels nécessitent des pressions et des températures particulièrement élevées. Enfin, dans une société de plus en plus digitalisée, nous avons un besoin croissant de capteurs et de systèmes de gestion de l'information. La compréhension des insectes (qui disposent d'un système très élaboré pour capter leur environnement) nous aide aujourd'hui à développer des dispositifs de captation de l'information performants techniquement, mais aussi plus sobres en matière d'utilisation de ressources.

I. B.-P. : Les travaux de recherche en cours permettent d'acquérir des connaissances ou portent sur une recherche plus appliquée pour répondre à des besoins précis, et notamment à ceux des territoires. Des projets que nous avons soutenus ont abouti à des applications concrètes et sont proches du marché. Je pense par exemple à l'hydrolienne EEL Energy, inspirée du mouvement ondulatoire des poissons, qui produit une électricité renouvelable durable avec très peu d'impact sur la faune.

Quel est l'intérêt de la collaboration entre l'ADEME et Ceebios ?

I. B.-P. : L'introduction du biomimétisme dans nos problématiques et dans nos outils d'accompagnement a débuté par un partenariat entre l'ADEME et Ceebios. Ceebios est le relais dont nous avons besoin pour toucher l'ensemble des acteurs, qu'ils soient économiques, académiques ou territoriaux. En interne, Ceebios nous aide à acculturer nos collaborateurs à cet enjeu encore trop peu connu.

K. R. : De notre côté, l'ADEME est notre interlocuteur privilégié pour mettre en œuvre une politique publique ambitieuse, coordonnée et concertée afin d'encourager les projets bio-inspirés interdisciplinaires. Nous nous retrouvons autour d'une ambition partagée : donner toute sa place au biomimétisme dans la recherche et l'innovation actuelles !

Quel verrou de recherche le biomimétisme permettrait-il de lever ?

K. R. : L'enseignement supérieur français est particulièrement cloisonné : à l'exception de rares cursus, les disciplines sont dissociées très tôt (après la terminale) et les sciences du vivant sont abandonnées rapidement.

« Le biomimétisme, en réconciliant les disciplines, montre sa pertinence pour envisager des solutions qui concilient efficacité et sobriété d'usage, de matière, d'énergie, d'informations. »

Les futurs chercheurs sont donc dans l'incapacité de faire appel à la biologie, faute d'avoir une formation de base sur la question. Le biomimétisme propose justement, en réconciliant les disciplines, de montrer sa pertinence pour envisager des solutions judicieuses (c'est-à-dire qui allient efficacité et sobriété d'usage, de matière, d'énergie, d'informations, etc.) et en rupture avec les approches traditionnelles. En amont, se pose donc la question de repenser l'enseignement supérieur et de créer des cursus pluridisciplinaires pour que le biomimétisme soit possible.

I. B.-P. : Dans le cadre du projet Bloom sur l'animation des acteurs du biomimétisme en Hauts-de-France, nous lançons avec Ceebios et Euramaterials un concours de recherche et d'innovation sur la TEE pour identifier des projets faisant appel au biomimétisme.

Comment se positionnent les autres pays européens sur cette question ?

K. R. : Les gouvernements allemand et suisse ont compris l'intérêt de cette démarche qu'il faut envisager dans le long terme. Ils ont su l'anticiper et mettre en œuvre de véritables politiques publiques sur ce sujet. En Allemagne, le ministère de la Recherche s'est associé à ceux de l'Industrie et de l'Environnement et a octroyé des financements importants qui amorcent ces travaux et incitent les entreprises à s'intéresser à ces approches en rupture. La Suisse lui a emboîté le pas et ces deux pays sont aujourd'hui leaders en matière de recherche, mais aussi de formation, d'enseignement supérieur, etc. sur le biomimétisme.

La France dispose de tous les atouts, à savoir une recherche d'excellence dans le domaine, un patrimoine biodiversité remarquable, des industriels moteurs et des *start-up* pépites. Dans un contexte mondial et européen de plus en plus contraint, la France peut et doit se distinguer par une politique ambitieuse en faveur du biomimétisme en réponse aux grands enjeux du XXI^e siècle •

