

NUMERO # 48/49
1^{ER} SEMESTRE 2020

OPÉRATIONNELS

SOUTIEN LOGISTIQUE DÉFENSE SÉCURITÉ

- Opération Barkhane
« *La peur a changé de camp* »
- Dossier Survie
Sur les pas de Marmier

... OPERATIONS ... PREPARATION OPERATIONNELLE ... REGENERATION DES FORCES ... SURVIE ... AUTONOMIE ... SPORT ...



Myceco est un cabinet de conseil en Biomimétisme, dont l'objectif est de favoriser l'essor du biomimétisme en France au travers notamment d'un catalyseur de compétences, le Centre européen d'excellence en biomimétisme (Ceebios). Leur ambition est d'en faire un levier de soutenabilité environnementale et économique au service des politiques publiques.

Sa fondatrice nous explique dans cet article ce que recèle le biomimétisme comme sources d'innovations majeures pour l'industrie et pour les domaines capacitaires de la défense et de la sécurité nationale.

Biomimétisme la nature au service de l'innovation de défense



Par Chrystelle Roger

Présidente fondatrice de Myceco

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 durables¹.

Le mot est issu du grec *bio* (vie) et *mimesis* (imitation). Il existe un cadre normatif depuis 2015 avec trois normes ISO (ISO TC 266 - ISO NF 18458) et une norme expérimentale AFNOR. Dans cette acception normée, on parle parfois aussi de bio inspiration, de biomimétique, le biomimétisme étant la philosophie, la méthodologie et l'approche conceptuelle interdisciplinaire prenant pour modèle la nature, afin de relever les défis du développement durable (social, environnemental et économique). Le biomimétisme permet en particulier de répondre à différents objectifs de développement durable (dits ODD).

La France dispose d'un capital intellectuel et naturel inégalé :

- une des plus grandes collections naturalistes au monde soixante-huit millions de spécimens détenue par le muséum national d'histoire naturelle
- une expertise académique de niveau international avec près de deux cents équipes de recherche (CNRS, ONERA, Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du CEA (Leti, etc.)
- dix pour cent des espèces connues dans le monde, grâce notamment à ses territoires ultra marins (notamment en Amazonie grâce à la Guyane)
- le second espace maritime mondial après les États-Unis avec onze millions de km² et le premier espace sous-marin du monde.

Une dynamique pluridisciplinaire à la croisée de la biologie et des sciences de l'ingénieur

Maîtriser les lois de la physique, de la chimie, de l'acoustique et autres domaines scientifiques est nécessaire dans la poursuite de l'innovation dans le domaine du biomimétisme. La capacité à sortir de son cadre disciplinaire est ainsi fondamentale pour trouver des technologies bio-inspirées performantes.

Domaine exploré depuis des siècles, Léonard de Vinci en fut le pionnier étant tout à la fois inventeur, scientifique, musicien, philosophe ou encore poète. Pour créer une machine volante, il avait observé les particularités de la chauve-souris et du

L'araignée, championne de l'ingéniosité

La grande championne de l'ingéniosité est la « mal aimée » de l'espèce humaine : l'araignée, dont on dénombre plus de quatre mille sept cents espèces dans le monde. Les araignées inspirent tous les secteurs industriels de la santé, en passant par le luxe et le textile et bien sûr l'industrie de défense. On citera les exemples d'innovation suivants :

- La toile d'araignée constitue un potentiel en termes de « métamatériau » pour le camouflage, pour élaborer les filets à brouillards auto réfrigérants des centrales nucléaires, les filets de récupération des débris spatiaux ou bien encore les structures de ventilation telles que celles du stade de Munich.
- Plusieurs équipes françaises, italiennes et britanniques travaillent sur les capacités des toiles d'araignées en termes d'interaction avec les ondes sonores et lumineuses, ainsi que sur leurs propriétés anti bactériennes pour mettre au point des pansements antibiotiques dans le domaine de l'ingénierie tissulaire.
- La société allemande Amsilk a par ailleurs réussi à synthétiser la soie d'araignée par une bactérie pour des applications diverses (renfort de structures ultra résistantes et très souples pour le secteur aéronautique, le textile et le sport automobile).
- Les araignées plongeurs qui vivent sous l'eau ont, quant à elles, inspiré les chercheurs de l'université de Rochester aux États-Unis pour concevoir des structures métalliques hydrofuges et insubmersibles.

poisson volant, l'oiseau étant surtout étudié pour l'architecture des plumes. Clément Ader reprendra lui aussi l'idée de la chauve-souris pour ses Avion I, II et III (Éole, Zéphyr et Aquilon).

On peut donc retenir les caractéristiques premières du biomimétisme : la pluridisciplinarité et la transversalité. Le biomimétisme permet d'associer des disciplines et des métiers variés pour une fertilisation croisée des connaissances : scientifiques, ingénieurs, biologistes, designers, architectes, etc.

La démocratisation du biomimétisme passe par une vision partagée de la définition de l'approche, la prise de conscience des atouts du biomimétisme par les acteurs publics en fournissant des preuves des externalités positives d'un point de vue économique et écologique, la génération de réflexes pluridisciplinaires permis notamment par des outils de fouille de la donnée biologique et de transposition méthodologiques pour une meilleure appropriation par les industriels, ainsi que la généralisation des formations au biomimétisme dans tous les cursus.

LE BIOMIMÉTISME SOUS TOUTES SES FORMES



Pour simplifier la compréhension, on peut schématiquement classer le biomimétisme en quatre grandes catégories :

1. Formes et structures

On peut par exemple citer :

- Gustave Eiffel qui s'est inspiré du fémur humain pour sa solidité et sa légèreté ;
- Des architectes qui s'inspirent des systèmes de ventilation des animaux : le Eastgate Centre à Harare au Zimbabwe est un hôtel inspiré de la termitière pour réguler la température et se passer de la climatisation. Ou bien encore des carapaces, telle la coquille de l'escargot du désert qui réfléchit la lumière brûlante du soleil et dans laquelle est créé un micro courant d'air.

2. Propriétés

(dont la conception de nouveaux types de surfaces)

- Des surfaces auto-déployables s'inspirant des ailes de la coccinelle, modèle de structures compactes, de déformabilité et de rigidité à la fois. L'aile de la coccinelle est en effet une structure déployable dont les caractéristiques sont les suivantes : capacité d'ouverture en un dixième de seconde et de fermeture en deux secondes ; bonne compacité permettant de réduire de moitié la surface exposée ; souplesse avec plus de cinq lignes de pliage dans le sens de la longueur et de la largeur ; une épaisseur de quelques microns, assez rigide pour emporter l'insecte dans les airs à un rythme de quatre-vingt-cinq battements par seconde, sans un seul instant de repos pour un vol pouvant durer deux heures et atteindre une vitesse par vent arrière de soixante kilomètres par heure ; résistance aux collisions avec les gouttes de pluies dont les plus grosses dépassent le poids de l'insecte...
- Des surfaces « superhydrophobes » inspirées du lotus ou du nénuphar.
- Des surfaces très adhésives comme les micro poils du gecko qui mettent en œuvre le principe d'interaction moléculaire (dit force de Van der Waals).
- Des surfaces auto-nettoyantes ou anti-bactériennes s'inspirant des insectes détritivores servant notamment aux revêtements intérieurs de l'industrie automobile.

3. Organisation

Avec le développement de nouveaux modèles d'économie circulaire et de projets dits de symbiose industrielle ou d'écologie industrielle et territoriale : au Danemark par exemple, la ville de Kalundborg a mis en œuvre ce type de cercle vertueux en encourageant différents acteurs industriels présents sur le site à optimiser la gestion de leurs flux de déchets, d'eau ou d'énergie.

4. Usages

Dans le même esprit on trouve aussi le développement de ce que l'on appelle le « bio usage/sourcing », - avec par exemple la mycorémédiation des sols pollués par des champignons ou la biocalcification à l'aide de bactéries qui agglomèrent des grains de sable pour combler des digues -, ainsi que le « bio contrôle » - avec l'utilisation d'auxiliaires biologiques vivants comme des coccinelles ou de substances chimiques naturelles comme des phéromones dans la lutte contre les ravageurs -.

Une prise en compte croissante dans le secteur de la défense

La prise en compte institutionnelle de ce secteur d'activité existe depuis dix ans au travers des politiques publiques dans les domaines de la transition énergétique et écologique, de la bioéconomie et de la biodiversité notamment. La région Nouvelle Aquitaine a mené une étude avec Vertigo Lab, permettant d'évaluer à environ trente et un mille le nombre d'emplois liés au biomimétisme pour la région d'ici 2028. Parmi les autres régions mobilisées, la région sud a l'ambition d'être exemplaire en matière de transition écologique avec son plan Climat « une Cop d'avance ». En 2018, 20% du budget de la région, soit quatre cent millions d'euros furent consacrés aux différents volets du plan, à savoir : éco-mobilité, neutralité carbone, préservation des milieux naturels, etc. La région sud a par ailleurs lancé en 2019 un prix de l'innovation biomimétique afin de promouvoir les projets et développer le biomimétisme sur son territoire. En ce qui concerne la recherche, le CNES a également intégré le biomimétisme dans sa stratégie d'innovation, afin d'apporter une réponse face à des contextes « hors normes ».

Le ministère des Armées s'intéresse également à ce domaine, car le biomimétisme répond à des enjeux de transition énergétique, objets du plan « Face au soleil » annoncé par la ministre des armées Florence Parly en septembre dernier. En outre, c'est au travers de La DGA (Direction générale de l'armement) que le sujet a été exploré au cours de la dernière décennie par le biais de thèses ou de dispositifs de financement RAPID (Régimes d'appui pour l'innovation duale) et ASTRID (Accompagnement spécifique des travaux de recherche et d'innovation défense) ou bien encore au travers d'études du CICDE. La PME Serma Group a notamment bénéficié de RAPID pour mettre au point un capteur passif au profit d'Airbus Hélicoptère. Cette technologie, inventée par le chercheur Stéphane Viollet, responsable de l'équipe Biorobotique et directeur adjoint de l'Institut des Sciences du Mouvement à Marseille (CNRS/Aix-Marseille Université), s'inspire des yeux de la mouche et est destiné à doter l'extrémité des pâles d'hélicoptères pour éviter les obstacles.

Le biomimétisme peut apporter une réponse à ces enjeux capacitaires de l'outil de défense et de sécurité nationale, car il est un levier d'innovations de rupture pour les futures capacités structurantes du ministère des armées : combats collaboratifs, systèmes automatisés, robotique, furtivité, performance des senseurs, hypervélocité, survivabilité et autoprotection des plateformes, supériorité informationnelle, etc.

Il permet notamment pour répondre à des enjeux de transition énergétique concernant en particulier

le Service des essences des Armées (allègement, hydrogène et autres carburants, pollution, etc.). En effet, le recours aux énergies propres (solaire notamment), la séquestration du dioxyde de carbone atmosphérique et la mise en œuvre de sources diversifiées et décentralisées correspondent bien aux stratégies adoptées par les systèmes vivants.

Le ministère de l'Intérieur, quant à lui, a inventé notamment une technologie d'empreinte olfactive à valeur probante inspirée de la truffe du chien mise en œuvre par l'institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN).

Aujourd'hui, le Biomimétisme est une réponse aux enjeux sociétaux et aux défis stratégiques du pays, c'est un vecteur de promesses en termes de :

- performance et d'efficacité opérationnelles (augmenter la résistance, la robustesse, la vitesse, etc.) notamment en lien avec les enjeux de défense et de sécurité nationale ;
- performance économique (création d'emplois sur le territoire, génération de PME DeepTech, etc.) ;
- performance environnementale (alternatives et réduction empreintes énergétiques et chimiques, etc.).

Le biomimétisme connaît par ailleurs un essor à l'international depuis plus de dix ans mobilisant des budgets publics significatifs, comme aux Etats Unis au travers des recherches menées par la DARPA, l'U.S. Navy ou encore le *Wys Institute*, mais aussi en Allemagne, Suisse, Chine, Japon, etc.

En outre, le lien entre défense, sécurité et environnement apparaît de plus en plus évident, compte tenu de la tension sur les ressources, le réchauffement planétaire et les famines induites conduisant des populations à migrer ou bien encore du déclin de la biodiversité due au financement du terrorisme par le trafic d'espèces menacées. L'instabilité géopolitique et la multiplication des conflits armés liées au climat font de l'écologie un enjeu de souveraineté.

Le numérique, l'intelligence artificielle (IA), le cyber, et plus récemment le quantique, sont entrés dans le champ de la souveraineté, compte tenu des enjeux de suprématie économique et de sécurité que ces domaines représentent. De la même manière, la question d'un biomimétisme souverain et stratégique semble désormais s'imposer pour les acteurs participant à son essor.

§

¹ Voir : Laffitte Pierre, Saunier Claude. *Les apports de la science et de la technologie au développement durable (Tome II : La biodiversité : l'autre choc ? L'autre chance ?)*, office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, France, 2007.

Le cahier des charges du vivant au service des secteurs stratégiques clé et de la résilience



Les systèmes biologiques favorisent la circularité des flux. Ils misent sur le local et la diversité. Ils ont une approche minimaliste et une gestion optimisée de l'information pour limiter les coûts énergétiques ainsi que la consommation de ressources et pour augmenter l'adaptabilité et la résilience. Les matériaux du vivant sont remarquables par leur diversité, leurs propriétés multifonctionnelles et leur manufacture par auto-assemblage et autoréparation.

On distingue plusieurs domaines stratégiques communs aux besoins capacitaires des forces et des services de soutien, que ceux-ci relèvent de la défense ou de la sécurité nationale et pour lesquels le biomimétisme apporte une réponse mise au point par les industriels :

- les progrès des matériaux et de la protection (résistance, allègement, camouflage, traitements de surfaces, ...) : les nacres de l'ormeaux sont des trésors d'ingéniosité ou les soies d'insectes pour se protéger des effets anti-blast des balles sur un théâtre d'opération.
- les réseaux de capteurs et de censeurs et TIC :
 - détection des substances chimiques comme les explosifs en s'inspirant des capacités du Bombyx du murier (Institut franco-allemand Saint-Louis) ;
 - intelligence en essaim et combats collaboratifs : autoassemblage, auto-organisation, optimisation des réseaux, autonomie de décision et énergétique pour des drones ou de la robotique en essaim ;
 - IA frugale : réseau de neurone inspiré des insectes (Anotherbrain), enrichissement des algorithmes d'IA du projet MicroBrain de la DARPA; vision neuromorphique (Prophesee).
- la furtivité : diminuer la signature thermique, acoustique et augmenter le camouflage à l'œil, en s'inspirant de lézards, d'insectes ou des céphalopodes.
- la logistique et la maintenance :
 - soutien du combattant : absorption des chocs du casque Hedgemon inspiré du hérisson, allègement de la charge des soldats (ex : exosquelette) ou des tâches sur les chaînes logistiques avec de la robotique molle (robots inspiré des pieuvres et de la

trompe de l'éléphant, santé (colles chirurgicales biodégradables, pour des sutures, inspirées des principes d'adhésion de la nature) ;

- traitement de surfaces : capacité d'isolation ou anticorrosion en s'inspirant de la carapace rainurée du scorpion ou des algues pour les mécanismes antifouling ;
- soutien des bases (infrastructures, traitement et dépollution des sols, production et stockage d'énergie) : par exemple structures pneumatiques autorégénératives inspirée de de l'autocicatrisation des plantes (Tansairity).

- Espace : recherche de dispositifs d'ancrage, d'exploration, d'auto-assemblage, d'autoréparation, de construction ou de nettoyage des débris spatiaux (ex : soie d'araignée) pour diminuer les coûts grâce à l'apesanteur en s'inspirant du Plantoid¹ ou des ramifications intelligentes.

Les stratégies biologiques du vivant sont déjà en cours de transfert vers le secteur technologique : photosynthèse industrielle, transformation du CO² ou encore exploitation des énergies marines. Autre exemple d'innovation intéressant la défense : la mise au point par la start up Elwave d'un système de détection de mines s'inspirant du sens électrique des poissons nageant en eaux turbides, là où le sonar et la perception visuelle sont inefficaces. Ou bien encore la mise au point du Robot Antbot de Stéphane Viollet, lequel s'inspire de la fourmi du désert qui se déplace à la polarité de la lumière, et est ainsi susceptible d'apporter un renfort de fiabilité en cas de panne de GPS.

Des industriels de la défense ont déjà adopté le biomimétisme, tels Airbus pour des formes et structures écoconçues, ou encore Naval Group dans le cadre de sa stratégie d'innovation.

§

¹ Robot ou organisme synthétique conçu pour ressembler et agir comme une plante.