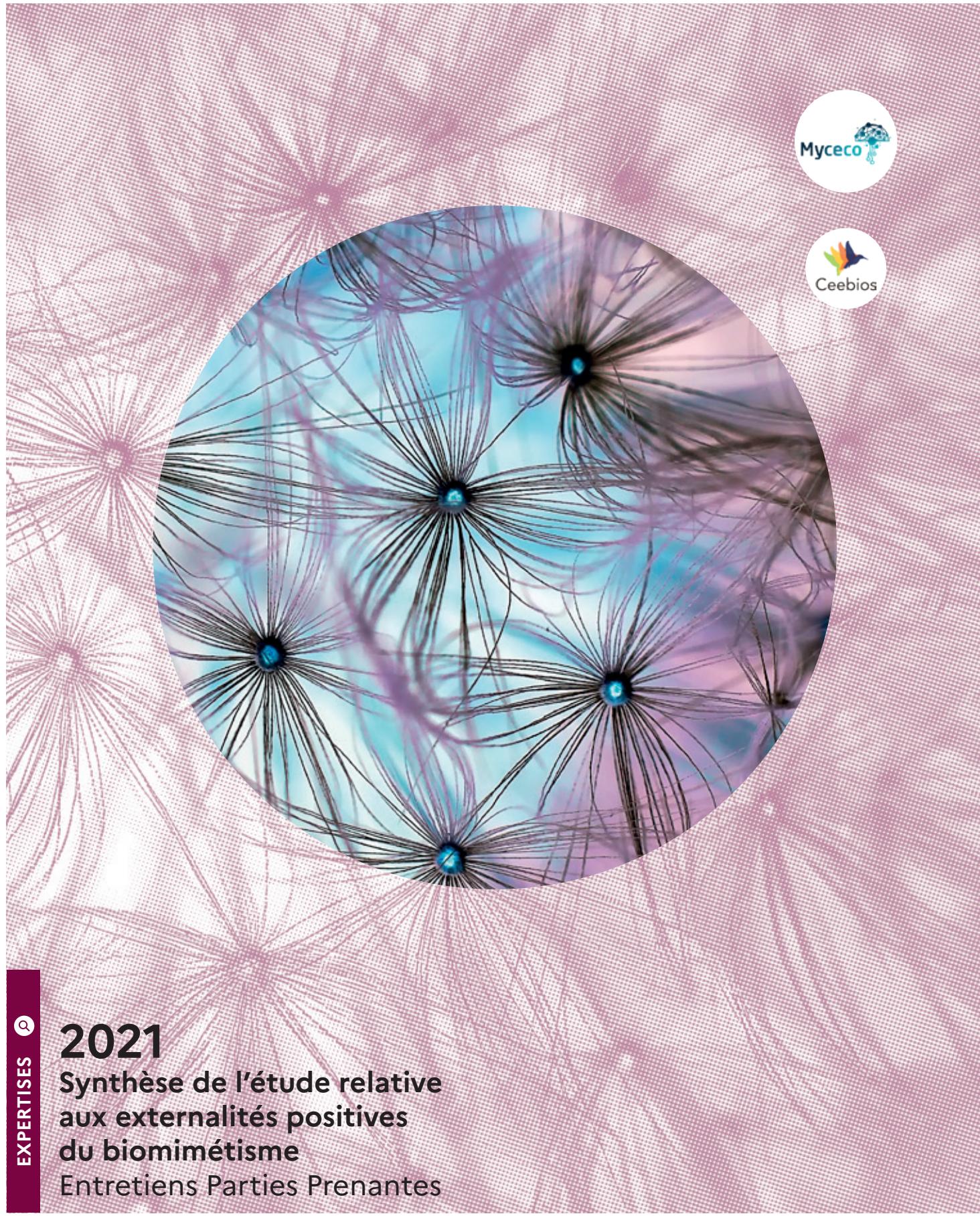




RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



EXPERTISES

2021

Synthèse de l'étude relative aux externalités positives du biomimétisme

Entretiens Parties Prenantes

Ce document a été réalisé avec le soutien de l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination :

- Kalina Raskin, Directrice Générale, Ceebios
- Félix Gueguen, Chargé de mission études industrielles, Ceebios

Direction & rédaction :

- Chrystelle Roger, Présidente Fondateur, Myceco
- Godefroy Bichon, consultant, Myceco
- Bérénice Pommier, consultant, Myceco
- Marion Roquier, consultant, Myceco
- Amélie Colle, Consultante chercheure, VertigoLab

Crédits photo : Pixabay, sauf mention contraire

Création graphique : Chloé Lequette (Ceebios), d'après la charte graphique des collections Ademe

Impression : Imprimé en France - CopyPrint, 17 Rue aux Ours, 75003 Paris - Imprim'vert

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.



RESUME

Externalités positives du biomimétisme

Le biomimétisme, pluridisciplinaire par nature, est « une pieuvre sémantique » qui peut intégrer plusieurs termes ou se situer à la frontière de divers concepts. Aussi pour en évaluer les retombées économiques et environnementales, dans un souci de rigueur méthodologique, il s'agit de s'accorder sur une définition et un noyau dur sémantique partagés par toutes les parties prenantes. En effet, les résultats, en termes de retombées socio-économiques par exemple, peuvent passer du simple au quadruple si l'on choisit d'intégrer dans le champ sémantique du biomimétisme les concepts de biotechnologies, de bio-assistance ou de bionique.

Ainsi, l'objectif de cette étude qualitative est de cadrer une démarche d'alignement sémantique pouvant servir à mener des études d'impacts socio-économiques nationales sous une impulsion gouvernementale et, le cas échéant, s'inscrire dans des benchmarks internationaux sur les apports du biomimétisme d'un point de vue socio-économico-environnemental. Une série d'entretiens a été réalisée auprès d'une quarantaine de parties prenantes provenant de la sphère privée industrielle, de l'enseignement supérieur, de la recherche ou issues du milieu associatif.

Les entretiens des parties prenantes se sont déroulés de septembre à décembre 2020.

Pour tout acronyme non explicité dans le texte, nous vous proposons de vous reporter à la table des acronymes en fin de document.

LE POINT DE VUE des parties prenantes

SOMMAIRE

Synthèse de l'étude relative aux externalités positives du biomimétisme

Contexte et objectif de l'étude	page 06
Cadrer la sémantique	page 12
Poser le champ lexical de la « pieuvre sémantique »	page 18
Évaluer le caractère vertueux de la démarche	page 20
Le niveau de bioinspiration comme boussole	page 26
La roue sémantique du biomimétisme	page 34
Tableau de bord et boîte à outils	page 38
Le vivant comme potentiel pour la souveraineté et la vitalité nationale	page 50
Conclusion	page 58
Présentation des auteurs de l'étude	page 60
Table des acronymes	page 62
Annexes	page 64



SYNTHÈSE

CONTEXTE & OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Cette étude s'inscrit dans la continuité de la feuille de route nationale portée par Ceebios.

Elle donne suite à la journée de travail autour du biomimétisme du 29 novembre 2019 chez France Stratégie, qui avait pour thématique « Quels leviers de développement et quelles perspectives pour la France ? » et visait à dégager les moyens de constituer un biomimétisme en phase avec les grands enjeux sociétaux, ainsi que la façon d'en faire un levier de soutenabilité environnementale et économique.

A l'issue de cette journée, Myceco¹ et Ceebios² ont publié en juillet 2020 un rapport³ permettant de restituer les avancées des tables-rondes et ateliers d'idéation qui y avaient eu lieu.

Aux cinq grands défis proposés, le rapport a dégagé 2 prérequis, eux-mêmes visant 5 grandes préconisations pour développer un biomimétisme au service d'un développement réellement durable (défis et préconisations en annexe 1, tableau de bord en annexe 2).

En particulier la préconisation #1 prévoyait de « fixer la sémantique » pour faciliter les échanges et embarquer les concepteurs et chercheurs dans un transfert de connaissance de la biologie. Plusieurs préconisations mettaient en perspective l'importance d'une standardisation pour suivre l'impact sur la biodiversité tout en démontrant de façon factuelle les apports pour l'environnement.

2 prérequis

A : Consolider les externalités positives du biomimétisme d'un point de vue environnemental

B : Consolider les externalités positives du biomimétisme d'un point de vue socio-économique

5 préconisations

#1 : Fixer les méthodes et les outils

#2 : Fédérer l'écosystème d'acteurs autour d'une plateforme physique

#3 : Inclure le biomimétisme dans une vision d'ampleur, partagée et financée

#4 : Construire le système éducatif du biomimétisme

#5 : Sensibiliser et communiquer

1- <https://www.myceco.com/>

2- <https://ceebios.com/ceebios/>

3- <https://ceebios.com/wp-content/uploads/2020/07/RapportFranceStrategie-Ceebios-Myceco-juillet2020.pdf>

En effet, le fait que le biomimétisme se veuille à impact favorable aux trois piliers du développement durable (environnemental, économique et social) reste complexe à démontrer.

Comme en attestent les publications scientifiques suivantes:

Tout d'abord, dans une étude nommée «Sustainability assessment of a lightweight biomimetic ceiling structure» un groupe de chercheurs a contribué à la question de savoir si la biomimétique a un potentiel spécifique pour contribuer à la durabilité. L'équipe de recherche présente dans cette étude la première approche systématique pour évaluer la durabilité d'un produit biomimétique complexe (Antony et al. 2014). Plus tard, le même groupe de recherche a présenté l'évaluation de la durabilité de l'un des produits biomimétiques les plus connus et les plus réussis : la peinture de façade Lotusan (Antony et al. 2016).

En 2016 également, une étude de cas, menée par Kennedy et Marting, suggère que le biomimétisme peut être une approche très prometteuse pour l'innovation, et en particulier l'innovation écologiquement durable. Néanmoins, selon eux des recherches supplémentaires sont nécessaires pour valider ces conclusions (Kennedy, Marting 2016).

C'est en 2017 que Mead et Jeanrenaud ont examiné les liens entre l'innovation biomimétique et la théorie de la durabilité et étudié comment les praticiens abordent les questions de durabilité. L'article comprend un examen des concepts reliant la durabilité et l'innovation biomimétique, soulignant

les disparités épistémologiques entre les disciplines, et une enquête exploratoire examinant l'utilisation et les points de vue des praticiens sur la biomimétique pour l'innovation axée sur la durabilité (Mead, Jeanrenaud 2017).

Enfin, en 2018, dans l'article de Horn et al., une méthode d'évaluation de la durabilité est développée sur la base d'un cadre de durabilité bioinspiré qui a été développé dans le projet TRR 141-C01 «The biomimetic promise». Il vise à retrouver les avantages de l'intégration de la société dans son environnement grâce à une inspiration biologique (Horn et al. 2018)⁴.

Par ailleurs, de nombreux acteurs de la sphère publique (ex. : Bercy/DGE) et de la sphère industrielle, pour s'engager dans une démarche plus volontariste, réclament une meilleure visibilité sur les retombées en matière de croissance économique (ex. : contribution au PIB national par filière et par territoire) ou de création/préservation d'emplois, à l'instar de ce qui a pu être publié par l'Université de San Diego- Fermanian Business Institute (Da Vinci index 2013 et 2015)⁵.

L'ADEME (Agence gouvernementale de la transition écologique) a donc sollicité le Ceebios pour cadrer cette fois-ci la démarche biomimétique ainsi que sa définition, estimer l'importance du biomimétisme dans le futur développement national et mondial, et en dégager les externalités positives. En outre, dans la continuité des recommandations du rapport issu de la journée France Stratégie et de l'étude ADEME, l'Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) a lancé une note d'information dont la rapporteuse est la députée du Lot Huguette Tiegna pour le compte de la commission des Affaires économiques de l'Assemblée nationale. Cette note vise à interroger la contribution du biomimétisme aux grands objectifs

4- Antony, F., Grießhammer, R., Speck, T., & Speck, O. (2014). Sustainability assessment of a lightweight biomimetic ceiling structure. Bioinspiration & Biomimetics, 9(1), 016013. <https://doi.org/10.1088/1748-3182/9/1/016013>

Antony, F., Grießhammer, R., Speck, T., & Speck, O. (2016). The cleaner, the greener? Product sustainability assessment of the biomimetic façade paint Lotusan® in comparison to the conventional façade paint Jumbosil®. Beilstein Journal of Nanotechnology, 7(1), 2100-2115. <https://doi.org/10.3762/bjnano.7.200>

Horn, R., Dahy, H., Gantner, J., Speck, O., & Leistner, P. (2018). Bio-Inspired Sustainability Assessment for Building Product Development—Concept and Case Study. Sustainability, 10(1), 130. <https://doi.org/10.3390/su10010130>

Kennedy, E. B., & Marting, T. A. (2016). Biomimicry : Streamlining the Front End of Innovation for Environmentally Sustainable Products. Research-Technology Management, 59(4), 40-48. <https://doi.org/10.1080/08956308.2016.1185342>

Mead, T., & Jeanrenaud, S. (2017). The elephant in the room : Biomimetics and sustainability? Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials, 6(2), 113-121. <https://doi.org/10.1680/jbibn.16.00012>

5- <https://www.pointloma.edu/centers-institutes/fermanian-business-economic-institute/da-vinci-index-biomimicry>

6- [https://www2.assemblee-nationale.fr/15/les-delegations-comite-et-office-parlementaire/office-parlementaire-d-evaluation-des-choix-scientifiques-et-technologiques/\(block\)/24975](https://www2.assemblee-nationale.fr/15/les-delegations-comite-et-office-parlementaire/office-parlementaire-d-evaluation-des-choix-scientifiques-et-technologiques/(block)/24975)

Ceebios s'est appuyé sur les cabinets de conseil Myceco⁷ et VertigoLab⁸ pour mener cette étude.

L'étude comporte deux volets. Le premier consiste en une série d'entretiens avec les parties prenantes du biomimétisme pour encadrer la définition, le rôle et les attentes, adjointe à un questionnaire adressé au grand public pour une étude plus quantitative. Le second est un ensemble d'études de cas pour chiffrer les externalités positives d'une démarche biomimétique tant du point de vue environnemental qu'économique et social, en prenant pour indicateurs de mesure le respect des principes du vivant. On évalue par exemple l'impact d'une démarche selon qu'elle utilise une chimie plus ou moins verte, selon la proportion de matériaux recyclables utilisés ou selon la distance maximale d'exportation de son produit. **L'étude dont on se propose ici d'établir l'analyse est fondée sur les opinions collectées selon trois axes méthodologiques :**

- Les avis de 40 parties prenantes des secteurs public,

académique, industriel, privé et associatif, avec lesquelles ont été réalisés des entretiens, (tableau de présentation en annexe 3) ;

- Les avis de 5 parties prenantes qui nous ont fait parvenir leurs réponses aux questions par courriel, (tableau de présentation en annexe 4) ;
- Les 170 réponses à un formulaire que nous avons partagé le plus possible sur les réseaux sociaux, celui-ci se remplissant en ligne et dont les réponses étaient anonymes (questionnaire complet en annexe 5).

Les entretiens que nous avons menés avec les 40 parties prenantes disponibles, et auxquels 5 autres nous ont répondu par courriel, ont tous été menés selon le même schéma de questions (modèle de l'entretien en annexe 6). Les groupes thématiques des questions portaient sur :

- La définition du biomimétisme et son caractère vertueux ;
- Les limites de son champ sémantique
- Les enjeux qu'on lui associe et sa capacité à y répondre
- Les moyens de cadrage et de développement d'un biomimétisme vertueux
- Le caractère stratégique, voire souverain de la démarche biomimétique pour la France.

Cette étude a pour principal objectif de dégager des grandes tendances d'opinions et de prendre le « pouls » de quelques parties prenantes. Il ne s'agit pas d'une étude scientifique portant sur la sémantique et le caractère évolutif des mots. Pour aller plus loin, un travail de recherche approfondi pourrait être envisagé avec des équipes spécialisées en lexicologie et sémiologie.

Les parties prenantes interrogées en entretien dédié sont principalement des cadres exécutifs, dirigeants ou experts scientifiques des sphères publique et privée.

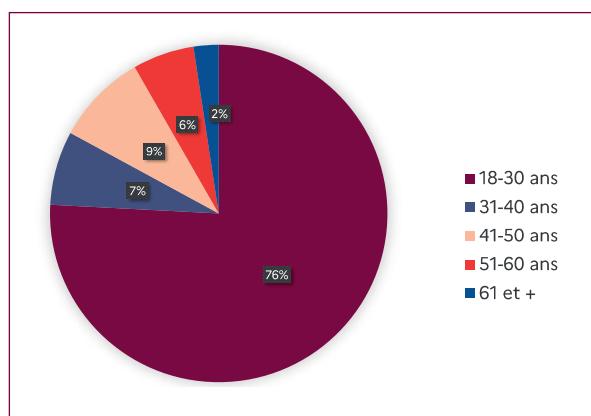
40
Parties prenantes
(cadres exécutifs, dirigeants
ou experts scientifiques des
sphères publique et privée)

7- <https://www.myceco.com/>

8- <http://vertigolab.eu/>

Les profils des personnes ayant pris part à l'étude par questionnaire en ligne se décomposent de la façon suivante :

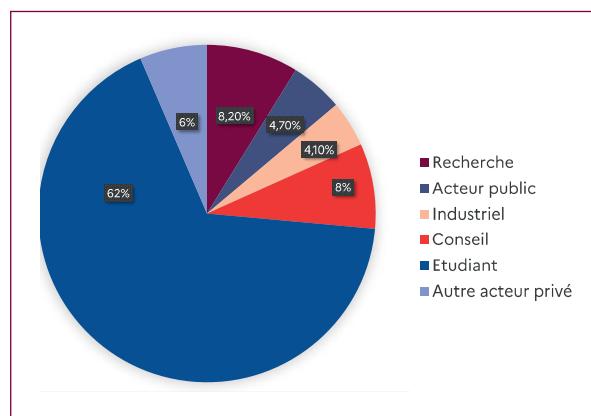
RÉPARTITION PAR TRANCHE D'ÂGE



[Figure 1] Répartition des âges des participants à l'étude par questionnaires ; crédits : Myceco

Cette répartition fortement pondérée par la tranche d'âge 18-30 ans est en partie due à une forte participation des étudiants ayant connu le questionnaire dans les écoles d'ingénierie auxquelles a été transmis le formulaire, confirmée par la statistique suivante.

RÉPARTITION PAR TYPOLOGIE DE SECTEUR D'ACTIVITÉ



[Figure 2] Répartition par typologie de secteur des participants à l'étude par questionnaire ; crédits : Myceco

Il n'est pas surprenant de retrouver une forte participation des étudiants à cette enquête : les écoles d'ingénierie, poussées par l'engouement grandissant pour le biomimétisme parmi la jeune génération, ont largement partagé le formulaire auprès et entre étudiants.

En effet, les étudiants font partie de la population la plus sensibilisée aux enjeux écologiques, comme en atteste le manifeste pour un Réveil écologique^{8b} signé par plus de 30 000 étudiants depuis 2018. Cette initiative est née de la volonté de plusieurs étudiants de « prendre leur avenir en main » en intégrant dans leur quotidien et leurs métiers les enjeux écologiques et en appelant au réveil de la société.

Aussi on peut considérer que la participation des étudiants de différentes écoles d'ingénieurs à un questionnaire dédié au biomimétisme, constitue un signal de plus en plus fort de la nécessité de considérer pleinement le biomimétisme dans une feuille de route nationale des politiques publiques de recherche et d'enseignement.

« LE BIOMIMÉTISME
explose au niveau enseignement
supérieur en ce moment.
Une proportion toujours plus
grande des jeunes recrutés dans
les sections de physique du
matériau font du biomimétisme ;
on essaime en bottom-up. »

Jérôme Casas, Université de Tours,
IRBI UMR CNRS, Professeur classe
exceptionnelle, Chaire en technologies
bioinspirées CEA/LETI/CARNOT

8b- <https://pour-un-reveil-ecologique.org/fr/>

« LE BIOMIMÉTISME est une démarche pluridisciplinaire qui interroge nos modes de faire. Elle nous invite à nous questionner sur la prise en compte des enjeux environnementaux et sociaux. Le monde du vivant représente une source d'innovation intarissable dont nous avons besoin pour mettre en œuvre une transition écologique responsable et éthique. »

Iman Bahmani-Piasczny, ADEME,
Coordinatrice du pôle R&D
et investissements d'avenir



CADRER LA SÉMANTIQUE

Le biomimétisme, pluridisciplinaire par nature, est «une pieuvre sémantique» qui peut intégrer plusieurs termes ou se situer à la frontière de divers concepts.

Aussi, pour en évaluer les retombées économiques du biomimétisme dans un souci de rigueur méthodologique, il s'agit de s'accorder sur une définition et un noyau dur sémantique partagés par une majorité de parties prenantes. En effet, les résultats peuvent passer du simple au quadruple si l'on choisit par exemple d'intégrer dans le champ sémantique du biomimétisme les concepts de biotechnologies, de bioassistance ou de bionique.

Le biomimétisme, du grec ancien *bio*, vie et *mimesis*, imitation, est une démarche visant à considérer les stratégies d'adaptation du vivant à son environnement comme le fruit d'une R&D de 3,8 milliards d'années par essais-erreurs et de s'en inspirer pour innover de manière soutenable.

Il existe un cadre normatif depuis 2015 avec 3 normes ISO (ISO TC 266) et une norme expérimentale AFNOR.

L'acception commune du biomimétisme est à géométrie variable. On retrouve trois grandes définitions retenues par les rédacteurs de la norme ISO NF 18358:

Bioinspiration

Approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques

Biomimétique

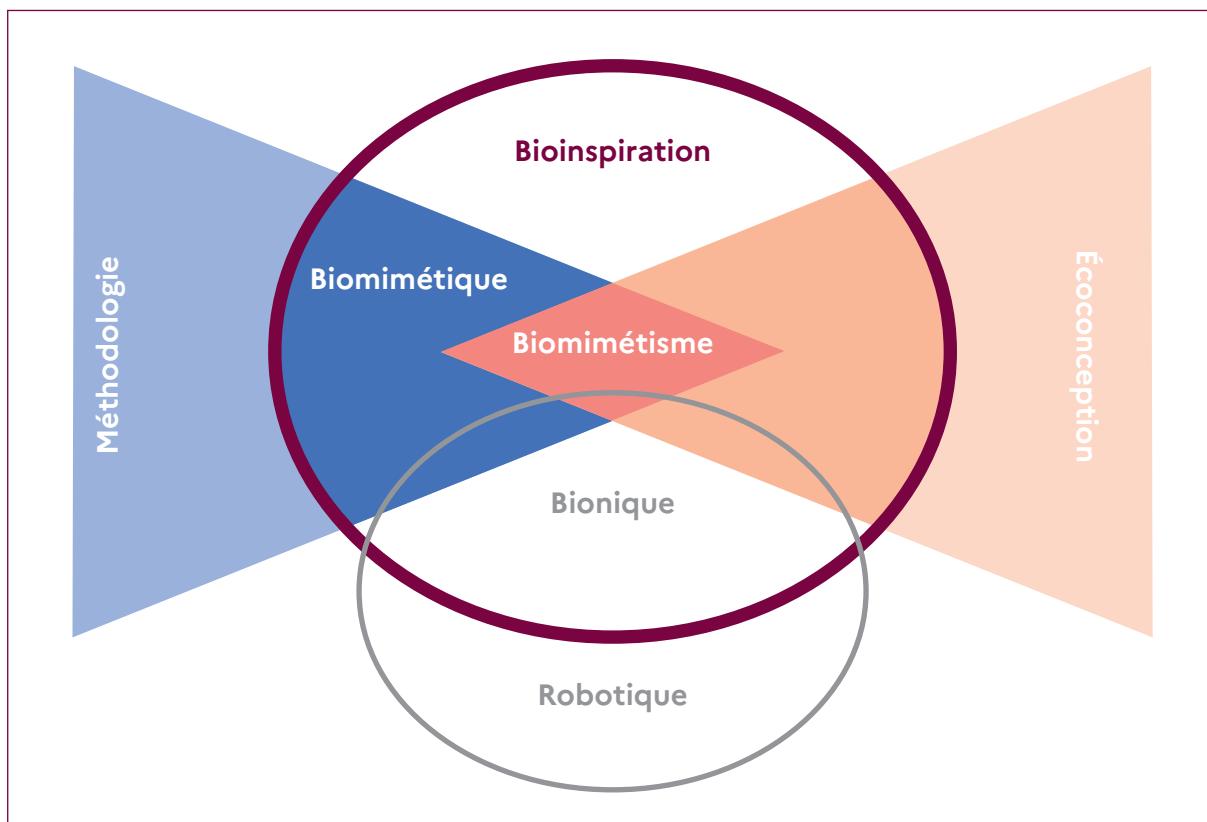
Coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation, dans le but de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, de leur abstraction en modèles, et du transfert et de l'application de ces modèles à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

Biomimétisme

Philosophie constituée d'approches conceptuelles interdisciplinaires s'appuyant pour modèle la nature afin de relever les défis de développement durable (social, environnemental et économique)

[Figure 3] Définitions retenues par les rédacteurs de la norme ISO NF 18358

Le biomimétisme est une « pieuvre sémantique »



[Figure 4] Diagramme sémantique avec l'aimable autorisation de E. Graeff, LCPI, ENSAM ; crédits : Myceco



Le biomimétisme, pratique dont les exemples historiques remontent à des origines aussi lointaines que la Renaissance, n'en est qu'à ses débuts du point de vue de sa formalisation qui diffère encore d'un pays à l'autre.

La définition sur laquelle s'accordent les parties prenantes est celle d'une démarche de bioinspiration visant à développer des solutions pour relever les défis du développement durable.

« LE BIOMIMÉTISME CONSISTE en une démarche d'innovation pour répondre aux besoins des progrès de l'Homme, et qui s'inspire des modèles naturels pour en créer des applications durables.»

Diane Simiu, MTES, CGDD, Adjointe au Commissaire Général au Développement Durable

Pour mesurer les externalités positives du biomimétisme d'un point de vue environnemental, et surtout socio-économique (ex. : impact sur la croissance du PIB et la création d'emplois), il s'agit avant tout d'encadrer le champ sémantique. Le biomimétisme revêtant un caractère transversal, multidisciplinaire et plurisectoriel, la tentation serait grande d'intégrer une vision élargie de la pratique, au risque de la diluer et de perdre en crédibilité.

Aussi, il s'agit dans un premier temps de retenir un noyau dur permettant aux principales parties prenantes de partager un périmètre d'activités et des pratiques communes.

« LE BIOMIMÉTISME EST pour moi une capacité à s'inspirer des comportements de la nature pour concevoir des produits durables et efficaces. »

Florence Dufrasnes, Airbus Defence & Space, VP Excellence Technique Ingénierie Défense et Espace

« LES MÉTIERS DE L'EAU DE VEOLIA SONT DIRECTEMENT en lien avec la protection de la ressource en eau, et donc essentiels pour la protection des milieux et de la biodiversité. Les enjeux liés à l'élimination des pollutions diffuses (microplastiques, micropolluants) d'une part, et d'autre part les solutions d'un accès plus sécurisé à une ressource de qualité pour l'ensemble des usages domestiques agricoles et industriels, sont au cœur de nos stratégies. L'intégration de technologies prometteuses comme les bioessais, les bioanalyses ou encore l'ensemble des solutions fondées sur la nature ouvrent de nouvelles perspectives qui s'intègrent parfaitement dans une approche qui peut-être portée par le biomimétisme. »

David Colon, Vice-président de la Confédération "La Filière Française de l'Eau" & Directeur Relations institutionnelles/RSE/Veille stratégique Veolia Eau France

Des entretiens auprès d'une quarantaine de parties prenantes issues du monde de la recherche, de l'action publique ou de l'industrie ont été effectués pour appréhender le champ sémantique, les externalités positives attendues du biomimétisme sur les trois piliers du Développement Durable (Économie, Environnement, Société) et les pistes méthodologiques de mesure et de cadrage nécessaires le cas échéant. Cet exercice **s'inscrit dans la définition d'une feuille de route nationale gouvernementale** qui viserait à mesurer et évaluer les bénéfices financiers et écologiques du biomimétisme en lien avec les grandes politiques publiques.

Le caractère transverse de cette pratique, qui trouve avant tout ses sources dans la convergence de l'ingénierie et de la biologie, génère une variété de thèmes à divers niveaux sémantiques (Figure 5).



[Figure 5] Nuage de mots représentant la transversalité du biomimétisme, généré à partir du lexique de tous les entretiens ; crédits : Myceco

Cette même transversalité fait du biomimétisme une pratique difficile à qualifier, tant par la diversité des sujets auxquels elle touche que par la pluralité de ses cas d'application. C'est pourquoi elle est à la fois définissable comme (Figure 6) :

- une philosophie qui invite à une conception du monde fondée sur le respect de la biodiversité et menant à une resynchronisation avec notre environnement naturel ;
- un moyen de résolution des problèmes techniques et organisationnels, en offrant de nouvelles sources d'inspiration, de nouveaux modes de conception et des socles méthodologiques ;
- un domaine d'application en biologie caractérisé par la démarche de bioinspiration, celle-là même qui permet le développement de technologies innovantes et sélectionnées par 3,8 milliards d'années d'évolution.

Toutefois pour de nombreuses parties prenantes, le biomimétisme est apparenté à une méthode comme une autre qui peut servir l'innovation.

« DANS LA CATÉGORIE

Deeptech, le biomimétisme se présente comme une source d'innovation possible parmi d'autres, en prenant une approche transversale à d'autres disciplines, projets voire programmes »

Grégoire Postel-Vinay, Ministère de l'Economie, de l'Industrie et de l'Emploi, chargé de mission stratégie DGCIS

« NOUS ARRIVONS

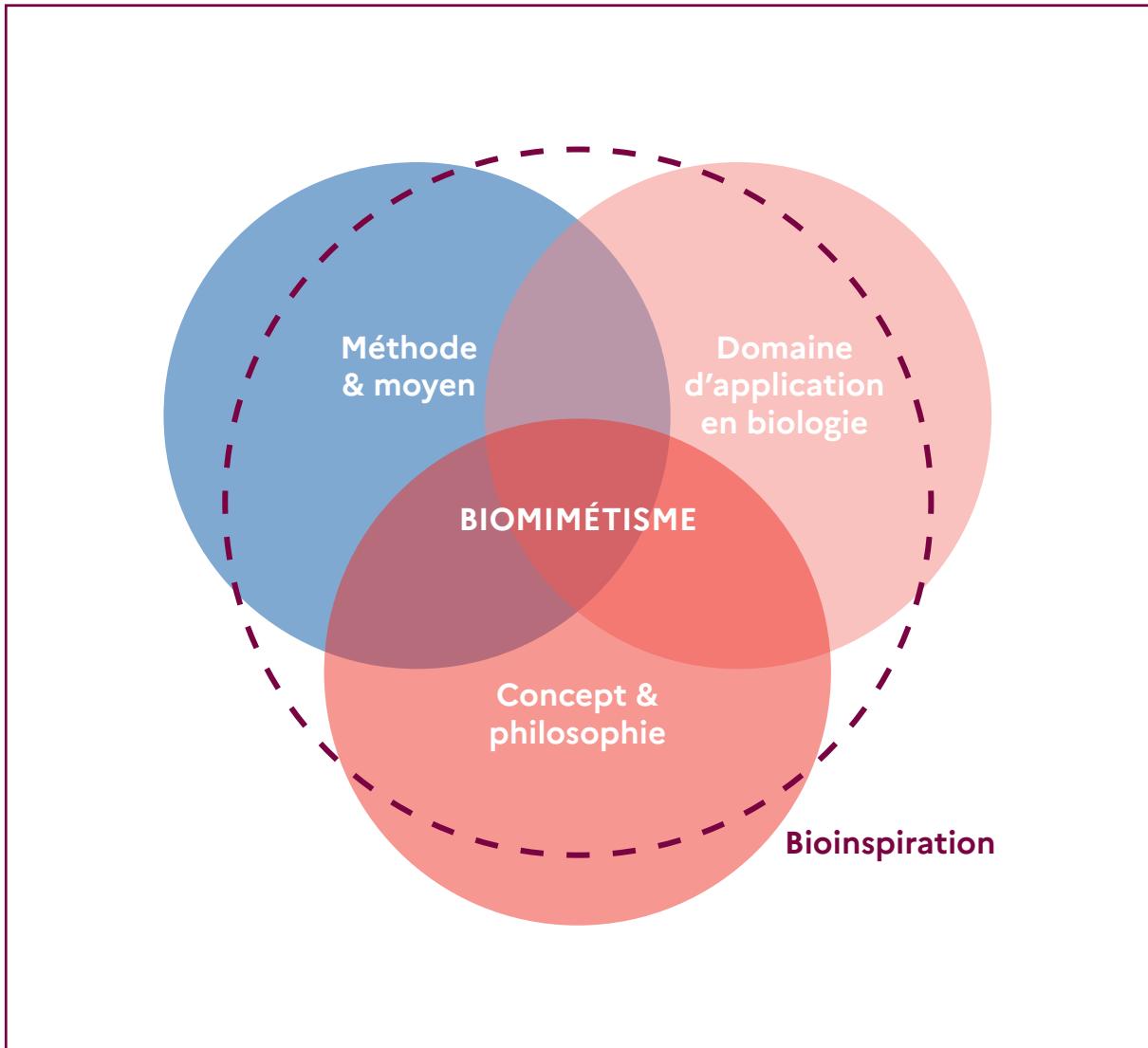
dans une période où l'on doit arrêter de penser en silo. Aujourd'hui le terme de science est extrêmement équivoque et le biomimétisme n'est pas réductible à une logique analytique. C'est forcément quelque chose qui touche aussi à nos valeurs, et qui ne participe pas juste du scientifique à l'occidentale comme on l'apprend dans nos écoles. »

Dominique Bourg, Université de Lausanne,
Professeur de philosophie, Philosophe

« PRENONS L'EXEMPLE

des winglets : si la posture de départ ne contient pas l'intention de réduire les empreintes naturelles négatives, on n'appelle pas ça du biomimétisme, mais si une réduction de l'empreinte énergétique est présente dans la posture de départ, alors c'est du biomimétisme ; après ce sera une différence de degré, et non plus de nature. La clef est la posture d'éco-conception et de responsabilité sociale, non la façon dont elle s'incarne. »

Tarik Chekchak, Directeur du pôle biomimétisme de l'Institut des Futurs Souhaitables et expert associé de Pikaïa



[Figure 6] Trivalence du biomimétisme et implication dans la bioinspiration ; crédits : Myceco



POSER LE CHAMP LEXICAL DE LA « PIEUVRE SÉMANTIQUE »

Il peut paraître vain de devoir se prêter à l'exercice de cadrage sémantique pour plusieurs raisons :

- **Les mots et leurs significations sont évolutifs au cours des années**, de nouveaux entrants dans le champ lexical (ex.: permaéconomie, écomimétisme) en fonction des tendances sociétales, des modes, des influenceurs de pensées, des cultures, etc.
- **Les définitions peuvent revêtir un contour différent d'un pays à l'autre**, notamment compte tenu du point précédent (ex. : le mot bioinspiration étant peu utilisé aux USA).

Les participants à l'étude par questionnaire ont proposé de rajouter les termes: *Buzzword, marketing, biowashing / Design analogique / Permaculture / Nature based solutions*

92%

des participants à l'étude par questionnaire incluent l'écomimétisme dans le cadre biomimétique

• **Le biomimétisme englobe plusieurs concepts et revêt un caractère transdisciplinaire**, rendant complexe tout effort pérимétrique. À titre d'exemple, certains projets bioinspirés relèvent du domaine des biotechnologies, mais tous les projets des biotechnologies ne sont pas des projets relevant du biomimétisme ou biomimétiques pour certains.

« POUR LES PHILOSOPHES
comme moi, c'est prendre la nature comme modèle, mais pas comme mesure, ce qui implique donc un danger : traduction de *biomimetics*, la biomimétique prend la nature comme modèle seulement, mais n'insinue pas forcément une inscription dans la nature. Les externalités ne sont donc pas toujours positives. »

Henry Dicks, Institut de Recherches Philosophiques de Lyon, Université Jean Moulin, Chercheur en philosophie, Professeur de philosophie

« LES SOLUTIONS FONDÉES
sur la Nature sont un concept très porté au niveau européen. Se fonder sur la nature en utilisant le vivant comme partie intégrante du système est tout à fait compatible avec le biomimétisme. »

Thibault Prévost, MTES, CGDD,
Affaires Génie Civil et Biomimétisme

Toutefois, outre la demande formulée par plusieurs parties prenantes lors de la journée de travail chez France Stratégie, pour reconnaître le biomimétisme comme domaine majeur conduisant potentiellement à des plans d'investissement nationaux, il s'agit de valoriser le biomimétisme, en l'évaluant par des indicateurs de mesure et donc au final de nommer et caractériser le domaine :

• **Valoriser** : notamment en offrant la possibilité à plusieurs start-up proposant des technologies bioinspirées (natives ou non natives) de se revendiquer de la pratique du biomimétisme, tout en créant un engouement pour des futurs créateurs d'entreprises aux technologies bioinspirées. Sur le plan économique, le biomimétisme n'échappe pas à la nouvelle dynamique des levées de fonds dans de nombreux domaines d'activité et ce malgré la durée plutôt élevée des recherches pour des entreprises développant des produits, matériels ou services d'essence majoritairement scientifiques. NewCorp Conseil a recensé cette première génération et enrichit constamment sa base de données spécialisée : depuis 2014, la première cohorte d'entreprises innovantes françaises de la Biomim Deeptech a levé 450 millions d'euros. On compte également des start-up aux technologies bioinspirées dans les 24 licornes de la Frenchtech recensées par Bercy en 2019.

Or, de nombreuses start-up de la Deeptech valorisées par les pouvoirs publics s'avèrent être des PME proposant des technologies bioinspirées. Et force est de constater que leurs dirigeants ne vont pas forcément se revendiquer du biomimétisme, la «discipline» n'étant pas reconnue.

«ON PEUT UTILISER le biomimétisme pour montrer l'intérêt que l'on a à respecter la nature et préserver toutes les richesses qu'elle peut nous fournir.»

Aline Boy, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Adjointe au chef de projet Agroécologie, Sous-direction de la Performance environnementale et de l'Agroécologie

À titre d'exemple, on peut citer quelques entreprises emblématiques de la Deeptech :

→ Whylot qui s'inspire des structures alvéolaires pour dissiper la chaleur de ses moteurs a levé 5 millions d'euros dans le cadre du Plan de relance.

→ Corwave qui élabore des bombes cardiaques inspirées de la membrane ondulante est la première start-up à bénéficier de financement du Conseil européen de l'innovation.

→ Elwave, start-up nantaise qui développe une technologie inspirée du sens électrique des poissons qui nagent en eaux turbides pour des applications militaires de détection ou des inspections dans le forage sous-marin, vient de recevoir en octobre 2021 1,7 millions d'euros de la Commission européenne dans le cadre d'un appel à projet dédié aux start-up et PME de l'économie maritime.

→ Née en 2012, M2i Life Sciences s'est lancée dans le biocontrôle végétal, qui consiste à assurer une protection des cultures et des divers végétaux contre les ravageurs et espèces invasives, à l'aide de substances comme les phéromones. M2i a levé 60 millions d'euros en 2019 pour accompagner sa croissance dans l'AGtech.

→ Dans le Top 10 de ces entreprises on compte également Tissium (colles chirurgicales biodégradables inspirées des vers marins), Prophesee (vision neuromorphique pour économiser de l'énergie), EnyoPharma, Hemarina, Aryballe, EEL Energy, Algosome et Immunrise Biocontrol.

• **Évaluer** : pour bien valoriser le biomimétisme, il s'agit d'évaluer le potentiel économique ou sociétal d'un domaine. Il est intéressant de rappeler que, bien que la France bénéficie de compétences en mathématiques depuis des décennies, le fait de reconnaître l'Intelligence Artificielle comme axe stratégique pour la France par le Président de la République en 2018, a permis de flécher des budgets de recherches publiques et privées dédiés. Ce «coup de projecteur» a notamment été donné lors de la parution du rapport du député Cédric Villani Donner un sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne. Outre la nouvelle génération de start-up bioinspirée, plusieurs projets d'entreprises (ex.: numériques) ont trouvé opportunément des financements.

• **Mesurer** : pour bien évaluer les retombées du biomimétisme, il s'agit de mesurer le potentiel d'impact du biomimétisme par la mise en place d'indicateurs et de métriques. Pour cela, il est nécessaire que les parties prenantes s'accordent à minima sur une méthode.

ÉVALUER LE CARACTÈRE VERTUEUX DE LA DÉMARCHE

Le biomimétisme encourage l'utilisation de ressources renouvelables, disponibles localement, mutualisées, recyclées et recyclables.

La trivalence (Moyen, Démarche, Posture - Figure 7) intégrée dans la nature de la pratique biomimétique en offre donc différentes conceptions qui peuvent lui assigner un caractère vertueux ou non. Ainsi certains parleront d'une méthode qui peut être utilisée à des fins condamnables du point de vue écologique alors que d'autres n'admettront pas que soit qualifiée de «biomimétique» une action dont les conséquences seront néfastes pour l'environnement, étant donnée l'importance qu'ils accordent à la posture avec

laquelle sera développée la bioinspiration. Certains considéreront une démarche supposée respectueuse de l'environnement par des vertus intrinsèques, et d'autres encore y verront une philosophie de resynchronisation avec le monde vivant (Figure 7).

S'il s'agit de discerner un biomimétisme vertueux parmi les autres possibles évolutions, c'est parce que cette pratique se présente comme une potentielle réponse à de nombreuses problématiques actuelles dans plusieurs domaines, et qu'il serait bon de parvenir à la canaliser dans le sens de la résolution de ces problèmes. En effet, les trois vertus de coopération, de nature comme mesure et d'innovation, qui caractérisent le biomimétisme, en font un important candidat pour relever les défis tout autant sociaux, environnementaux et économiques des temps contemporains (Figure 8).

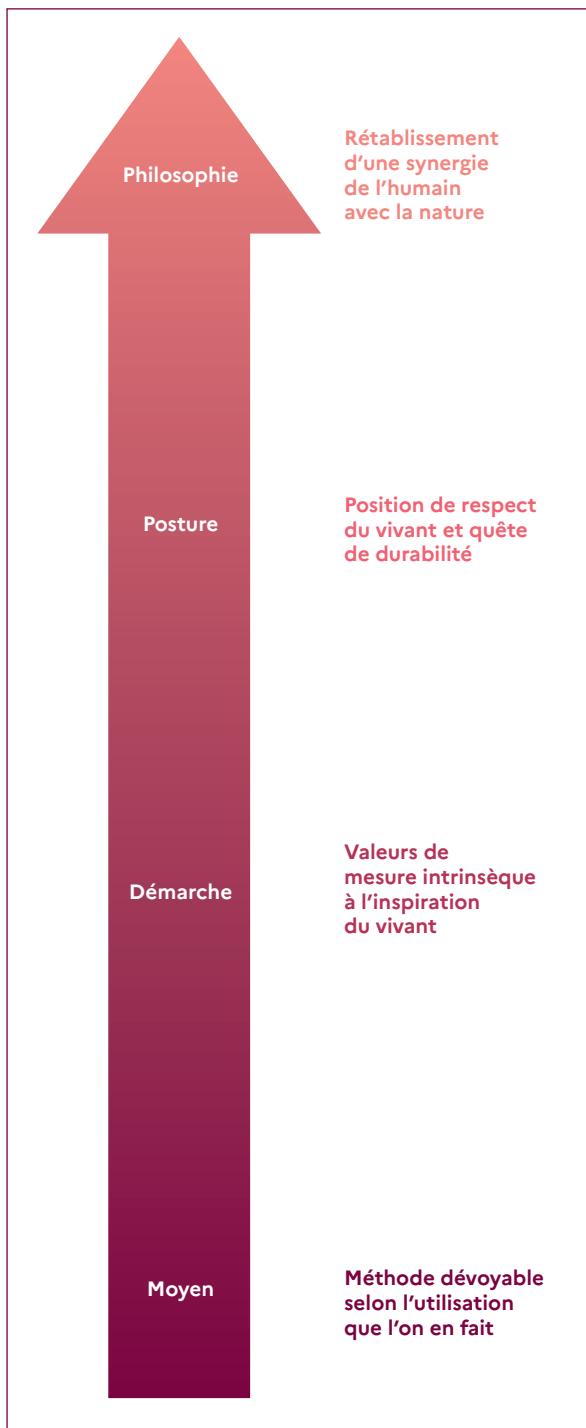
82%

des participants à l'étude par questionnaire attribuent une note à partir de 4/5 au biomimétisme comme vecteur de responsabilité écologique

Des participants à l'étude par questionnaire proposent le biomimétisme comme aide aux enjeux :

- « Prise de conscience de l'appartenance de l'humanité à la biosphère et de l'interdépendance complexe de nos sociétés et économies avec les écosystèmes »
- « Résilience, artisanat, sobriété, lowtech »
- « Reconnexion au vivant »
- « Améliorer la qualité de vie, reconnecter l'individu à la Nature »

CARACTÈRE VERTUEUX



« C'EST SURTOUT
une méthode qui fournit des technologies sobres, efficaces et dupliquables ; qui substitue aux technologies écocides des technologies efficaces.»

Fabrice Bonnifet, Directeur central développement durable et QSE Bouygues SA, Président du Collège des Directeurs du Développement Durable (C3D)

« LA DÉMARCHE
biomimétique contribue vertueusement à une innovation durable importante pour les industries de grande consommation.»

Laurent Gilbert, L'Oréal, Directeur Recherche environnementale et Développement Durable

« LES GENS SE MOQUENT
de l'intérêt intellectuel, l'important, c'est la réduction des coûts et la facilitation de la production. C'est un moyen et non une fin, qui peut donc s'appliquer pour aider un peu partout donc je pense que c'est un levier.»

Marion Gust, Région Nouvelle-Aquitaine, Directrice Générale Adjointe au Développement Economique et Environnemental

[Figure 7] Progression du caractère vertueux du biomimétisme selon la qualification qui lui est attribuée ; crédits : Myceco

« CETTE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE ET SYSTÉMIQUE est essentielle pour faire face aux enjeux du développement durable et concevoir des solutions régénératrices et synergiques. L'objectif est de passer de la réduction d'impact à la contribution, d'explorer les voies de synergie, et cela fonctionne par la complémentarité, par des approches globales, systémiques, en lien avec les écosystèmes. Nous devons agir pour, avec et par le vivant.»

Nathalie Devulder, Rte France, Directrice Numérique Responsable

« LA BIOINSPIRATION (DONT LE BIOMIMÉTISME) peut répondre à de nombreux enjeux environnementaux et sociétaux. Le rapport de *Restitution de la journée de travail Biomimétisme du 29 novembre 2019 chez France Stratégie*¹⁰ démontre la portée de cette capacité technique notamment relative aux ODD ; on voit qu'en s'inspirant du fonctionnement d'écosystème naturel, le biomimétisme fournit une base conceptuelle pour la résolution de problèmes dans plusieurs secteurs : urbanisme, énergie, alimentation, pharmaceutique, déchets, infrastructure, eau, etc. Une approche bioinspirée ou biomimétique de l'innovation devrait être intrinsèquement compatible avec le développement durable dans tous ces secteurs, notamment par l'intégration des externalités environnementales dans le processus de conception.»

Jian Sheng Sun, Professeur et directeur du Département Adaptations du Vivant
&

Annabelle Aish, Chef de projet « Bioinspire Museum »,
Muséum national d'Histoire naturelle

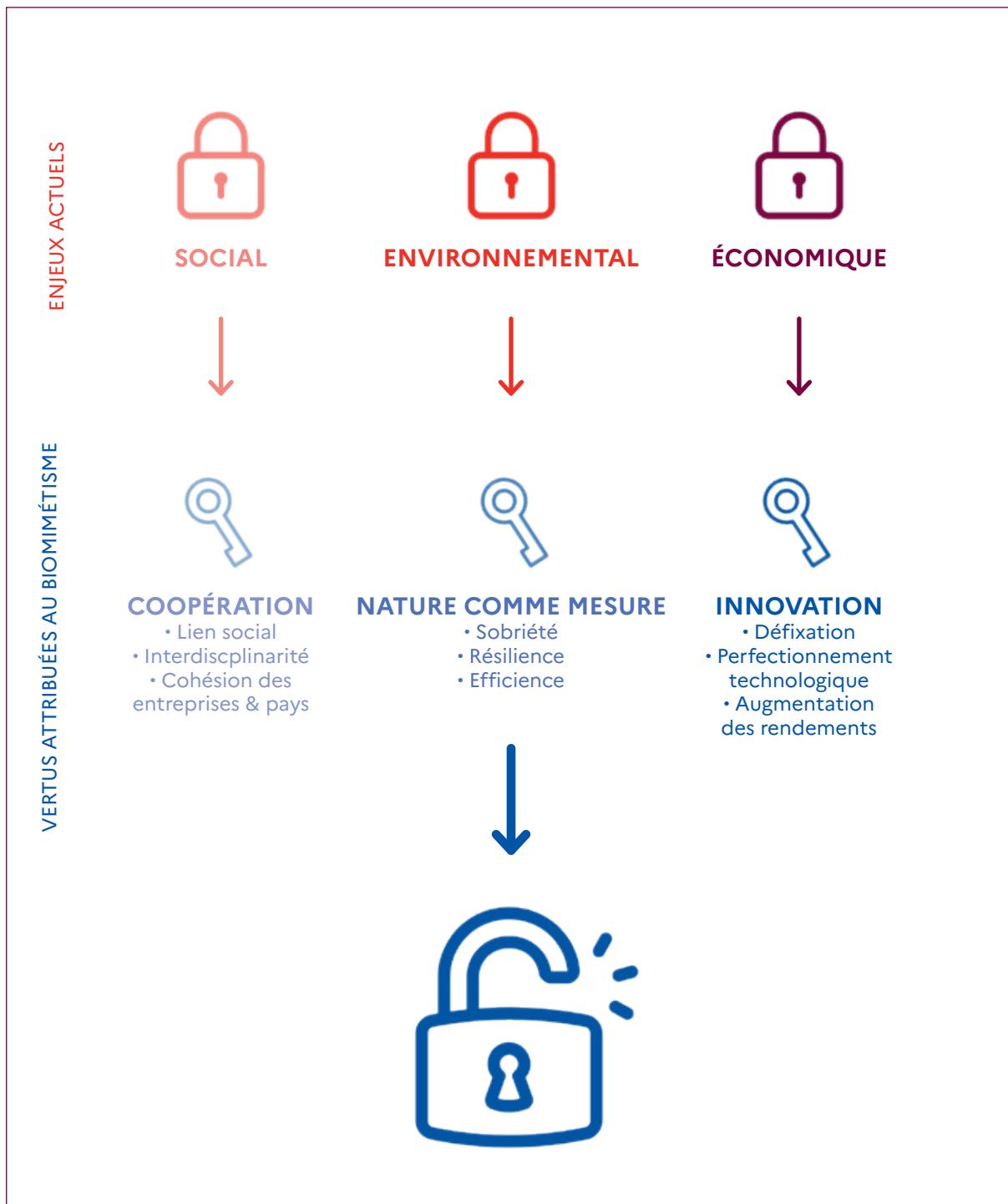


95%

des participants à l'étude par questionnaire attribuent une note à partir de 4/5 au biomimétisme comme levier d'innovation

10- <https://ceebios.com/wp-content/uploads/2020/07/RapportFranceStrategie-Ceebios-Myceco-juillet2020.pdf>

On peut ainsi résumer la contribution positive du biomimétisme selon trois clés d'entrée :



[Figure 8] Progression du caractère vertueux du biomimétisme selon la qualification qui lui est attribuée ; crédits : Myceco

Enracinement d'une économie régénératrice

Au-delà de la conception de technologies moins néfastes pour l'environnement, le biomimétisme guide vers une conception intégrée dans la sphère du vivant, et participe donc à la réparation du lien que la société humaine et son portefeuille technologique ont avec la biodiversité. Plutôt que d'amoindrir l'impact négatif de l'économie, il aide à le rendre positif. Emmanuel Delannoy, consultant associé fondateur de Pikaia, présente l'approche biomimétique comme moyen de convertir une économie en opposition avec la conservation de la biodiversité en mode de conservation de celle-là même, dans son livre *Biomiméthique*¹¹ paru aux éditions Rue de l'échiquier le 18 mars 2021. Il y met en lumière l'importance de passer d'une logique du moindre mal à une logique du bénéfice environnemental, présentant la conservation de la biodiversité comme une nécessité vitale et stratégique pour l'économie et la société.

« PAR L'ÉTUDE DES organisations et de la cohésion d'un corps social, c'est un enjeu majeur de pouvoir illustrer la dissolution d'un corps social par des exemples de la nature ; cela touche à une vraie dimension politique avec des messages pouvant être assez forts venant du vivant. Je pense que c'est une dimension qui peut frapper les esprits. »

Colonel Sébastien de Peyret,
Ministère des Armées, État-major de l'Armée de Terre, Directeur du Battle Lab Terre, Bureau Plans, Sous-chefferie Plans Programme

« IL SERAIT SOUHAITABLE que [le biomimétisme] contribue à répondre aux enjeux contemporains majeurs : juste répartition des richesses, atténuation de la mécanique consomériste effrénée, préservation des espaces et espèces naturels restants, solidarité, civisme.... En pratique, cela suppose sans doute d'afficher les valeurs du biomimétisme, et d'y relier ensuite les différents travaux engagés.»

Florent Vilbert,
Directeur de l'Agence Bretonne de la Biodiversité

« LE BIOMIMÉTISME C'EST l'inspiration du vivant dans les projets d'innovation technologique pour bénéficier d'un impact environnemental positif.»

Huguette Tiegna, Députée du Lot,
Commission des Affaires Économiques

11- <https://www.ruedelechiquier.net/essais/333-biomimethique-.html>



LE NIVEAU DE BIOINSPIRATION COMME BOUSSOLE

Ainsi s'établissent différentes conceptions du biomimétisme selon la vertu qu'on lui attribue, et celles-ci se retrouvent ordonnées selon le degré de bioinspiration de la démarche biomimétique considérée.

D'après les parties prenantes interrogées, le biomimétisme est avant tout une démarche de bioinspiration – observation du monde vivant pour en inspirer la créativité humaine – caractérisée par deux composantes majeures :

• **La capacité d'innovation** : en développant et testant ses mécanismes depuis 3,8 milliards d'années par la sélection naturelle, le vivant propose des solutions de degré innovant élevé et qui permettent une défixation de nos paradigmes industriels, c'est-à-dire la considération de nouvelles sources d'inspiration plutôt que la focalisation sur les précédents modèles, ces-derniers étant souvent mal adaptés aux problématiques actuelles.

• **La durabilité** : ces mêmes mécanismes élaborés par le monde vivant sont nécessaires à la survie des organismes, ce pourquoi ils ne peuvent être trop coûteux en énergie, ni en matériaux. Ainsi le vivant travaille dans des conditions chimiques douces et utilise majoritairement des éléments abondants et organiques (carbone, hydrogène, azote, oxygène) plutôt que rares et toxiques, et ce dans des procédés énergétiquement sobres. De plus, pour ne pas avoir à aller chercher ses ressources trop loin, un organisme est amené à réutiliser ses propres déchets ou ceux des autres ; le recyclage est ainsi une vertu intégrée aux stratégies du vivant. La nature mise sur la circularité des cycles biogéochimiques et sur des circuits courts, autant de stratégies du vivant qui peuvent servir de modèles.

Cette définition, par son caractère bioinspiré, implique donc d'observer le vivant, qu'il s'agisse d'un organisme, d'un matériau, d'un système ou d'un mécanisme, pour en comprendre le fonctionnement, l'agencement ou la structure, et l'adapter à la conception de solutions techniques ou organisationnelles visant à répondre aux défis sociétaux.

« LE BIOMIMÉTISME EST CARACTÉRISÉ PAR L'ANALYSE d'un système et le transfert du modèle à une application. »

Diane Simiu, MTES, CGDD, Adjointe au Commissaire Général au Développement Durable

De moindre représentativité, deux autres définitions qui ne considèrent qu'un aspect de la bioinspiration à la fois ressortent également :

- **Le biomimétisme consiste seulement en l'imitation** de processus vivants, sans aspect vertueux sous-entendu.

« DU POINT DE VUE
de l'anthropologie, le biomimétisme désigne l'ensemble des pratiques d'imitation du vivant que l'on retrouve dans des sociétés, autant distantes dans le temps que dans l'espace. Elles rassemblent les costumes du clan de l'émeu chez les Aborigènes, décrits par Émile Durkheim, mais aussi la robotique biomimétique, les pratiques de permaculture ou encore des danses imitant des bovins chez les Mursi d'Ethiopie »

Lauren Kamili, ADEME, EHESS,
Doctorante en anthropologie sociale

« MA LECTURE EST

qu'un découplage complet entre biomimétisme et développement durable serait très profitable pour éviter un risque de dérive dogmatique autour du développement durable alors que le biomimétisme a des possibilités beaucoup plus ouvertes. À mon avis le développement durable est promu depuis assez longtemps pour passer le relais sous peu, alors que le biomimétisme est encore naissant, donc autant ne pas le frapper d'obsolescence trop tôt.»

Colonel Sébastien de Peyret, Ministère des Armées, État-major de l'Armée de Terre, Directeur du Battle Lab Terre, Bureau Plans, Sous-cheférie Plans Programme



95%

des participants à l'étude
par questionnaire incluent
la bioinspiration dans
le cadre biomimétique

• Le biomimétisme n'est qu'un levier de définition, une voie vers la conception innovante sans vertu durable intrinsèque non plus.

« LE PROCESSUS
de conception délibéré basé sur le biomimétisme constitue en soi une démarche d'innovation en rupture ; que les applications soient inscrites dans un processus vertueux ou pas est une tout autre histoire. »

Stéphane Ingrand, INRAE,
Chef de département adjoint du département
Physiologie animale et Systèmes d'élevage

« LES RÉSULTATS
scientifiques peuvent venir en support, mais il ne s'agit pas de proposer le biomimétisme comme seule solution à des enjeux. Du point de vue scientifique, la recherche fondamentale est essentielle pour mieux comprendre le monde qui nous entoure, le fonctionnement des écosystèmes et leurs évolutions ; ainsi les connaissances produites peuvent venir en appui aux ODD mais ça n'est pas la seule finalité. »

Agathe Euzen, INEE CNRS, Directrice adjointe scientifique à l'Institut Écologie et Environnement, Directrice de recherche

« NOUS AVONS PU MONTRER dans un article avec Camila Freitas que la théorie C-K (Freitas et Hatchuel 2016^{11b}), développée à Mines ParisTech permettait de modéliser rigoureusement le raisonnement du biomimétisme ou de la bioinspiration. Dans ce cadre théorique, la nature est une source de connaissances particulières qui ne donnent pas de solutions mais permettent la formation de *crazy concepts*¹²; [...] Cela implique que la nature est d'abord une source de remise en cause du processus industriel standard, qui force à réinventer l'héritage technique du savoir humain, et lui donne un nouvel univers de développement.»

Armand Hatchuel, Centre de Gestion Scientifique
Mines ParisTech PSL, Professeur classe exceptionnelle,
Directeur Chaire Design et Innovation,
Membre de l'Académie Française des Technologies

« POUR MOI LE BIOMIMÉTISME est une technique de résolution de problème. Il ne répond pas à des enjeux (autres que la panne d'inspiration) particuliers. »

Lieutenant-colonel Bertrand Viaud, Directeur
du Centre de Recherche de l'École de l'Air

11b-Armand Hatchuel, Camila Freitas Salgueiredo. Beyond analogy: A model of bioinspiration for creative design. AI EDAM, Cambridge University Press (CUP), 2016, 30, pp.159 - 170

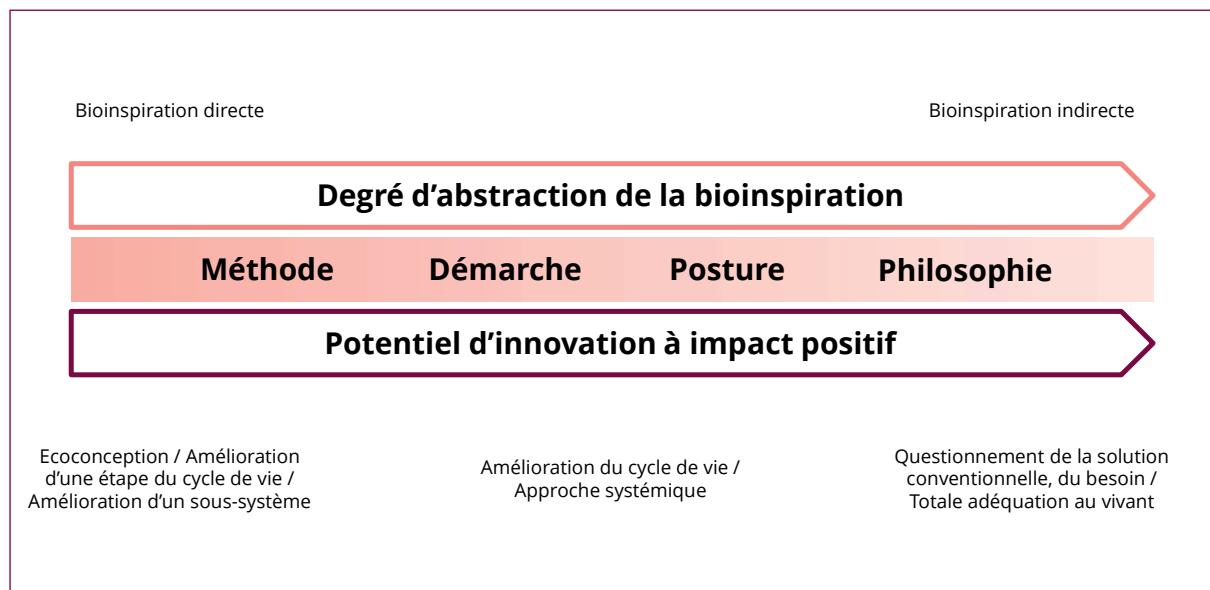
12- Concept fou

L'ensemble du vocabulaire utilisé dans les entretiens pour définir le biomimétisme constitue un champ lexical foisonnant.

Cette implication entre origine bioinspirée et vertu remet ainsi en question toute la sphère sémantique qui gravite autour du biomimétisme : des pratiques auparavant apparentées au biomimétisme ne pourraient ainsi plus l'être si elles ne respectent pas ces valeurs de coopération, de nature comme mesure et d'innovation. Entre l'ingénierie écologique et la symbiose industrielle, passant des biotechnologies à l'écomimétisme en incluant l'écoconception, on classe ces termes selon le degré d'abstraction de la bioinspiration qu'ils représentent : plus la bioinspiration est concrète, plus elle consiste en une utilisation directe du vivant, alors que plus elle est abstraite, plus elle réside dans l'inspiration d'organisations ou systèmes vivants. On appelle « directe » la bioinspiration la plus concrète et « indirecte » la bioinspiration la plus abstraite¹³.

Deux approches semblent ressortir des interviews en fonction des parties prenantes :

• **Première approche** : cette gradation du caractère direct de la bioinspiration met en lumière celle de son caractère vertueux : moins elle est directe, plus elle peut aboutir sur des solutions durables car conçues en réponse à des problématiques systémiques, en rupture avec les solutions conventionnelles, dont la conception est de portée incrémentale (Figure 9). Plus une partie prenante envisage le biomimétisme de manière abstraite (donc indirecte), plus le potentiel d'impact environnemental positif de la démarche s'en trouve renforcé.



[Figure 9] Corrélation entre la vertu de la bioinspiration, sa durabilité et son caractère direct, librement inspirée des travaux du CGDD 2012 : *Etude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France : état des lieux, potentiel, leviers* ; crédits : Myceco

13- Cette appellation de la bioinspiration « directe » ou « indirecte » a été développée par le Muséum national d'Histoire naturelle dans son projet Bioinspire Museum (document de cadrage : https://www.mnhn.fr/sites/mnhn.fr/files/atoms/files/bioinspire_museum_document_cadrage_0.pdf; glossaire https://www.mnhn.fr/sites/mnhn.fr/files/atoms/files/bioinspire_museum_glossaire.pdf).

• **Seconde approche :** ce potentiel d'impact positif de l'innovation bioinspirée est à priori corrélé au niveau d'abstraction de la bioinspiration dans le cadre du remplacement de solutions technologiques conventionnelles ou de l'écoconception de produits (solution technologique en remplacement d'une solution précédente et ayant exactement les mêmes fonction et performances, mais un impact moindre). En revanche, il est des situations où une bioinspiration directe peut conduire à des solutions particulièrement durables. Le « labour biologique », résultant de l'action de vers de terre éventuellement introduits dans un champ, est une solution agroécologique de bio-assistance, donc une bioinspiration très directe, qui s'inscrit parfaitement dans la logique du vivant. Cette corrélation entre durabilité et degré d'abstraction de la bioinspiration n'est ainsi valable que dans le cadre de la biomimétique, mais pas pour d'autres approches comme les solutions fondées sur la nature.

Lorsqu'il n'y a pas d'observation de la stratégie du vivant pour un produit biosourcé, on pourrait exclure le *biosourcing* du cadre sémantique.

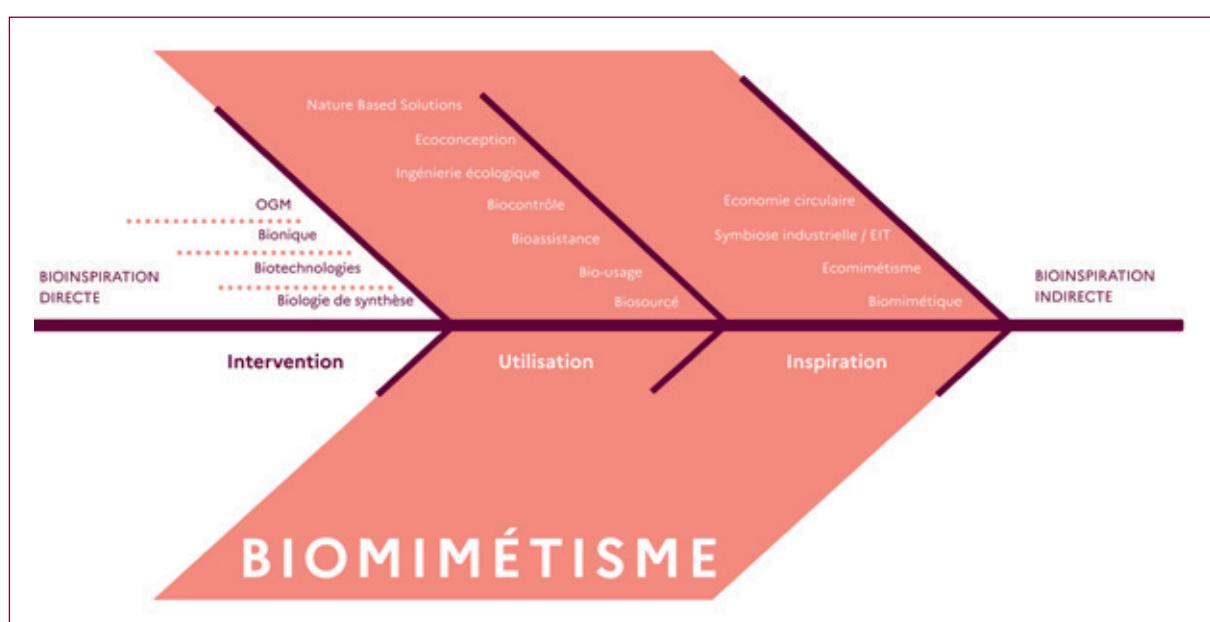
Ce champ lexical peut de plus être ségrégué en trois grandes catégories, elles-mêmes distinctes selon

leur degré de bioinspiration de plus en plus direct (Figure 10) :

- **L'inspiration des systèmes du vivant :** les pratiques qui consistent en une assimilation profonde des modes de fonctionnement du vivant, prenant pour modèles ses stratégies et systèmes ;

- **L'utilisation du vivant :** les pratiques qui utilisent des organismes et matériaux du vivant plus qu'elles ne cherchent à en reproduire les comportements ou structures ;

- **L'intervention sur le vivant :** les pratiques qui vont modifier des caractères d'organismes vivants, en imitant ou non des modifications naturelles.



[Figure 10] Axe d'alignement des termes étudiés selon leur degré de bioinspiration indirecte et proposition de délimitation du champ lexical du biomimétisme ; crédits : Myceco

30%

des participants à l'étude
par questionnaire incluent
la symbiose industrielle
dans le cadre biomimétique

DE MÊME

34%

des participants à l'étude
par questionnaire incluent
l'ingénierie écologique dans
le cadre biomimétique

SEULEMENT

22%

des participants à l'étude
par questionnaire incluent
l'économie circulaire dans
le cadre biomimétique

PRESQUE

34%

des participants à l'étude
par questionnaire incluent
le *biosourcing* dans le
cadre biomimétique

Pour garantir le développement d'un biomimétisme vertueux, il pourrait être envisagé que seuls les termes issus d'une bioinspiration intrinsèquement durable, et donc la moins directe possible, soient comptés dans le domaine du biomimétisme.

Ainsi, dans cette logique les termes associés à l'utilisation du vivant et à l'inspiration de son comportement seraient considérés comme appartenant au domaine du biomimétisme. Et on pourrait s'interroger sur l'opportunité d'exclure du biomimétisme les pratiques recourant à l'intervention sur le vivant, conformément aux recommandations de l'ISO.

Toutefois, cette ségrégation sur le volet biotech peut être problématique pour certaines activités, car l'intervention sur le vivant est parfois la seule voie pour arriver à concrétiser le biomimétisme. Par exemple, faire de la chimie douce comme le vivant repose sur la modification de bactéries ou de levures. À titre d'illustration, la start-up allemande AMSilk, étant dans l'incapacité d'industrialiser un élevage d'araignées, fait produire la protéine de soie de l'araignée par des bactéries.

« LA LIMITÉ ÉTHIQUE FAIT partie intégrante du cadrage pour éviter de passer les frontières du préjudiciable. »

Nathalie Devulder, Rte France,
Directrice Numérique Responsable

Le caractère bioinspiré de la démarche biomimétique est donc une porte ouverte à la conception vertueuse, et il semble alors implicite que la pratique bioinspirée permette de développer des technologies durables. C'est l'évolution vers laquelle pointent les travaux de normalisation AFNOR (norme XP X42-502¹⁴) et ISO (normes ISO 18459¹⁵, ISO 18457¹⁶ et ISO 18458¹⁷), qui ont notamment abouti en 2014 sur une définition du biomimétisme en tant que « philosophie et approche conceptuelle interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable »¹⁸.

Cependant, comme le montre le débat toujours d'actualité sur la nature du biomimétisme, son caractère intrinsèquement vertueux reste sujet à discussion, et les parties prenantes interrogées, bien que l'incluant dans la définition, ne le conçoivent pas toutes comme une condition *sine qua non* pour revendiquer une démarche biomimétique.

« LA DURABILITÉ EST consubstantielle au biomimétisme ; sans gain de durabilité, sous son acceptation la plus première et restrictive du terme (bénéfices environnementaux, mais si possible aussi économiques et sociaux), le biomimétisme ne devrait pas être là. »

Julien Fosse, France Stratégie, Directeur adjoint
département Développement Durable et Numérique

14- <https://www.boutique.afnor.org/norme/xp-x42-502/biomimetisme-integration-de-la-biomimetique-dans-les-demarches-d-eco-conception/article/876383/fa187368>

15- <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-iso-18459/biomimetique-optimisation-biomimetique/article/820128/fa179795>

16- <https://www.boutique.afnor.org/norme/iso-184572016/biomimetisme-materiaux-structures-et-composants-biomimetiques/article/827459/xs025816>

17- <https://www.boutique.afnor.org/norme/iso-184582015/biomimetique-terminologie-concepts-et-methodologie/article/819961/xs023117>

18- Définition de la norme ISO TC 266 – ISO 18458

À retenir

- Le biomimétisme est une démarche de bioinspiration pour une innovation orientée vers la conception de technologies durables.
- Cette démarche peut être perçue en tant que une philosophie véhiculant une conception donnée du monde, un domaine accaparant un nouveau mode de conception ou une méthode pour aider à d'autres fins dans divers domaines.
- Prendre la nature comme modèle permet la définition de la pensée créative pour répondre aux enjeux sociaux, et prendre la nature comme mesure offre une durabilité intrinsèque.
- La gradation de vertu durable se retrouve dans le type de bioinspiration dont est issue une technique : plus la bioinspiration est indirecte, plus elle relève d'un niveau d'abstraction élevé et mieux le caractère durable de la solution est potentiellement intégré.

LA ROUE SÉMANTIQUE DU BIOMIMÉTISME

Différents termes faisant partie du champ lexical des parties prenantes peuvent être classés selon leur nature respective, au sein des trois natures du biomimétisme déjà présentées (Figure 7).

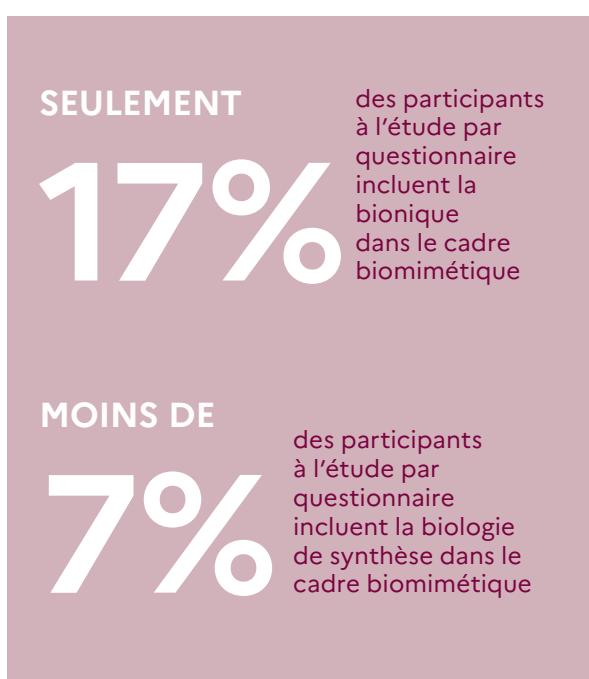
Les deux axes selon lesquels on classifie cette sémantique sont donc le degré de bioinspiration (plus ou moins directe) du terme étudié et sa nature (philosophie, méthode ou domaine).

En inscrivant dans ces différentes natures le degré de bioinspiration des termes, la sémantique de l'étude peut être située autour du biomimétisme sous la forme d'une roue sémantique (Figure 11), librement inspirée des travaux du projet Bioinspire Museum.

Ainsi, on retrouve toutes les pratiques ayant trait au biomimétisme cette fois-ci excentrées selon leur degré de bioinspiration, et situées autour du biomimétisme selon leur nature.

En termes de méthode pour évaluer les retombées économiques du biomimétisme et compte tenu du noyau sémantique retenu (Figure 10), il peut être suggéré de ne retenir que ce qui relève des « Processus et moyens » et « Concepts et Philosophie », en excluant tout le champ « Domaines d'application en biologie » ainsi que les concepts qu'il recouvre avec les autres champs (ex. : bioéconomie, bionique).

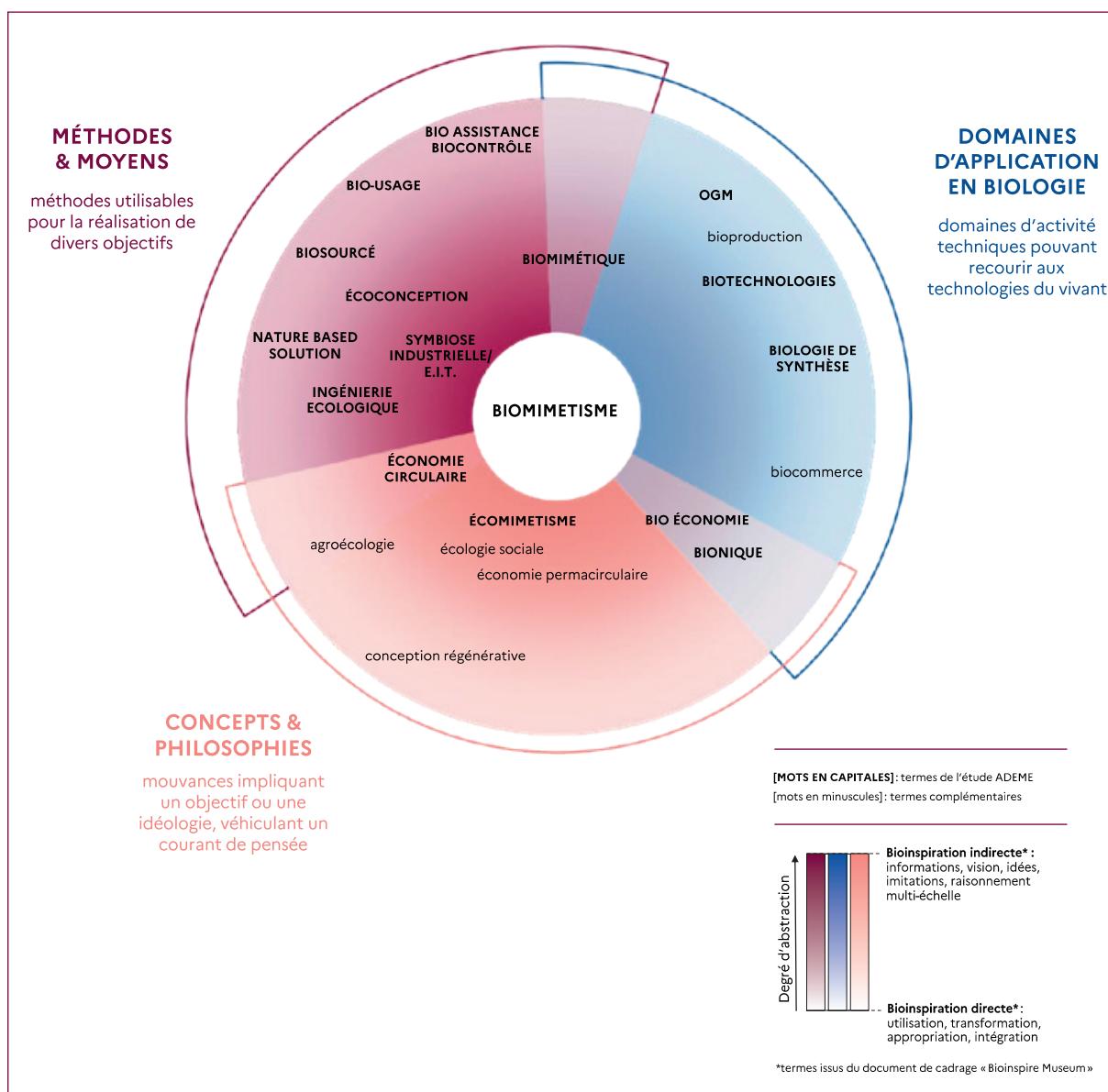
En effet, si dans une étude d'impact de PIB, il est décidé d'intégrer toutes les biotechnologies, les biologies de synthèses ou bien encore les OGM, on risque de perdre de vue la valeur ajoutée réelle de la démarche par des données qui pourraient être facilement contestées. Il peut donc s'avérer opportun de réaliser un exercice d'étude de marché et d'alignement sémantique le cas échéant, avec ce qui est retenu par les organismes d'analyses tels que Bis Research ou le Fermanian Business Institute¹⁹ (San Diego) pour comparer des éléments comparables.



19- <https://www.pointloma.edu/centers-institutes/fermanian-business-economic-institute/da-vinci-index-biomimicry>

« C'EST TRÈS BIEN DE SE POSER LA QUESTION DU CHAMP
 sémantique du biomimétisme et du lien avec le développement durable car on peut faire du biomimétisme le meilleur comme le pire : c'est aux acteurs du domaine d'éviter de le dévoyer. On n'en est qu'à la protohistoire du biomimétisme, alors profitons-en pour configurer cette interdiscipline de manière vertueuse.»

Laurence Monnoyer Smith, CNES, Directrice du Développement Durable et de la performance



[Figure 11] Roue sémantique des termes gravitant autour du biomimétisme selon leurs différentes natures et leur degré de bioinspiration ; crédits : Myceco

À retenir

La sémantique se décompose principalement en trois catégories :

- Ceux qui reflètent une inspiration du comportement du vivant : bioinspiration, biomimétisme, écomimétisme, économie circulaire et symbiose industrielle.
- Ceux qui se rapportent à une utilisation du vivant : bioéconomie, écoconception, ingénierie écologique et *biosourcing*.
- Ceux qui impliquent une intervention sur le vivant : biotechnologies, biologie de synthèse, qui contient les OGM, et bionique.

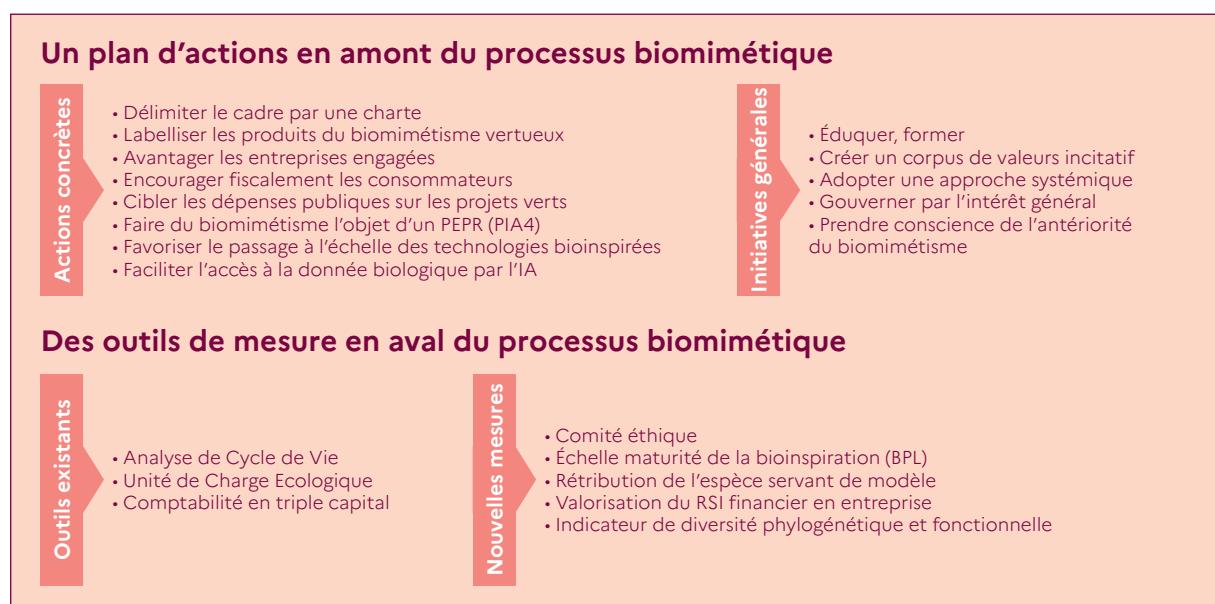


TABLEAU DE BORD ET BOÎTE À OUTILS

Pour parvenir à orienter le biomimétisme dans un sens vertueux, on peut envisager une multitude d'initiatives

LE TABLEAU DE BORD DU BIOMIMÉTISME DURABLE

Un tableau de bord des actions et initiatives (Figure 12) permet d'orienter l'évolution du biomimétisme selon un caractère vertueux. Celui-ci se décompose en deux parties : les actions en amont du processus biomimétique, qui constituent une prévention des risques et un cadrage pour anticiper une évolution vertueuse, et les outils de mesure en aval, qui relèvent de l'évaluation du processus déjà déroulé et de la mesure de ses avantages et inconvénients.



[Figure 12] Roue sémantique des termes gravitant autour du biomimétisme selon leurs différentes natures et leur degré de bioinspiration ; crédits : Myceco

Depuis les entretiens des parties prenantes effectués en septembre 2020 principalement, une action PEPR (Programmes et équipements prioritaires de recherche exploratoires) du Programme d'investissement d'avenir 4 (PIA4) a été lancée en mai 2021. L'action PEPR succède aux actions PPR (programmes prioritaires de recherche) du PIA3. Dans le cadre du PEPR 2021, le biomimétisme figure en annexe 2 des champs prioritaires identifiés par l'État (Rubrique : Matériaux et procédés avancés, nouvelles technologies notamment inspirées du vivant, biomimétisme)²⁰.

Le plan d'action²¹ que nous proposons présente plusieurs initiatives dont il est judicieux de comparer les caractéristiques (Figure 13) pour décider par laquelle il est préférable de commencer à agir (Figure 15).

« LE BIOMIMÉTISME EN
s'inspirant du vivant soulève la question de la juste rétribution du service rendu par les écosystèmes. Comment articuler une démarche d'innovation et la protection d'un bien commun ? Un exemple d'action possible: le soutien de projets de terrain pour défendre des espèces ou des écosystèmes menacés...»

Marie Christine Korniloff, WWF FRANCE,
Directrice déléguée au monde économique
& Nicolas Loz de Coëtgourhant, WWF FRANCE,
Gestionnaire des partenariats d'entreprises

« IL Y A DE NOMBREUSES
façons de rendre le biomimétisme compatible avec nos enjeux actuels, comme fixer des bornes ou spécifications aux industriels qui font du développement. Il ne faut pas tout cadrer, mais au moins la manière dont le biomimétisme est utilisé ; c'est assez compliqué mais seuls les financeurs publics peuvent imposer ce genre de direction pour empêcher de remplacer un défaut par un autre, à vouloir imiter la nature en utilisant des ressources fossiles. On a besoin de prises de position assez claires sur ce que l'on doit faire du biomimétisme.»

Laurence Monnoyer Smith, CNES, Directrice du Développement Durable et de la performance

96%

des participants à l'étude par questionnaire attribuent une note à partir de 3/5 à la formation comme moyen de rendre compatible le biomimétisme avec les enjeux évoqués et 87% à partir de 4/5

« AUJOURD'HUI, ON CONSTATE DE GROS CHANGEMENTS
dans la prise en compte de la biodiversité à différents niveaux des sociétés. La cohabitation avec le reste du vivant commence à s'inscrire dans la conscience de beaucoup, et notamment des décideurs ; il ne faut pas négliger la notion d'un nécessaire retour des actions et avancées relevant du biomimétisme, au bénéfice de la biodiversité. [...] On a besoin de faire en sorte que cela devienne habituel qu'il y ait un retour du biomimétisme en faveur de la connaissance et de la protection de la biodiversité. Il convient donc de réfléchir en même temps aux bénéfices en termes d'innovation et de biodiversité, car si on le fait séquentiellement, il sera plus difficile de mettre en exergue la source du progrès et de lui assurer un juste retour des bénéfices réalisés.»

Jean-François Silvain, Président de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (2014-2020)

20- <https://anr.fr/fr/detail/call/programmes-et-equipements-prioritaires-de-recherche-exploratoires-pepr-appel-a-programmes-vagu/>

21- Constituer une base de données du vivant : le programme BiOMlg, initié par le Ceebios et financé dans le cadre du Programme d'Innovation d'Avenir (PIA3), implémente une plateforme d'innovation ouverte sur les matériaux bioinspirés au service de la biodiversité, qui sera développée en étroit partenariat avec le Muséum national d'Histoire naturelle et l'INRIA. La préfiguration des outils d'IA (requête de la donnée biologique) et la plateforme numérique constituent des briques essentielles du programme à destination des industriels.

TABLEAU DE SYNTHÈSE DES ACTIONS DÉTAILLÉES AVEC UNE MATRICE AVANTAGES/INCONVÉNIENTS

ACTIONS EN AMONT POUR UN BIOMIMÉTISME VERTUEUX			
Type d'action	INITIATIVES	AVANTAGES	POINTS DE VIGILANCE
Actions concrètes	Délimiter le cadre par une charte fixant les principes	Global, non exclusif, clarté des objectifs, réutilise les indicateurs préexistants	Alignement des parties prenantes
	Labelliser les produits issus d'un biomimétisme vertueux	Fixe un cadre commun et valorise les produits responsables	Frein à la liberté de recherche, lecture difficile car profusion de labels
	Avantagez les entreprises engagées dans des programmes biomimétiques contributifs	Rétribue et incite les initiatives vertueuses (ex: Entreprises Engagées pour la Nature)	Prise d'initiative et proactivité de la part des entreprises
	Encourager fiscalement les consommateurs	Bénéficie concrètement aux acteurs du Business to Consumer, implique le "consommateur citoyen"	Redéfinition des fléchages budgétaires des politiques publiques pour dégager l'avantage fiscal
	Cibler les dépenses publiques sur les projets bioinspirés à "impact vert"	Renforce la démarche Budget Vert*	Enjeux de silo des politiques publiques
	Faire du biomimétisme l'objet d'un Programme Prioritaire de Recherche (PEPR) (PA14)	Conduit à une forme reconnaissance de la disciplinarité du biomimétisme	Conduite du changement au sein du monde de la recherche pour intégrer une nouvelle discipline
	Favoriser le passage à l'échelle des technologies bioinspirées	Crédibilise et légitime par des expériences concrètes et probantes	Détection et valorisation des projets bioinspirés
	Faciliter l'accès à la donnée biologique par l'IA	Favorise le passage à l'échelle, notamment chez les industriels	Enjeux de temporalité et de récupération des données
Initiatives générales	Éduquer, former	Prévient plutôt que guérit, et permet l'amélioration continue	Enjeu d'inscription obligatoire du biomimétisme dans les cursus
	Créer un corpus de valeurs incitatif	Passe par l'incitation plutôt que par la coercition	Défi de la mobilisation sans rétribution ou sanction
	Adopter une approche systémique	Globalise l'approche dans une logique d'économie circulaire	Planification, transdisciplinarité et coopération intra et inter-entreprise
	Mettre en place une gouvernance d'intérêt général**	Évite une orientation purement motivée par les intérêts financiers	Maintien de la motivation des industriels
	Prendre conscience de l'antériorité du biomimétisme	Crédibilise par des expériences probantes antérieures voire historiques	Effort de communication, cartographie et inventaire des projets bioinspirés non-répertoriés

*initiative gouvernementale du Budget Vert pour les Dépenses Publiques: <https://www.budget.gouv.fr/reperes/budget/articles/le-budget-vert-en-france-pour-2021-une-premiere-mondiale>

**l'intérêt général est la raison d'être de la SCIC CEEBOS, qui incarne donc au mieux cette mission en tant que chef de file français du biomimétisme.

[Figure 13] Avantages et points de vigilance des propositions émises par les parties prenantes pour favoriser le développement d'un biomimétisme vertueux, Actions en amont ; crédits : Myceco

ACTIONS EN AVAL POUR UN BIOMIMÉTISME VERTUEUX			
TYPE D'ACTION	INITIATIVES	AVANTAGES	POINTS DE VIGILANCE
INDICATEURS EXISTANTS	 Analyse de Cycle de Vie (ACV)	Évaluation globale, indication chiffrée	Appréhension lourde de l'outil, défi de récupération et de manipulation des données
	 Unités de Charge Écologique***	Crée le consensus pour une application de type monnaie locale, intègre la totalité du cycle de vie, implique le "consommateur-citoyen"	Nécessite une redéfinition législative, réglementaire et normative
	 Comptabilité en triple capital et autres outils bioéconomiques	Indications chiffrées et soutenabilité écologique forte	Travaux encore en préfiguration (ex: chaire à Agro ParisTech)
OUTILS À METTRE EN PLACE	 Comité éthique	Suivi plus souple et évolutif que de simples indicateurs, implique le citoyen	Phénomènes d'influence thématique selon la représentation majoritaire des parties prenantes
	 Echelle de maturité de la bioinspiration de type TRL (BTRL)	Graduation de la maturité qui permet la progression à sa vitesse, incitatif	Etude à mener sur le caractère universel ou sectoriel de l'échelle (ex: thèse)
	 Rétribution de l'espèce servant de modèle	Valorise les services écosystémiques de l'espèce, action de protection de l'espèce, retour sur investissement pour la nature, dispositif existant de type APA	Intégrer dans la stratégie RSE de l'entreprise pour éviter la perception comme une contrainte supplémentaire pour l'industriel
	 Valorisation du retour sur investissement (RSI) financier au sein des entreprises	Révèle l'opportunité économique du biomimétisme, incite à l'intégration industrielle, permet sa prise en compte à grande échelle	Intégrer dans les outils de RSI actuels sans alourdir la batterie d'indicateurs actuelle
	 Constituer un indicateur de diversité phylogénétique et fonctionnelle	Information directe sur l'état de la biodiversité, outil d'appropriation du vivant pour les industriels	Transcription et modélisation matricielle de l'ensemble des fonctions biologiques multi-espèces et de la multifonctionnalité du vivant

***Unités de Charge Ecologique: indicateurs mis au point par l'Université de Lausanne, calculant de façon systémique l'impact environnemental d'un produit. Converties en monnaie, elles inciteraient à une moindre consommation de produits à impact environnemental néfaste; https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wirtschaft-konsum/fachinfo-daten/methode_der_umweltbelastungspunkteubp.pdf.download.pdf/la_methode_des_unitesdechargeecologiqueuce.pdf

[Figure 13] Avantages et points de vigilance des propositions émises par les parties prenantes pour favoriser le développement d'un biomimétisme vertueux, Actions en aval ; crédits : Myceco

Certains indicateurs et outils de mesure en aval du processus n'existent pas encore, mais mériteraient d'être implémentés.

À titre d'exemple, certains dispositifs sont revenus dans les échanges :

• **Le Comité éthique** : la création d'un comité consultable qui émettrait un avis sur la vertu d'un procédé et approuverait l'aspect biomimétique de ce dernier, permettrait de ne pas figer une mesure selon la conception que l'on en a à un instant donné. Au contraire, l'évaluation et ses critères pourrait évoluer en même temps que la direction que l'on veut donner à la pratique. De plus, la concertation d'un groupe humain semble plus représentative que la limite à des indicateurs mathématiques si l'on traite de problématiques à l'échelle de la société. Pour avoir une vision complète des thématiques abordées, le comité réunirait des membres d'horizons et secteurs variés, mêlant recherche publique et privée, scientifiques, économistes et politiques, et de grades et postes également différents au sein de leurs structures respectives.

« AFIN D'ÉVITER DE
dénaturer l'approche biomimétique ou le greenwashing, l'idée de labelliser les projets biomimétiques est intéressante. Il faudrait pour cela évaluer la démarche de bioinspiration au sein du projet, mais aussi mesurer ses ambitions environnementales ainsi que son caractère souhaitable pour la société, ce qui paraît difficile à réaliser. À défaut de pouvoir mesurer l'ensemble de ces critères pour valider ou invalider le rattachement d'un projet à l'approche biomimétique, il serait intéressant de pouvoir guider la conception de ces projets. Pour cela, la constitution d'un collège d'experts multidisciplinaire paraît tout à fait intéressante pour aider les concepteurs à faire des choix environnementaux mais aussi éthiques de manière éclairée.»

Guillian Graves, Agence Big Bang Project, Président

• **Charte délimitant le cadre d'application et d'utilisation** : une charte permettrait de compiler les principes d'un biomimétisme vertueux au sein du cadre général de la bioinspiration, pour poser les limites d'un développement durable du biomimétisme, et déduire de ces principes des critères évaluables par les indicateurs que nous avons déjà à notre disposition, chacun dans son champ d'application (bien-être animal, déforestation, propreté de l'air...) (Figure 14). Ceci éviterait donc d'exclure du terme «biomimétisme» les pratiques qui ne veulent pas se rallier à ces valeurs, et inciterait d'autant plus celles qui veulent en recevoir une reconnaissance.

« LE BIOMIMÉTISME représente une véritable opportunité d'innovation. Pour être aligné avec des objectifs de durabilité, le biomimétisme gagnerait à être encadré par une charte intégrant des principes clés, des critères et des indicateurs.»

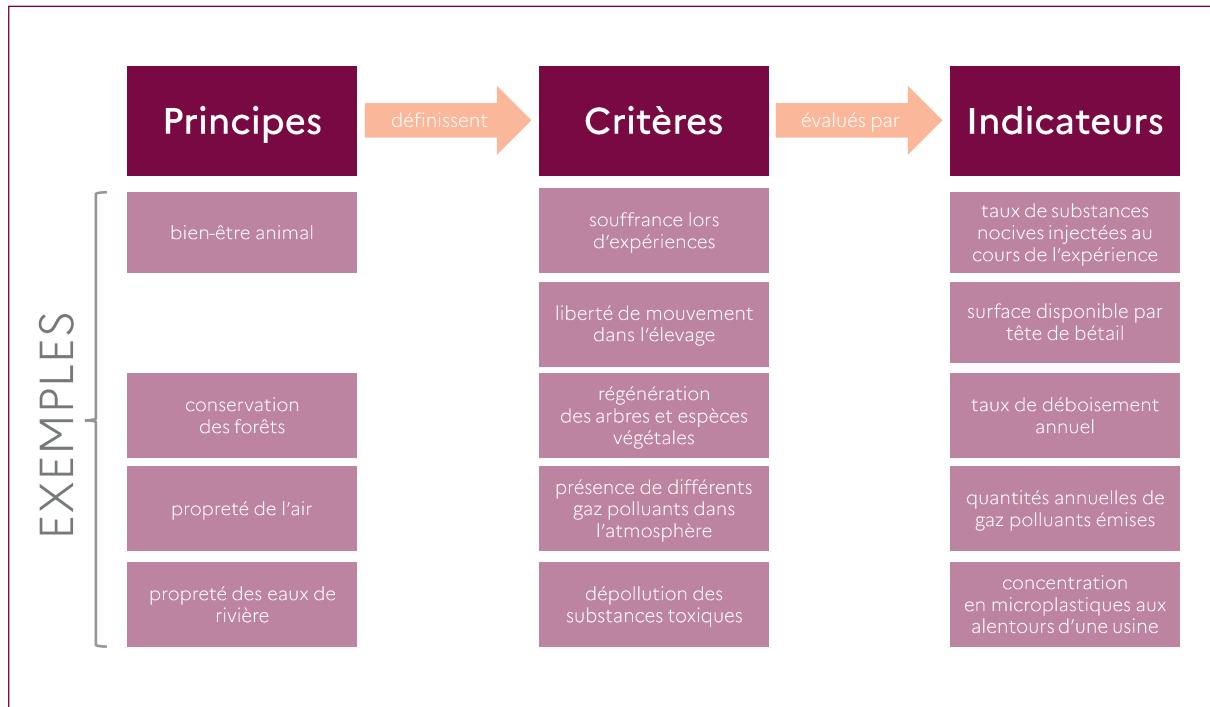
Marie Christine Korniloff, WWF FRANCE,
Directrice déléguée au monde économique
&

Nicolas Loz de Coëtgourhant, WWF FRANCE,
Gestionnaire des partenariats d'entreprises



88%

des participants à l'étude par questionnaire attribuent une note à partir de 3/5 à la charte comme moyen de rendre compatible le biomimétisme avec les enjeux évoqués



[Figure 14] Chaîne de déduction des principes établis dans la charte aux indicateurs permettant d'en mesurer le respect ; crédits : Myceco

« IL FAUDRAIT DÉFINIR une charte du biomimétisme qui permette de valider/certifier l'appellation *issu du biomimétisme*, et d'attribuer un logo certifié sur les produits biomimétiques.»

Colonel Fabrice Valat, Ministère des Armées,
État-major des Armées, Chef de Division capacitaire

« JE NE VOIS PAS POURQUOI
on ferait du biomimétisme un cas particulier ; il devrait s'inscrire dans les indicateurs et chartes existants en tant qu'écoresponsable.»

Gwenaëlle Hello, MTES, CGDD,
Sous-directrice de la Recherche au MTES

« LE TERME DE LABEL
est très réglementé, mais on pourrait déjà commencer par une charte, qui mènerait à un affichage sur les produits.»

Julien Fosse, France Stratégie, Directeur adjoint
département Développement Durable et Numérique

« IL FAUDRAIT QUE SOIT
accessible une sorte de « banque » du biomimétisme, pour rendre l'approche accessible et inspirante au plus grand nombre, sans cristalliser l'innovation puisque le champ des possibles en la matière est à priori à l'échelle de la nature.»

Clémence Béchu, Agence d'Architecture Béchu,
Directrice Développement, Partenariats et Innovation

• Créer un label pour les produits issus d'un biomimétisme vertueux : la mise en place d'un label est un sujet complexe pour les parties prenantes. Alors que les acteurs industriels et privés sont favorables à son instauration, qui permettrait de valoriser leurs produits aux yeux des consommateurs, les chercheurs prônent une recherche libre de cadrage et sans cahier des charges préétabli (voir partie « Évaluer le caractère vertueux de la démarche »). Par ailleurs un label peut être « enfermant » et limiter le potentiel d'innovation. Il résulte des entretiens qu'il est nécessaire d'étudier l'impact d'un label sur le domaine concerné, ainsi que sa faisabilité, avant de se lancer dans sa constitution. Un retour d'expériences sur le succès et l'impact des labels (voire des mesures de « scoring » type Nutriscore) auprès des consommateurs ou citoyens est à envisager.

« UNE LABELLISATION
pourrait aider à signaler des démarches
d'intérêt général reconnu.»

Nathalie Poulet, MTES, Direction de l'Eau et de la Biodiversité, adjointe au bureau de la politique de la biodiversité, DGALN

« LES NORMES ISO SONT
un cadre très important pour l'action,
mais doivent être complétées. [...]
Un label pourrait être intéressant car
de plus en plus, les informations sont dif-
fiques à mettre en perspective pour les
consommateurs; le label pourrait
être une source de réassurance.
Pour éviter leur multiplication on pour-
rait envisager de faire rentrer le biomimétisme dans un label existant.»

Laurent Gilbert, L'Oréal,
Directeur Innovation Durable

« UNE SORTE DE LABEL
public permettrait de faire le tri
entre du biomimétisme durable et
de la bioinspiration sans bénéfice
pour l'environnement.»

Julien Fosse, France Stratégie, Directeur adjoint
département Développement Durable et Numérique

« JE PENSE QU'À CE STADE
donner un label au biomimétisme pour-
rait freiner l'innovation, car le biomimétisme reste très transversal. Il vaut mieux
la laisser se déployer quitte, lorsqu'un
nombre suffisant d'applications auront
vu le jour de façon économiquement
soutenable, voir s'il y a lieu d'en privilégiier certaines comme présentant un
avantage particulier du point de vue de
l'intérêt général.»

Grégoire Postel-Vinay, Ministère de l'Economie,
de l'Industrie et de l'Emploi,
chargé de mission stratégie DGCIS

85%

des participants à l'étude par questionnaire attribuent une note à partir de 3/5 à la labellisation comme moyen de rendre compatible le biomimétisme avec les enjeux

• Programme de rétribution de l'espèce servant de modèle: après s'être inspiré du vivant et du fonctionnement d'écosystèmes ou d'espèces en particulier, et en avoir tiré des bénéfices, l'entreprise ou la société s'engage à rétribuer cette espèce ou population. Pour cela, elle peut par exemple investir dans une association protégeant l'espèce qui a servi de modèle ou défendant l'écosystème de départ. En effet, cette protection des espèces en retour des bénéfices qu'elles nous apportent permet de sécuriser en amont les intérêts que l'on y trouve. Le programme Accès et Partage des Avantages (APA)²² est une initiative adoptée du protocole de Nagoya dans ce sens de protéger le vivant pour éviter d'en perdre encore plus. On pourrait trouver un dispositif s'en inspirant adapté au biomimétisme.

« QUAND ON A DES ACTEURS
industriels qui se sont inspirés de la biodiversité, il faut qu'ils aient une attitude plus positive envers la recherche et la protection de cette biodiversité ; après processus de bioinspiration, ils doivent se demander à qui ils doivent le bénéfice qu'ils en ont retiré et, consécutivement, s'engager à mobiliser une partie de ce bénéfice pour protéger la biodiversité et soutenir la recherche qui permet de mieux la connaître.»

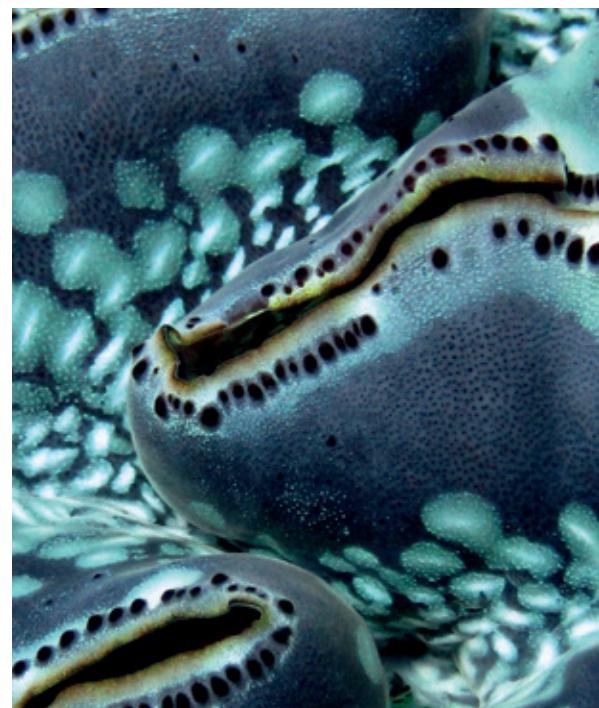
Jean-François Silvain, Président de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (2014-2020)

« QUAND DES PARTIES
prenantes utilisent des systèmes de connaissance traditionnels de peuples premiers et en développent des process, il faut qu'il y ait un retour vers ceux qui ont rendu disponibles ces connaissances, et un partage des avantages.
C'est le programme APA : Accès et Partage des Avantages.»

Philippe Grandcolas, Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, ISYEB, Directeur de Recherche, Directeur de l'ISYEB (Institut Systématique, Évolution, Biodiversité)

« CE SERAIT HYPOCRITE
que le biomimétisme s'appuie sur le capital sympathie que lui fournit [la valorisation du vivant] [...] sans le rétribuer.»

Audrey Coreau, OFB, Directrice Acteurs et Citoyens



22- <https://www.ecologie.gouv.fr/acces-et-partage-des-avantages-decoulant-lutilisation-des-ressources-genetiques-et-des-connaissances>

Les initiatives qui ressortent de l'étude comme les plus pertinentes, car n'étant ni exclusives, ni risquées, et permettant à la fois d'évoluer avec la société et d'agir sans délai pour le respect des valeurs biomimétiques, sont la réalisation d'une charte et la mise en place d'une échelle de la bioinspiration (de type *Biomimetic Potential Level*²³ ou BPL) (Figure 15).

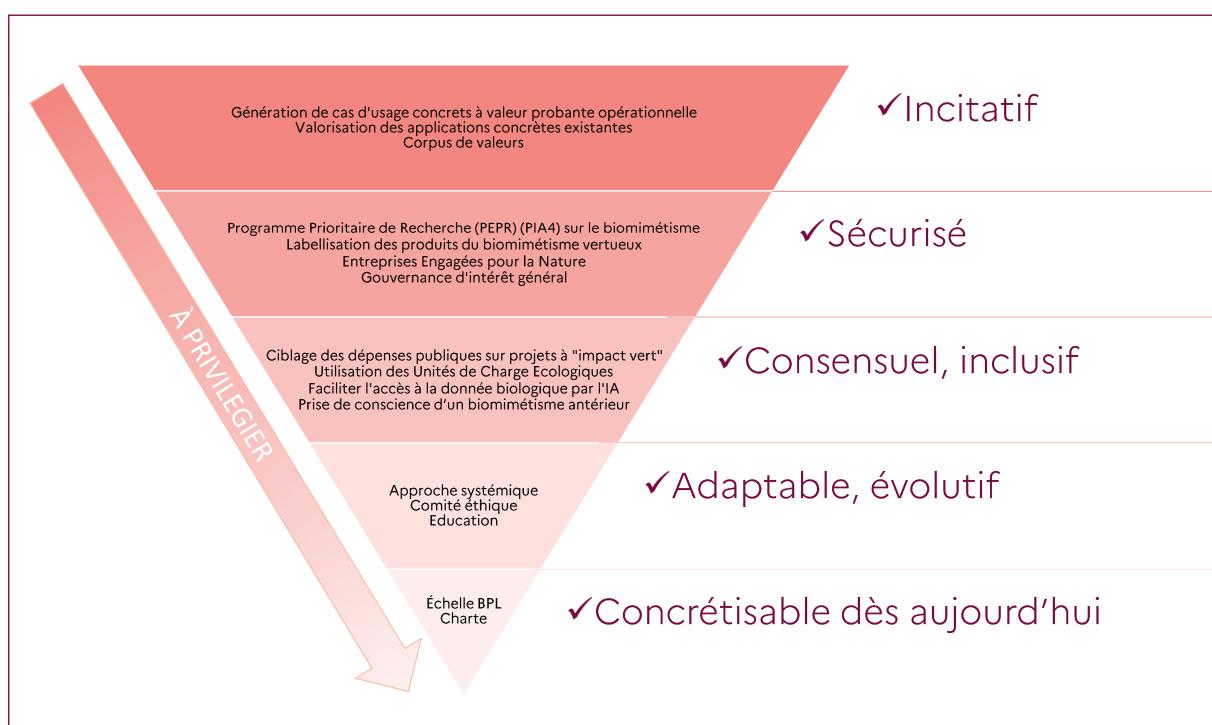
Dans les actions relevant du niveau « adaptable et évolutif », on pourrait par exemple proposer aux différents ministères (Écologie, Économie, Agriculture, Défense, Recherche, etc.) de désigner un référent « biomimétisme » afin d'établir une veille sur les initiatives et coordonner les actions le cas relevant de la bioinspiration. Cela aurait un effet vertueux en matière de capitalisation sur des projets susceptibles de s'appliquer à plusieurs secteurs. Il y aurait également un impact induit au niveau des filières professionnelles relevant de chaque politique publique concernée avec un effet d'entraînement.

L'Ademe dans le cadre de l'appel à projets « Perfecto » propose déjà des accompagnements aux entreprises qui pourraient être renforcés et adaptés aux technologies bioinspirées

Les ACV sont des actions couteuses pour des structures de petite taille. Les aider, permettrait d'obtenir de la donnée qualifiée sur les externalités positives de leur technologie bioinspirées et créer ainsi un effet d'entraînement pour de futures PME souhaitant développer leur idée issue de la bioinspiration.

Dans la charte, les parties prenantes s'accordent sur les principes qui définissent les limites d'un biomimétisme vertueux, et en fixent les indicateurs mesurables (Figure 16).

Dans les actions relevant du « consensuel inclusif », on pourrait par exemple proposer une aide publique (subventions, accompagnement financé, voire un dispositif de réduction fiscale de l'Impôt sur les Sociétés etc.) pour permettre aux PME et start-up d'engager la mise en place de démarche Analyse Cycle de Vie en version allégée.



[Figure 15] Moyens et initiatives à privilégier selon leur degré d'applicabilité ; crédits : Myceco

23- Inspirée de l'échelle TRL (Technology Readyness Level), qui sert à évaluer le niveau de maturité d'une technologie pour estimer son stade de développement et ainsi renseigner sur les intérêts qu'il y a à la financer.



[Figure 16] Chaîne déductive permettant d'établir des indicateurs de respect des principes de la charte ; crédits : Myceco

« LES ACQUIS QUE L'ON A
suffisent pour convaincre les autorités de l'importance du développement du biomimétisme en France, tous les exemples de projets biomimétiques suffisent à permettre la délivrance de bourses et autres modes de financement public.»

Stéphanie Thiébault, CNRS- UMR8215 Trajectoires, ancienne DI de l'INEE

« POUR AVANCER, IL FAUT
faire réaliser au citoyen qu'il fait déjà du biomimétisme sans le savoir, pour arriver à utiliser l'énergie que chacun mettrait à contribution, et finalement travailler à partir du terrain.»

Yves Daniel, Député de la Loire-Atlantique,
Commission des Affaires Économiques

« LA CHARTE PERMET
que tous les acteurs le long de la chaîne soient impliqués pour éviter le développement d'un biomimétisme purement axé profit, et que la participation des acteurs ne soit pas dévoyée. [...] L'important est qu'elle soit engageante et que les entreprises sentent que si elles veulent valoriser leur inspiration biomimétique, il faut qu'elles s'inscrivent dans ce cadre-là.»

Laurence Monnoyer Smith, CNES, Directrice du Développement Durable et de la performance

« L'IDÉE DU BIOMIMÉTISME
n'est pas encore suffisamment connue aujourd'hui. On ne fait que commencer à se poser ce type de questions, mais on n'est pas encore rentré dans le cœur des questions économiques. Plus d'action de Ceebios dans la région y aiderait, car pour moi le biomimétisme commence à venir en France mais a été pour l'instant relativement lent. L'initiative devrait être prise par le secteur public.»

Philippe Vasseur, Région Hauts de France, CCI Hauts de France, Ancien Président de la mission REV3 (3^e Révolution Industrielle des Hauts de France), Ancien Ministre de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation

« LE MUSÉUM NATIONAL
d'Histoire naturelle travaille actuellement sur la création d'une Charte Éthique Bioinspire-Muséum pour guider la réalisation de ses activités bioinspirées. Nous espérons partager cette charte avec d'autres musées d'histoire naturelle, afin de développer un consensus international sur la bioinspiration éthique et son lien avec l'histoire naturelle. »

Jian Sheng Sun, Professeur et directeur du Département Adaptations du Vivant
&
Annabelle Aish, Chef de projet « Bioinspire Museum », Muséum national d'Histoire naturelle

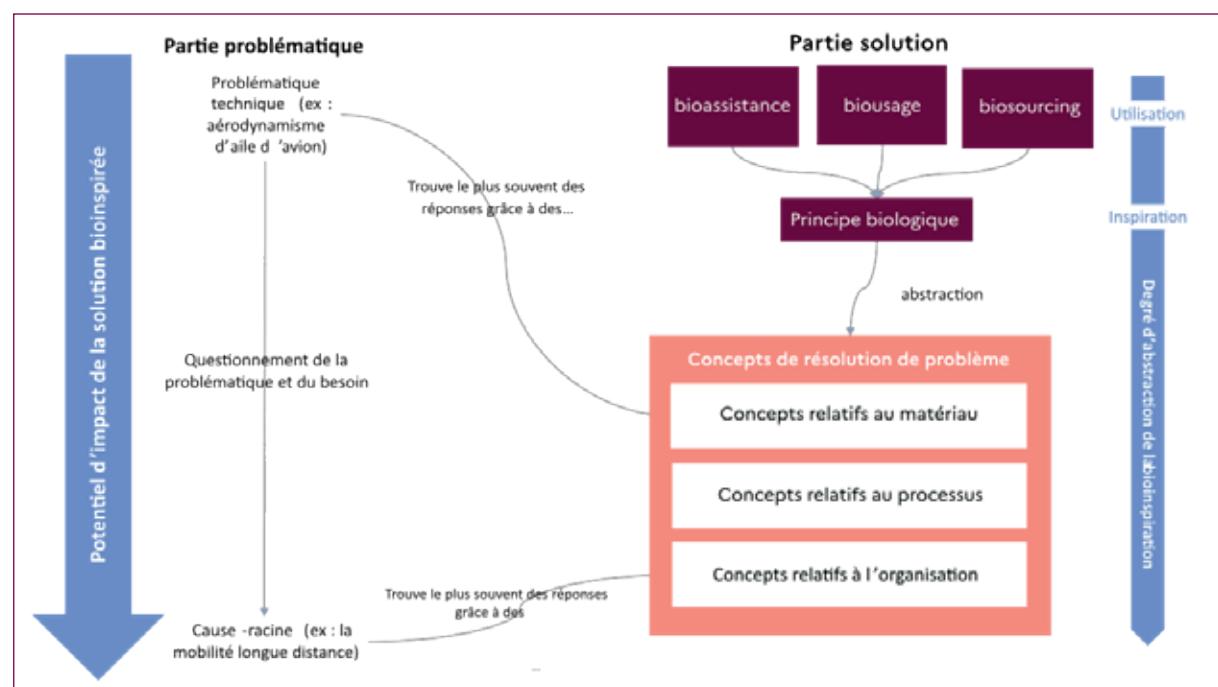
Par l'échelle BPL, on pourrait évaluer le niveau de potentiel impact positif de la bioinspiration, voire de maturité technologique associée (phase laboratoire ou phase mise à l'échelle comme peut le mesurer le TRL conventionnel), dont est issu un projet pour définir s'il appartient au cadre posé par la charte ou non (Figure 17).

Il s'agit là d'une première idée conceptuelle issue des échanges avec des parties prenantes. Il convien-

dra d'approfondir l'idée avec les pouvoirs publics pour affiner les concepts, indicateurs de mesures et métriques associés dans des actions et travaux d'études et de recherche complémentaires.

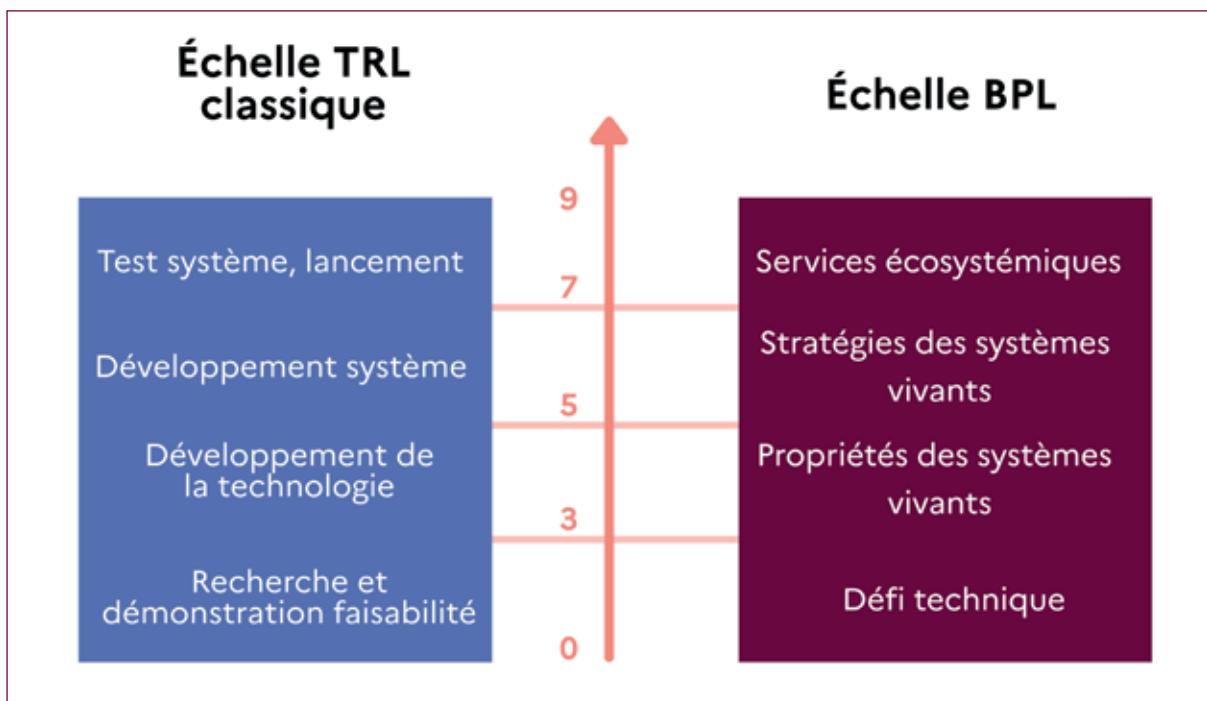
Cette évaluation mettrait en regard le niveau d'ambition de la problématique que l'on cherche à résoudre (est-ce une problématique dont la résolution est disruptive ou bien incrémentale ?) ainsi que le niveau d'échelle de la bioinspiration proposée comme levier de résolution. Il faut toutefois garder à l'esprit qu'en réponse à une problématique donnée, une chimère de bioinspiration de différents degrés puisse voir le jour. À titre d'exemple, on peut citer le nautile du cabinet de design bioinspiré Big Bang Project.

À TITRE D'EXEMPLE, ON POURRAIT TENTER DE DÉFINIR UNE ÉCHELLE DE LA FAÇON SUIVANTE (NON EXHAUSTIF ET EXPLORATOIRE DANS LES CHAMPS) :



[Figure 17] Proposition d'une grille de lecture BPL pour des projets de bioinspiration ; crédits : Myceco

D'AUTRES POSSIBILITÉS SONT À ÉTUDIER :



[Figure 18] Comparaison de l'échelle TRL classique avec la proposition d'échelle maturité de la bioinspiration ; crédits : Myceco

« **UNE ÉCHELLE DU BIOMIMÉTISME, COMME UNE TRL,** pourrait être pertinente pour clarifier le lien que l'on fait entre une solution et sa source d'inspiration. Cela éviterait l'écueil de "s'inspirer du vivant OU non", en proposant une alternative plus graduelle comme en indiquant le pourcentage de bioinspiration ; une échelle indépendante qui donnerait du crédit et de l'honnêteté dans la démarche. [...] Cette échelle pourrait apporter du sérieux à la démarche, en rappelant le pourcentage que l'on doit à la nature dans les solutions que l'on utilise.»

Colonel Sébastien de Peyret, Ministère des Armées, État-major de l'Armée de Terre,
Directeur du Battle Lab Terre, Bureau Plans, Sous-chefferie Plans Programme

LE VIVANT COMME POTENTIEL POUR LA SOUVERAINETÉ ET LA VITALITÉ NATIONALE

Enfin, quel que soit le champ sémantique retenu, force est de constater que c'est aussi comme levier de souveraineté pour la France que le biomimétisme peut émerger dans les prochaines années.

Un domaine souverain est :

- Soit un domaine qui, s'il devenait dépendant d'une autre nation ou entité, mettrait en danger l'indépendance de la France, la préservation de ses intérêts stratégiques ou l'autonomie de décision de ses dirigeants. ;
- Soit un secteur d'excellence dont on décrète qu'il est souverain tant son impact socio-économique national est important.

LE CAPITAL NATUREL ET INTELLECTUEL DE LA FRANCE

La France dispose d'un patrimoine permettant de faire du biomimétisme un axe de supériorité nationale par son :

• Capital naturel :

- 10% de la biodiversité mondiale
- 2^e espace maritime au monde
- Les collections du Muséum national d'Histoire naturelle dans le top 3 mondial (68 millions de spécimens)

• Capital intellectuel, la France compte plus de 200 équipes de recherche travaillant sur le biomimétisme, réparties dans plusieurs laboratoires notamment sur des domaines majeurs :

- Énergies
- Matériaux
- Information
- Eau
- Chimie verte



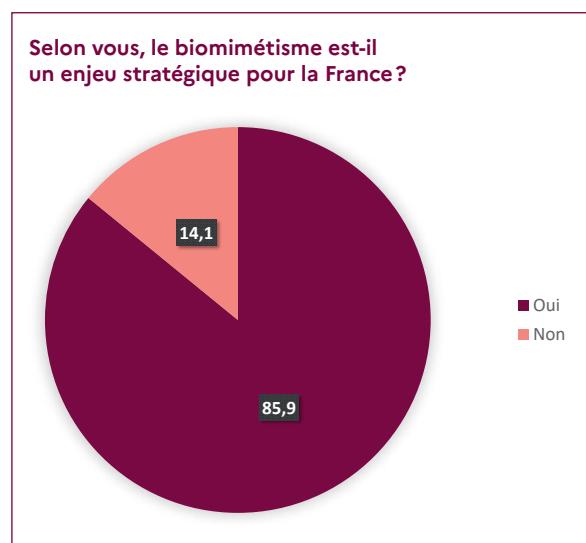
CHAMPS D'APPLICATIONS ET POTENTIEL DÉVELOPPEMENT

Les domaines où la bioinspiration pourrait apporter une innovation notable en France dans la décennie à venir incluent des secteurs et domaines stratégiques pour la France ou considérés comme souverains. En témoigne la liste (non exhaustive, ni en termes des secteurs et domaines mentionnés, ni en termes des illustrations présentées) qui suit :

- **Secteur Défense** : inspiration des stratégies de blindage, de camouflage, d'approche furtive ou de dissuasion développées par certains insectes, mammifères ou reptiles. (projet SHARD²⁴)
- **Secteur Aéronautique & Espace** : réutilisation des techniques de vol pour une moindre consommation énergétique, la réduction des turbulences de bout d'aile, et d'autres perfectionnements du vol mis au point par le vivant. (Airbus²⁵)
- **Secteur Agricole** : remplacement des pesticides par des mécanismes de biocontrôle, utilisation des écosystèmes pour mieux réguler les milieux de culture. (M2I Life²⁶)
- **Secteur Énergie** : captation d'énergie cinétique sous forme hydraulique en s'inspirant de la nageoire caudale des thons, sous forme d'éolienne en s'inspirant des battements d'ailes, captation d'énergie lumineuse sous forme solaire par mimétisme de la photosynthèse végétale. (IFP Energies Nouvelles²⁷)
- **Secteur Construction & Infrastructure** : reproduction de structures, déformables ou non, mieux adaptées aux contraintes que l'on souhaite leur imposer, et répartition de ces contraintes suivant des modèles biologiques. (Bouygues Construction²⁸)
- **Domaine Chimie verte** : synthèse et procédés utilisant les atomes abondants à la surface de la Terre (carbone, hydrogène, oxygène, azote) et étant produits à température et pression atmosphériques ou douces. (UpGreen²⁹)
- **Domaine Matériaux** : imitation de formations microscopiques et organisationnelles pour de meilleures propriétés hydrophobes, isolantes, acoustiques, de résistance à la cassure ou autres. (Saint-Gobain³⁰)
- **Etc.**

LE BIOMIMÉTISME UN ENJEU STRATÉGIQUE POUR LA FRANCE

Par le questionnaire, nous obtenons cette statistique (Figure 19), qui témoigne d'une certaine considération des participants pour le biomimétisme en tant que levier stratégique pour la France :



[Figure 19] Avis des participants à l'étude par questionnaire sur le caractère stratégique du biomimétisme français ; crédits : Myceco

« DANS LE DOMAINE DE la régénération, du réemploi de l'énergie et des déchets, le biomimétisme peut être d'une grande aide. C'est un sujet majeur car nous perdons beaucoup d'énergie, ce qui implique un effort logistique permanent qui expose des volumes importants d'opérationnels aux dangers des zones de combat ; pouvoir s'appuyer sur l'étude du vivant peut nous y aider. »

Colonel Sébastien de Peyret, Ministère des Armées, État-major de l'Armée de Terre, Directeur du Battle Lab Terre, Bureau Plans, Sous-chefferie Plans Programme

24- <https://www.defense.gouv.fr/ema/sitta/les-salons-precedents/dsei-2019/article-dsei-2019>

25- <https://www.airbus.com/newsroom/stories/biomimicry-a-fresh-approach-to-aircraft-innovation.html>

26- <https://www.m2i-lifesciences.com/quest-ce-que-le-biocontrole-vegetal>

27- <https://www.ifpenenergiesnouvelles.fr/article/ifpen-inspire-du-vivant-doper-transformation-matiere>

28- <https://www.bouygues-construction.com/blog/fr/construire-durablement/biomimetisme-construction/>

29- <https://upgreen.fr/>

30- <https://www.saint-gobain.com/fr/biomimetisme-quand-la-nature-inspire-les-materiaux>

PAR SON ASPECT NOVATEUR, LE BIOMIMÉTISME PEUT RENFORCER LA VITALITÉ ÉCONOMIQUE DU PAYS

• **Capital innovation** : à condition d'arriver à en décrire le raisonnement, ce qui a déjà été entrepris par Pierre-Emmanuel Fayemi dans sa thèse³¹, la nature défixante et la transdisciplinarité du biomimétisme en font un important outil d'innovation et un nouveau levier de conception innovante.

« S'INSPIRER DE LA NATURE, sous réserve d'avoir accès à une base de données, permet de simplifier la R&D par gain de temps.»

Colonel Fabrice Valat, Ministère des Armées, État-major des Armées, Chef de Division capacitaire

« LE BIOMIMÉTISME DOIT nous aider à passer d'une innovation incrémentale à une innovation de rupture, et nous accompagner dans le process d'innovation pour atteindre les buts que l'on recherche.»

Erwin Gowree, ISAE Supaero, Professeur, Directeur du Programme Aérodynamique Avancée et Propulsion

« L'ENJEU D'INNOVATION est premier dans notre domaine car il n'est pas toujours évident de faire le lien entre une question et sa solution ; le biomimétisme, pouvant le faire tout seul, devient extrêmement précieux.»

Colonel Sébastien de Peyret, Ministère des Armées, État-major de l'Armée de Terre, Directeur du Battle Lab Terre, Bureau Plans, Sous-chefferie Plans Programme

À noter que le ministère des armées fait appel à la bioinspiration depuis de nombreuses années (programmes RAPID et ASTRID DGA, Thèse TGA) dans une logique de moyen et méthode d'innovation. Désormais la problématique énergétique et la raréfaction des ressources apparaissent comme des enjeux majeurs pour le ministère. Le biomimétisme peut contribuer à relever ces défis.

• **Perfectionnement technologique** : par la découverte de matériaux plus légers, plus élastiques, plus résistants ; par l'étude de mécanismes plus rapides, moins gourmands en matière première, avec une moindre consommation de carburants ; ou même par la compréhension de systèmes organisationnels nouveaux, le biomimétisme ouvre une voie vers de nouvelles technologies plus efficaces et mieux adaptées.

« LE BIOMIMÉTISME EST dans les dossiers que nous avons pu retracer, l'utilisation du biomimétisme a permis d'améliorer l'efficacité des processus.»

Patrick Faisques, Veolia Eau, Directeur des Relations Institutionnelles SEDE Environnement, Coordonnateur projets structurants
Filière Française de l'Eau

88%

des participants à l'étude par questionnaire attribuent une note à partir de 3/5 au biomimétisme comme réponse à l'enjeu d'image et de communication

81%

des participants à l'étude par questionnaire attribuent une note à partir de 3/5 au biomimétisme comme levier de création d'emploi dans un territoire donné

31- Pierre-Emmanuel Fayemi. Innovation par la conception bioinspirée : proposition d'un modèle structurant les méthodes biomimétiques et formalisation d'un outil de transfert de connaissances. Génie mécanique [physics.class-ph]. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2016. Français. ffNNT: 2016ENAM0062ff. fftel-01531185f

• **Accroissement des rendements** : toujours dans la logique d'économie et de circularité, le vivant a mis au point des stratégies et procédés peu coûteux en énergie et matériaux et qui réutilisent les ressources déjà acquises, ce pour quoi on peut parler à notre échelle d'une meilleure efficience ou d'une meilleure rentabilité pour les retombées économiques.

« J'ATTENDS AUSSI
du biomimétisme un gain en rentabilité,
distinct de celui en efficacité car on
pourrait très bien dépenser énormément
pour être plus efficace, mais ici on gagne
sur les deux aspects en même temps. »

Patrick Faisques, Veolia Eau, Directeur des Relations Institutionnelles SEDE Environnement,
Coordonnateur projets structurants
Filière Française de l'Eau

« L'ADOPTION DU
biomimétisme [...] spécifie une démarche
de prise en compte du vivant pour être
plus efficient dans nos démarches de
conception (avec l'hypothèse que le
vivant d'aujourd'hui a survécu grâce
à certaines de ses propriétés physico-chimiques, ergonomiques, etc.). »

Stéphane Ingrand, INRAE, Chef de département
adjoint du département Physiologie animale
et Systèmes d'élevage

« CES TECHNOLOGIES SONT
déjà testées par la nature, et donc
économies en énergie. »

Colonel Fabrice Valat, Ministère des Armées,
État-major des Armées, Chef de Division capacitaire

• **Capital image** : prendre la nature comme modèle favorise l'adhésion des consommateurs et renforce le capital image de certaines industries.

« EN TERMES D'IMAGE,
le biomimétisme s'appuie sur la
valorisation du vivant, ce qui lui confère
un certain capital sympathie. »

Audrey Coreau, OFB,
Directrice Acteurs et Citoyens

• **Relocalisation et revitalisation de territoires** : en mettant à profit les ressources locales, en générant des symbioses industrielles à l'échelle régionale ou en créant de nouveaux emplois liés aux compétences territoriales, le biomimétisme permet de revitaliser certains territoires où seront implantés des emplois non délocalisables, et de tirer parti des atouts et capitaux naturels du sol français.

« SELON MOI,
le biomimétisme peut aider à
réhabiliter la relocalisation de l'économie
et à revaloriser le travail artisanal, en remettant l'économie sur un temps compatible
avec le temps de travail humain et en renonçant à la course de vitesse. [...] Faire
de la symbiose industrielle dans un même
territoire correspond à une plus faible
échéance, [...] et mène vers la relocalisation
en phase avec les enjeux régionaux et
une absence des transports longue distance (qui est une avantage post-Covid). »

Jérôme Perrin, Renault Automobile R&D,
Directeur Scientifique

Ainsi, tant par :

- L'innovation technologique qu'il génère (ex. : Deeptech)
- La sauvegarde des ressources qu'il offre
- La variété des domaines qu'il concerne, notamment régaliens et souverains
- Et son fort lien avec la culture française

Le biomimétisme se présente comme potentiel moteur pour une France souveraine renouant avec la « France des Lumières ». En effet plusieurs secteurs, comme la défense, ont déjà recours à l'innovation biomimétique, et nombre d'entre eux concernent des activités jugées comme souveraines.

« LA FRANCE, EN RAISON de son excellence académique dans les domaines du biomimétisme (comme avec Serge Berthier) reconnue au niveau mondial et de nombre de ses chercheurs qui se retrouvent dans le top 5 mondial, peut prétendre à la souveraineté biomimétique. »

Alain Renaudin, Organisateur Biomim'expo,
Président New Corp Conseil

« LE BIOMIMÉTISME EST

un levier de souveraineté dans la mesure où toutes ses composantes dans les domaines industriel, agricole, les technologies, la robotique et les innovations font partie de domaines qui relèvent des enjeux stratégiques pour la France [...]. La plupart des branches du biomimétisme relèvent donc d'enjeux stratégiques pour la souveraineté française, et la défense en particulier. Et une agriculture qui ne porte pas atteinte à l'environnement est un atout majeur pour notre souveraineté alimentaire.»

Huguette Tiegna, Députée du Lot,
Commission des Affaires Economiques

« LES PRINCIPAUX OBJECTIFS écologiques sont internationaux ; la souveraineté [vers laquelle peut mener le biomimétisme] est un élément dans une coordination internationale. »

Dominique Bourg, Université de Lausanne,
Professeur de philosophie, Philosophe

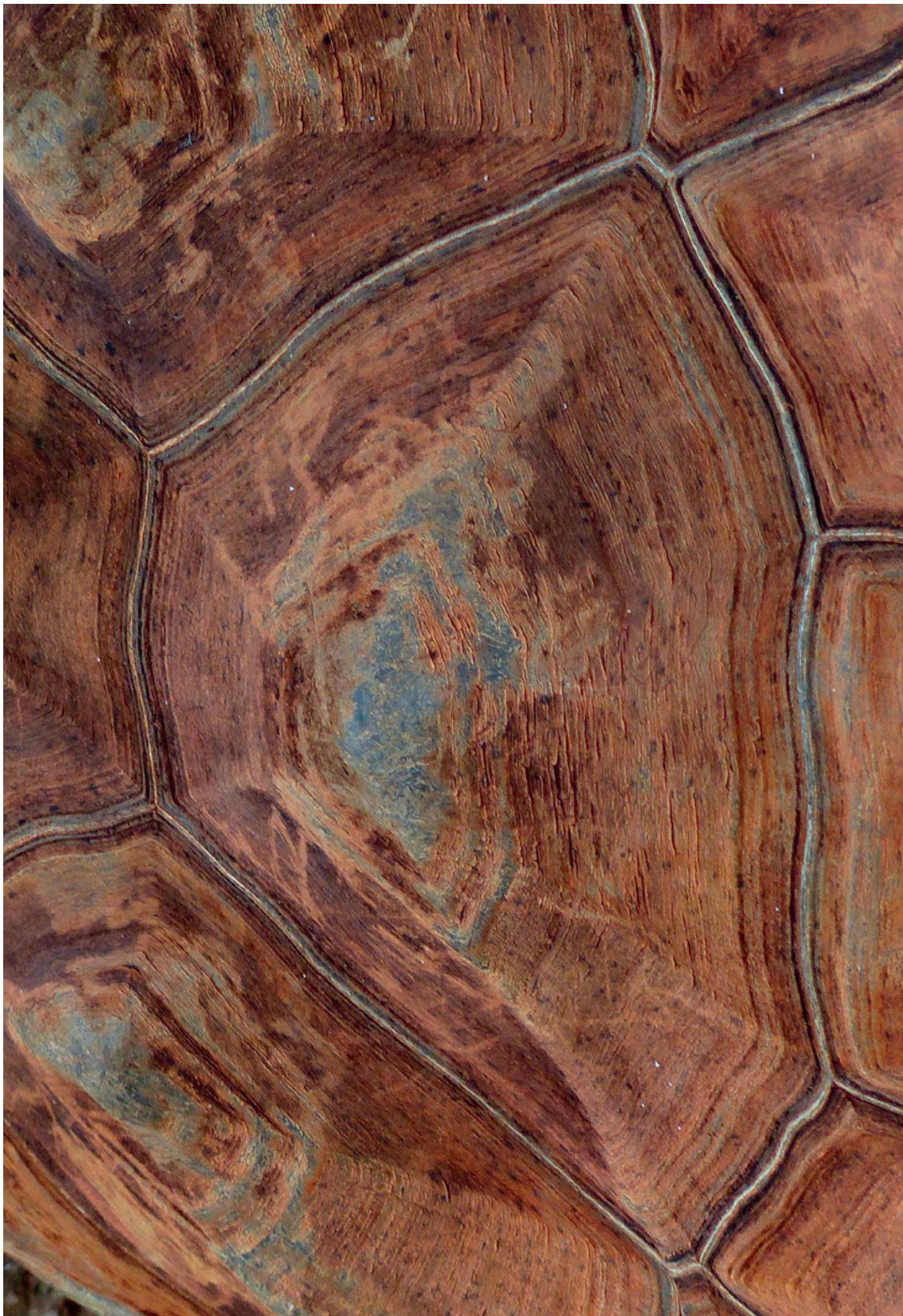
Cependant sa priorisation nécessite encore qu'il soit reconnu comme un type de discipline autoporteuse et vertueuse, afin que les financements dont il a besoin pour se développer lui soient pleinement dirigés et que soit valorisés ses bénéfices dans le contexte actuel (Figure 20).

ACTIONS POUR UN BIOMIMÉTISME LEVIER DE SOUVERAINÉTÉ			
TYPE D'ACTION	INITIATIVES	AVANTAGES	POINTS DE VIGILANCE
RECONNAÎTRE LE BIOMIMÉTISME COMME DISCIPLINE AUTOPORTEUSE	 Ouvrir une nouvelle discipline au MESRI et comparer le biomimétisme aux autres domaines pluridisciplinaires reconnus comme souverains (IA, numérique, cyber, quantique)	Attribution des externalités positives du biomimétisme au domaine en soi pour favoriser son propre essor	Enjeu d'acceptation du monde de la recherche et rééquilibrage budgétaire de la recherche
CADRER LE CARACTÈRE VERTUEUX DU BIOMIMÉTISME	 Chiffrer les externalités positives du biomimétisme en faveur de la biodiversité, des territoires et du développement économique des secteurs reconnus comme souverains en France	Permet à la France de devenir leader européen du biomimétisme en potentialisant l'ensemble de son capital intellectuel et naturel	Difficulté de récupération des données pour les études de cas, soit de projets bioinspirés non-répertoriés, soit en raison de leur caractère confidentiel

[Figure 20] Actions en faveur du développement du biomimétisme comme levier de souveraineté ; crédits : Myceco

À retenir

- La situation actuelle de la nation française lui présente le biomimétisme comme levier de souveraineté pour quatre principaux motifs :
- Un réseau économique, technologique et académique intégrant la pratique biomimétique déjà fortement développé
- Un patrimoine naturel constituant un immense puits de savoir et de ressources
- Une culture et une histoire en phase avec la transversalité et le caractère initiateur du biomimétisme.
- Un réseau de secteurs et domaines d'activité variés concernés par l'innovation promue par le biomimétisme.



CONCLUSI

Le Biomimétisme bénéficie d'une acceptation sémantique très large, riche et évolutive.

Certains y voient, une approche philosophique pour répondre aux enjeux du développement durable et à la résilience des territoires ou d'une nation (ex.: économie circulaire, permaéconomie), d'autres des méthodes et des moyens pluridisciplinaires (ex.: biocontrôle) ou bien encore des domaines d'activités techniques de la biologie pouvant recourir au vivant (comme la biologie de synthèse). L'axe à retenir au final est le gradient de bioinspiration directe (ex.: biosourcing, Solutions Fondées sur la Nature) ou indirecte (Écologie Industrielle et Territoriale).

Conciliant innovation, développement et respect de notre environnement, il se présente comme une voie d'adaptation de nos industries, systèmes et procédés à une logique de développement durable. À l'heure où l'on ne peut plus se permettre d'écart quant à la préservation de nos ressources naturelles, la place du vivant dans la démarche biomimétique invite à sa reconnaissance et à son respect.

En effet, force est de lui être reconnaissant pour les techniques qu'elle nous permet de développer et les services qu'elle nous rend déjà, et de la respecter pour l'avance qu'elle a bien souvent sur notre recherche.

Approche interdisciplinaire, le biomimétisme concerne autant de domaines qu'il y en a d'impliqués dans la réforme de nos modes de production, et nécessite donc d'être pris en compte comme une opportunité de viabiliser nos fonctionnements.

« LE BIOMIMÉTISME PERMET
de créer de nouveaux emplois, comme ceux liés aux technologies bioinspirées pour lutter contre la pyrale du buis et le frelon asiatique. C'est une façon de créer des innovations dans les territoires avec des ressources locales, poussant les jeunes entreprises innovantes à s'installer sur le territoire. Le décrochage d'emplois non délocalisables en fait donc un enjeu de vitalité territoriale.»

Huguette Tiegna, Députée du Lot,
Commission des Affaires Économiques

Dans cette logique de reconnexion avec le monde environnant par sa fraction biologique, nous nous devons donc d'anticiper un développement vertueux du biomimétisme. Or il est parfois possible de s'inspirer du vivant pour en analyser les fonctionnements et les transférer à nos techniques, mais en dirigeant ensuite celles-ci à l'encontre de la source d'inspiration. Pour parer à ces dérives, les différentes parties prenantes de la démarche biomimétique peuvent dessiner d'un commun accord les limites d'un biomimétisme durable au sein de la pratique bioinspirée générale dans une charte.

Cette charte, non liberticide pour ceux qui préfèrent continuer de pratiquer un biomimétisme sans implication durable, permettra une convergence des autres sur les principes à mettre en œuvre, sur les critères selon lesquels on jaugera le respect de ces principes, et sur les indicateurs qui permettront d'évaluer l'application de ces critères.

Une méthode forte d'évaluation de ces critères sera l'établissement d'une échelle maturité de la bioinspiration, permettant de situer chaque projet revendiquant une origine bioinspirée sur une gradation selon le pourcentage du projet, produit ou organisation d'inspiration biologique. Cela permettra notamment de connaître la part redevable à la biodiversité dans le projet, et en contrepartie de se voir reconnaître une plus grande place dans le domaine préalablement défini par la charte.

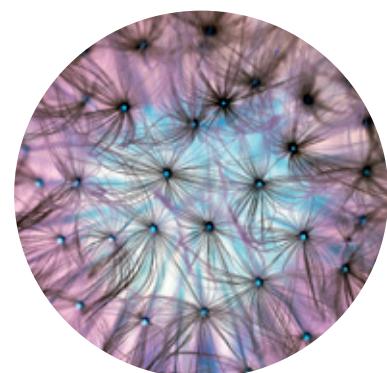
Enfin, alors que se profile une société où le développement ne pourra être autrement que durable, l'essor d'un biomimétisme efficace et respectueux de l'environnement se présente comme une réelle opportunité de souveraineté nationale. En effet, la France dispose des cartes nécessaires à cet essor tant par son capital naturel que son patrimoine intellectuel. L'avance qu'elle a dans le domaine permet de cibler les deux principaux axes sur lesquels travailler :

- prouver et encadrer les externalités positives du biomimétisme en France pour certifier un développement motivé par la vertu ;
- le reconnaître en tant que discipline pour faire arriver à ses laboratoires les financements nécessaires à son application, et lui attribuer les bénéfices qu'il génère dans une logique de cercle vertueux.

Le développement du biomimétisme passera donc par un renforcement des efforts de communication, de formations et de capacité à réfléchir l'innovation autrement dans une logique pluridisciplinaire tout en faisant tomber les silos entre la recherche et les applications industrielles.

Le président Emmanuel Macron, le mardi 14 octobre 2021, à l'occasion de son discours d'annonce du Plan de Relance 2030 a cité le biomimétisme comme levier d'innovation dans le secteur marin notamment. Le biomimétisme est ainsi un levier stratégique pour la France.

La situation de la planète est en crise et, collectivement, nous devons réinventer nos schémas de pensée et nos façons de concevoir des produits industriels par des méthodes d'ingénierie plus vertueuses inspirées du cahier des charges du vivant. L'innovation de demain sera pluridisciplinaire, hybridée, multigénérationnelle et à l'écoute des principes de sobriété et d'efficience que nous enseigne la nature.



AUTEURS

PRÉSENTATION DES AUTEURS DE L'ÉTUDE



Myceco est un cabinet de conseil en biomimétisme et numérique responsable résolument tourné vers l'innovation contributive à fort impact sur le triptyque écologie/économie/défense.

La mission de Myceco consiste à :

- **Faire du biomimétisme une approche scientifique** souveraine au service des politiques publiques par le levier d'une innovation soutenable d'un point de vue économique et environnemental ;
- **Accompagner les acteurs de la Défense/Sécurité/ Aéronautique/Espace** dans leur plan d'innovation par la bioinspiration comme réponse enjeux capacitaires
- **Accompagnement des laboratoires** à la montée en TRL de leurs technologies en réponse à des enjeux métiers
- **Réinventer des modèles économiques et industriels écologiques et solidaires** par l'innovation pluridisciplinaire en incitant les entreprises à réfléchir « biomimicry by design » dans leur chaîne de valeur R&D.

www.myceco.com



Ceebios, Centre d'études & d'expertises en biomimétisme, se positionne en structure d'intérêt général, visant à catalyser la richesse des compétences nationales du monde académique, de l'enseignement et de la R&D industrielle dans le domaine de la bioinspiration autour de 3 axes :

EXPLORER le potentiel du biomimétisme :

- Développement d'outils & ressources
- R&D bioinspirée
- Coopération des sphères académiques & industrielles

INNOVER avec le biomimétisme :

- Conseil, études & ingénierie
- Recherche & méthodologie
- Management de l'innovation

DÉPLOYER le biomimétisme en France:

- Connexion d'experts
- Formation & enseignement
- Animation du réseau matinal
- Communication

+ de 500 clients & partenaires : grands groupes tels que AirLiquide, Eiffage, ICADE, Renault, L'Oréal, LVMH, Rabot Dutilleul, Mäder, EGIS, RTE, EDF, Decathlon, Elan, Engie et de nombreuses PMEs.

www.ceebios.com



Vertigo Lab est un bureau d'études et de recherches spécialisé en économie de l'environnement. Vertigo Lab développe et mobilise des outils économiques pour accompagner la prise de décision des acteurs publics et privés, de l'échelle locale à internationale, sur les sujets de transition écologique et de développement territorial.

Nous avons pour mission d'évaluer l'impact socio-économique et environnemental des stratégies des entreprises et territoires, pour imaginer les modèles économiques de la transition.

www.vertigo.eu

ACRONYM

TABLE DES ACRONYMES (ORDRE ALPHABÉTIQUE)

ACV : Analyse de Cycle de Vie

ADEME : Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Energie

ADN : Acide Désoxyribonucléique

AFNOR : Association Française de Normalisation

APA : Accès et Partage des Avantages

BiOMig : "Bio-inspired Materials Open Innovation Generator" (générateur de matériaux bioinspirés en innovation ouverte)

BPL : "Biomimetic Potential Level"

CCI : Chambre de Commerce et d'Industrie

Ceebios : Centre d'Études et d'Expertises en Biomimétisme

CGDD : Commissariat Général au Développement Durable

CGS : Centre de Gestion Scientifique

CNES : Centre National d'Études Spatiales

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

C3D : Collège des Directeurs du Développement Durable

DEB : Direction de l'Eau et de la Biodiversité

DGALN : Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature

DGE : Direction Générale des Entreprises

EHESS : École des Hautes Études en Sciences Sociales

ESA : "European Spatial Agency" (agence spatiale européenne)

FSC : "Forest Stewardship Council" (conseil pour la bonne gestion des forêts)

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

ISAE : Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

ISO : " International Organization for Standardization" (organisation internationale de normalisation)

ISYEB : Institut Systématique, Evolution, Biodiversité

MSC : "Marine Stewardship Council" (conseil pour la bonne gestion des mers)

MTES : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

NBS : "Nature Based Solutions" (solutions fondées sur la nature)



NF : Norme Française

ODD : Objectifs de Développement Durable

OFB : Office Français de la Biodiversité

OGM : Organismes Génétiquement Modifiés

PEFC : Programme Européen des Forêts Certifiées

PIA : Programmes d'Investissements d'Avenir

PIB : Produit Intérieur Brut

PME : Petite ou Moyenne Entreprise

QSE : Qualité, Sécurité et Environnement

RTE : Réseau de Transport d'Électricité

R&D : Recherche et Développement

SVT : Sciences de la Vie et de la Terre

TCO : "Tjänstemännens Centralorganisation" en suédois, Organisation Centrale des Employés en français. Ce label a été instauré par l'Organisation Centrale des Employés, confédération syndicale suédoise.

ThéMA : Théoriser et Modéliser pour Aménager

TPE : Très Petite Entreprise

TRL : "Technology Readiness Level" (niveau de maturité technologique)

UCE : Unités de Charge Écologique

WWF : "World Wildlife Fund" (fonds mondial pour la vie sauvage), aujourd'hui "World Wide Fund for Nature" (fonds mondial pour la nature)

ZEE : Zone Économique Exclusive

ANNEXES

ANNEXE 1

DÉFIS, PRÉREQUIS & GRANDES PRÉCONISATIONS ISSUES
DE LA JOURNÉE DE TRAVAIL CHEZ FRANCE STRATÉGIE

Les défis

Une cinquantaine d'acteurs du biomimétisme, au degré d'acculturation variable et aux horizons différents (chercheurs, industriels, consultants, acteurs publics, designers, etc.), ont travaillé sur cinq défis identifiés comme verrous au développement du biomimétisme en France.

DÉFI #1 : COMMENT RENDRE L'APPROCHE BIO-INSPIRÉE INDUSTRIELLEMENT EFFICACE ?

DÉFI #2 : COMMENT FAIRE DU BIOMIMÉTISME UN LEVIER DE CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ ?

DÉFI #3 : COMMENT EMBARQUER LES CONCEPTEURS / CHERCHEURS DANS UN TRANSFERT DE CONNAISSANCES DE LA BIOLOGIE ?

DÉFI #4 : COMMENT STIMULER L'ENTREPRENEURIAT DANS LE DOMAINE ?

DÉFI #5 : COMMENT ACCÉLÉRER LA RECHERCHE DANS LE DOMAINE ?

Les pré-requis & préconisations

Nous pouvons retenir deux pré-requis et cinq grandes préconisations* :



PRA : Consolider les externalités positives du biomimétisme d'un point de vue environnemental

Avant tout, il faut s'assurer de la contribution réelle du biomimétisme à la réalisation des Objectifs de Développement Durable. Une étude d'impact environnemental approfondie doit être menée avec les parties prenantes adéquates, utilisant des indicateurs pertinents pour quantifier les données. Une telle étude pourrait aboutir à la mise en place d'outils et d'un guide de l'écoconception par le biomimétisme permettant de valoriser la convergence du cahier des charges du vivant avec les piliers de la transition écologique. Il s'agira également de s'assurer par une méthodologie de type « Analyse du Cycle de Vie » (ACV) que le biomimétisme répond de bout en bout sur l'ensemble des processus à des objectifs de développement durable. Une convention de collaboration de Ceebios avec l'ADEME permet d'initier ces travaux.

PR B : Consolider les externalités positives du biomimétisme d'un point de vue socio-économique

Lancer une étude des retombées socio-économiques (croissance, créations d'emplois, réinternalisation d'industries souveraines, etc.) du biomimétisme par filières professionnelles et par territoires. La DGE et les régions pourraient être pilotes de ces études.

P#1 Fixer les méthodes & les outils

Il s'agit de fixer les concepts et la sémantique dans la logique des normes AFNOR et ISO. La méthodologie d'innovation biomimétique doit être standardisée avec un accès aux stratégies du vivant facilité et conçu pour être exploité. La communauté qui travaille sur des projets biomimétiques doit partager les outils et les valeurs de la méthode. Il faut trouver un moyen d'inciter les parties prenantes à utiliser cet ensemble indissociable.

La démocratisation du biomimétisme passe ainsi par des **actions transformationnelles multiples** : 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 et de transposition méthodologique pour une meilleure appropriation par les industriels, la généralisation des formations au biomimétisme dans tous les cursus pour éviter une confiscation du sujet par les seuls scientifiques biologistes, etc.

Aussi, toutes ces actions concourant à l'essor du biomimétisme nécessitent au préalable une prise de conscience collective pour une ambition nationale incarnée par une feuille de route gouvernementale.

P#2 Fédérer l'écosystème d'acteurs autour d'une plateforme physique

L'objectif est de rapprocher les acteurs et les différentes parties prenantes au sein d'une plateforme physique qui remplirait plusieurs fonctions. Cette plateforme serait le lieu d'émulation pour entrepreneuriat, l'expérimentation, l'échange de bonnes pratiques, de méthodologies et d'outils de transmission de la connaissance. Au sein de cette plateforme et avec tous les acteurs, doit se mettre en place une réflexion autour de l'aspect juridique du transfert de la connaissance, de la propriété intellectuelle, etc.

P#3 Inclure le biomimétisme dans une vision d'ampleur, partagée & financée

Il s'agit de démontrer que le biomimétisme répond aux enjeux climatiques, de la biodiversité et de la transition énergétique/écologique. À ce titre, elle doit être reconnue et intégrée dans les politiques publiques et dans les programmes existants pour bénéficier des subventions et de la communication associées. Le biomimétisme ne peut émerger que si tous les acteurs en partagent la vision et que le support des pouvoirs publics est effectif. La mise en place des outils permettant de prouver les externalités contributives, les performances et la compétitivité du biomimétisme est nécessaire pour positionner le biomimétisme au cœur des dispositifs.

P#4 Construire le système éducatif du biomimétisme

Il faut que de manière générale la pluridisciplinarité soit favorisée, non seulement au sein des programmes scolaires mais aussi au sein des administrations. Doivent émerger de nouvelles formations d'études supérieures (qui nécessite un sujet transversal et protéiforme comme le biomimétisme). Ceci suppose un assouplissement des règles administratives de création de formation (le biomimétisme ne saurait se réduire à une formation exclusivement de « biologie » par exemple). Le fait d'avoir des formations établies permet de structurer un réseau plus mature, et, par exemple, de pouvoir chercher dans un endroit connu des profils dont on sait qu'ils ont une formation adaptée à un projet.

P#5 Sensibiliser & communiquer

Les mondes de la recherche et de l'industrie doivent continuer d'appréhender la diversité des composantes du biomimétisme pour déverrouiller pleinement son potentiel. Il faut donc faire savoir toutes les possibilités que permet le biomimétisme, auprès des entreprises, des politiques publiques et même du grand public. Beaucoup de possibilités certes, mais aussi des contraintes environnementales obligatoires.

ANNEXE 2

TABLEAU DE BORD COMPLET DES PRÉ-REQUIS & PRÉCONISATIONS ISSUES DE LA JOURNÉE DE TRAVAIL CHEZ FRANCE STRATÉGIE

		Défi #1	Défi #2
Pré-requis A	Avant tout, il faut s'assurer de la contribution réelle du biomimétisme à la réalisation des Objectifs de Développement Durable. Une étude d'impact environnemental approfondie doit être menée avec les parties prenantes adéquates, utilisant des indicateurs pertinents pour quantifier les données. Une telle étude pourrait aboutir à la mise en place d'outils et d'un guide de l'éco conception par le biomimétisme permettant de valoriser la convergence du cahier des charges du vivant avec les piliers de la transition écologique. Il s'agira également de s'assurer par une méthodologie de type « Analyse du Cycle de Vie » (ACV) que le biomimétisme répond de bout en bout sur l'ensemble des processus à des objectifs de développement durable. Une convention de collaboration avec l'ADEME permet d'initier ces travaux.		
Pré-requis B	Lancer une étude des retombées socio-économiques (croissance, créations emplois, réinternalisation d'industries souveraines, etc.) du biomimétisme par filières professionnelles et par territoires. La DGE et les régions pourraient être pilotes de ces études.		
Preco #1	Il faut fixer les concepts et la sémantique dans la logique des normes AFNOR et ISO. La méthodologie d'innovation biomimétique doit être standardisée avec un accès aux stratégies du vivant facilité et conçu pour être exploité ergonomiquement. La communauté qui travaille sur des projets biomimétiques doit partager les outils et les valeurs de la méthode. Il faut trouver un moyen de contraindre les acteurs intéressés à cet ensemble indissociable. Aujourd'hui les chercheurs qui travaillent sur le développement de la méthodologie du biomimétisme, notamment à Mines ParisTech ou au LCPI des Arts & Métiers, trouvent parfois plus de support et de financement à l'étranger, ce qui est évidemment un manque à gagner pour la France.	la normalisation de la méthode est cruciale pour la mise en place industrielle : associer une conception biomimétique écoresponsable en accord avec des impératifs dans les processus de production, de maintenance, etc.	standardiser la méthode et les outils est nécessaire au bon suivi et à la bonne évaluation des projets biomimétiques ayant pour but la préservation de la biodiversité. Au regard des outils existants pour comptabiliser l'impact d'un projet sur le capital naturel (par exemple ceux développés dans « Capital naturel et stratégies des organisations : une visite guidée des outils », WWF, 2019), les projets se doivent d'être conformes à une logique de protection de la biodiversité pour porter l'adjectif de « biomimétiques ».
Preco #2	L'objectif est de rapprocher les acteurs et les différentes parties prenantes au sein d'une plateforme physique qui remplirait plusieurs fonctions. Cette plateforme serait le lieu d'émission pour l'entrepreneuriat, d'expérimentation, d'échanges à propos des bonnes pratiques, de la méthodologie et faciliterait la transmission de connaissance. Au sein de cette plateforme et avec tous les acteurs doit se mettre en place une réflexion autour de l'aspect juridique du transfert de connaissance, de la propriété intellectuelle, etc. La plateforme pourrait être pilotée par le Ceebios dans une logique d'enrichissement de l'offre actuelle de l'association (notamment la journée bimensuelle de formation pour ses adhérents). Le salon du biomimétisme actuel, la Biomim'expo, pourrait être une manifestation spécifique d'une telle plateforme.	Cette plateforme permettrait d'expérimenter les méthodes les plus adaptées aux impératifs industriels (mise en œuvre opérationnelle), lien entre conception-développement-production.	La mise en place d'une plateforme d'expérimentation permettrait une meilleure connaissance du vivant par l'obtention de données ce qui favoriserait la protection de la biodiversité.
Preco #3	Il faut montrer que le biomimétisme répond aux enjeux climatiques, de biodiversité et de transition énergétique. L'idéal serait d'atteindre le même engouement autour du biomimétisme que celui qui a vu naître le « Rapport Villani » sur l'Intelligence Artificielle, au point près que l'écoresponsabilité serait au cœur du sujet. A ce titre, elle doit être reconnue et inclue dans les stratégies et programmes existants pour bénéficier des subventions et de la communication associée. Le biomimétisme ne peut émerger que si tous les acteurs en partagent la vision et que le support des pouvoirs publics est effectif. La mise en place des outils permettant de prouver les performances et la compétitivité du biomimétisme est nécessaire pour positionner le biomimétisme au cœur des dispositifs, par exemple une étude d'analyse de cycle de vie (ACV) mettant en évidence le bien-fondé des projets biomimétiques.	Il faut identifier et quantifier les externalités positives du biomimétisme pour démontrer la compétitivité du biomimétisme comme solution partielle des problèmes de changement climatique et effondrement de la biodiversité. Cette identification des bénéfices de la démarche favoriserait les financements à court terme. Il faut par ailleurs trouver un moyen contraignant de définition des projets biomimétiques, pour garantir la pertinence de la démarche (à l'instar des solutions suivantes : éco-label/ fiches DPE/réglementation)	L'objectif est de montrer en quoi le biomimétisme peut être un outil de préservation de la biodiversité puis inclure le biomimétisme dans les programmes déjà existants de préservation.
Preco #4	Il faut que de manière générale la pluridisciplinarité soit favorisée, non seulement au sein des programmes scolaires mais aussi au sein des administrations. L'émergence de nouvelles formations d'études supérieures (qui nécessite un sujet complexe comme le biomimétisme) est attendue. Ceci suppose un assouplissement des règles administratives de création de formations (le biomimétisme ne saurait se réduire à une formation exclusivement de « biologie » par exemple). Le fait d'avoir des formations établies permet de faire mûrir le réseau, et notamment de pouvoir chercher dans un endroit avéré des profils dont on sait être adapté aux projets bio-inspirés. L'université de Pau et des pays de l'Adour et l'ENSCI Les Ateliers ont ouvert la marche en ouvrant des masters respectivement sur les matériaux bio-inspirés en 2020 et en biomimétisme et design en 2019.	Le biomimétisme est un rapprochement de métiers et d'expertises différents, mais le tout doit être piloté par quelqu'un de formé à la méthode, aux problématiques etc. cette formation ne doit pas perdre de vue les impératifs économiques et opérationnels de tout projet industriel.	On ne peut protéger ce qu'on ne connaît pas. Le biomimétisme permet l'exploration et l'enseignement du vivant dans un soucis de protection.
Preco #5	Les mondes de la recherche et de l'industrie doivent continuer d'appréhender la diversité des composantes du biomimétisme pour déverrouiller pleinement son potentiel. Il faut donc faire savoir toutes les possibilités que permet le biomimétisme, auprès des entreprises, des acteurs publics et même du grand public. Des formations continues doivent être intégrées dans les organisations et des défis devraient être lancés dans les agences d'innovations de l'Etat (Défense, Écologie/Greentech, Economie, etc.).	Il faut approcher les entreprises avec une liste de thématiques pour lesquelles le biomimétisme serait une solution à leur problèmes techniques. L'utilisation des exemples avérés et expériences probantes est évidemment de circonstances.	La sauvegarde des espèces et écosystèmes emblématiques (afin de rendre les projets connus et attirer les financements) est le meilleur moyen de valoriser le biomimétisme. Identifier et mettre en avant les fermes/projets pilotes pour en faire des fers de lance sera le même objectif. S'ils sont absents, il faut les mettre en place au niveau régional.

Défi #3	Défi #4	Défi #5
<p>La pluridisciplinarité du biomimétisme implique la confrontation de différents métiers dont les références et langages ne sont pas les mêmes. Il faut donc fixer au maximum la sémantique qui sera partagée pour faciliter les échanges. Par ailleurs, il faut définir un périmètre d'intervention du chercheur (alias détenteur de l'information biologique) et reconnaître son rôle de manière identifiée.</p>	<p>L'identification d'une problématique technique et la recherche d'inspiration dans le vivant est le cœur du processus d'innovation sur lequel repose l'entrepreneuriat bio-inspiré. La méthode doit être robuste pour permettre aux startups de maximiser leurs chances, l'adapter au secteur concerné selon les cas d'usage et problématiques abordées. L'accès à la base de données du vivant doit être optimisée pour favoriser l'essor de l'entrepreneuriat. Les startups qui ont réussies doivent être étudiées pour la mise en place de la méthode. Il faut aussi réfléchir au modèle d'entreprise (par exemple entreprise à mission) pour valoriser l'effort du biomimétisme dans la transition écologique.</p>	<p>la méthodologie standardisée permettrait de mettre la recherche au service d'un objectif clairement défini et piloté.</p> <p>La mise en place de limites claires favoriserait l'insertion des projets de recherche biomimétique dans le processus d'attribution de bourses et d'insertion dans les axes stratégiques des instituts.</p>
<p>Cette plateforme permettrait de fédérer et stocker l'ensemble des acteurs du biomimétisme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en relation les chercheurs, les concepteurs et les porteurs de projets. Il pourrait être pertinent d'organiser des missions d'échanges (potentiellement au sein de la plateforme) pour confronter les chercheurs à la réalité industrielle et <i>vice versa</i>. 	<p>La plateforme pourrait faire office de lieu physique de rencontre et d'émulation autour de l'entrepreneuriat biomimétique : faire un générateur de startup (qui n'a pas forcément vocation à être un incubateur), donner les clés de compréhension (surtout autour de la pluridisciplinarité) et les méthodes de conception puis rediriger les structures vers des incubateurs dans le secteur respectif.</p>	<p>Valoriser et faire connaître les détenteurs de la connaissance biologique, majoritairement issu du monde académique aux entrepreneurs, industriels etc.</p>
<p>Mettre en place des programmes collaboratifs entre chercheurs, concepteurs et leur permettre de travailler ensemble dans un cadre privilégié.</p>	<p>Une vision cohérente du biomimétisme est plus à même d'inspirer les entrepreneurs et les talents dans un soucis d'innover de manière durable.</p>	<p>Le biomimétisme nécessite de chercher autrement, de favoriser le pluridisciplinaire dans la recherche (équipes mixtes, association de labos), d'orienter les bourses, les financements les thèses CIFRE etc . L'essor du biomimétisme se joue donc en grande partie au niveau stratégique.</p>
<p>Il faut que la formation au biomimétisme produise des profils qui ont la capacité de mettre en relation (linguistique technique etc) les chercheurs et les concepteurs.</p>	<p>Il faut mettre en place des formations de management adaptées aux projets biomimétiques (gestion d'équipe pluridisciplinaire, problématiques multi-échelle, management économique, environnemental et social ...).</p>	<p>La recherche, qui commence majoritairement par le doctorat, découle souvent d'une formation supérieure directement en rapport avec le sujet de thèse. Si l'on veut orienter davantage d'étudiants directement vers de la recherche en lien avec le biomimétisme, il faut le faire connaître aux étudiants de Master 2 concernés.</p>
<p>On doit sensibiliser les concepteurs aux potentialités du biomimétisme et approcher les chercheurs pour leur expliquer que leurs travaux de recherche peuvent être valorisés industriellement et au service de la transition écologique.</p>	<p>Lancer des défis auprès d'agences d'innovation dans les secteurs respectifs (Énergie, Agriculture, Architecture, Défense, etc).</p>	<p>Il faut mener des actions de lobbying auprès des écoles puissantes et les mettre à l'honneur. Dans ce sens, il faudrait identifier une liste des écoles « greenlabel » qui font du développement durable spécifiquement. Il est nécessaire de valoriser la recherche dans les médias, auprès du public et des politiques en raconter des histoires de recherches intelligibles et désirables se déclinant en produit biomimétique. Les acteurs potentiels les plus concernés sont ceux pour lesquels le biomimétisme est existentiel, à l'image du groupe l'Oréal. Il peut être pertinent de chercher à avoir leur soutien dans la valorisation du biomimétisme en France.</p>

ANNEXE 3

PRÉSENTATION DES PARTIES PRENANTES AYANT PARTICIPÉ À L'ENTRETIEN PAR DISCUSSION DIRECTE

NOM	Organisme – Entreprise – Institut	Fonction	Typologie de secteur
Patrick FAISQUES	Veolia Eau	Coordonnateur projets structurants Filière Française de l'Eau et responsable RISEDE Environnement	Industriel
Florence DUFRASNES	Airbus Defence & Space	VP Excellence Technique Ingénierie Défense & Espace	Industriel
Laurent GILBERT	L'Oréal	Directeur Recherche environnementale et Développement Durable	Industriel
Nathalie DEVULDER	RTE France	Directrice Développement Durable	Industriel
Jérôme PERRIN	Renault Automobile R&D	Directeur scientifique	Industriel
Fabrice BONNIFET	BOUYGUES SA et C3D	Directeur central Développement durable & QSE, Président du C3D	Industriel
Jérôme CASAS	Université de Tours, IRBI UMR CNRS	Professeur classe exceptionnelle Chaire en technologies bioinspirées CEA/LETI/CARNOT	Enseignement/recherche
Henry DICKS	Institut de Recherche philosophique de Lyon Université Jean Moulin	Chercheur postdoctorant en philosophie Professeur de philosophie	Enseignement/recherche
Lauren KAMILI	ADEME, EHESS	Doctorante en Anthropologie Sociale	Enseignement/recherche
Jian-Sheng SUN	Muséum National d'Histoire Naturelle	Professeur et Directeur Département Adaptations du Vivant	Enseignement/recherche
Stéphanie THIEBAULT	INEE CNRS	Directrice de recherche Directrice de l'Institut Ecologie et Environnement	Enseignement/recherche
Daniel JOLY	CNRS laboratoire ThéMA	Directeur de recherche émérite Responsable pôle « Paysage et cadre de vie » de ThéMA	Enseignement/recherche
Stéphane BLANC	INEE CNRS	Directeur Adjoint Scientifique - Institut Ecologie et Environnement Directeur de la Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires	Enseignement/recherche
Martine HOSSAERT	INEE CNRS	Directrice de Recherche Directrice adjointe scientifique de l'Institut Ecologie et Environnement	Enseignement/recherche
Agathe EUZEN	INEE CNRS	Directrice de Recherche Directrice adjointe scientifique de l'Institut Ecologie et Environnement	Enseignement/recherche
Dominique BOURG	Université de Lausanne	Professeur de philosophie Philosophe	Enseignement/recherche
Annabelle AISCH	Muséum National d'Histoire Naturelle	Chef de Projet "Bioinspire-Muséum"	Enseignement/recherche
Armand HATCHUEL	CGS Mines Paristech PSL	Directeur chaire Design et Innovation Professeur classe exceptionnelle, membre de l'Académie française des technologies	Enseignement/recherche
Erwin GOWREE	Isae Supaero	Professeur – Directeur Programme Aérodynamique Avancée et Propulsion	Enseignement/recherche
Jean-François SILVAIN	Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité	Président	Enseignement/recherche
Philippe GRANDCOLAS	Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, ISYEB	Directeur de Recherche Directeur de l'Institut Systématique, Evolution, Biodiversité (ISYEB), MNHN, CNRS, Sorbonne Université, EPHE, UA	Enseignement/recherche
Guillain GRAVES	Big Bang Project	Président	Conseil
Tarik CHEKCHAK	Institut des Futurs souhaitables Pikaia	Directeur du pôle biomimétisme Expert Associé Pikaia	Conseil
Alain RENAUDIN	NewCorp Conseil	Président Organisateur de Biomim'Expo	Conseil
Marie Christine KORNILOFF	WWF France	Directrice Déléguee au monde Economique	Association
Nicolas LOZ de COETGOURHANT	WWF France	Gestionnaire Partenariats d'Entreprises	Association
Laurence MONNOYER-SMITH	CNES	Conseillère environnement et climat du Président	Administration / Etablissement public
Julien FOSSE	France Stratégie	Directeur adjoint département Développement Durable et Numérique	Administration / Etablissement public
Audrey COREAU	Office Français pour la Biodiversité	Directrice Acteurs et Citoyens	Administration / Etablissement public
Nathalie POULET	MTES	Direction de l'Eau et de la Biodiversité, adjointe au bureau de la politique de la biodiversité - DGALN	Administration / Etablissement public
Diane SIMIU	MTES, CGDD	Adjointe au Commissaire Général au Développement Durable	Administration / Etablissement public
Thibault PREVOST	MTES, CGDD	Affaires génie civil et biomimétisme	Administration / Etablissement public
Gwenaëlle HELLO	MTES, CGDD	Sous-directrice recherche au MTES	Administration / Etablissement public
Emmanuelle SYLVESTRE	Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation	Chargée de mission « Innovation, Recherche et Transfert » du Bureau Emploi et Innovation, Direction générale performance économique et environnementale des entreprises, Service Compétitivité et Performance environnementale	Administration / Etablissement public
Aline BOY	Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation	Adjointe au chef de projet Agroécologie - Sous-direction de la Performance environnementale et de l'Agroécologie	Administration / Etablissement public
Jean-Pierre PETIT-PRIGENT	Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation	Bureau de la Bioéconomie	Administration / Etablissement public
Marion GUST	Région Nouvelle-Aquitaine	Directrice Générale Adjointe au Développement économique et environnemental	Administration / Etablissement public
Huguette TIEGNA	Assemblée Nationale	Députée du Lot, Commission des Affaires Economiques	Administration / Etablissement public
Philippe VASSEUR	Région Hauts De France et CCI Hauts de France – REV3	Président de la mission REV3 (3 ^e révolution industrielle des Hauts de France) - Ancien ministre de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation	Administration / Etablissement public
Sébastien DE PEYRET	Ministère des armées, Etat Major de l'Armée de Terre	Directeur du Battle Lab Terre – Bureau Plans Sous-chef de la Planification programme	Administration / Etablissement public

ANNEXE 4

PRÉSENTATION DES PARTIES PRENANTES NOUS AYANT FAIT PARVENIR LEUR RÉPONSE PAR COURRIEL

NOM	Organisme – Entreprise Institution	Fonction	Typologie de secteur
Clémence BECHU	Agence d'Architecture Béchu	Directrice Développement, Partenariats et Innovation	Industriel / architecte
Florent VILBERT	OFB Brest - Agence Bretonne de la Biodiversité	Directeur	Administration / Etablissement public
Stéphane INGRAND	INRAE	Chef département adjoint physiologie animale et systèmes d'élevage	Administration / Etablissement public
Bertrand VIAUD	Centre de Recherche de l'Ecole de l'Air- Armée de l'Air et de l'Espace	Directeur	Administration / Etablissement public
Colonel Fabrice VALAT	Ministère des Armées - Etat-major des armées	Chef de Division Capacitaire	Administration / Etablissement public

ANNEXE 5

QUESTIONNAIRE DE L'ENTRETIEN PAR DISCUSSION AVEC LES PARTIES PRENANTES

Questionnaire de l'entretien sur les externalités positives du biomimétisme ADEME Action 11

1/ Selon vous, quelle est la meilleure définition du biomimétisme ?

2/ Selon vous, lesquels de ces termes peuvent se rapporter au biomimétisme ? pourquoi ? de quelle manière ?

Bio-inspiration :

Biomimétique :

Bionique :

Écoconception :

Écomimétisme :

Biotechnologie :

Ingénierie écologique :

Biosourcé :

Bioéconomie :

Economie circulaire :

Biologie de synthèse/OGM

Autre suggestion ?

3/ Selon vous, à quels enjeux, sociaux ou pas, répond le biomimétisme et pour chacun de ces enjeux, est ce que le biomimétisme y répond systématiquement ou parfois et comment ?

4/ Qu'attendez-vous d'une approche bio-inspirée ?

5/ Quels seraient selon vous les moyens de rendre les projets biomimétiques compatibles avec les enjeux précédents ?

6/ Quels seraient les indicateurs à mettre en place ?

7/ Avez-vous des suggestions sur des démarches, des méthodes ou des outils de suivi de mesure des externalités positives du biomimétisme ?

8/ Selon vous, le biomimétisme doit-il avoir une définition exclusivement vertueuse ? Une bioinspiration aboutissant à un produit ou un système non conforme aux principes du Développement Durable peut-elle être qualifiée de biomimétisme ?

9/ Le biomimétisme se présente-t-il comme levier de souveraineté pour la France ?

ANNEXE 6

QUESTIONS DU FORMULAIRE À REMPLIR EN LIGNE POUR L'ÉTUDE

Questionnaire sur les externalités positives du biomimétisme

*Obligatoire

Contexte du questionnaire

Le biomimétisme permet d'innover en s'inspirant des stratégies que le vivant a développées au cours des 3,8 milliards d'années d'évolution.

Le biomimétisme est reconnu comme une opportunité nationale d'innovation responsable comme en atteste la synthèse issue de la journée de travail du 29 novembre 2019 chez « France Stratégie ».

(<https://cdn.weweb.app/public/clients/myceco/RappFrStrat-200709.pdf>)

En 2019, l'ADEME a signé un partenariat avec le Ceebios , porteur de la feuille de route nationale de cette approche, pour contribuer activement à la mise en œuvre opérationnelle du biomimétisme sur le territoire national.

Une étude pour le compte de l'ADEME est actuellement menée par Myceco (myceco.com) et VertigoLab (vertigolab.eu) et vise à évaluer les externalités positives du biomimétisme d'un point de vue développement durable.

Ce questionnaire prend moins d'une dizaine de minutes à remplir et comporte trois parties: I. des questions d'introduction, II. des questions sur la définition du biomimétisme et III. des questions sur les enjeux sociétaux auxquels le biomimétisme pourrait répondre. Votre point de vue issu de ce questionnaire anonyme permettra notamment d'alimenter cette étude de statistiques sur l'avis des parties prenantes.

I. Questions d'introduction

1. I.1 Quelle est votre tranche d'âge ? *

Une seule réponse possible.

18-30

31-40

41-50 ans

51-60

61 et +



2. I.2 Vous êtes du secteur: *

Une seule réponse possible.

- Recherche
- Acteur public
- Industriel
- Conseil
- Etudiant
- Autre acteur privé
- Autre : _____

3. I.3 Avez-vous déjà entendu parler du biomimétisme ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non

4. I.4 Si oui, comment avez-vous eu connaissance du biomimétisme ?

Plusieurs réponses possibles.

- J'ai pris part à un projet de biomimétisme
- Mon entreprise
- Mon service
- Des tiers dont le projet a été diffusé publiquement
- Médias, réseaux sociaux
- Ma propre expérience de conception
- Ma formation

5. I.5 Vous évaluez votre degré d'acculturation au biomimétisme à : *

Une seule réponse possible.



II. Définition du biomimétisme

6. Selon vous, lesquels de ces termes peuvent se rapporter au biomimétisme ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Bio-inspiration
- Bionique
- Écoconception
- Écomimétisme (inspiration des écosystèmes naturels)
- Biotechnologie
- Ingénierie écologique
- Biosourcé (utilisation de matériaux issus du vivant)
- Bio-usage (utilisation de ressources issues du vivant)
- Biocontrôle (gestion de milieux -souvent des cultures- par des mécanismes naturels)
- Bioassistance (soutien à la croissance de milieux par des mécanismes naturels)
- Bioéconomie
- Économie circulaire
- Symbiose industrielle / Écologie Industrielle et Territoriale
- Biologie de synthèse/OGM

Autre :

7. Selon vous, à quelle note sur 5 se situe le caractère durable de ces termes ? (1: pas durable du tout; 5: aspect écologique renforcé; 3 pas de corrélation) *

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5
Bioinspiration	<input type="radio"/>				
Bionique	<input type="radio"/>				
Écoconception	<input type="radio"/>				
Écomimétisme	<input type="radio"/>				
Biotechnologie	<input type="radio"/>				
Ingénierie écologique	<input type="radio"/>				
Biosourcé	<input type="radio"/>				
Bio-usage	<input type="radio"/>				
Biocontrôle	<input type="radio"/>				
Bioassistance	<input type="radio"/>				
Bioéconomie	<input type="radio"/>				
Économie circulaire	<input type="radio"/>				
Symbiose industrielle	<input type="radio"/>				
Biologie de synthèse/OGM	<input type="radio"/>				

0. Selon vous, à quelle note sur 5 se situe le caractère innovant de ces termes ? (1: pas innovant du tout; 5: aspect novateur important; 3: pas de corrélation) *

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5
Bioinspiration	<input type="radio"/>				
Bionique	<input type="radio"/>				
Écoconception	<input type="radio"/>				
Écomimétisme	<input type="radio"/>				
Biotechnologie	<input type="radio"/>				
Ingénierie écologique	<input type="radio"/>				
Biosourcé	<input type="radio"/>				
Bio-usage	<input type="radio"/>				
Biocontrôle	<input type="radio"/>				
Bioassistance	<input type="radio"/>				
Bioéconomie	<input type="radio"/>				
Économie circulaire	<input type="radio"/>				
Symbiose industrielle	<input type="radio"/>				
Biologie de synthèse/OGM	<input type="radio"/>				

III. Le biomimétisme comme réponse aux enjeux sociétaux

9. III.1 Le biomimétisme est-il compatible avec les enjeux suivants ? (note de 1 à 5 pour chaque choix, 1 le biomimétisme n'est pas du tout compatible, 5 le biomimétisme est parfaitement compatible, 3 « je ne me prononce pas ») *

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5
Enjeu d'innovation	<input type="radio"/>				
Enjeu environnemental	<input type="radio"/>				
Enjeu éthique (respect du vivant, coopération transdisciplinaire)	<input type="radio"/>				
Enjeu d'image (communication, marketing)	<input type="radio"/>				
Enjeu social (création d'emplois, lien social, perspectives d'évolution)	<input type="radio"/>				
Enjeu économique	<input type="radio"/>				
Enjeu de performance et efficacité opérationnelle	<input type="radio"/>				

10. III.2 Y a-t-il selon vous d'autres enjeux auxquels le biomimétisme répond ?

11. III.3 Qu'attendez-vous du biomimétisme en réponse à ces enjeux ? (note de 1 à 5 pour chaque choix, 1 le choix ne correspond pas du tout aux caractéristiques du biomimétisme, 5 le choix correspond parfaitement aux caractéristiques du biomimétisme, 3 « je ne me prononce pas ») *

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5
Constituer un levier d'innovation	<input type="radio"/>				
Constituer un levier environnemental	<input type="radio"/>				
Constituer un levier éthique	<input type="radio"/>				
Permettre la création d'emploi dans un territoire donné	<input type="radio"/>				
Constituer un potentiel de développement économique	<input type="radio"/>				
Améliorer la performance et l'efficacité opérationnelle (produit, processus, entreprise, ...)	<input type="radio"/>				
Maximiser le capital image (communication, marketing)	<input type="radio"/>				

12. III.4 Y a-t-il selon vous d'autres caractéristiques du biomimétisme qui viennent répondre à ces enjeux ?



13. III.5 Quels seraient selon vous le/les moyen(s) de rendre les projets biomimétiques compatibles avec les enjeux précédents ? (note de 1 à 5 pour chaque choix, 1 le moyen n'est pas du tout adapté, 5 le moyen est parfaitement adapté, 3 « je ne me prononce pas »)*

L'ACV, Analyse du Cycle de Vie, est une évaluation chiffrée de l'impact environnemental d'un produit, de sa production jusqu'à son traitement de fin de vie; l'Eco-profil est un diagramme étiquetant les différents types d'impact environnemental qu'a un produit au cours de son cycle de vie

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5
Encadrement sémantique officiel et reconnu par les pouvoirs publics	<input type="radio"/>				
Rédaction d'une méthode et fourniture d'outils de mise en œuvre de la démarche	<input type="radio"/>				
Pédagogie/Formation	<input type="radio"/>				
Labellisation	<input type="radio"/>				
Charte	<input type="radio"/>				
Eco-profil (communication sur les performances du produit en termes d'ACV)	<input type="radio"/>				
Réalisation d'ACV/ Développement d'indicateurs spécifiques environnementaux	<input type="radio"/>				
Développement d'indicateurs spécifiques socio-économiques	<input type="radio"/>				
Valorisation de l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité dans la recherche et la formation (casser le cloisonnement actuel des matières scientifiques)	<input type="radio"/>				

14. III.6 Y-a-t'il selon vous d'autres moyens de rendre les projets biomimétiques compatibles avec ces enjeux ?

15. III.7 Dans le cas où vous avez pris part à un projet de biomimétisme : selon votre expérience, comment le biomimétisme permet-il de répondre à ces enjeux ?
(note de 1 à 5 pour chaque choix, 1 le biomimétisme ne permet pas du tout d'actionner ce levier, 5 le biomimétisme permet d'actionner ce levier, 3 « je ne me prononce pas »)

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5
En concevant un produit économe en ressources lors de son utilisation	<input type="radio"/>				
En concevant un produit économe en ressources lors de sa production	<input type="radio"/>				
En concevant un produit valorisable à la fin de sa vie	<input type="radio"/>				
En concevant un produit protecteur/régénérateur de biodiversité	<input type="radio"/>				
En sensibilisant sur l'importance du vivant	<input type="radio"/>				
En améliorant l'efficacité du processus de R&D (gain de temps, de moyens..)	<input type="radio"/>				
En améliorant l'efficacité de la chaîne de fabrication (en repensant la manière de produire par exemple)	<input type="radio"/>				

16. III.8 Y a-t-il selon vous et votre expérience d'autres leviers qui sont actionnés par le biomimétisme en réponse à ces enjeux ?

17. III.9 Pour évaluer l'impact environnemental d'un projet biomimétique, quels sont les critères d'impact que vous estimez être les plus importants de mesurer : (note de 1 à 5 pour chaque choix, 1 le critère n'est pas pertinent, 5 le critère est prioritaire, 3 « je ne me prononce pas ») *

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5
Effet sur la santé humaine	<input type="radio"/>				
Effet sur la biodiversité	<input type="radio"/>				
Effet sur les émissions de GES (gaz à effet de serre)	<input type="radio"/>				
Effet sur la consommation d'eau	<input type="radio"/>				
Effet sur la consommation d'énergie	<input type="radio"/>				
Effet sur la consommation de matière première	<input type="radio"/>				
Effet sur la production agricole (rendement, occupation des sols, etc)	<input type="radio"/>				

18. III.10 Y a-t-il selon vous d'autres critères qui sont plus importants à mesurer dans le cadre de l'impact du biomimétisme ?

19. III.11 L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est l'outil principal pour mesurer l'impact environnemental d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie. Pensez-vous à un autre outil qui serait plus pertinent pour évaluer l'impact environnemental d'un projet biomimétique ? Si oui, lequel :

20. Selon vous, le biomimétisme est-il un enjeu stratégique pour la France ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

Merci pour votre participation !

ANNEXE 7

TABLEAU DE CLASSIFICATION DE LA SÉMANTIQUE DU BIOMIMÉTISME
SELON LE TYPE DE BIOINSPIRATION EN QUESTION, ÉTABLI PAR LE MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, PROJET BIOINSPIRE MUSEUM

Activité	Types de bioinspiration			
	Indirecte (informations, vision, idées, imitation)		Direct (utilisation, transformation, appropriation, intégration)	
	Activités scientifiques/ technologiques/ industrielles reposant sur l'utilisation indirecte de la biologie	Activités esthétiques/ artistiques/ culturelles reposant sur l'utilisation indirecte de la biologie	Activités scientifiques/ technologiques/ industrielles reposant sur l'utilisation directe de la biologie	Activités esthétiques/ artistiques/ culturelles reposant sur l'utilisation directe de la biologie
Agrobiotechnologie	x		x	
Agroécologie	x		x	
Art (bioinspiré)		x		(x)
Art écologique		x		(x)
Art environnemental				x
Bioart				x
Bioassistance			x	
Biodesign	(x)	(x)	x	x
Biofabrication			x	
Bioingénierie	(x)		x	
Biomécatronique	x			
Biomimétique	x			
Biomimétisme	x			
Biomorphisme		x		
Bionanotechnologie (ou nanobiotechnologie)	x		x	
Bionique	x			
Bioproduction			x	
Bioproduction pharmaceutique	(x)		x	
Bioremédiation	(x)		x	
Bioréplication	x			

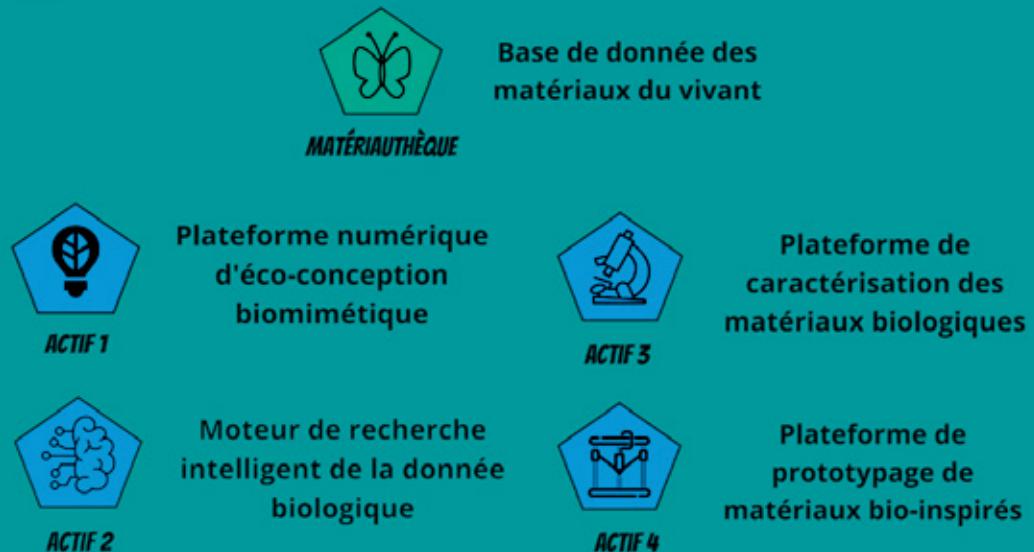
Activité	Types de bioinspiration			
	Indirecte (informations, vision, idées, imitation)		Direct (utilisation, transformation, appropriation, intégration)	
	Activités scientifiques/technologiques/industrielles reposant sur l'utilisation indirecte de la biologie	Activités esthétiques/artistiques/culturelles reposant sur l'utilisation indirecte de la biologie	Activités scientifiques/technologiques/industrielles reposant sur l'utilisation directe de la biologie	Activités esthétiques/artistiques/culturelles reposant sur l'utilisation directe de la biologie
Biorobotique	x		x	
Biosynthèse	(x)		x	
Biotechnologie	(x)		x	
Bioutilisation			x	
Chimie verte	x		x	
Conception biophilique		x	(x)	x
Eco-urbanisme	x		x	(x)
Génie génétique	(x)		x	(x)
Ingénierie de bioproduits	(x)		x	
Ingénierie écologique	(x)		x	
Permaculture	x		x	
Solutions fondées sur la nature (SFN)	x		x	

ANNEXE 8

PRÉSENTATION DU PROJET BIOMIG

BiOMIg : biomimetic open innovation generator

Cette plateforme permettra aux entreprises de concrétiser leurs idées bio-inspirées en produits grâce à une **infrastructure mutualisée de Recherche Développement Innovation (RDI)**. Ce projet repose sur 4 actifs technologiques :

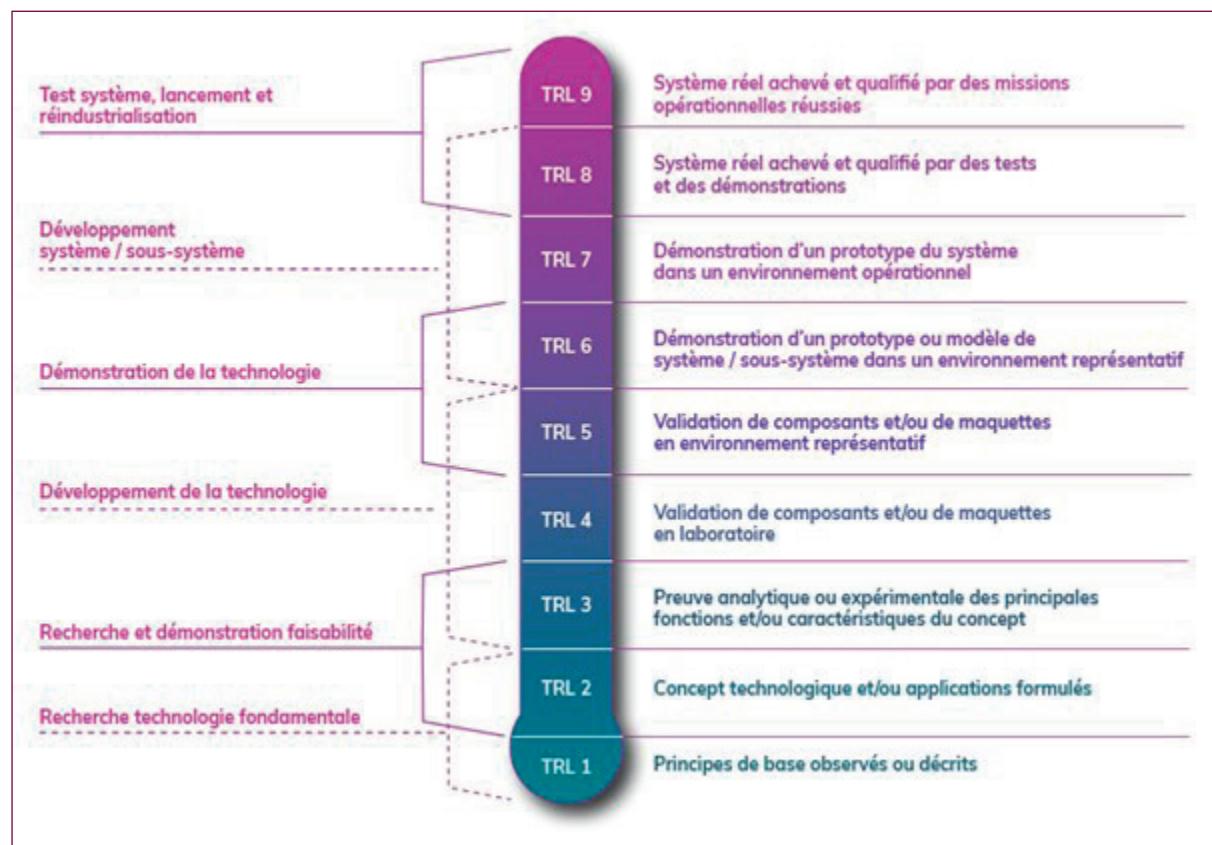


©2020 - Confidential Ceebios - Diffusion interdite sans accord explicite

Le programme **BiOMIg**, initié par le Ceebios et financé dans le cadre du Programme d'innovation d'avenir (PIA3), implémente une plateforme d'innovation ouverte en matériaux bioinspirés au service de la biodiversité, qui sera développée en étroit partenariat avec le Muséum national d'Histoire naturelle et l'INRIA. La préfiguration des outils d'IA (requête de la donnée biologique) et la plateforme numérique constituent des briques essentielles du programme à destination des industriels.

ANNEXE 9

L'ÉCHELLE TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)



Exemple d'échelle TRL ; crédits : IFP Energies Nouvelles

