

RESTITUTION DE LA
JOURNÉE DE TRAVAIL
FRANCE STRATÉGIE

Biomimétisme

Quels leviers de développement
& quelles perspectives pour la France ?

RESTITUTION DE LA JOURNÉE DE TRAVAIL
« Biomimétisme » du 29 novembre 2019
chez France Stratégie
– Ceebios, Myceco –

RÉDACTEURS
Myceco : Chrystelle Roger, Félix Guéguen
Ceebios : Kalina Raskin, Chloé Lequette

Placé auprès du Premier ministre, France Stratégie est un organisme qui formule des recommandations au pouvoir exécutif, organise des débats, pilote des exercices de concertation et contribue à l'évaluation des politiques publiques. À ce titre, cet organisme a souhaité se pencher sur les éventuelles opportunités économiques et de création d'emploi que pourraient apporter le biomimétisme. Cette journée d'idéation hébergée par France Stratégie permet la rencontre d'acteurs d'horizons différents – industriels, start-up, chercheurs, acteurs publics de l'État et des collectivités locales – pour partager une vision du biomimétisme, tel que mis en œuvre aujourd'hui et tel que pouvant être développé demain.

Bérengère MESQUI

Directrice du département Développement durable & numérique de France Stratégie



Remerciements

Nous tenons à remercier très chaleureusement toutes les personnalités et institutions sans lesquelles ces travaux et cette journée n'auraient pu avoir lieu.

Ces remerciements s'adressent en premier lieu à **Gilles de Margerie**, commissaire général en charge de France Stratégie et à **Thomas Lesueur**, commissaire général au Développement durable au ministère de Transition écologique et solidaire.

Nous remercions particulièrement pour l'accueil et leur soutien dans l'organisation de cette journée les contributeurs de France Stratégie : **Julien Fosse**, directeur adjoint au département Développement durable et numérique, **Bérengère Mesqui**, directrice du département Développement durable et numérique, **Flavio Leoni** et **Sacha Porée**, chargés de communication.

La qualité exceptionnelle des interventions des experts qui ont accepté de présenter leurs initiatives lors des tables rondes est à souligner, et nous leur exprimons notre vive reconnaissance. Nous remercions les invités provenant de différents organismes publics et privés qui ont alimenté la réflexion lors de l'atelier d'idéation.

Enfin, nous remercions **les membres de Ceebios**, **Tarik Chekchak**, directeur du pôle Biomimétisme à l'Institut des futurs souhaitables, qui a contribué à animer une table ronde, ainsi que **Romain Beaucher**, **Grégoire Alix** et **Agathe Tabeaud**, du cabinet de design de politiques publiques, Vraiment Vraiment, qui ont animé l'atelier d'idéation.

Présentation de la journée de travail du 29 novembre 2019

« Biomimétisme : quels leviers de développement & quelles perspectives pour la France ? »

Le biomimétisme est un processus de conception, d'innovation et d'ingénierie qui peut s'appliquer à tous les secteurs d'activité et concerner une multitude de produits voire de modèles d'organisations, de la molécule jusqu'à l'écosystème. Il s'appuie sur les solutions soutenables produites par la nature pour développer de nouveaux produits ou services.

En partenariat avec Ceebios et Myceco, France Stratégie a organisé un colloque réservé aux acteurs publics visant à identifier les principaux leviers de développement du biomimétisme en France.

Ce colloque s'est articulé autour d'interventions de grands témoins de la recherche et d'acteurs économiques, afin de mettre en perspective les enjeux socio-économiques et environnementaux liés au biomimétisme et d'esquisser les pistes de développement de ce secteur.

Les représentants de ces parties prenantes ont ensuite participé à un atelier d'idéation, visant à identifier les leviers de soutien et développement du biomimétisme en France, réservé à des porteurs d'enjeux publics et privés.

S	Remerciements	6
	Définition et cadre normatif du biomimétisme	6
O	1. Note de conviction & synthèse des préconisations	7
m	a. Note de conviction	7
	b. Synthèse des défis, pré-requis & préconisations	11
m	2. Programme et contexte	14
a	a. Intervenants et programme	14
i	b. Les grands inducteurs transformationnels	18
	c. Le cahier des charges du vivant & domaines d'applications	20
r	3. Leviers de soutenabilité & enjeux des parties prenantes	23
e	a. Soutenabilité environnementale & économique	24
	b. Phénomène d'accélération internationale	36
	c. Les parties prenantes & leurs principaux défis	39
	4. Idéation et préconisations	50
	a. Présentation de l'atelier d'idéation	50
	b. Synthèse de l'atelier	52
	c. Tableau de bord simplifié des défis, pré-requis & préconisations	57
	Conclusion	58
	Annexes	63

Définition & Cadre normatif

Le biomimétisme, du grec *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 à 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 l'écosystème (**ISO NF 18458**) :

- **BIO-INSPIRATION** : 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 prenant pour modèle la nature afin de relever les défis de développement durable (social, environnemental et économique).

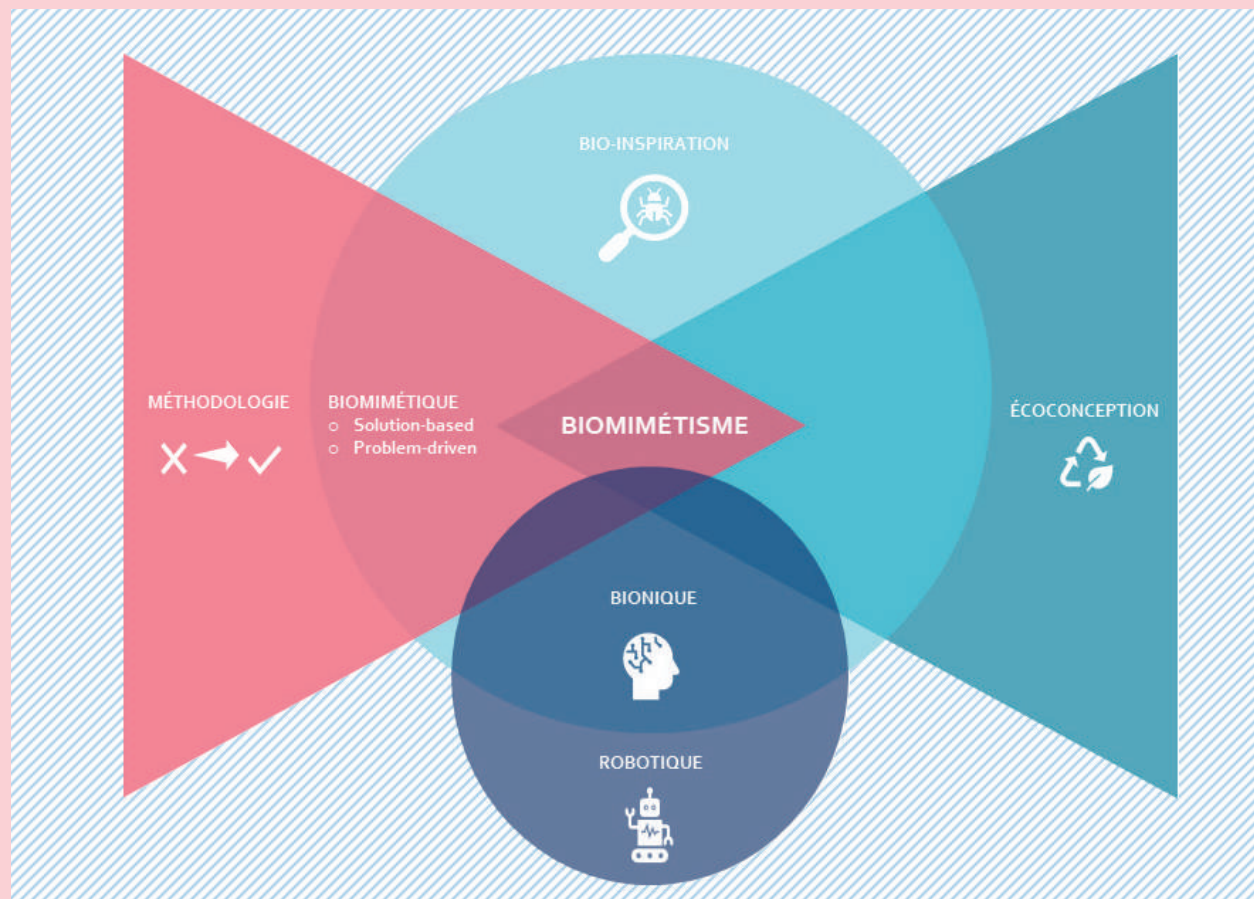


Schéma sémantique repris avec la permission de E. Graeff, LCPI, ENSAM - Crédits Myceco/Ceebios

À noter que malgré le cadre normatif, ce périmètre sémantique n'est pas consensuel. Des éléments de réflexion autour du débat sémantique sont rappelés en annexe.

1. Note de conviction & synthèse des préconisations

a. Note de conviction

S'appuyant sur plus de 3,8 milliards d'années d'évolution du vivant, le biomimétisme est à la fois une philosophie, une approche scientifique et une méthodologie qui consiste à s'inspirer des modèles biologiques pour concevoir des technologies innovantes et soutenables (ISO NF 18458).

Le 29 juillet a marqué le jour du dépassement pour l'année 2019. C'est la date à partir de laquelle l'humanité est supposée avoir consommé l'ensemble des ressources que la planète est capable de régénérer en un an (sources des ONG : WWF et Global Footprint Network).

Nous faisons face à divers défis, souvent en interaction forte parmi lesquels : raréfactions des ressources (énergie, matière première, eau...), effondrement de la biodiversité et dérèglement sensible du climat. Ces problématiques écologiques sont devenues massivement l'enjeu prioritaire de l'humanité du XXI^e siècle¹, tant à l'échelle nationale, qu'européenne et mondiale.

En ce début d'année 2020, la crise majeure sanitaire engendrée par le COVID-19, et qui s'abat sur l'ensemble du globe, pourrait être étroitement liée à la déforestation massive impactant de plein fouet les équilibres de la biodiversité, selon certains experts^{1b}. Ces crises sanitaires et écologiques nous incitent davantage à adopter une pensée systémique dans une logique « OneHealth »² en favorisant la fertilisation croisée de connaissances issues des parties prenantes diverses (chercheurs, enseignants, architectes, citoyens, etc.). Il s'agit ainsi de repenser nos **doctrines de soutenabilité par des leviers d'innovations inspirées de la résilience du vivant**.³

Et la France a un rôle majeur à jouer par un effet d'entraînement mondial car elle bénéficie de nombreux atouts. La France dispose ainsi d'un **capital intellectuel et naturel inestimable**, facteur déterminant du

1. <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/conseil-de-defense-ecologique> et <https://www.strategie.gouv.fr/thematiques/developpement-durable>

1b. Interventions webinaires Ceebios sur le thème « Crises & biodiversité » de Philippe Grandcolas (directeur, Institut de systématique, évolution, biodiversité au Muséum national d'Histoire naturelle) du 30 avril, et de Gilles Boeuf (biologiste, ancien président du MNHN) du 27 mai, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr

2. <https://www.who.int/features/qa/one-health/fr/>

3. <https://www.strategie.gouv.fr/publications/covid-19-un-apres-soutenable-sept-questions-preparer-demain>

développement du biomimétisme. Cette voie d'innovation est aujourd'hui représentée par près de 200 équipes de recherche publique, plus de 200 industriels et PME. Le patrimoine biodiversité est considérable puisque notre territoire rassemble près de 10 % de la biodiversité mondiale. Le Muséum national d'Histoire naturelle recèle quant à lui 70 millions de spécimens. Cet actif fait du biomimétisme une « richesse nationale » inégalée au niveau international⁴.

On a trop souvent oublié que le **biomimétisme, approche pluridisciplinaire** par excellence, est un domaine exploré depuis des siècles qui peut éclairer notre avenir. Léonard de Vinci il y a un cinq siècles fut un pionnier. Il n'était pas simplement un scientifique, mais il était aussi « designer » d'automates (préfigurant un des volets de l'intelligence artificielle), constructeur de machines de guerre, musicien, philosophe, organisateurs de fêtes, poète, etc. Pour créer une machine volante, il avait étudié un mammifère volant (la chauve-souris) et un poisson volant, sans se fixer de prime abord sur l'évidence de l'oiseau. L'oiseau fut étudié pour l'architecture des plumes. Clément Ader (1845-1921, ingénieur français, pionnier de l'aviation), lui avait repris l'idée de la chauve-souris pour ses Avion I, II et III (Éole, Zéphyr et Aquilon) et a inspiré nos grands fleurons industriels de l'aéronautique.

Le vivant a aussi constitué un *game changer* fondamental dans les **pratiques de la médecine**, notamment en ce qui concerne le travail sur les levures, les virus et les vaccins.

D'aucuns s'accordent à dire que le XIX^e siècle fut l'âge d'or de la chimie et le XX^e celui de la physique. Les progrès réalisés dans ces disciplines ont permis de mettre à jour les lois et outils de mesure nécessaires à la compréhension de notre environnement. **La médecine a grandement bénéficié de ces avancées et semble avoir incarné la totalité des attentes de l'étude du vivant.**

Et ce n'est qu'en 1992 que **la zoopharmacognosie** a émergé quand on s'est rendu compte de l'incroyable capacité des animaux à s'automédiquer, en particulier grâce aux observations faites sur les primates « non humains » en mesure de discriminer les substances toxiques. En parfait « pharmaciens », plusieurs espèces animales savent quand utiliser le « poison » en remède pour se débarrasser des parasites ou autres nématodes. De nombreuses recherches ont permis ainsi d'approfondir la connaissance du bienfait de certaines molécules, contre le cancer par exemple. Il s'agit aussi de garder en mémoire que l'on doit à tous les peuples autochtones qui ont su vivre « avec le vivant », comme les Amérindiens, nos principales connaissances médicinales dont la quinine et l'aspirine.

L'émergence de l'informatique (amélioration notamment en termes de simulations numériques) converge avec un changement de paradigme. Nous assistons à une remise en question de la place de l'humain dans son écosystème et les axes de recherche de notre décennie reflètent cette vision moins anthropocentrée : intelligence artificielle, neurosciences et biotechnologies sont les promesses de demain. Le biomimétisme s'inscrit parfaitement dans cette démarche, en intégrant le besoin criant de pluridisciplinarité dont témoignent les noms composés de ces disciplines, afin d'œuvrer à la soutenabilité de notre société.

POUR SIMPLIFIER, ON PEUT SCHÉMATIQUEMENT CLASSER LE BIOMIMÉTISME EN TROIS GRANDES CATÉGORIES :

- De formes & de structures : optimisation du poids et de l'aérodynamisme des véhicules (aéronefs, trains...) ;
- De fonctions & de propriétés : par exemple pour concevoir des surfaces super hydrophobes (Lotus), super adhésives (gecko), auto-nettoyantes (papillon morpho), auto-déployables et rétractables (coccinelle), antibactériennes (soie d'araignée), antifouling (algue rouge), etc. ;
- D'organisations : modèles d'agroforesterie, de permaculture ou bien encore d'économie circulaire et de projets de symbiose industrielle ou d'écologie Industrielle et territoriale (ex. ville de Kalundborg au Danemark) convergeants avec la circularité (versus linéarité) des flux biologiques notamment en ce qui concerne le traitement des déchets ou de l'énergie⁵.

En raison de son caractère multidisciplinaire, le biomimétisme est ainsi le terreau de technologies émergentes promettant des applications dans tous les domaines déjà réputés comme stratégiques tels que l'intelligence artificielle et susceptibles de doter la France d'une **suprématie technologique**⁶. Il représente en outre un potentiel socio-économique des territoires au service de la lutte contre le changement climatique. La région Nouvelle-Aquitaine a publié une étude évaluant à 31 000 la création d'emplois liés au biomimétisme d'ici 2028. Et quant au marché mondial du biomimétisme, il est estimé à \$18,50 milliards d'ici 2028 selon l'Institut BIS Research.

S'inspirer du vivant ouvre ainsi des perspectives incomparables pour les futures capacités **structurantes des filières industrielles** et de tous les **secteurs d'activité**, que cela soit l'énergie, l'agriculture, l'économie bleue, les métiers du bâtiments (architecture, construction et les infrastructures), la santé, la cosmétique, le transport (automobile, aéronautique, naval, etc). Le biomimétisme répond notamment à des objectifs de performance opérationnelle aussi bien dans le domaine des matériaux, de la chimie, de l'ingénierie tissulaire, de la santé, des énergies ou bien encore du traitement de l'information. En outre, par son potentiel d'innovations disruptives dans tous les secteurs, le biomimétisme **s'impose comme un domaine souverain**.

De nombreuses puissances étrangères se sont déjà lancées dans l'aventure comme elles l'ont fait sur l'IA, au risque de nous distancer car elles ont su valoriser le potentiel apporté par le biomimétisme, en dépit d'un patrimoine de connaissances initiales, pour certaines, moins dense que le nôtre.

Les puissances publiques ont identifié le biomimétisme comme un axe d'innovation essentiel, en intégrant dans différents rapports gouvernementaux sous l'impulsion initiale du **Commissariat général au développement durable**, mais sans en faire à ce stade un sujet majeur de leurs politiques publiques, alors qu'il apporte des réponses aux défis socio-écologiques.

En outre, les citoyens et les jeunes en particulier de plus en plus sensibilisés aux problématiques environnementales, témoignent d'une réelle appétence pour le biomimétisme par l'émerveillement qu'il suscite et le potentiel qu'il réserve en matière de technologies disruptives.

Il s'agit ainsi de valoriser le potentiel d'innovation apporté par les stratégies du vivant.



5. Définition et applications du rapport N°72 CGDD 2012 : *Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France : état des lieux, potentiel, leviers*
Le biomimétisme consiste à imiter des propriétés remarquables du vivant (forme, procédés ou ensemble d'interactions, « écomimétisme » dans ce dernier cas), pour développer de nouvelles technologies, de nouvelles pratiques agricoles ou de nouveaux schémas d'organisation. Nous incluons dans ce terme la bionique et la bio-assistance.

6. Présentation du rapport sur l'intelligence artificielle du 28 mars 2018 : *Donner un sens à l'intelligence artificielle, pour une stratégie nationale et européenne* lors de la conférence « AI for humanity » du député Cédric Villani, mathématicien et premier vice-président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)

4. État des lieux du biomimétisme en France, Ceebios 2018

Le biomimétisme est la voie pour nous diriger vers des modèles d'affaires et de sociétés renouvelés (ex. : permaéconomie^{6b}, économie symbiotique^{6c}). Le biomimétisme est un accélérateur de transition vers des concepts pour concevoir un « monde d'après soutenable » tel que le passage à la comptabilité écologique^{6d}, et pour repenser les indicateurs de mesures de richesse nationale traditionnels tel que le PIB (Produit intérieur brut).

Le biomimétisme a ainsi vocation à s'inscrire dans des axes majeurs de politiques publiques nationales ou européennes par sa capacité à répondre au triptyque :

- Soutenabilité environnementale
- Innovation opérationnelle
- Soutenabilité économique

Pour ce faire Ceebios et Myceco ont organisé le 29 novembre 2019 avec France Stratégie une journée de travail intitulée : « Biomimétisme : quels leviers de développement & quelles perspectives pour la France ? ».

L'objectif consistait ainsi à s'interroger sur le biomimétisme comme approche scientifique majeure au service des grands enjeux sociétaux et sur la meilleure façon d'en faire un levier de soutenabilité environnementale et économique.

En particulier, il s'agissait de favoriser la cohérence et le continuum d'actions entre la recherche fondamentale, la recherche appliquée et l'innovation en catalysant différentes parties prenantes (académiques scientifiques, industriels, designers, start-up, citoyens, ...) pour identifier des technologies d'innovation durables.

Nous avons identifié au préalable des objections et des points de verrouillage qu'il est nécessaire de lever pour poursuivre le chemin de reconnaissance et la trajectoire de développement du biomimétisme : *définition partagée à minima ; reconnaissance des parties prenantes publiques du biomimétisme comme une quasi discipline/un objet à part entière ; valeur probante du biomimétisme en termes d'externalité positive pour l'environnement ; impacts des retombées socio-économiques à l'échelle nationale et territoriales plus précis ; méthodes certifiantes d'essaimage et de transposition capacité de manufacture et passage à l'échelle, etc.*

En s'appuyant sur les différents rapports émis par le Commissariat général au développement durable (2012) ou du CESE en 2015⁷, cette journée a servi à préfigurer une feuille de route gouvernementale sur le biomimétisme.

6b. La permaéconomie est la transposition des douze principes de la permaculture à l'entreprise et au management des organisations. Ces principes, robustes, systémiques et déclinables à de nombreuses échelles d'action, permettent de guider la conception de modèles économiques, de modes de production ou d'organisation, et d'en piloter la mise en œuvre. <https://www.pikaia.fr>

6c. Un modèle économique régénératif radicalement nouveau qui affirme la possibilité de développer une relation symbiotique (c.a.d de croissance mutuelle) entre des écosystèmes naturels prospères et une activité humaine intense, et ce dans tous les domaines de l'économie, selon Isabelle Delannoy, <https://fr.symbiotique.org/fr/>

6d. « Développer, modéliser, promouvoir et expérimenter des comptabilités en durabilité forte, pour mettre les systèmes comptables au service d'une transition écologique » selon Alexandre Rambaud, enseignant-chercheur à AgroParisTech-CIRED et co-responsable de la chaire Comptabilité écologique (AgroParisTech, Université Paris-Dauphine, Université de Reims), <https://www.strategie.gouv.fr/debats/webconference-soutenabilites-comptabilite-un-apres-soutenable-mesurer-compte-vraiment>

7. Rapport du Conseil économique, social et environnemental (CESE) rédigé par Patricia Ricard alors rapporteuse au CESE en 2015. Le ministère de l'écologie soutient cette démarche depuis 2012, en particulier le CGDD, notamment sous l'impulsion de Dominique Dron, puis de Laurence Monnoyer Smith et à présent de Thomas Lesueur.

b. Synthèse des défis, pré-requis & des préconisations



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

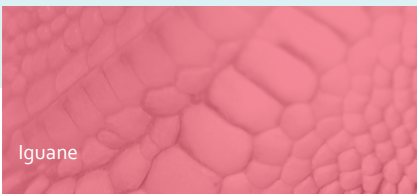
Avant tout, il faut s'assurer de la contribution réelle du biomimétisme à la réalisation des Objectifs de Développement Durable. Une étude d'impact environnemental approfondie doit être menée avec les parties prenantes adéquates, utilisant des indicateurs pertinents pour quantifier les données. Une telle 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.



Iguane

*Pour l'entièreté des préconisations, voir la synthèse de l'atelier en partie 2a p.52 et le tableau de bord détaillé en annexe p.72

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 (que 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.

2. Programme & contexte

a. Intervenants & programme

Présentation des organisateurs

FRANCE STRATÉGIE

France Stratégie est une institution autonome placée auprès du Premier ministre. France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de politiques publiques à la demande du gouvernement. Les résultats de ses travaux s'adressent aux pouvoirs publics, à la société civile et aux citoyens.

CEEBIOS – PARTENAIRE

Ceebios est le Centre d'études et d'expertises national en biomimétisme, visant à catalyser la richesse des compétences nationales du monde académique, de l'enseignement supérieur et de la R&D industrielle dans le domaine de la bio-inspiration autour de 6 axes :

1. Fédérer le réseau de compétences en biomimétisme
2. Accompagner les projets innovants
3. Développer les outils méthodologiques et de gestion de la donnée
4. Former
5. Contribuer au développement de plateformes et démonstrateurs
6. Communiquer, influencer

Depuis 2014, Ceebios collabore avec plus de 100 laboratoires, entreprises (construction, automobile, aéronautique, énergie, cosmétique...) et établissements d'enseignement dans le but d'accélérer le transfert de connaissances de la biologie vers d'autres disciplines.

Ceebios travaille en étroite concertation avec des réseaux internationaux et des institutions françaises (Ministères, Régions...). Ceebios répond ainsi aux recommandations du Commissariat général du développement durable en 2012, et celles du Conseil économique social et environnemental en 2015 pour la structuration et mise en œuvre d'une feuille de route nationale du biomimétisme.

MYCECO – PARTENAIRE

Myceco est une société résolument tournée 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 ;
- Repenser les doctrines soutenabilité-stabilité-sécurité ;
- 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.



Programme de la journée

ACCUEIL

Bérengère Mesqui, directrice du département Développement durable & numérique, France Stratégie

Innover pour et par le vivant

Patricia Ricard, présidente de l'Institut océanographique Paul Ricard et rédactrice en 2015 du rapport CESE *Biomimétisme s'inspirer de la nature pour innover durablement*

Introduction générale au biomimétisme : état des connaissances scientifiques, secteurs d'usages, contexte international, enjeux nationaux, pitch start-up et ETI (Elwave et Serma Group)

Kalina Raskin, directrice générale de Ceebios & Chrystelle Roger, présidente fondatrice Myceco

TABLES RONDES AUTOUR DE TÉMOIGNAGES ET CAS D'APPLICATIONS

Acteurs industriels

- Olivier Grabette, directeur général adjoint, Rte
- Laurent Gilbert, directeur groupe Innovation durable, L'Oréal
- Nathalie Mercier-Perrin, directrice du développement collaboratif & open-innovation des projets de R&D, NAVAL Group
- Antonio Molina, président directeur général Mäder, Président de Ceebios
- Florence Dufrasnes, vice-présidente Technical Authority Airbus Defence & Space

Modération par Chrystelle Roger, présidente fondatrice Myceco

Acteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur

- Jian-Shen Sun, directeur du département Adaptations du vivant, directeur scientifique de la mission *Bio-Inspire-Muséum*, Muséum national d'Histoire naturelle
- Laurent Billon, directeur adjoint de l'Institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux (IPREM) – Université de Pau et des Pays de l'Adour
- Jérôme Casas, membre senior IUF (Institut universitaire de France)
- Stéphane Viollet, directeur adjoint de l'Institut des sciences du mouvement (ISM) – Aix-Marseille Université
- Geneviève Sengissen, responsable de la formation continue ENSCI – Les Ateliers

Modération par Tarik Chekchak, directeur du pôle Biomimétisme à l'Institut des futurs souhaitables et associé Pikaia

Collectivités et acteurs publics

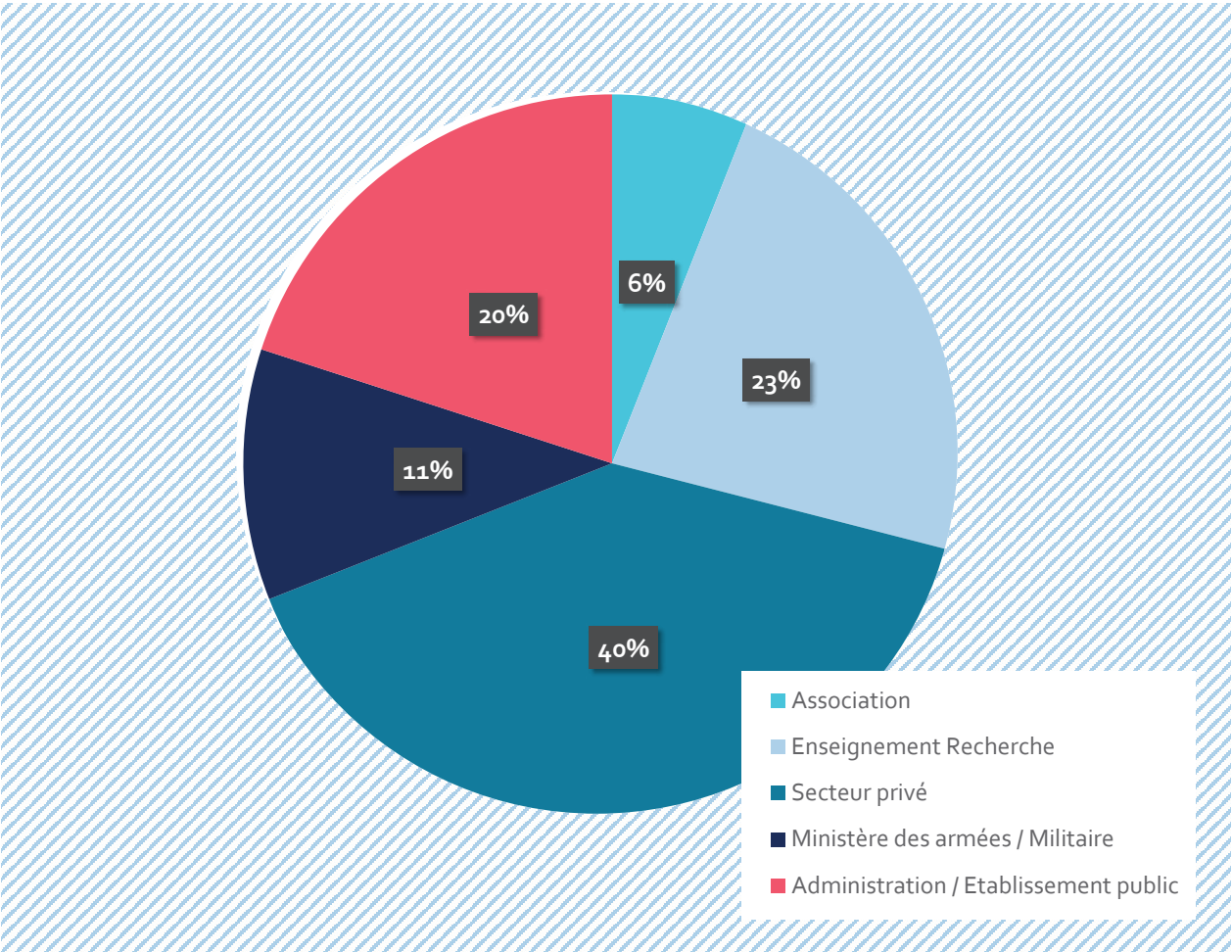
- Nicolas Thierry, vice-président environnement du conseil régional de Nouvelle-Aquitaine
- Colonel Franck Marescal, directeur de l'IRCGN (Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie nationale)
- François Spiero, responsable de la prospective – CNES
- Iman Bahmani-Piaseczny, coordinatrice du pôle R&D et investissements de l'ADEME

Modération par Chrystelle Roger, présidente fondatrice Myceco

CONCLUSIONS

Par Thomas Lesueur, commissaire général au développement durable, MTES

Répartition des auditeurs de la matinée par secteur d'appartenance



Crédits Myceco/Ceebios



Crédits France Stratégie

b. Les grands inducteurs transformationnels

Crises systémiques

Le monde est secoué par les évolutions sociétales : raréfaction des ressources, changement climatique, crises financières et économiques, nouvelles révolutions industrielles impactant les usages et les métiers (ex. IA, robotique), etc.

La récente crise sanitaire liée au COVID-19 nous incite plus que jamais à appréhender les facteurs de façon systémique pour penser résilience et soutenabilité globale, environnementale et économique. De nombreux rapports d'experts⁸ (GIEC et IPBES/ONU, Planetary Boundaries/ Stockholm Resilience Center, etc.) témoignent depuis des décennies de l'urgence liée au réchauffement climatique et à l'érosion de la biodiversité. France Stratégie est en phase avec ces constats⁹ et pointe les traductions concrètes de l'engagement de l'État comme la loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages ou l'annonce, le 6 juillet 2018, d'un objectif « zéro artificialisation des terres » lors de la présentation du plan Climat. Parmi les actions à mettre en place, le développement d'une bio-économie durable est souligné, dans laquelle s'inscrit parfaitement le biomimétisme.



Limites planétaires faisant écho au biomimétisme - Crédits Myceco

8. Le 25 septembre 2019, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) publiait son rapport. L'océan et la cryosphère sont perturbés sans précédent par le changement climatique, y compris les impacts sur les récifs coralliens, les basses terres et les îles, les écosystèmes de montagne, le pergélisol et les glaciers. Le rapport met en évidence les avantages d'une adaptation ambitieuse et efficace au développement durable et, inversement, les coûts et les risques toujours croissants de l'inaction sachant que la population mondiale atteindrait 10 milliards d'individus d'ici 2050.

• Le Groupe d'experts des Nations unies sur la biodiversité (IPBES-Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques) a publié en mai 2019 un rapport qui alerte sur la perte de biodiversité de 80% des espèces environ. Déforestation, agriculture intensive, surpêche, urbanisation effrénée, mines : 75% de l'environnement terrestre a été « gravement altéré » par les activités humaines et 66% du milieu marin est également touché

• Le Stockholm Resilience Center a défini en 2015 les « Planetary boundaries » qui définissent les limites planétaires quantitatives (ex. acidification des océans, pêche, biosphère, etc...) à l'intérieur desquelles l'humanité peut continuer à se développer et à prospérer pour les générations à venir. Le franchissement de ces frontières augmente le risque de générer des changements environnementaux brusques ou irréversibles à grande échelle. Point of view of Johan Rockstrom (executive director of the Stockholm Resilience Centre)- Article scientifique : Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity, in Ecology and Society 14(2): 32.

9. Point de vue : Les services rendus par la biodiversité et les écosystèmes. Quelle prise en compte dans les politiques publiques ?, France Stratégie, 15 mai 2018

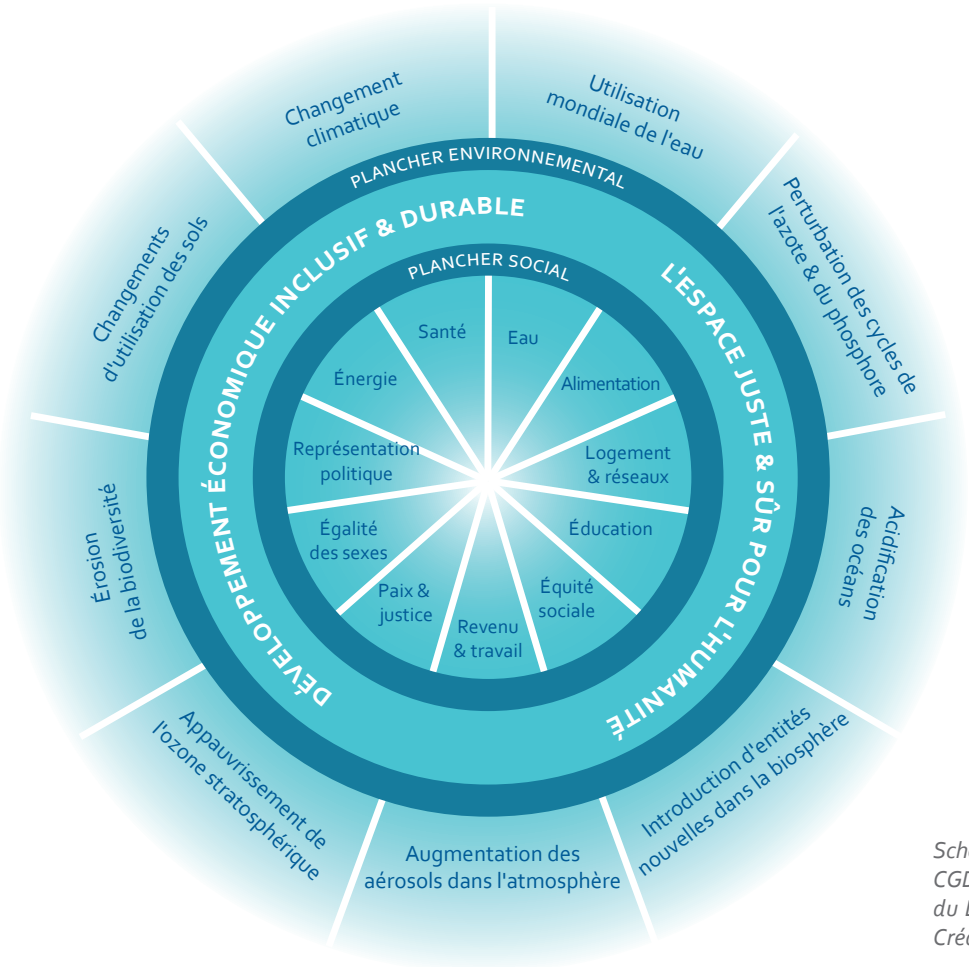


Schéma d'après celui utilisé par le CGDD en 2019, inspiré du concept du Donut (Raworth K., 2012) - Crédits Myceco/Ceebios

Les leviers d'actions gouvernementales

Le biomimétisme s'inscrit dans un certain nombre d'actions gouvernementales notables à l'échelle nationale, européenne ou internationale.

- Depuis 1987 et le premier rapport consacré au développement durable de l'ONU (Rapport Bruntland), les pays se sont engagés dans des programmes plus ambitieux d'un point de vue développement durable marqués par des temps forts comme les Accords de Paris de 2015 (COP21) et ses 17 Objectifs de développements durables (ODD) à atteindre pour l'ensemble des nations d'ici 2030 .
- Le Green New Deal proposé par la Commission européenne en janvier 2020 a pour objectif de rendre l'Europe climatiquement neutre en 2050 et intègre de nouvelles directives sur l'économie circulaire, la rénovation des bâtiments, la biodiversité, l'agriculture et l'innovation.
- De nouvelles lois nationales sont censées favoriser certains de ces ODD, comme la récente Loi sur la lutte contre le gaspillage et l'économie circulaire du 10 février 2020.

Par ailleurs, des agences de notations financières élargissent leurs évaluations aux critères ESG (Environnementaux, sociaux et de gouvernance) comme en témoigne le rachat de Vigeo Eiris par Moody's en avril 2019, ce qui pousse les industriels à favoriser les innovations de ruptures pour se conformer à ces programmes.

Ces marqueurs structurants induisent un changement de paradigme pour les entreprises devant trouver un équilibre entre rentabilité, responsabilité sociale et préservation de l'environnement (mesure des externalités négatives de l'entreprise, ACV) tout en favorisant l'innovation. Certaines en font une stratégie d'opportunités pour faire basculer leurs parties Intéressées (États, villes, clients, fournisseurs, salariés,...).

c. Le cahier des charges du vivant & domaines d'applications

Performance, sobriété & durabilité du vivant

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

Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable 2015-2020, MTES, juillet 2019

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

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

La diversité de stratégie d'adaptation du vivant, en raison des contraintes environnementales selon lesquelles il s'est développé et a été sélectionné, représente un véritable cahier des charges. L'espèce humaine a tout à apprendre en matière de soutenabilité face à cette richesse d'innovations durables sélectionnées sur des millions d'années.

Les grands domaines d'application

On distingue 8 grands domaines majeurs et remarquables, sources d'inspiration pour l'innovation.



MATÉRIAUX

- Hiérarchisés
- Multifonctionnels
- Composites
- Réactifs à l'environnement
- Stockent le CO₂
- Production basée sur l'énergie solaire
- Auto-assemblés, manufacture additive
- Biocompatibles et recyclables
- 3 familles de polymères



CHIMIE VERTE

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



INFORMATION

- Stockage moléculaire
- Transmission chimique, électrique...
- Agrégation
- Analyse
- Intelligence collective
- Capteurs, senseurs



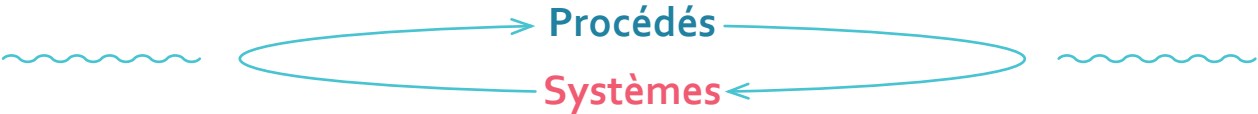
EAU

- Purification, remédiation
- Récupération en milieu aride
- Gestion de la surabondance
- Stockage
- Transport et distribution



ÉNERGIE

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



ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Le biomimétisme peut être un pilier majeur de l'économie circulaire car les interactions au sein des écosystèmes sont en phase avec les principes de l'économie circulaire définis par l'ADEME⁸.

- Cycles fermés
- Boucles de rétroaction
- Redondance
- Sous-systèmes auto-adaptatifs
- Variabilité etc.



AGROÉCOLOGIE

Six principes⁹ définissent l'approche agricole éco-mimétique :

- Utiliser les caractères fonctionnels complémentaires pour la productivité et la résilience
- Maintenir la fertilité des sols à travers la canopée
- Encourager la coopération entre les plantes avec des fonctions différentes
- Contenir les infestations de ravageurs à travers les niveaux / réseaux trophiques complexes
- Utiliser les propriétés des plantes et des alternatives biologiques pour la lutte antiparasitaire
- Reproduire la succession écologique après une perturbation



VILLE RÉGÉNÉRATIVE

Les écosystèmes natifs assurent des services que les villes de demain devront assurer, potentiellement grâce au biomimétisme :

- La capture, la purification et le stockage des eaux de pluie
- La conversion de la lumière du soleil en énergie utilisable
- La conversion du dioxyde de carbone en oxygène
- La protection des sols contre l'érosion
- L'élimination des déchets, etc.

8. 1/ L'utilisation modérée et la plus efficace possible des ressources non renouvelables 2/ L'exploitation des ressources renouvelables respectueuse de leurs conditions de renouvellement. 3/L'écoconception et la production propre. 4/ Une consommation respectueuse de l'environnement. 5/ La valorisation des déchets en tant que ressources. 6/ Le traitement des déchets sans nuisance. 9. Selon Éric Malézieux, propos adaptés du rapport du CGDD
Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France, H. Durand, 2012

L'araignée, championne de l'ingéniosité

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

On citera les exemples d'innovation suivants :

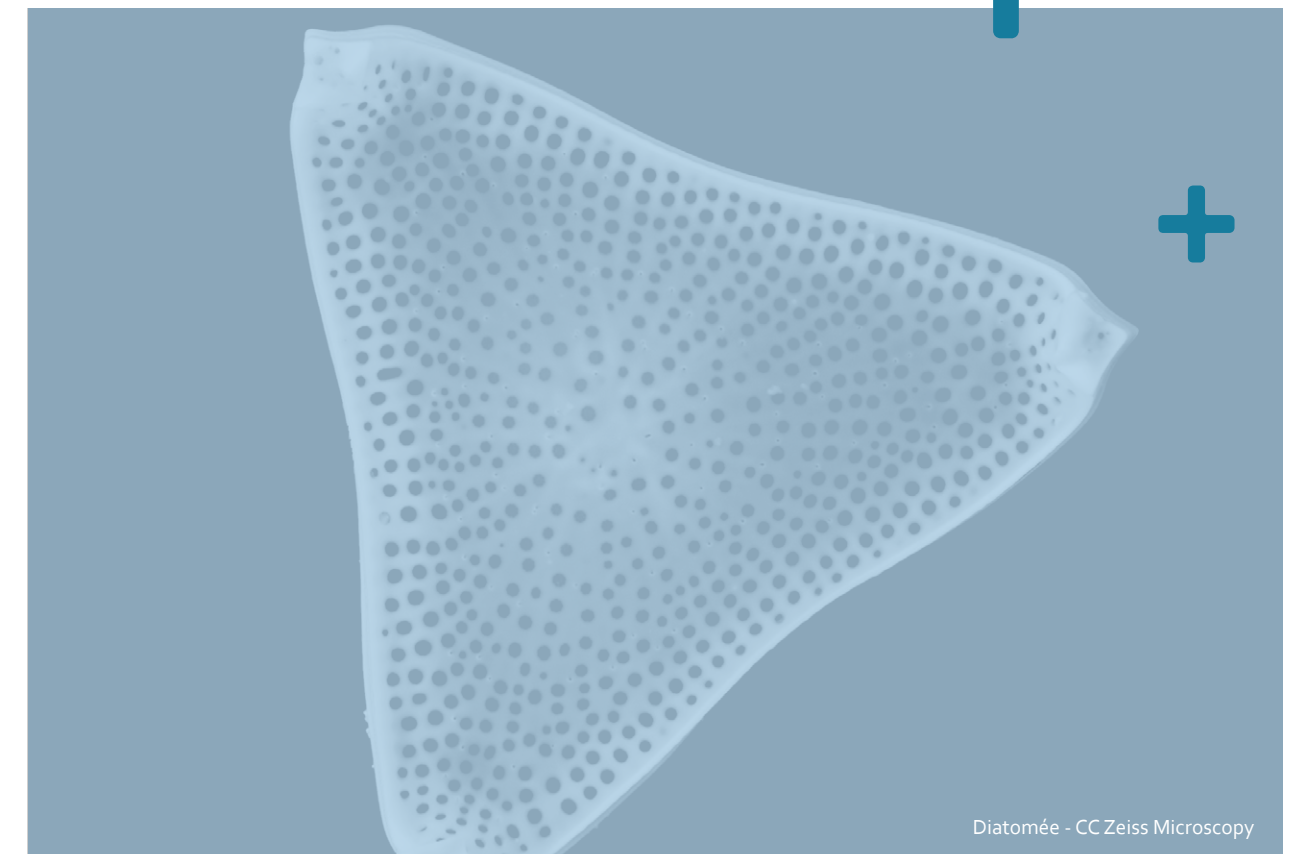
- La toile d'araignée constitue un potentiel en termes de « métamatériau » pour le camouflage, pour élaborer des filets à brouillards auto réfrigérants des centrales nucléaires, des filets de récupération des débris spatiaux ou bien encore des structures de ventilation (ex. stade de Munich) ;
- Plusieurs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

3. Leviers de soutenabilité & enjeux des parties prenantes

La démarche biomimétique a vocation implicitement à générer un processus de création d'idées et le déploiement d'innovations plus soutenables.

L'engouement autour du biomimétisme et les opportunités de cette nouvelle manière de concevoir des produits et services en accord avec les impératifs du XXI^e siècle, l'annoncent comme outil privilégié pour amorcer notre transition écologique. Le biomimétisme permet de nous projeter dans un paradigme où l'environnement, la biodiversité et la sobriété de consommation sont des critères majeurs dans le développement de nos sociétés. Toutefois les projets bio-inspirés sont compétitifs dans le paysage de l'innovation contemporaine et ont donc l'avantage de proposer des solutions vertes sans mettre pour autant de côté les performances économiques ou techniques.

Le biomimétisme est donc la réponse « indisciplinée » aux enjeux stratégiques et souverains du pays.



a. Soutenabilité environnementale & économique

Soutenabilité environnementale

LE BIOMIMÉTISME COMME RÉPONSE À PLUSIEURS ODD

Ainsi, le monde est ébranlé par les évolutions sociétales et pour y faire face, l'ONU a identifié un ensemble de 17 Objectifs du développement durable (intégrés à l'agenda 2030) que nous devons atteindre pour garantir la survie de notre modèle sociétal et rendre pérenne la planète que nous habitons.

Le biomimétisme répond à plusieurs défis de développement durable car il permet grâce à l'effet d'aubaine apporté par des technologies, notamment :

- D'éco-concevoir des matériaux résistants à température et pression ambiante ;
- D'utiliser moins de matière en ayant recourt par exemple à l'impression 3D (on assemble 2 pièces au lieu de 3 ou 4 en évitant des actes de soudures par exemple nocifs pour l'environnement) et à la fabrication additive. L'impression 3D promet d'être un accélérateur économique majeur et les matériaux bio-inspirés pourraient être au cœur de son développement. La *joint-venture* entre le groupe Five et Michelin, ADDUP, a intégré le biomimétisme pour l'impression 3D métal à des fins écologiques ;
- D'obtenir des procédés industriels moins polluants, moins coûteux en énergie, recyclables et de meilleure qualité (ex. surfaces autonettoyantes sans produits chimiques) permettant de répondre aux enjeux QSSE (Qualité, santé, sécurité, environnement) des entreprises.



Le biomimétisme a été identifié comme susceptible de répondre à 10 des 17 ODD de l'ONU :



• HEMARINA s'inspire des particularités de l'hémoglobine d'un ver marin pour la **conservation des greffons** et la **cicatrisation** des escarres.



• TERUMO permet des **injections cutanées indolores** par aiguille grâce à l'observation de la trompe de moustique.



• BIOMATRICA développe un système de **conservation des vaccins** à température ambiante en s'inspirant de la stratégie de protection du tardigrade (cryptobiose).



• CHEMBIOPHARM et IMBE s'inspirent du mucus des méduses pour développer un système de filtration au niveau nanoscopique afin d'assurer une **dépollution**



• SUEZ ENVIRONNEMENT développe un principe de **filtration de l'eau** inspiré des zones humides naturelles pour garantir des **traitements complémentaires contre les micropolluants** et limiter leur diffusion dans les milieux aquatiques en y **maintenant la biodiversité**.



• THINAIRWATER apprend du *Onymacris unguicularis*, un coléoptère, pour développer une biomembrane capable de **condenser la vapeur d'eau**.



• RENAULT associé à l'UNIVERSITÉ D'EVRY optimise la **consommation des ressources** des véhicules hybrides sur le modèle du métabolisme humain.



• EEL ENERGY développe des **hydroliennes** inspirées des stratégies de locomotion ondulatoire des organismes marins.



• Le PROGRAMME EUROPÉEN ESCALED travaille sur la **photosynthèse artificielle** et les **carburants solaires** en s'appuyant sur des composés enzymatiques biologiques.



• WAVERA met en place une **technologie de pompe** issue de la stratégie de locomotion ondulatoire des organismes marins permettant la mise en **mouvement d'un fluide**.



• La solution d'ELBÉ PETRO limite l'**évaporation des liquides industriels** en mimant la capacité des lentilles d'eau à leur surface.



• FESTO développe des **systèmes robotisés d'automatisation** efficaces et bio-inspirés comme le BionicMotionRobot qui est capable de porter son propre poids.



• BASILISK développe des **bétons auto-cicatrisants** grâce à des bactéries encapsulées sécrétant de la matière pour combler les fissures.



• La phyllotaxie des plantes inspire IN SITU ARCHITECTURE pour un algorithme d'**aménagement de quartier**, notamment en termes d'ensoleillement.



• EUROBIOS optimise des **flux urbains** (ex. collecte des déchets) sur la base d'algorithmes inspirés du comportement des fourmis.





• Le COLLÈGE DE FRANCE et le LCMCP s'inspirent des diatomées et éponges marines pour mettre en place des **procédés de chimie douce** (température et pression ambiantes) pour la **fabrication de verre**.



• AIRBUS et AUTODESK s'associent pour optimiser le **ratio masse/résistance** à l'aide d'algorithmes qui s'inspirent des **structures osseuses et végétales** en vue d'impressions 3D. Cette innovation réduit in fine la consommation en kérosène des avions.



• ECOVATIVE conçoit et produit des **emballages** sur-mesure à base de mycélium, **biosourcés et compostables**.



• Diverses entreprises appliquent le procédé biologique de **calcification pour séquestrer du CO₂** dans des matériaux de construction (CO₂SOLSTOCK, GEOCORAIL, BIOCALCIS, BIOMASON).



• En façade de bâtiment, X-TU promeut sa **culture de micro-algues** (à partir d'eaux usées, de CO₂, de déchets organiques) afin de produire de la biomasse et de participer à la **thermique** de l'infrastructure.



• Le BULLIT CENTER est un immeuble de bureau dont le **fonctionnement** raisonne en termes **écosystémiques**, pour proposer de **hautes performances environnementales** (autonomie énergétique, autonomie en eau, etc.).



• POLYMARIS et ENGIE utilisent des **biopolymères marins** pour empêcher les dépôts dans les circuits de refroidissement et canalisations industrielles en **substituts d'agents toxiques**.



• FINSULATE commercialise une **peinture antifouling non-toxique** pour bateaux, inspiré de l'**oursin**.



• SEABOOST conçoit et construit des récifs artificiels bio-inspirés pour la **préservation de la biodiversité sous-marine**.



• Diverses entreprises (NOVOBIOM, EDAPHOS...) puisent leur inspiration dans la capacité de **champignons** à absorber certains **polluants** du sol : c'est la **biore-médiation**.



• ADVTECH a mis au point une solution d'éoliennes inspirée de la **nage des poissons** palliant les problèmes des éoliennes actuelles vis-à-vis de leur impact sur la **population aviaire**.



• La **permaculture**, technique visant à cultiver en s'inspirant des **écosystèmes biologiques**, est d'ores et déjà mise en œuvre par des fermes en France (ex. FERME DU BEC HELLOUIN), et permet une sauvegarde de la biodiversité sur les **terres cultivées**.



La communauté du biomimétisme intègre aussi d'autres approches telles que :

- Le biocontrôle qui regroupe un ensemble de méthodes de protection des végétaux basé sur l'utilisation de mécanismes naturels. Seules ou associées à d'autres moyens de protection des plantes, ces techniques sont fondées sur les mécanismes et interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel. Ainsi, le principe du biocontrôle repose sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication. (Sources : ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation) ;
- Le bio-usage ou bio-sourcing qui consiste à utiliser un intrant végétal ou animal dans son procédé de fabrication (ex. mycoremédiation des sols pollués par des champignons).

Le biomimétisme permet de répondre par ailleurs aux défis du MTES en France pour la préservation de la biodiversité :

- En matière de transition agricole, Mzi Lifescience a mis au point un système de bio-contrôle permettant l'éloignement des ravageurs de façon discriminante par les phéromones, permettant la limitation des intrants chimiques ;
- En matière d'urbanisation et de construction : le biomimétisme permet de concevoir des enveloppes de bâtiments régénératrices de biodiversité, isolantes et ventilées inspirées des stratégies du vivant (cabinets d'architecture InSitu, Béchu...) ou de mettre en œuvre des mécanismes de biocalcification du sable à partir de bactéries pour combler des digues ou combler des fissures sans avoir à démolir et reconstruire (Soletanche Bachy) ;
- On compte 800 millions d'êtres humains n'ont pas accès à l'eau potable. Le stockage ou la dépollution de l'eau est un défi que la nature a su relever : légumineuses pour dépolluer les sols miniers pour absorber le zinc et l'azote, moules pour filtrer les eaux et détecter la pollution en changeant de couleur, etc.



Récif corallien

Les responsables Innovation et R&D sont donc incités à repenser leurs procédés et systèmes, pour aller vers des modèles plus sobres, régénérateurs de biodiversité et moins consommateurs de ressources. Les défis sociétaux contraignent ainsi les entreprises à être plus ingénieuses dans leur démarche de conception et de fabrication et pour leur chaîne de soutien opérationnel. Les grandes marques du secteur grande consommation doivent rechercher des alternatives aux énergies fossiles pour les emballages, voire penser l'emballage autrement.

1. Habitat & Construction

- Orientation des façades et conception d'un quartier suivant les lois mathématiques de la phyllotaxie des plantes (InSitu Architecture)
- Éclairage urbain par bioluminescence bactérienne (Tangram Architecture)
- Fabrication de briques de construction par activité microbienne (bioMASON)
- Bétons auto-cicatrisant (Basilisk)

2. Mobilités

- Propulsion nautique par membrane ondulante (FinX)
- Management des ressources dans la motorisation hybride des véhicules sur le modèle du métabolisme du corps humain (Renault & Véronique Billat – Université d'Evry)
- Profil aérodynamique du train inspiré du martin pêcheur pour réduction des nuisances sonores et de la consommation d'énergie (Shinkansen)
- Optimisation des réseaux inspirés par le blob (Audrey Dussutour, Université de Toulouse Paul Sabatier)

3. Industries navales et de la mer

- Stratégies anti-fouling bio-inspirées par texturation (Finsulate) ou sécrétions biochimiques (Polymaris, laboratoire Mapiem)
- Contrôle de structures en environnement turbide par « sens électrique » (Elwave)
- Restauration des écosystèmes marins (SeaBoost, programme européen Marineff)

4. Santé & Cosmétique

- Coloration structurale (sans pigment) pour produits de maquillage (L'Oréal)
- Conservation des greffons et cicatrisation des escarres par les propriétés d'oxygénation de l'hémoglobine d'un ver marin (Hemarina)
- Colle chirurgicale pour tissus biologiques : biocompatible et biodégradable, inspirée du mucus des vers « châteaux de sable » (Tissium)

5. Agriculture & Alimentation

- Stratégies de biocontrôle des ravageurs, alternative aux pesticides pour la protection des cultures (M2l Life Science, ImmunRise)
- Peptides antimicrobiens de l'estomac du manchot pour la conservation alimentaire (Yvon Le Maho - Centre d'écologie et de physiologie énergétiques)

6. Chimie & Matériaux

- Procédés de chimie douce pour la biominéralisation (céramique et verre) à température et pression ambiantes, avec séquestration de CO₂ inspiré des éponges marines, des diatomées, des coccolites, des coquillages (Jacques Livage – Collège de France).
- Développement de revêtements fonctionnels (mouillabilité, optique, thermique, mécanique, antibactérien...) inspirés des surfaces de plantes (programme européen PlaMatSu)
- Solutions d'emballages non persistants dans l'environnement pour substituer les plastiques (Ecovative, Skipping Rock Labs)

7. Électronique & Numérique

- Systèmes de visions neuromorphiques pour optimiser la quantité d'information transmise en réduisant la quantité de données produites (Prophesee)
- Stratégie d'intelligence artificielle organique (AnotherBrain)
- Stockage des données numériques sur support ADN (CatalogDNA)

8. Systèmes énergétiques

- Récupération d'énergie des courants marins et fluviaux par une membrane ondulante (Eel Energy)
- Éolienne fonctionnant par une turbine cycloïdale à axe vertical, reproduisant les déplacements de poissons (ADVTech)
- Photosynthèse artificielle bio-inspirée (programme européen eSCALED)

9. Eau, Déchets, Environnement

- Filtration de l'eau inspirée des zones humides naturelles pour traitement complémentaire des micropolluants (Suez Environnement)
- Phytoremédiation des sols par des plantes hyper-accumulatrices de métaux lourds, développements de filtres et de biocatalyseurs (Claude Grison – ChimEco)
- Gel de dépollution des eaux (nanoparticules et micropolluants) inspirés du mucus des méduses (Alain Thiery – Institut méditerranéen de biodiversité et écologie / Philippe Barthélémy ChemBioPham)

10. Textile, Mode & Luxe

- Développement de cuirs à base de champignons (Mycoworks)
- Textiles techniques et fonctionnels réagissant à l'humidité sur le modèle de la pomme de pin et plus généralement la nyctinastie (Inotek, Biofabric)
- Procédés de fabrication et origine des matières premières générant moins d'impacts pour l'environnement par activité microbienne : pigments et cellulose (Pili, Kombucha Fabric)

11. Défense & Sécurité

- Matériaux de protection composites renforcés par des fibres type soie d'araignée (BoltThread, AMSilk, Spiber, KraigBiocraft Laboratories)
- Capteurs moléculaires d'explosifs ultrasensibles inspirés des antennes du Bombyx du mûrier (Institut franco-allemand de recherche Saint-Louis)
- Adhésifs secs et réversibles pour la manutention et la locomotion sur le modèle de la patte de gecko (nanoGripTech, Geckskin)

12. Aéronautique & Spatial

- Forme recourbée des extrémités des ailes d'avion (*winglets*), programme *Fello'fly* de vols collectifs, ailes déformables et vibrantes (Airbus)
- Structures déployables et origamis bio-inspirés (PliFalTec)
- Fabrication de structures légères par manufacture additive aluminium servant de supports d'antennes de satellites (Koreast satellites par Thales Alenia Space)

FOCUS SECTEUR AGRICOLE

Dans la nature et l'agriculture raisonnée (ex. permaculture, agroforesterie), il n'existe pas de véritables ravageurs. Les ravageurs des uns sont les défenseurs des autres, **un équilibre s'opère limitant la prolifération et à la surreprésentation d'une espèce**. Les produits chimiques ont été utilisés comme traitement prophylactique contre les ravageurs, dont la multiplication est favorisée par la reproduction, sur des centaines d'hectares, de cultures identiques, aux faiblesses identiques, devenus plus résistants chaque année nécessitant des doses encore plus importantes de biocides. Et plus on traite, plus on amplifie le phénomène : entre 1945 et 1997, selon **Janine Benyus dans son ouvrage *Biomimicry - Quand la nature inspire des innovations durables***, le recours aux pesticides a augmenté de plus de 3300 %, mais les pertes totales dues aux ravageurs n'ont pas diminué. Aux États-Unis elles ont augmenté de 20% malgré le bombardement par les pesticides. Les sols sont de moins en moins productifs malgré des semences prétraitées. Janine Benyus pointe du doigt l'impasse de l'agriculture industrielle qui a fait demander de plus en plus à la terre : « *même si nous avons amélioré notre sort grâce au garde-manger [...], nous avons involontairement mis le doigt dans ce que le phytogénéticien américain Wes Jackson, directeur du Land Institute appelle « l'engrenage de la vigilance » : plus nous soumettions et protégeons nos cultures, plus elles dépendaient de nous pour leur survie* ».

Les paysans devenus « exploitants agricoles » dépendent ainsi totalement des produits phytosanitaires. En passant de la polyculture des plantes pérennes à la monoculture des annuelles et en mettant les paysans sous dépendance pétrochimique, d'engrais, des pesticides et des semences hybrides (qui ne transmettent pas leur caractère génétique d'une plante à l'autre), **l'homme a ôté à la terre ses défenses naturelles**. Il s'agit de pouvoir revenir à **une agriculture raisonnée de type permaculture**, favorisant la biodiversité naturelle et le recours à des intrants moins toxiques sur des pluricultures respectueuses des saisons, plutôt qu'aux substances phytosanitaires pour lutter contre les ravageurs. Car la déforestation pour faire de la monoculture ne se limite pas à augmenter les virus, mais à l'apparition aussi de pathogènes variés. Le **bio-contrôle**, qui permet de recourir à des auxiliaires biologiques discriminants pour lutter contre un nuisible local, est **une source d'innovation majeure**.

En 2012, le CGDD¹⁰ réalisait une étude sur la pertinence du biomimétisme pour résoudre les problèmes de l'agriculture conventionnelle énoncés de la manière suivante :

- Érosion et réduction de la qualité des sols ;
- Perte de biodiversité (espèces et variétés cultivées, animaux d'élevage, haies, oiseaux nicheurs en milieu agricole...);
- Propagation des maladies ;
- Résistance aux nuisibles ;
- Déforestation ;
- Baisse de la qualité de l'eau (eaux de surface et eaux souterraines) ;
- Grande dépendance aux énergies fossiles, d'où de fortes émissions de gaz à effet de serre (GES) ;
- Atteintes à la santé des humains et des animaux (exposition directe des agriculteurs aux produits chimiques d'où une augmentation du risque de cancer, résidus de pesticides dans l'alimentation...).

La démarche biomimétique en agriculture invite à s'inspirer des écosystèmes naturels pour constituer une approche qui se retrouve dans la permaculture, l'agroécologie, l'agroforesterie etc. Les interactions entre différents milieux et formes de biodiversité sont les clés de la productivité, de la durabilité et de la résilience des agroécosystèmes. Un certain nombre de réponses est apporté par ces nouveaux modèles agricoles inspirés de la nature. Les sols sont durablement fertilisés et faiblement occupés (à rendement horaire égal). Les émissions de GES des machines agricoles sont réduites à néant. Les cultures ne nécessitent plus d'engrais et de produits phytosanitaires, elles sont plus résistantes et résilientes que les monocultures actuelles. Pour atteindre ces résultats, le travail manuel est la contrepartie : la question de la

viabilité économique fut alors étudiée¹¹ en 2015 au sein de la ferme du Bec-Hellouin par l'institut Sylva, en partenariat avec notamment l'INRAE, AgroParisTech ou Carbone 4. Le rapport vint conforter la pertinence de la permaculture dans le paysage agricole français et ouvrit la voie à d'autres études complémentaires dans le même cadre (6 rapports en 6 ans entre 2011 et 2017). Les études se poursuivent par ailleurs pour affiner les modèles et la compréhension de la permaculture appliquée. Depuis 2011, la ferme du Bec-Hellouin est la plateforme pilote des études scientifiques sur la permaculture en France. Située au cœur de la Normandie, supportée par la région, la ferme héberge l'institut Sylva qui expérimente et évalue les pratiques innovantes en termes d'agriculture biologique et de permaculture. France Stratégie a en ce sens établi des recommandations dans son rapport « Faire de la PAC un levier de la transition agroécologique »¹² en proposant « un contrat long pour l'innovation agroécologique (CIAE) ». Ce contrat soutiendrait ainsi l'innovation et la formation dédiées à la transition agroécologique locale, en faveur de biens publics locaux (amélioration de la qualité des eaux liée à la diminution d'usage d'engrais et de pesticides, par exemple).

FOCUS SECTEUR AÉRONAUTIQUE

Le monde aérien et de l'aéronautique doit réduire sa consommation de carburant pour des raisons économiques, écologiques et sociales, notamment mises en lumière à travers le mouvement norvégien *flasktgam* (honte de prendre l'avion).

L'impact de l'aviation sur l'émission de GES peut être évalué de 3,5 % à 5 % si l'on prend en compte l'ensemble des gaz à effet de serre émis. Le trafic est en forte croissance 3,4 milliards de passagers ont pris l'avion en 2018 et le double est prévu d'ici la fin des années 2020¹³ notamment avec la croissance de l'aviation en Chine. À titre d'exemple la **configuration du vol en V inspirée des oies sauvages, pratiqué par l'US Air force pendant la 2^e guerre mondiale et récemment repris par Airbus, permettrait de diminuer l'impact énergétique** (évaluation à une réduction de consommation de kérosène de 5 à 10% par Airbus). La traînée des avions de tête permettant la réduction de carburant sur les avions successifs. **La nature est ainsi considérée comme une norme technique, un modèle d'auto-organisation, d'adaptabilité et de résilience**. Le biomimétisme permet d'accompagner les efforts du secteur, déjà fortement engagé en termes technologiques de réduction d'émission de CO₂, pour lequel il apparaît que seul un changement de modèle de consommation (par ailleurs favorisé par la crise sanitaire actuelle) viendra diminuer significativement les impacts écologiques.



11. Étude *Maraîchage biologique permaculturel et performance économique*, Institut Sylva et al. 2015
12. <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-synthese-rapport-pac-octobre-2019.pdf>
13. Forcast IATA/TE 2018

10. <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-synthese-rapport-pac-octobre-2019.pdf>

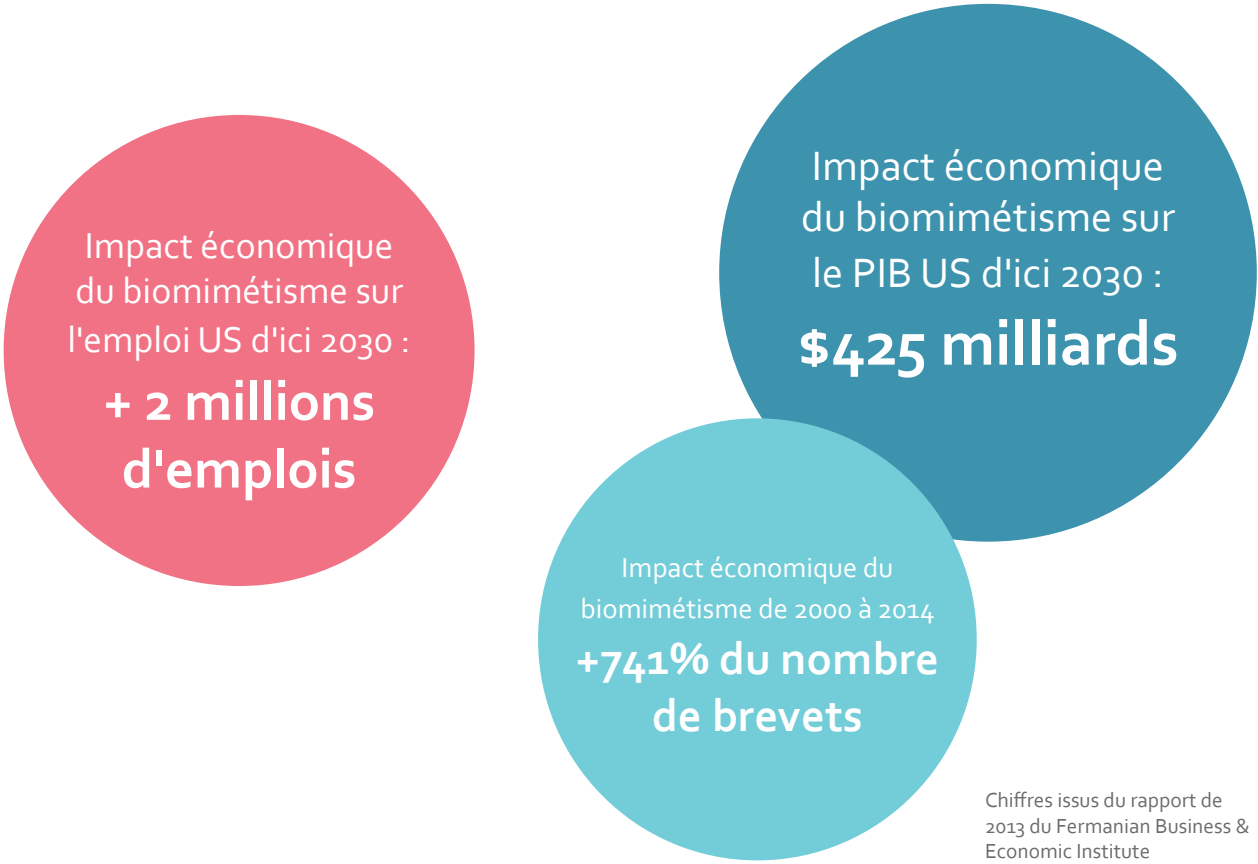
Soutenabilité économique

Le biomimétisme est une démarche à fort potentiel économique. Le marché mondial du biomimétisme est estimé à **18,50 milliards de dollars** d'ici 2028 selon l'institut BIS Research¹⁴. Le Fermanian Business & Economic Institute - San Diego a mis au point des 2010, un outil le « Da Vinci Index 2.0 » sur l'attractivité du biomimétisme. Il s'agit d'une méthodologie de mesure de l'activité du biomimétisme aux États-Unis en nombre de publications de recherches, de brevets, de subventions, de valorisation financière des subventions.

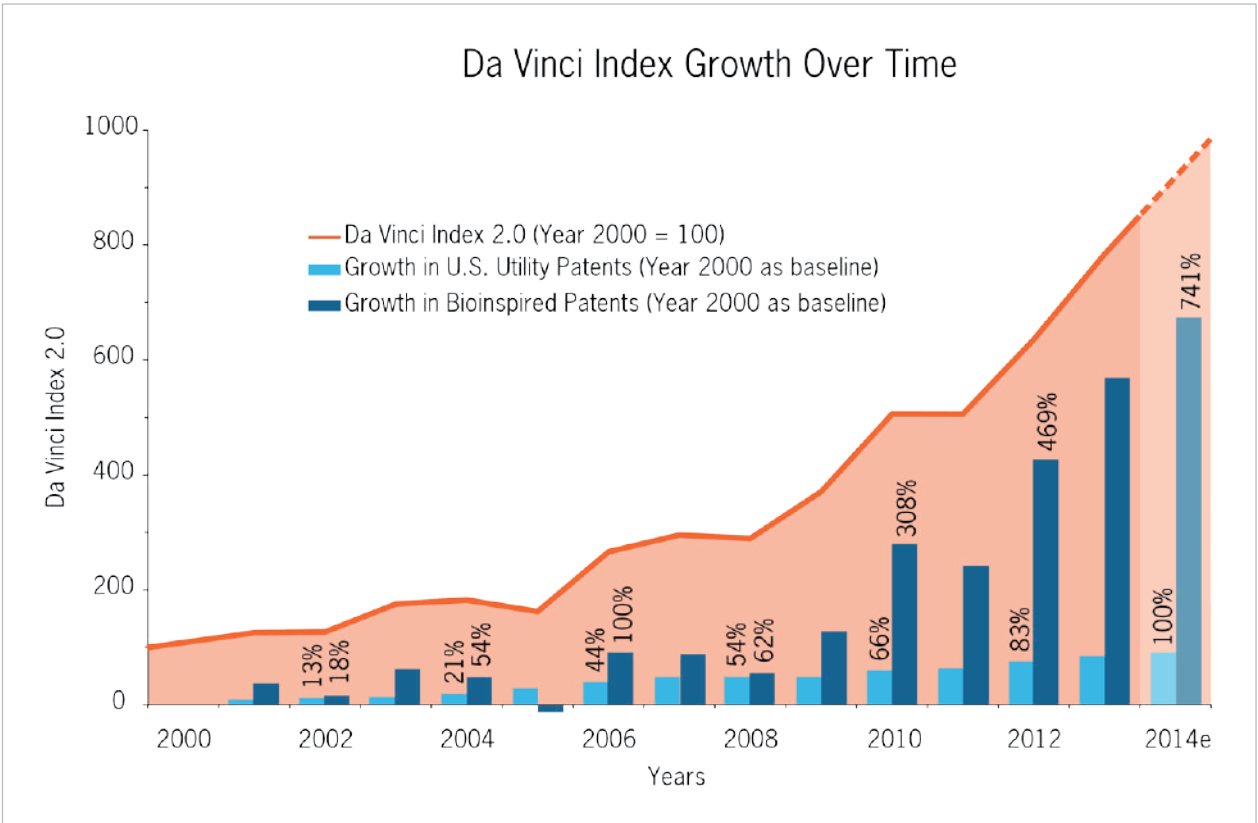
Le marché mondial du biomimétisme est estimé à \$18,50 milliards d'ici 2028 selon l'institut BIS Research

Le rapport de 2013 incluait des perspectives mondiales :

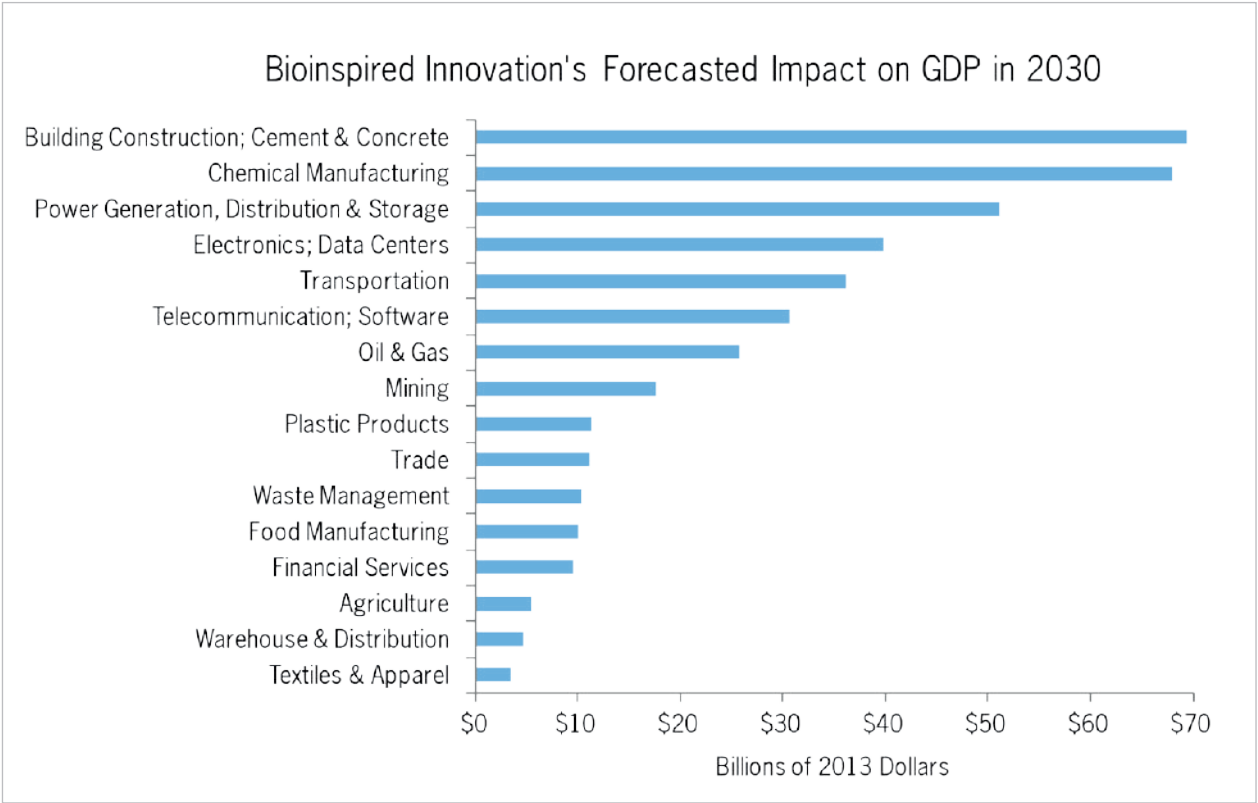
- Le biomimétisme contribuerait à hauteur de **425 milliards de dollars** dans le PIB d'ici 2030 et pour la création de 2 millions d'emplois et **plus de 741%** du nombre de brevets déposés. À titre d'exemple à périmètre équivalent (construction, chimie, manufacturing, ...), le secteur industriel représentait **123 milliards de dollars** de PIB.
- **65 milliards de dollars** pourraient être générés grâce aux économies que la bio-inspiration pourrait offrir en termes de réduction de l'épuisement des ressources et de la pollution.
- À l'échelle mondiale, d'ici 2030, la bio-inspiration pourrait générer **1,6 billion de dollars** de production totale ou de PIB. L'atténuation des ressources et de la pollution pourrait s'élever à **0,5 billion de dollars** supplémentaires.



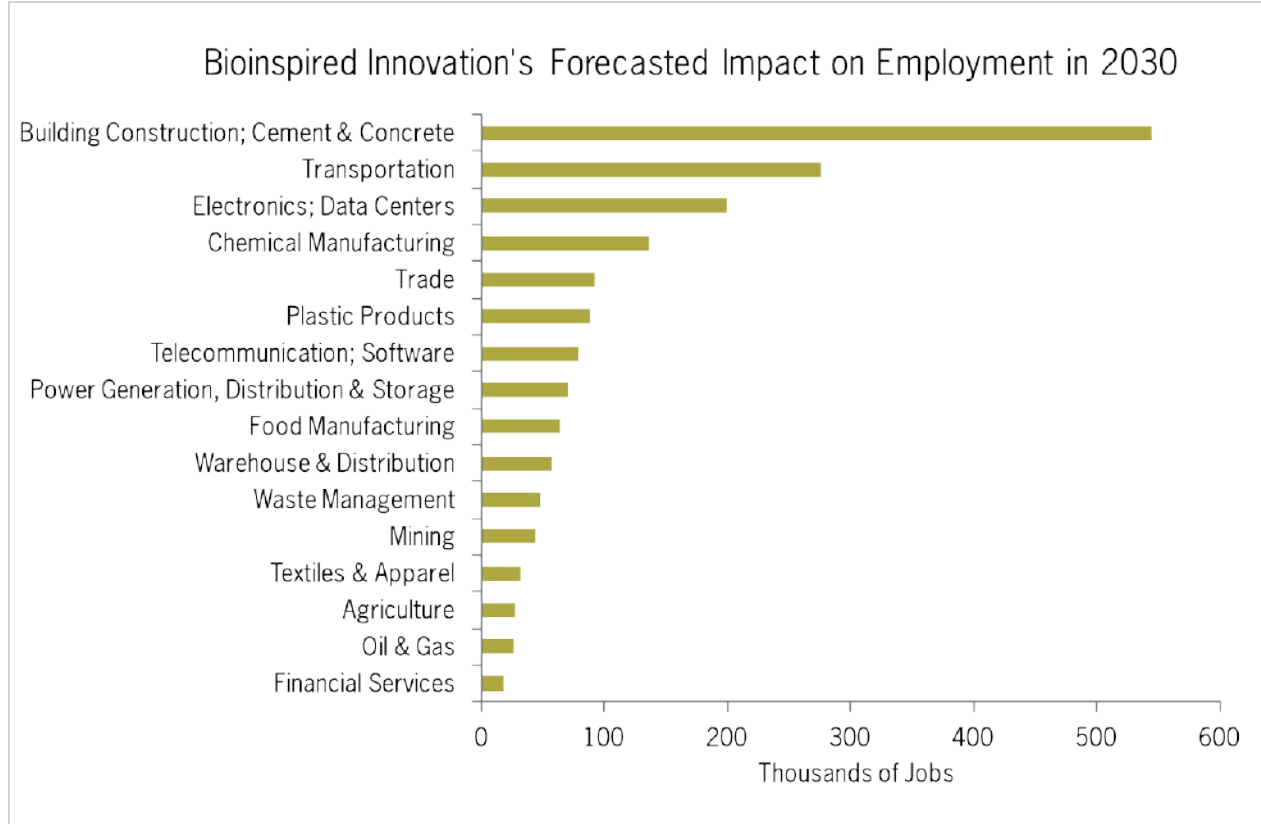
14. Rapport *Global Biomimetic Technology Market - Analysis and Forecast, 2018-2028*, BIS Research Institute, 2018



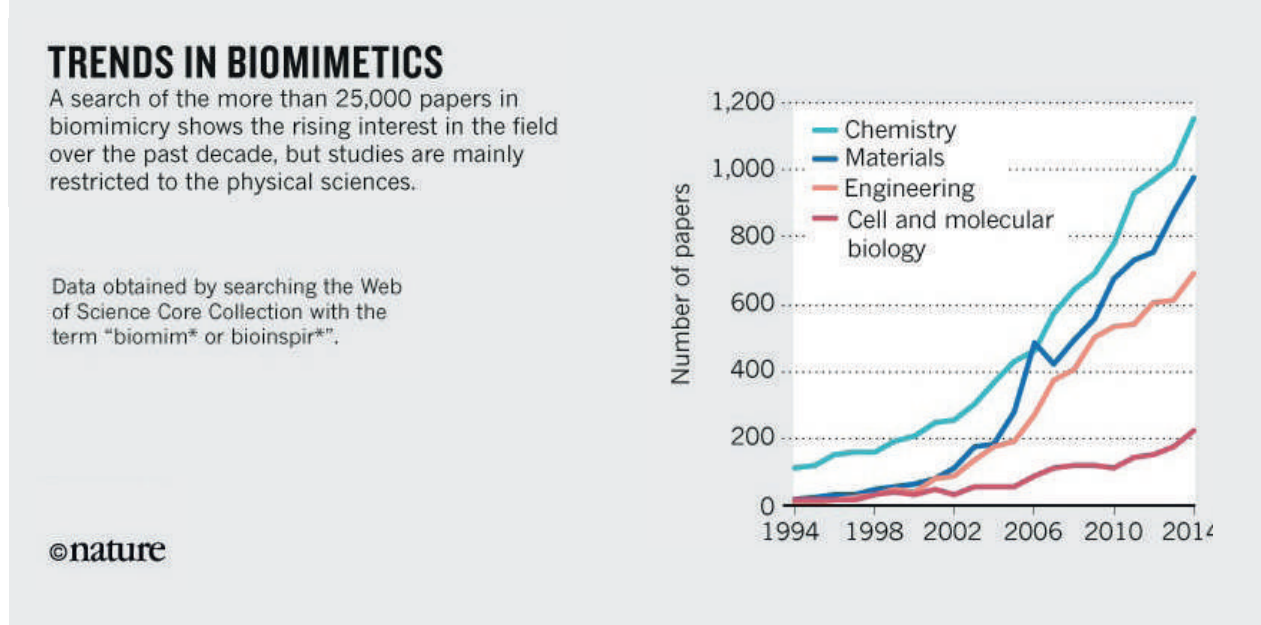
Croissance de l'indice Da Vinci, rapport de 2013 du Fermanian Business & Economic Institute - Crédits FBEl



Impact économique du biomimétisme sur le PIB US d'ici 2030, rapport de 2013 du Fermanian Business & Economic Institute - Crédits FBEl



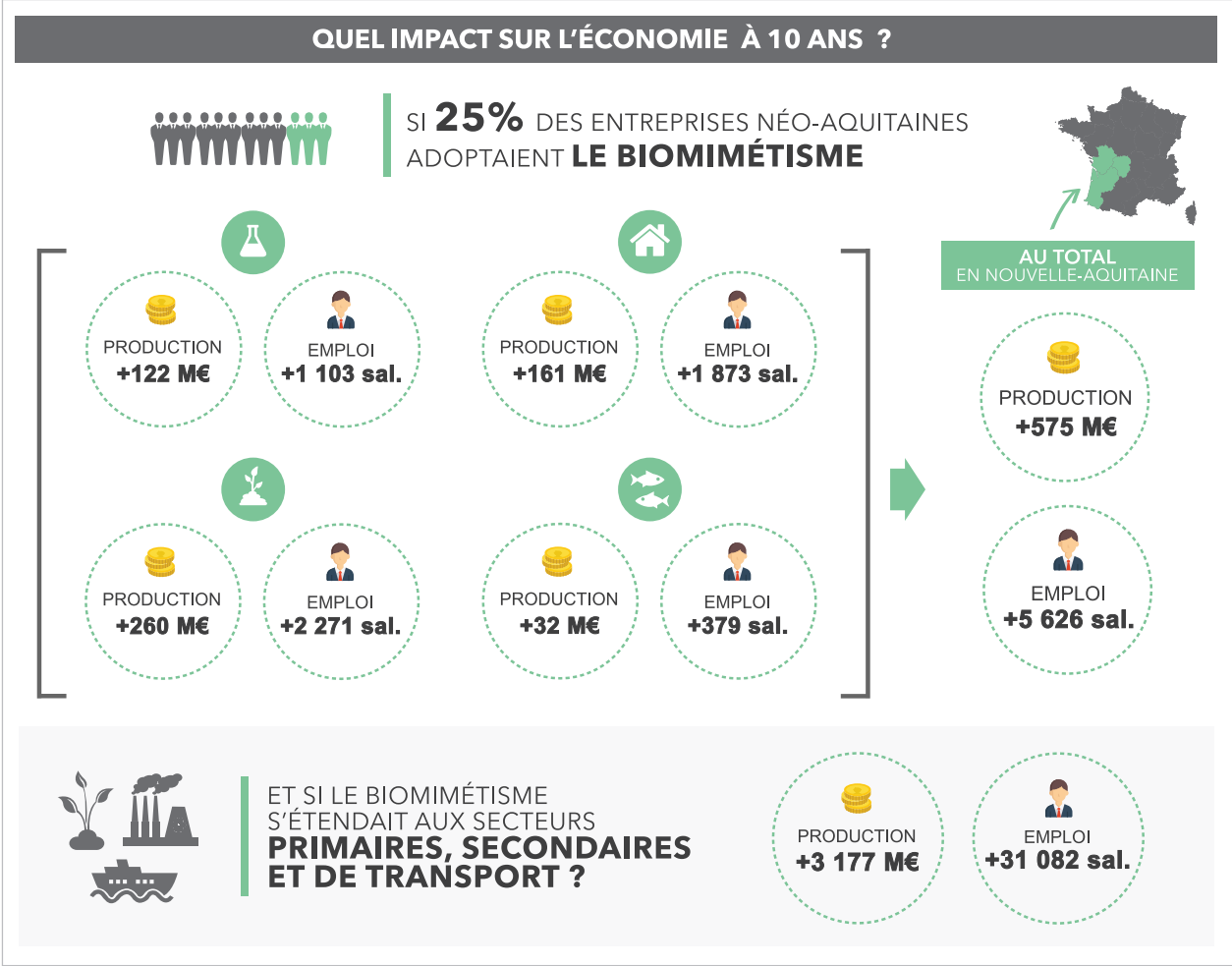
Impact économique du biomimétisme sur l'emploi US d'ici 2030, rapport de 2013 du Fermanian Business & Economic Institute - Crédits FBEI



Augmentation du nombre de publications liées à la bio-inspiration de 1994 à 2014, - Crédits Nature

En France, peu d'études ont été réalisées sur les retombées du biomimétisme à part la région Nouvelle-Aquitaine qui a mené une étude permettant d'évaluer à environ 31 000 le nombre d'emplois liés au biomimétisme créés pour la région d'ici 2028.

Impact économique du biomimétisme en Nouvelle-Aquitaine à 10 ans



Étude socioéconomique territoriale sur le potentiel du biomimétisme en Nouvelle-Aquitaine, 2018
© Vertigo Lab pour la région Nouvelle-Aquitaine & Ceebios

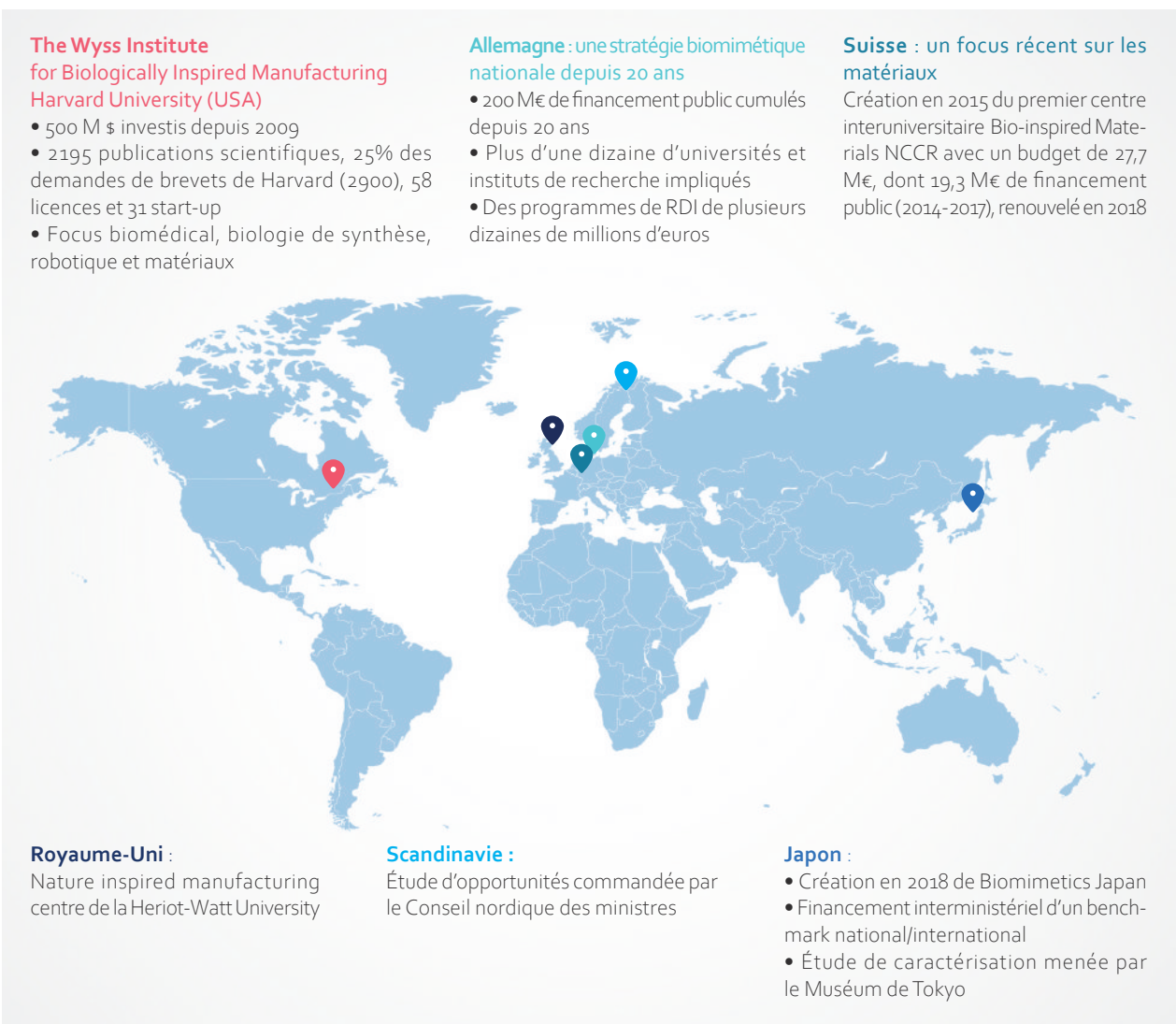
Parmi les autres régions mobilisées, la **région Sud** a l'ambition d'être **exemplaire en matière de transition écologique avec son plan Climat « une Cop d'avance »**. En 2018, 20% du budget de la région, soit 400 millions d'euros sont consacrés aux différents volets du plan à savoir : éco-mobilité, neutralité carbone, préservation des milieux naturels etc. Dans ce cadre, la **région Sud a lancé en 2019 un prix de l'innovation biomimétique pour promouvoir les projets et développer le biomimétisme sur son territoire.**

Fin 2019, l'**ADEME** s'est engagée dans un partenariat avec Ceebios pour notamment renforcer l'intégration du biomimétisme dans les appels à projets de l'ADEME, **mobiliser les régions sur le sujet, réaliser des études d'impacts socio-économiques et environnementaux du biomimétisme.**

b. Phénomène d'accélération internationale

Investissements étrangers

Au niveau international, de nombreux acteurs académiques ou privés travaillent sur des produits ou processus bio-inspirés. Depuis 1990, on constate une nette augmentation des publications et brevets sur ce terrain. Les pays asiatiques et les États-Unis sont de loin les plus efficaces contributeurs, suivis par l'Allemagne, le Royaume-Uni et enfin la France. Les pays du Moyen-Orient restent quant à eux de petits contributeurs bien que leur nombre de publications ait connu une croissance significative depuis 2013. Les États-Unis et l'Allemagne ont investi financièrement de façon significative. Par exemple, nous pouvons retenir les initiatives suivantes internationales qui apparaissent comme un atout :



Carte biomimétisme à l'international - Crédits Ceebios (sur une base de carte Freepik)

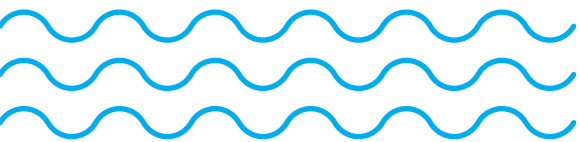
Capital naturel national

La France possède un patrimoine naturel exceptionnel : avec la métropole et les territoires outre-mer, elle est présente sur deux continents et dans tous les océans, sauf l'Arctique. Notre pays bénéficie d'une biodiversité abondante, ressource clé pour l'étude des modèles biologiques.

UN ACTIF GÉOGRAPHIQUE MAJEUR, NOTAMMENT MARIN

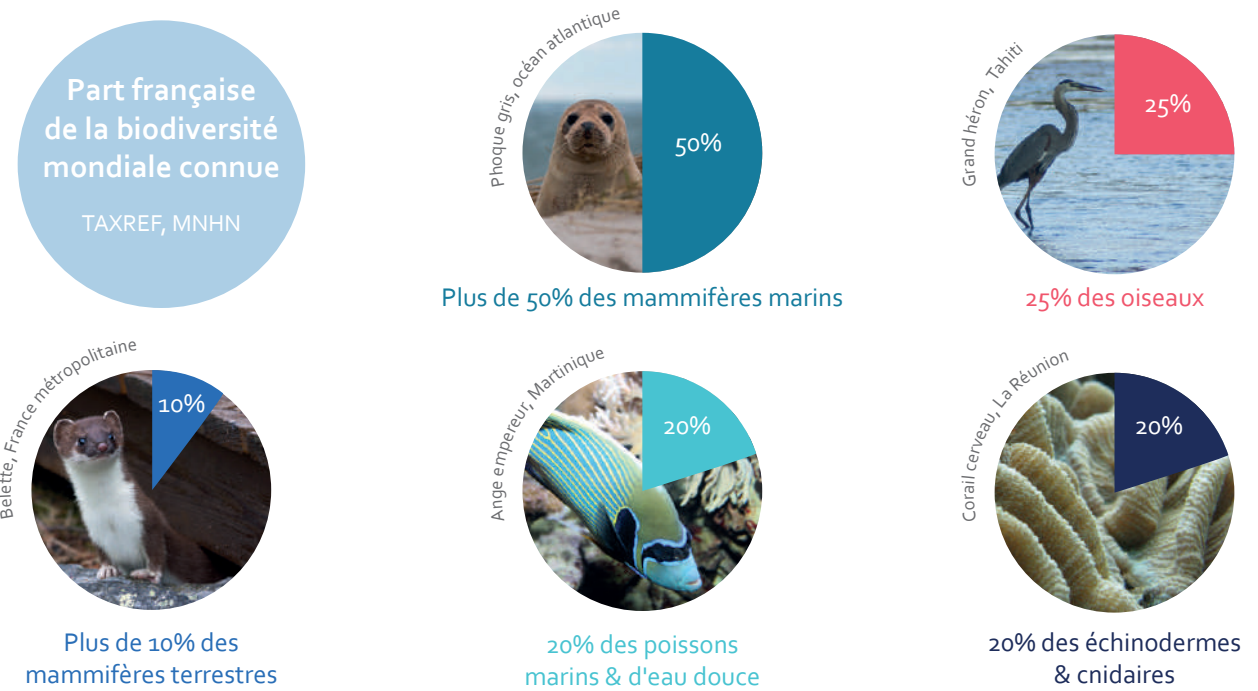
- Le **second espace maritime mondial** après les États-Unis avec 11 millions de km² (300 000 km² de moins que les États-Unis).
- **Premier espace sous-marin** du monde.
- Les domaines maritimes et sous-marin français représentent la **seconde réserve du globe de terres rares et de nodules polymétalliques** (yttrium, lanthane, prométhium, etc.).

L'**économie bleue** est un gisement d'innovations dans le domaine pharmaceutique, cosmétique, chimie, agroalimentaire (ex. valorisation des algues, traitement anti-cancéreux émanant des champignons marins, nouvelle génération d'antibiotiques-céphalosporine, etc.)



UN PATRIMOINE DE BIODIVERSITÉ

La France recense 10 % des espèces connues au niveau mondial, grâce notamment à ses territoires ultra marins : Nouvelle-Calédonie, La Réunion, Mayotte, Guadeloupe, Martinique, Polynésie et Wallis-et-Futuna). Quant à la Guyane, elle est au cœur de l'un des derniers grands massifs forestiers de la planète, l'Amazonie.



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

On fait du biomimétisme aujourd'hui en France sans vraiment le savoir. C'est-à-dire qu'il y a beaucoup d'acteurs, notamment dans le secteur de la recherche, qui étudient le vivant et s'inspirent du vivant pour développer de nouveaux produits, de nouveaux matériaux, de nouvelles politiques publiques. L'idée, en organisant un séminaire de ce type, c'est d'identifier les acteurs, de leur permettre d'échanger, de se parler et de créer des synergies qui aujourd'hui ne sont pas forcément totalement développées.

Julien FOSSE

Adjoint à la directrice du Département développement durable & numérique, France Stratégie

Propos recueillis pour le media Acteurs Publics



c. Les parties prenantes & leurs principaux défis

Ceebios, catalyseur national

Ceebios, association loi 1901 créée en 2014, fondée par 3 pôles de compétitivité (Matikem, Uptex – fusionnés en EuraMaterials depuis 2019, et IAR), agit à la fois comme organisme de développement et d'accompagnement R&D.

L'ambition de Ceebios est de faire du biomimétisme un levier puissant de la transition écologique et sociale en catalysant l'émergence d'innovations deeptech bio-inspirées dans tous les secteurs applicatifs.

Sa mission est de:

- Valoriser l'expertise académique française (et européenne) sur le vivant ;
- Développer et mutualiser des moyens techniques et scientifiques dédiés ;
- Activer un écosystème d'innovation ouverte et transdisciplinaire ;
- Transférer/développer expertises et solutions bio-inspirées dans toutes les filières stratégiques.

Ceebios bénéficie notamment d'un conseil scientifique composé de 20 personnalités du monde de l'enseignement et de la recherche (Gilles Bœuf, Jacques Livage, etc.) et accompagne aujourd'hui près de 50 acteurs économiques dans l'adoption du biomimétisme pour leur R&D.

En savoir plus : ceebios.com



Patricia Ricard a par le passé déjà travaillé sur des études exploratoires du biomimétisme dans le cadre du CESE . L'acceptation est aujourd'hui présente mais les freins identifiés alors ont du mal à être dépassés. Elle les résume ainsi : donner de la visibilité au biomimétisme, l'ancrer dans le paysage éducatif, en identifier les acteurs ou mettre en place des centres régionaux, comme en l'Allemagne dont l'organisation mérite qu'on s'y intéresse. Mme Ricard fait toutefois remarquer qu'au sein du CESE, le rapport sur le biomimétisme dont elle fut la rédactrice, a été voté à l'unanimité.

Patricia RICARD

Présidente de l'Institut océanographique Paul Ricard et rédactrice en 2015 du rapport CESE *Biomimétisme s'inspirer de la nature pour innover durablement*



Les acteurs publics

DES INITIATIVES PUBLIQUES DEPUIS 2007

Plusieurs études, rapports ou partenariats ont vu le jour depuis 2007 en faveur du biomimétisme. Le biomimétisme émerge dans les considérations pour une transition écologique d'un grand nombre d'acteurs publics, à différentes échelles et thématiques. La prise en compte institutionnelle de ce secteur d'activité existe depuis dix ans au travers des politiques publiques dans les domaines de la transition énergétique et écologique, de la bio-économie et de la biodiversité notamment.

On peut notamment citer :

- **2007** Sénat, *Le biomimétisme - outil de la prochaine révolution industrielle, Les apports de la science et de la technologie au développement durable*, P. Laffite & C. Saunier
- **2012** CESE (Commissariat général au développement durable du MTES), *Étude sur la contribution du bio-mimétisme à la transition vers une économie verte en France*, H. Durand
- **2015** CESE, *Le biomimétisme : s'inspirer de la nature pour innover durablement*, P. Ricard
- **2015** Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, *Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable*, Conseil des ministres
- **2015** Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, *Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages*
- **2017** Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, *Loi biodiversité : une opportunité pour le développement économique et la création d'emploi*, E. Delannoy
- **2017** Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, *Stratégie Internationale pour la Recherche, l'Innovation et l'Enseignement Supérieur à horizon 2030*
- **2018** Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, *Une stratégie bioéconomie pour la France – Plan d'action*
- **2018** Région Nouvelle-Aquitaine, *Étude socioéconomique territoriale sur le potentiel du biomimétisme en Nouvelle-Aquitaine*, Ceebios
- **2019** ADEME, partenariat avec Ceebios pour le développement du biomimétisme en France
- **2019** *Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires, « Défi biomimétisme »*
- **2019** État et le CNRS (Centre national de la recherche scientifique), *Contrat d'objectifs et de performance 2019-2023*
- **2020** Institut chimie et matériaux du CNRS, lancement d'un *Groupement de recherche biomim*

Le biomimétisme ne bénéficie pas à ce stade d'un financement dédié et fléché. Il existe plusieurs dispositifs qui financent néanmoins des projets bio-inspirés :

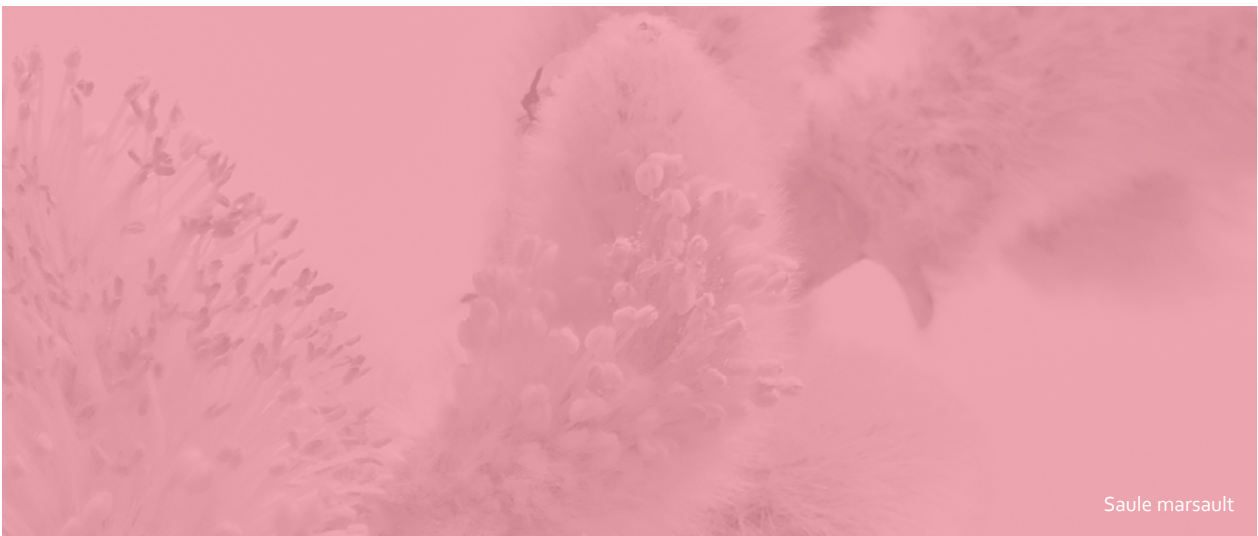
- **ANR** : L'Agence nationale de la recherche a défini huit grands domaines scientifiques dans lesquels doivent s'inscrire les projets qu'elle se propose de soutenir. En 2019, cinq de ces huit axes de recherche citaient le biomimétisme, la bio-inspiration ou, de manière indirecte, d'autres objets de recherche proches de cette démarche. Au final, quatre projets se réclamant explicitement de la biomimétique ont été sélectionnés cette année (Pascal Bain, ANR).

- **CNRS** : Le CNRS a quant à lui lancé un appel à projets plus spécifique : *Défi biomimétisme - Appel à projets 2019*. Cet appel a reçu un accueil positif auprès des chercheurs du CNRS puisque c'est l'un des deux appels de la MITI (ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie) ayant eu le taux de réponses le plus élevé. Le financement concerne souvent l'achat d'un matériel.

- **MTES** : Deux appels à projet qui rentrent dans le cadre du Plan d'investissement d'avenir actuellement en cours font mention du biomimétisme. Le MTES fait partie des soutiens financiers historiques de Ceebios.

- **MinArm** : Le ministère des Armées au travers de la DGA (Direction générale pour l'armement) a exploré le biomimétisme dès 2012 au travers soit de thèses, de projets scolaires ou des dispositifs de financement RAPID (Régimes d'appui pour l'innovation duale) et ASTRID (Accompagnement spécifique des travaux de recherche et d'innovation défense). Entre 2012 et 2018, 55 projets et dispositifs ont été financés, ce qui fait une enveloppe totale de 13 millions d'euros allouée à cette démarche.

- **SNR** : Le biomimétisme répond à 3 de ses 5 programmes d'actions de la Stratégie nationale de recherche (SNR) du MESRI : Big data, Système Terre, Biologie des systèmes et applications.



Saule marsault

Synthèse des collectivités et acteurs publics :

Il est clairement admis que **le biomimétisme est un outil adapté à la défense du vivant et qu'il doit être au service de la durabilité**. Même si le sujet est pris en compte par Ceebios depuis cinq ans, persiste une certaine difficulté à appréhender les acteurs et problématiques autour du biomimétisme. Elle ne pourra disparaître qu'avec une manifestation volontaire des acteurs et une intégration à toutes les échelles d'une **définition et vision partagés du biomimétisme**.

Iman BAHMANI-PIASECZNY

ADEME

Coordnatrice du pôle R&D & investissements

Le biomimétisme permet à I. Bahmani-Piaseczny de puiser dans la connaissance du vivant des solutions innovantes pour mettre en œuvre la **transition énergétique et écologique**, notamment par la réduction des impacts environnementaux, la décarbonation de l'énergie et l'optimisation des ressources. Selon elle, le principal axe sur lequel travailler serait d'**acculturer l'écosystème d'acteurs (acteurs économiques, de la recherche et des territoires) avec lesquels les agents de l'ADEME travaillent sur les problématiques énergétiques, du climat et de la ressource et aux solutions potentielles apportées par le biomimétisme**. Pour favoriser l'essor du biomimétisme, l'ADEME a signé une convention avec Ceebios sur 3 ans avec **13 actions majeures** sur des dispositifs d'accompagnement, d'acculturation, de communication et de définition de méthodologies de mesure.

François SPIERO

CNES

Responsable de la prospective

Le biomimétisme peut être une source d'innovation pour de nombreuses activités spatiales. Ainsi, il y a une analogie entre la survie dans le **milieu hostile et hors normes qu'est l'espace** et celle de **certain organismes terrestres adaptés à des milieux extrêmes**. Le CNES étudie également comment la nature peut inspirer **l'exploration robotique ou l'intelligence en essaim pour les constellations de satellites**. Le CNES lance actuellement des **projets pilotes**, dans une démarche bottom-up (levier d'essor privilégié).

Nicolas THIERRY

Conseil régional Nouvelle-Aquitaine
Vice-président Environnement

La région possède un tissu d'acteurs économiques en lien avec le biomimétisme sur des sujets comme **les matériaux, l'habitat ou le biomimétisme marin**. Un pôle biomimétisme marin a été créé en 2019, faisant de la Nouvelle-Aquitaine, une pionnière dans ce domaine. Outre, les bénéfices environnementaux, des perspectives économiques sont attendues en termes de création d'emplois et de génération de PME. Pour N. Thierry, le biomimétisme est le **moyen de changer de regard sur la biodiversité et l'environnement** que cela soit en interne ou via les acteurs économiques. Il soulève une fois encore les **problématiques de cloisonnement du réseau, notamment en recherche**.

Colonel Frank MARESCAL

Institut de recherche criminelle
de la Gendarmerie nationale
Directeur

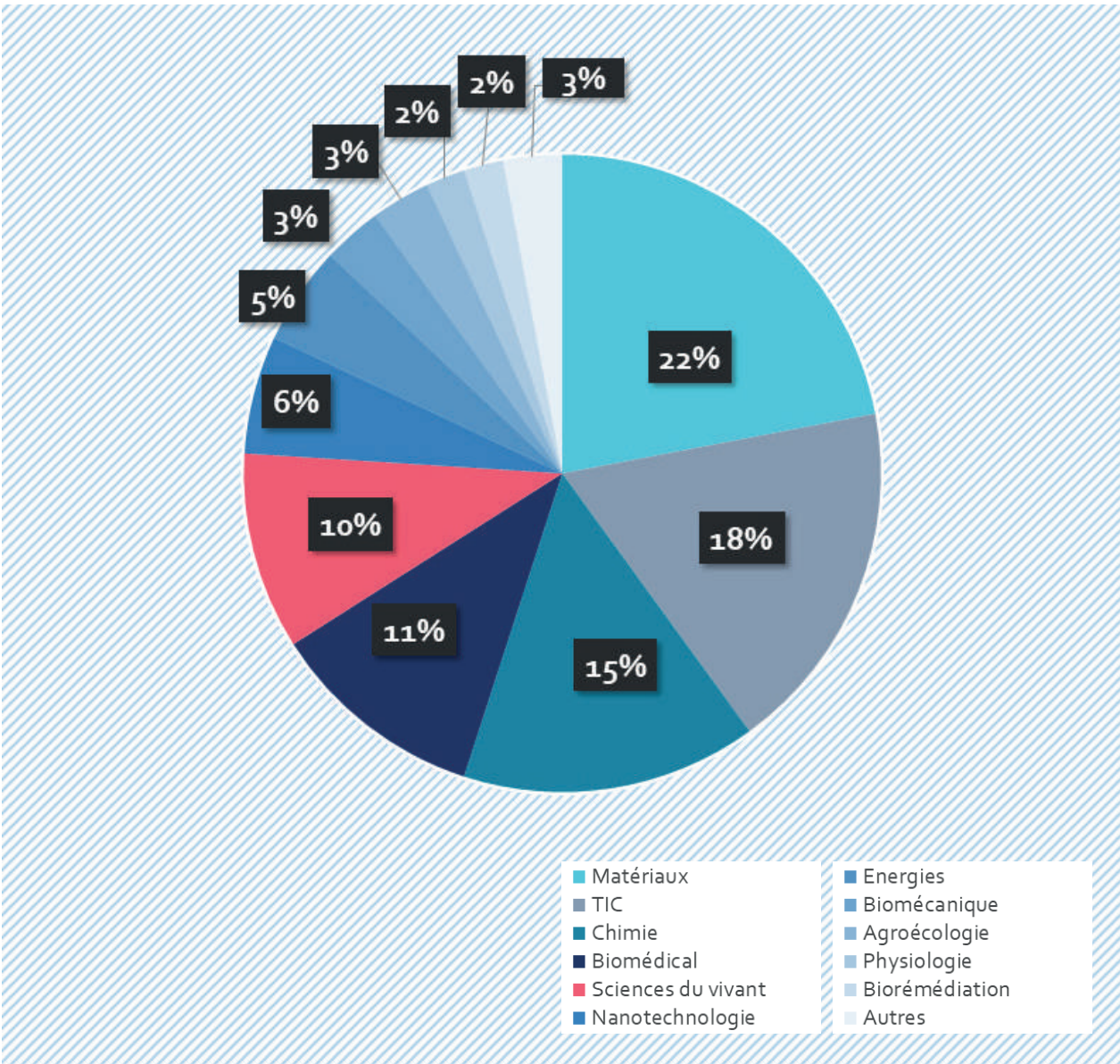
Le Col. Marescal a présenté une innovation en matière de **signature olfactive** (capture de molécules à l'aide d'une pompe) inspirée de l'odorat canin améliorant les capacités des enquêteurs. Il reconnaît en sa qualité de directeur de l'institut de recherche de la gendarmerie que le biomimétisme est une **source d'innovation pertinente** dans la course à la performance à laquelle il fait face. Selon lui, **les programmes de financement en lien avec le biomimétisme sont très rares** dans les dispositifs actuels (AID, ANR, H2020, etc.) et cela peut constituer un **frein à leur développement**.

Les acteurs de la recherche

Le monde de l'enseignement et de la recherche est une partie prenante fondamentale détentrice d'un patrimoine immatériel précieux. Les travaux de Ceebios et du CGDD rapporté dans *Biomimétisme en France, un état des lieux* en avril 2018 mettent en évidence que la France comprend déjà plus de 200 équipes de recherche et entreprises travaillant sur le biomimétisme.

Ci-dessous, la répartition thématique des équipes de recherche dont les travaux de recherche transdisciplinaires portent sur la compréhension et la transposition de phénomènes biologiques à d'autres disciplines.

Répartition thématique des acteurs académiques (~200 équipes de recherche)



Crédits Ceebios

TÉMOIGNAGES DE LA TABLE RONDE DES ACTEURS DE LA RECHERCHE

Synthèse des acteurs de la recherche & de l'enseignement :

Les chercheurs reconnaissent que le biomimétisme est un excellent levier de valorisation de la recherche vers le monde industriel. Cependant la logique de pluridisciplinarité vient à l'encontre du système de recherche « de pointe », duquel dépendent notamment l'organisation des laboratoires et des attributions de bourses via l'ANR. Il faut que le biomimétisme se diffuse transversalement dans les départements sans oublier le rôle du biologiste et l'intégration de profils divers.

Laurent BILLON

Université de Pau et des Pays de l'Adour
Directeur adjoint de l'Institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux (IPREM)

M. Billon est impliqué dans une nouvelle formation de biomimétisme axée sur les matériaux. Dans la logique d'intégration de profils différents, il **préconise de ne pas oublier les sciences sociales dans les projets biomimétiques**. Cela passerait entre autres par une **restructuration de la recherche et de l'enseignement**.

Stéphane VIOLLET

Université Aix-Marseille
Directeur adjoint de l'Institut des sciences du mouvement (ISM)

M. Viollet a étudié pendant 20 ans la vision des insectes et il a notamment entrepris de développer un capteur passif mis en bout de pâle des hélicoptères, une technologie anticollision inspirée de l'œil de la mouche. Il indique que pour **favoriser le développement du biomimétisme** dans son domaine, c'est au niveau de l'ANR qu'il faut créer un **programme associé à des mots clés** pour travailler spécifiquement sur le biomimétisme.

Jérôme CASAS

IUF (Institut universitaire de France)
Membre senior

Le biomimétisme nécessite encore un **saut en maturité dans la façon de l'enseigner** car la matière est encore novatrice, selon M. Casas. Il rajoute que pour tout projet nécessitant une telle pluridisciplinarité (avec une symétrie obligatoire entre ingénieurs et biologistes), il faut prévoir une certaine **alchimie entre membres d'équipe** et un **temps de développement de minimum 3 ans**.

Jian-Sheng SUN

Muséum national d'Histoire naturelle
Directeur du département Adaptations du vivant, directeur scientifique de la mission Bio-Inspire-Muséum

M. Sun travaille au Muséum dont la **richesse de ses collections naturelles et documentaires** (et au-delà à travers son réseau européen et international) constitue un **gisement fascinant et inépuisable pour la bio-inspiration** à tous les niveaux d'organisation. L'accès aux **bases de données de modèles et de système sbiologiques**, enrichies de connaissances scientifiques et socio-culturelles de leur histoire et écosystème, constitue un autre **levier indispensable et facilitera le développement du biomimétisme pour l'ensemble de ces acteurs**.

Geneviève SENGISSEN

ENSCI – Les Ateliers
Responsable formation continue

Mme Sengissen est responsable d'une **des premières formations diplômantes créées en France en biomimétisme et design**, le mastère-post diplôme *Nature Inspired Design*. Elle fait remarquer que **le principal obstacle**, pour établir un tel cursus dans le paysage de formation actuel, **est le système de pensée organisé en silos, alors que le sujet est transversal**. Ce qui a pour conséquence de **rendre difficiles les référentiels professionnels** du type RNCP (Répertoire national des certifications professionnelles) et par effet de cascade, **l'accès aux fonds de formation** pour les personnes qui désirent se former sur ces nouveaux champs professionnels, ou **l'accès à des fonds de recherche**.

Les industriels

La France dispose d'équipes (écoconcepteurs, scientifiques, architectes, designers, ...), plus d'une **centaine d'entreprises** (GG, ETI, PME, start-up, cabinets de conseil et d'idéation), engagées dans cette démarche, dans tous les secteurs et près de 500 M€ levés par des start-up depuis 2015.

TÉMOIGNAGES DE LA TABLE RONDE DES INDUSTRIELS

Synthèse des industriels :

Le biomimétisme suscite effectivement l'intérêt des industriels qui souhaitent désormais aligner les impératifs écologiques avec la nécessité économique. Néanmoins, les freins auxquels ils font face semblent être de nature organisationnelle et culturelle. Ce sont le plus souvent les départements R&D qui s'emparent du sujet et ils peinent à se faire accompagner d'une véritable politique interne de financement avec une feuille de route clairement établie. Cette dernière doit intégrer la pluridisciplinarité et le découplage inhérent au sujet.

Olivier GRABETTE

Rte
Directeur général adjoint,
Prospective, Expertise & Solutions

Rte par sa gestion du réseau de transport d'électricité est sensible au biomimétisme par l'interaction physique de son réseau avec la nature (ex. raccords marins) et son intérêt pour la transition énergétique. M. Grabette a à cœur de développer des **technologies intégratrices, régénératrices de biodiversité et non prédatrices**. Rte mène une réflexion d'innovation transversale interne par le biomimétisme et envisage de préfigurer un chantier de filière Biomimétisme et Énergie.

Florence DUFRASNES

Airbus Defence & Space
Vice-présidente Technical Authority

Mme. Dufrasnes rappelle que le **biomimétisme est, pour l'aéronautique, naturel voire fondateur**. Airbus développe ou implémente déjà des **innovations bio-inspirées** (*winglets*, effet *riblet*, *morphing*, *fellow fly*, etc.) mais souligne que des progrès sont encore à faire dans l'organisation actuelle de l'entreprise et le **rapprochement des métiers pour une meilleure capitalisation et un partage plus fréquent des innovations**. La rencontre entre **biologistes et ingénieurs** est nécessaire à l'émergence de projets bio-inspirés.

Laurent GILBERT

L'Oréal
Directeur groupe Innovation durable

Le biomimétisme est d'ores et déjà intégré à une feuille de route stratégique de R&D-Innovation chez L'Oréal. Leur engagement les a amenés à développer au sein du groupe **un noyau dur moteur d'innovation biomimétique, les Biomim'Angels** (cycles de formation pour les métiers, développement en continu de la méthodologie etc.). L'objectif étant d'essaimer une démarche en interne au sein de toutes les directions. **Le biomimétisme est un levier majeur pour répondre à leurs engagements de développement durable** et notamment pour alimenter la réflexion sur la raison d'être des entreprises (par exemple à travers le concept de « **société à missions** »).

Antonio MOLINA

Mäder
Président directeur général Mäder,
Ancien président de Ceebios

M. Molina, en sa qualité d'ancien président de Ceebios, indique que l'essor du biomimétisme comme **approche stratégique**, permettant de garantir une **supériorité technologique pour la France**, est conditionné à un effort en matière d'**engagements de moyens provenant de l'État**.

Nathalie MERCIER-PERRIN

Naval Group
Directrice du développement collaboratif et open-innovation des projets de R&D

En 2019, Naval Group a investi plus de 100 millions d'euros en R&D dont une partie dans le biomimétisme, notamment dans un **rotor innovant à haut rendement** ou une **peinture intelligente**. Pour Mme Mercier-Perrin, les impératifs économiques, énergétiques et écologiques doivent être intégrés côte à côte dans une feuille de route et il faut **agir de manière découplée et agile pour favoriser l'essor du biomimétisme dans l'industrie**.



Crédits France Stratégie

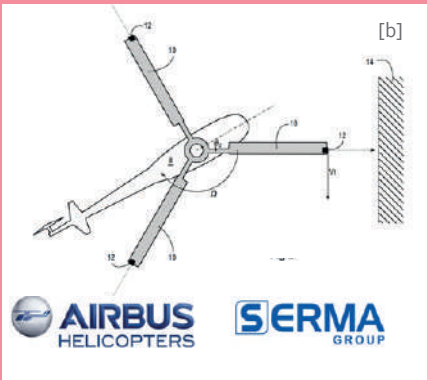
Cas d'illustrations

Des ETI et des start-up françaises intègrent des innovations bio-inspirées, notamment pour le secteur de la défense, de l'aéronautique, du maritime et de la sécurité nationale.

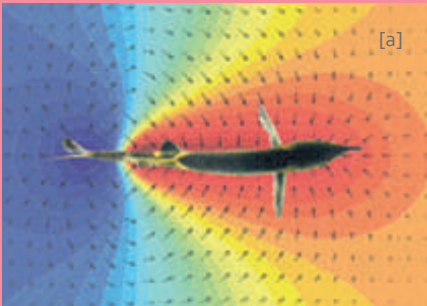


Serma Group

Par Georges BAILLEUL, Directeur R&T

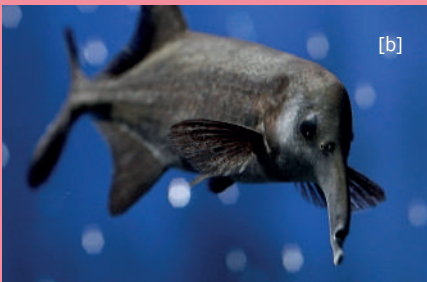


Serma Group est un équipementier aéronautique expert dans les systèmes électroniques embarqués. Sa collaboration avec Airbus ainsi que son activité de facilitateur industriel qui comprend entre autres la miniaturisation de capteurs ou autres systèmes avioniques a tout naturellement poussé l'entreprise à s'intéresser aux **champions biologiques de l'aéronautique miniature : les insectes**. Avec Airbus Helicopters et l'ISM Marseille (Institut des sciences du mouvement), un projet de conception et développement d'un **système anticollision pour hélicoptère** a été mené et est déjà bien avancé. Ces capteurs en bout de pâles sont inspirés de la vision de la mouche drosophile et viennent palier les problèmes de vision périphérique. Ce projet s'inscrit par ailleurs dans le dispositif **RAPID de la DGA** (Direction générale de l'armement) qui a pour but d'aider à subventionner des projets de recherche industrielle ou de développement expérimental intéressant le secteur de la défense. Le biomimétisme vient donc répondre à des **besoins opérationnels et de performance**.



Elwave

Par Pierre TUFFIGO, PDG



Elwave développe une technologie sous-marine de capteurs effectifs dans un environnement où les solutions classiques (vision et écho-location) sont inefficaces. Leur technologie est inspirée du « **sens électrique** » des **poissons nageant en eaux turbides**. Ces poissons Mormyridés qui génèrent à tout instant un champ électrique à 360° grâce à des organes spécialisés, sont capables ainsi de détecter les perturbations de ce champ et de se représenter en 3D leur environnement (obstacles, prédateurs etc). Cette technologie en plus d'**augmenter les facultés capacitaires d'engins sous-marins**, par exemple pour détecter des mines, **n'entraîne pas de pollution acoustique** qui a tendance à impacter la faune marine.

a. Drosophilamelanogaster, CC Kruczy89
b. © S. Viollet, F. Colonnier, E. Vanhoutte (2017), *Système de la mesure de la distance d'un obstacle par flux optique*, brevet n°100995FR avec extension PCT
c. © Von der Emde, Institut für Zoologie - uni-bonn
d. Gnathonemus petersii, Sunshine Acuario - CC Openpage

Synthèse des défis des parties prenantes

Aussi nous pouvons retenir un certain nombre d'interrogations qui restent en suspens dans l'esprit des différentes parties prenantes du biomimétisme, notamment en ce qui concerne son champ sémantique, son financement ou bien encore des méthodes de transposition.



LE BIOMIMÉTISME, UNE DISCIPLINE ?

Réfléchir comme un biologiste pour un ingénieur BTP, automobile, aéronautique ou de structure, est un défi. Il s'agit aussi de maîtriser les lois de la physique, de la chimie, de l'acoustique, etc. La capacité à sortir de son cadre disciplinaire est fondamentale pour trouver des technologies bio-inspirées performantes. On reconnaît là les véritables ressorts de l'innovation, qu'elle relève du biomimétisme, du numérique ou de la construction.

Toutefois, le biomimétisme n'est pas jusqu'à aujourd'hui considéré par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESRI), comme une discipline à part entière, car la démarche pour la plupart des chercheurs, bien qu'adossée à des développements scientifiques, est plutôt apparentée à une méthodologie.

On peut donc retenir la caractéristique première du biomimétisme, la pluridisciplinarité (ou multidisciplinarité) et son interdisciplinarité (ou transdisciplinarité).

- Le biomimétisme est pluridisciplinaire car il répond à des problématiques inhérentes à diverses disciplines (ex. chimie).
- Le biomimétisme est interdisciplinaire car il est transversal et permet d'associer des disciplines et des métiers variés pour une fertilisation croisée des connaissances : scientifiques, ingénieurs, biologistes, designers, architectes, etc.

LE BIOMIMÉTISME, UNE FILIÈRE ?

Le biomimétisme n'est pas non plus une filière dans l'acceptation usuelle du terme par la Direction générale des entreprises (DGE) au ministère de l'Économie et des Finances, car il répond de façon transversale à des enjeux de filières existantes.

Autant de points d'étonnement restant à clarifier pour favoriser pleinement l'essor du biomimétisme en France qui ont été synthétisés en 5 grands défis soumis à l'atelier d'idéation :

- 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 ?

4. Idéation & préconisations

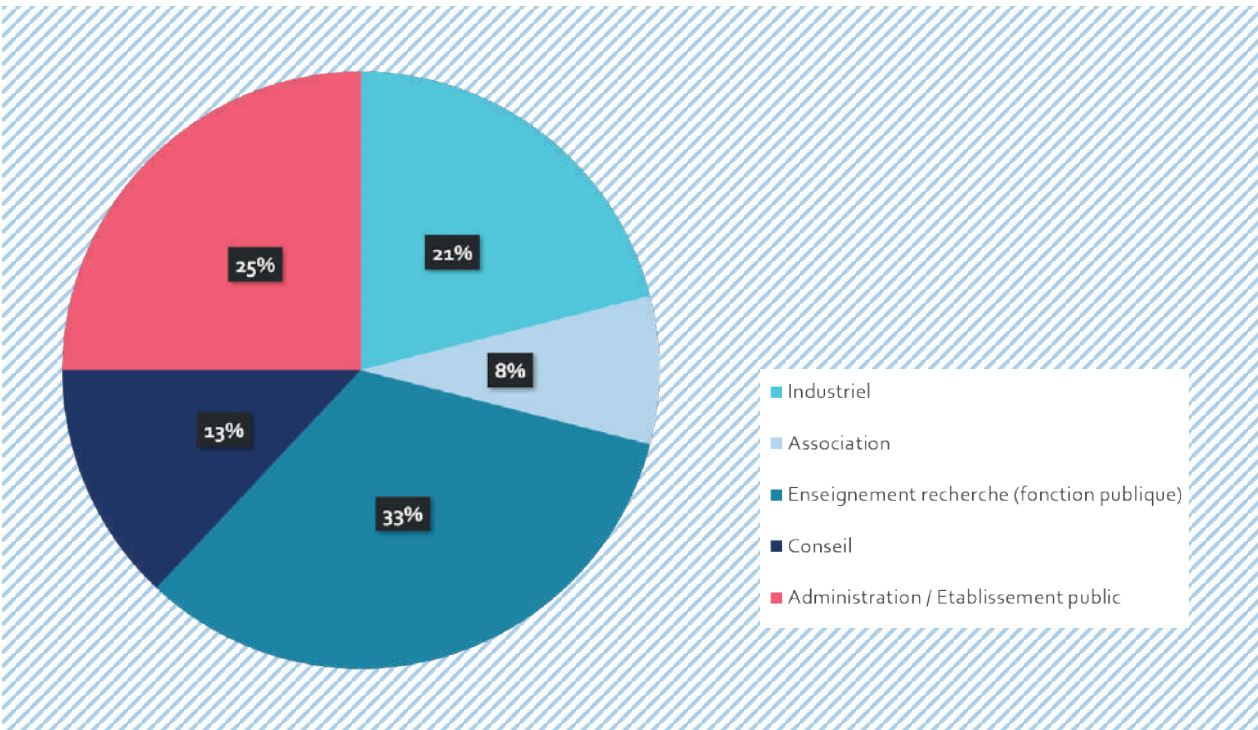
a. Présentation de l'atelier d'idéation

La journée s'est poursuivie l'après-midi par un atelier d'idéation afin de dégager des préconisations favorisant la mise en place du biomimétisme en France. Des binômes de travail ont été constitués (24), accompagnés par le cabinet de design de politiques publiques Vraiment Vraiment.

Les binômes ont échangé autour de 5 défis identifiés au préalable par Ceebios et Myceco.

L'échantillon des participants est relativement représentatif des parties prenantes du biomimétisme comme on peut le voir sur le graphique ci-dessous.

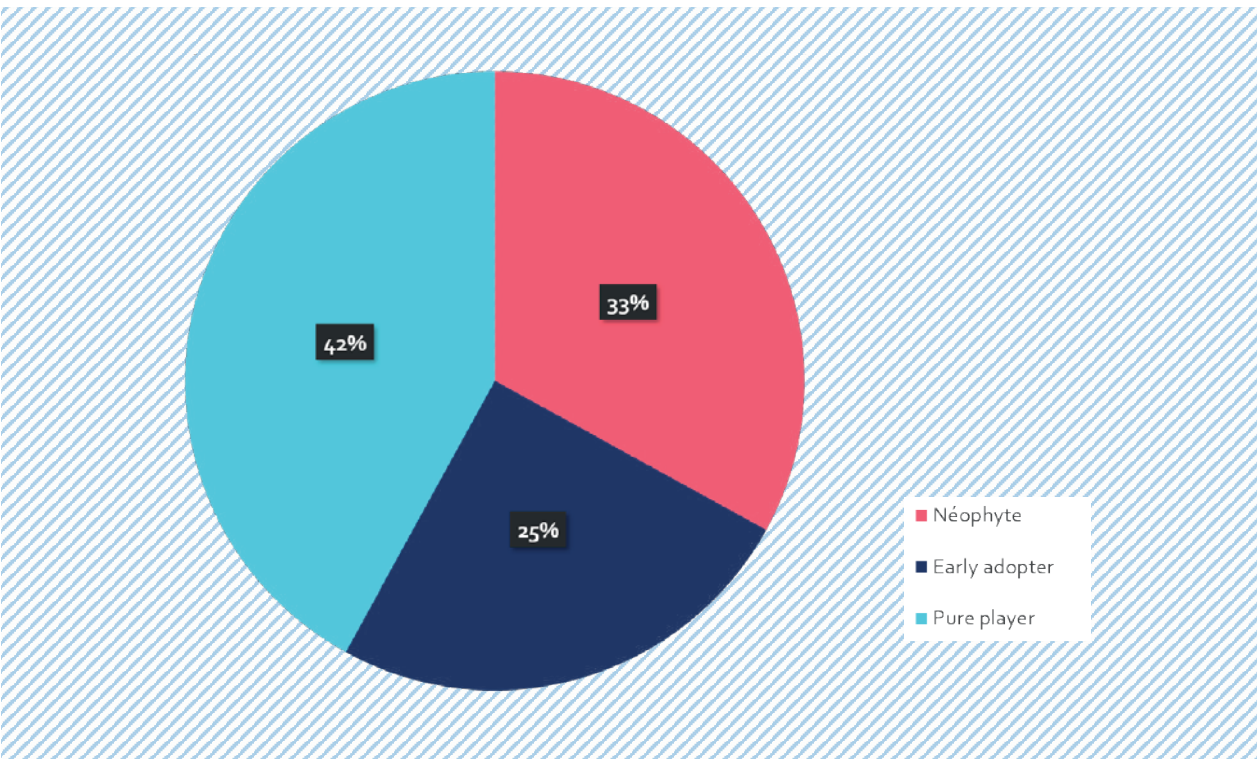
Répartition intervenants par type de domaine (48 personnes)



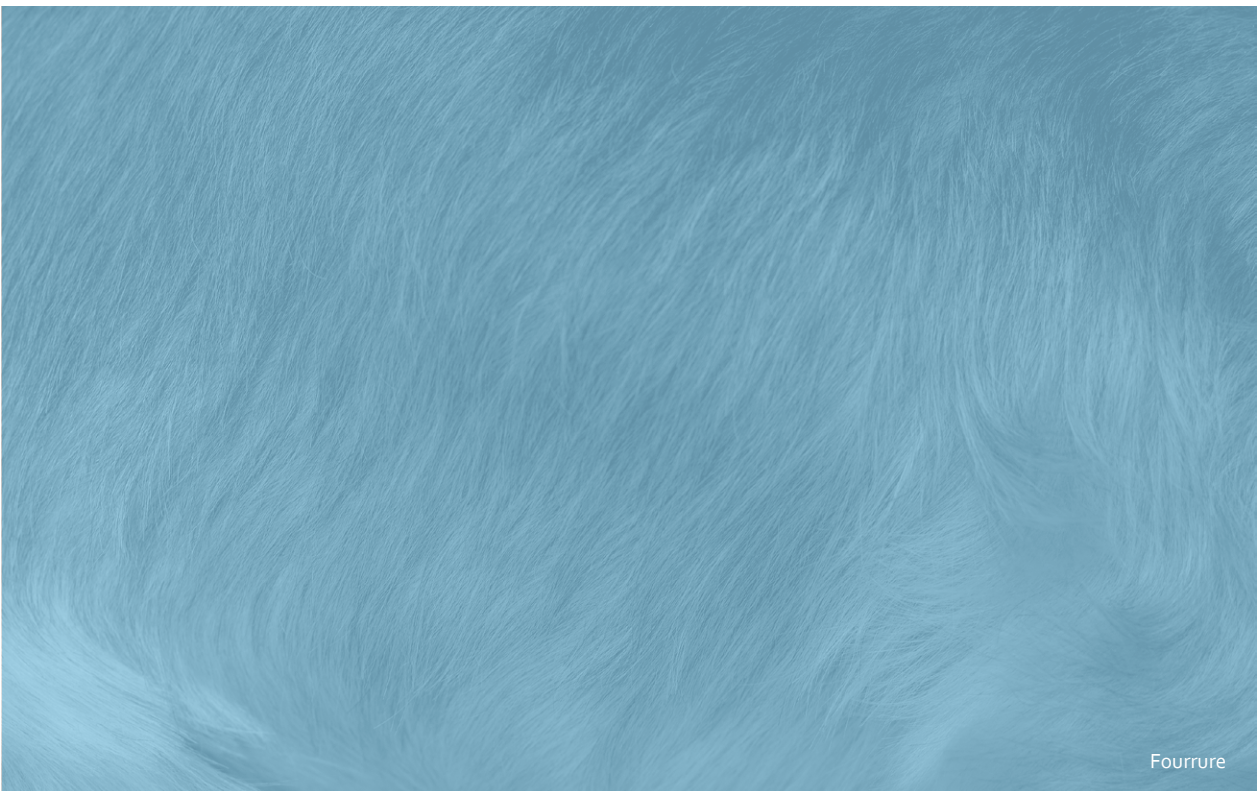
Crédits Myceco

Il était également intéressant de noter que les parties prenantes pour certaines étaient néophytes sur le sujet.

Répartition intervenants par taux d'acculturation (48 personnes)



Crédits Myceco

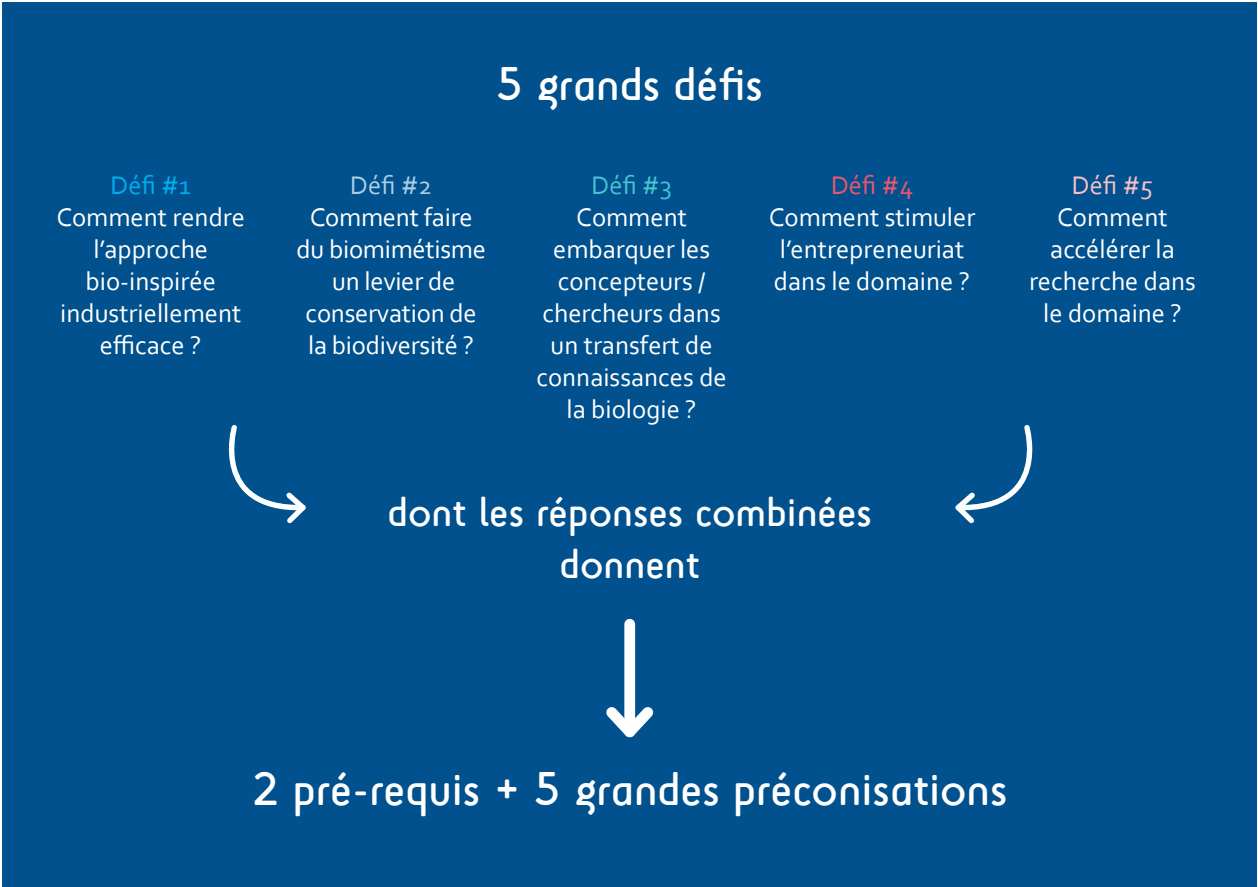


Fourrure

b. Synthèse de l'atelier

Ainsi il apparait qu'il nous faille standardiser la nomenclature et la méthodologie afin de surmonter la confusion causée par les nuances des différents termes et notions autour du biomimétisme. Le biomimétisme, comme concept unique et formalisé ainsi que ses externalités positives, pourront alors être partagés par toutes les parties prenantes dans des programmes d'ampleur pilotés au niveau stratégique et financés à hauteur des potentialités du biomimétisme pour la transition écologique. Il nous faut par ailleurs structurer le nouvel écosystème d'acteurs autour de structures nationales (à déclinaisons régionales) comme Ceebios, qui pourront apporter un support technique et théorique au sein de plateformes physiques d'expérimentation.

Cet écosystème sera de fait plus à même de se développer et de se faire connaître grâce d'une part à la communication auprès des industriels, des acteurs politiques et des citoyens, et d'autres part grâce à l'émergence et la promotion de formations scolaires de niveau master traitant du biomimétisme ou celles de niveaux antérieurs enseignant les concepts fondateurs du biomimétisme (écologie, sobriété, pluridisciplinarité etc.). Mais le biomimétisme passe également par des actions terrains de citoyens (ex. sciences participatives) et par des structures qui sont dans l'action pratique et de bon sens (artisans, agriculteurs, etc.).



PRÉ-REQUIS A : 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.

PRÉ-REQUIS B : CONSOLIDER LES EXTERNALITÉS POSITIVES DU BIOMIMÉTISME D'UN POINT DE VUE SOCIO-ÉCONOMIQUE

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.

PRÉCONISATION #1 : FIXER LES MÉTHODES & LES OUTILS

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.

- **En réponse au défi #1 :** 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.
- **En réponse au défi #2 :** 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 ».
- **En réponse au défi #3 :** 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.
- **En réponse au défi #4 :** 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 start-up 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 optimisé pour favoriser l'essor de l'entrepreneuriat. Les start-up qui ont réussi doivent être étudiées pour la mise en place de la méthode. Il faut aussi réfléchir au modèle d'entreprise (par exemple entreprise à mission)³⁵ pour valoriser l'effort du biomimétisme dans la transition écologique.

• **En réponse au défi #5** : la méthodologie standardisée permettrait de mettre la recherche au service d'un objectif clairement défini et piloté. 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.

PRÉCONISATION #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, 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 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 Biomim'expo^{15b}, pourrait être une manifestation de la valorisation d'une telle plateforme.

• **En réponse au défi #1** : Cette plateforme permettrait d'expérimenter les méthodes les plus adaptées aux impératifs industriels (mise en œuvre opérationnelle), lien entre conception-développement-production.

• **En réponse au défi #2** : Meilleure connaissance du vivant par l'obtention de données ce qui favoriserait la protection de la biodiversité.

• **En réponse au défi #3** : Cette plateforme permettrait de fédérer et stocker l'ensemble des acteurs du biomimétisme : 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 vice versa.

• **En réponse au défi #4** : La plateforme pourrait faire office de lieu physique de rencontre et d'émulation autour de entrepreneuriat biomimétique : faire un générateur de start-up (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.

• **En réponse au défi #5** : Valoriser et faire connaître les détenteurs de la connaissance biologique, majoritairement issus du monde académique aux entrepreneurs, industriels etc.

PRÉCONISATION #3 : INCLURE LE BIOMIMÉTISME DANS UNE VISION D'AMPLEUR, PARTAGÉE ET FINANCÉE

Il faut démontrer que le biomimétisme répond aux enjeux climatiques, de biodiversité et de transition énergétique. À ce titre, il doit être reconnu et inclus dans les stratégies et 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 performances et la compétitivité du biomimétisme est nécessaire pour le positionner au cœur des dispositifs, par exemple une étude d'analyse de cycle de vie (ACV) mettant en évidence le bien-fondé des projets biomimétiques.

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.

15. Trois conditions pour pouvoir publiquement faire état de sa qualité de société à mission :

• Une raison d'être au sens de l'article 1835 du Code civil dans sa rédaction issue de la loi PACTE.

• Une « mission » autrement dit un ou plusieurs objectifs sociaux et environnementaux que la société se donne pour mission de poursuivre dans le cadre de son activité.

• Un « comité de mission » qui est en charge du suivi de l'exécution de la mission.

15b. NewCorp Conseil, <https://biomimexpo.com/>

• **En réponse au défi #1** : 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 : écolabel/ fiches DPE/réglementation)

• **En réponse au défi #2** : 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.

• **En réponse au défi #3** : Mettre en place des programmes collaboratifs entre chercheurs, concepteurs et leur permettre de travailler ensemble dans un cadre privilégié.

• **En réponse au défi #4** : Une vision cohérente du biomimétisme est plus à même d'inspirer les entrepreneurs et les talents dans un souci d'innover de manière durable.

• **En réponse au défi #5** : Le biomimétisme nécessite de chercher autrement, de favoriser le pluridisciplinaire dans la recherche (équipes mixtes, association de laboratoires), d'orienter les bourses, les financements les thèses CIFRE etc. L'essor du biomimétisme se joue donc en grande partie au niveau stratégique.

PRÉCONISATION #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. L'émergence de nouvelles formations d'études supérieures (que 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.

• **En réponse au défi #1** : 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.

• **En réponse au défi #2** : On ne protège bien que ce que l'on connaît bien. Le biomimétisme permet l'exploration et l'enseignement du vivant dans un souci de protection. L'enseignement du vivant dès le plus jeune âge et les sciences participatives favorisant l'implication des citoyens sont nécessaires pour développer un réflexe de prise en compte de la nature. L'écoute de ceux qui « font » sur le terrain (pratiques agricoles raisonnées, économie circulaire, etc.) participe également de l'apprentissage.

• **En réponse au défi #3** : La formation au biomimétisme doit produire des profils qui ont la capacité de mettre en relation (linguistique, technique, etc.) les chercheurs et les concepteurs.

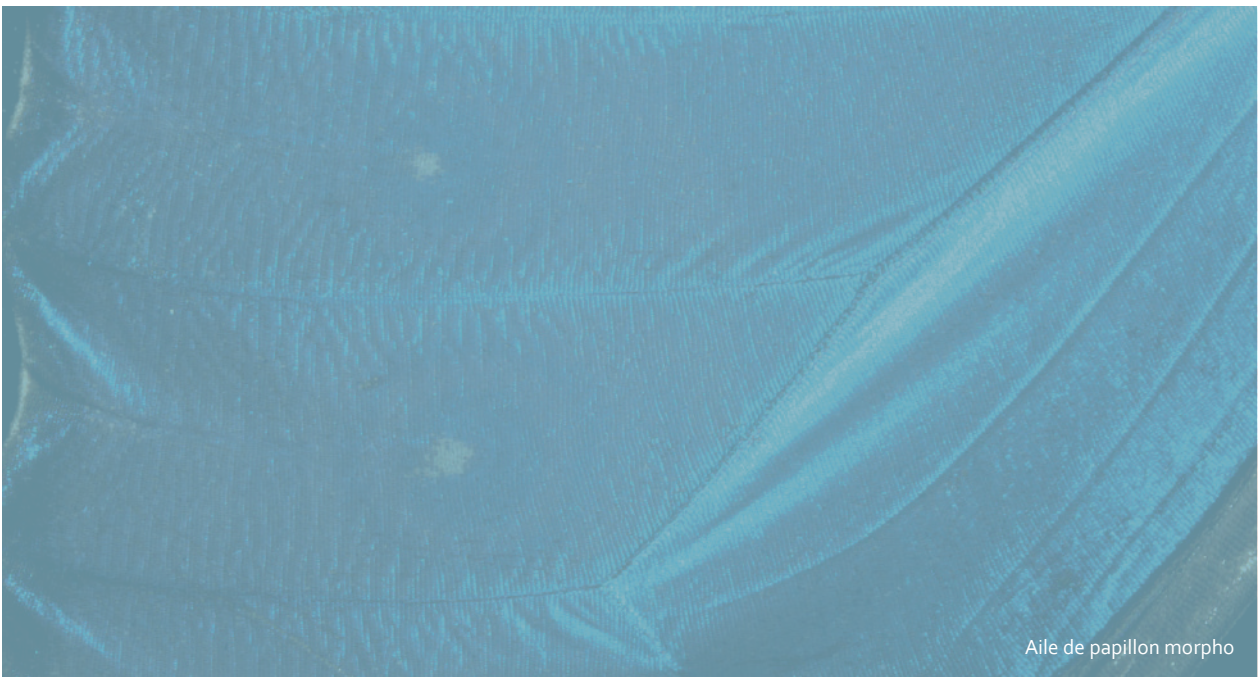
• **En réponse au défi #4** : Il faut mettre en place des formations de management adaptées aux projets biomimétiques (gestion d'équipe pluridisciplinaire, problématiques multi-échelle, management économique, environnemental et social...)

• **En réponse au défi #5** : 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.

PRÉCONISATION #5 : SENSIBILISER & COMMUNIQUER SUR LE BIOMIMÉTISME

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.

- **En réponse au défi #1** : 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 la génération d'un réflexe d'innovation par le biomimétisme visible des instances dirigeantes dans les entreprises, participeront de l'acculturation progressive.
- **En réponse au défi #2** : 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 sert le même objectif. S'ils sont absents, il faut les mettre en place au niveau régional.
- **En réponse au défi #3** : 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.
- **En réponse au défi #4** : Lancer des défis (ex. sous forme de scénario de *design fiction*) auprès d'agences d'innovation dans les secteurs respectifs (énergie, agriculture, architecture, défense, etc.).
- **En réponse au défi #5** : Il faut mener des actions de lobbying auprès des écoles (grandes écoles d'ingénieurs, de commerce, d'architecture, etc.) et valoriser les initiatives des écoles pionnières. Dans ce sens, il faudrait identifier une liste des établissements d'enseignement *greenlabel* qui font du développement durable spécifiquement. Il est nécessaire de valoriser la recherche dans les médias, auprès du public et des politiques en racontant des histoires de recherches intelligibles et désirables se déclinant en produits biomimétiques. Les acteurs potentiels les plus concernés sont ceux pour lesquels le biomimétisme est existentiel, à l'image des groupes industriels comme L'Oréal, Airbus, Rte, Saint Gobain, etc. Il peut être pertinent d'obtenir leur soutien dans la valorisation du biomimétisme en France.



c. Tableau de bord simplifié des défis, pré-requis & préconisations

- 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 ?

- ✱ Pré-requis A : Consolider les externalités positives du biomimétisme d'un point de vue environnemental
- ✱ Pré-requis B : Consolider les externalités positives du biomimétisme d'un point de vue socio-économique

Préco#1 Fixer les méthodes & les outils

- d#1 Accorder la méthode avec les impératifs industriels
- d#2 Standardiser pour suivre l'impact sur la biodiversité
- d#3 Fixer la sémantique pour faciliter les échanges
- d#4 Optimiser la méthode pour favoriser l'essor entrepreneurial
- d#5 Définir clairement le rôle de la recherche

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

- d#1 Expérimenter la mise en oeuvre industrielle
- d#2 Améliorer la connaissance du vivant pour le protéger
- d#3 Confronter les points de vue par l'expérimentation
- d#4 Mettre en relation les acteurs & les accompagner
- d#5 Valoriser les détenteurs de la connaissance biologique

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

- d#1 Définir la démarche comme solution compétitive pour la transition écologique
- d#2 Démontrer l'apport du biomimétisme à la biodiversité
- d#3 Installer les programmes collaboratifs chercheurs/concepteurs
- d#4 Acculturer & inspirer les entrepreneurs
- d#5 Orienter & aménager l'attribution des bourses de recherche

Préco#4 Construire le système éducatif du biomimétisme

- d#1 Définir une formation de management de projet biomimétique
- d#2 Élargir l'enseignement sur l'importance de la biodiversité
- d#3 Former des profils passerelles entre concepteurs & chercheurs
- d#4 Enseigner les spécificités du management des projets biomimétiques
- d#5 Faire connaître le biomimétisme dans les cursus pré-doctoraux (master 1, 2, etc.)

Préco#5 Sensibiliser & communiquer sur le biomimétisme

- d#1 Approcher les industriels avec des solutions à leurs problématiques
- d#2 Valoriser les projets biomimétiques de sauvegarde du vivant
- d#3 Valoriser la recherche sur le vivant auprès des concepteurs
- d#4 Lancer des défis dans des agences d'innovation
- d#5 Promouvoir les établissements d'enseignement & recherche sur le vivant

Conclusion

Ceebios, structure catalysant les compétences au niveau national, et Myceco, cabinet de conseil jouant un rôle de facilitateur auprès des parties prenantes publiques et industriels, sont des acteurs engagés autour du biomimétisme et de son essor. Grâce à cette journée de travail avec France Stratégie, ils ont enrichi la lecture des opportunités à saisir et des verrous à faire sauter progressivement pour favoriser le déploiement du biomimétisme en France.

Résumé des atouts et faiblesses du biomimétisme :

ATOUTS	FAIBLESSES
Capital naturel et géographique : <ul style="list-style-type: none">• 10% de la biodiversité mondiale• 2^e espace maritime mondial• 1^{er} espace sous-marin mondial	Confusion sémantique « méthode, filière et discipline » : Identification et valorisation peu aisées
Multidisciplinarité : cœur de l'innovation	Interdisciplinarité & transversalité
Patrimoine académique : <ul style="list-style-type: none">• 200 équipes de recherche• 70 millions spécimens & documents au MNHN	Domaine encore réservé aux scientifiques, chercheurs, spécialistes
Un catalyseur national reconnu par l'écosystème	Manque de financements publics Structuration du réseau incomplète
Des technologies éprouvées PME+ industriels pionniers	Méthodologie non standardisée

Résumé des opportunités et freins du biomimétisme :

OPPORTUNITÉS	FREINS
Investissements des puissances étrangères dans le biomimétisme (États-Unis, Allemagne, Chine, Suisse, Japon, etc.)	Manque de financement de la recherche de façon générale et des approches transversales en particulier
Performances écologique + opérationnelle + économique	Manque d' outils opérationnels , (méthodologie de transposition, outils de fouille de la donnée, plateforme mutualisée de caractérisation des matériaux, etc.) d'outils réglementaires, et d'outils de mesure d' externalités
Prise en compte récente des enjeux sociétaux par les pouvoirs publics et les industriels	Pas encore inclus dans les grands programmes de transition écologique ni dans les politiques publiques
Accélération technologique : <ul style="list-style-type: none">• 3D printing + Fab AD• Écoconception favorisée par un cadre réglementaire	« Vallée de la mort » de l'entrepreneuriat (montée de TRL) et frein réglementaire potentiel sur les matériaux
Engouement pour la fertilisation croisée de compétences entre Industriels et la recherche = innovation incrémentale améliorée et de rupture accélérée	Non conforme aux logiques encore trop verticalisées des politiques publiques , du monde de la recherche et du système éducatif (ex. pluridisciplinarité) : peu de programmes aux budgets fléchés
PIA ATF + Apparition récente dans les agendas Acteurs publics et filières : Nouvelle-Aquitaine, CGDD, COP 2019-2023 CNRS, SNR, CNES, <i>deeptech</i> , etc.	Acculturation encore faible : politiques et absence d'écologues et de biologistes chez les industriels (filières encore sous valorisées)
Développement des sciences participatives Sciences du vivant = sciences du XXI ^e siècle, dans un souci de reconnexion avec notre environnement Potentiel émerveillement et de réconciliation entre recherche/enseignement/industries/citoyens/territoires	Écologie & biomimétisme : combat similaire pour changer les paradigmes vers une résilience de la planète nécessitant une révision totale des modèles de croissance et des modèles d'affaires

Le biomimétisme est ainsi une approche pluridisciplinaire qui permet de s'inspirer du vivant et de son ingéniosité pour concevoir des innovations durables dans tous les secteurs d'activité.

La France dispose d'un capital intellectuel et naturel inestimable : la donnée biologique issue de son actif biodiversité et géographique, la troisième plus grande collection de spécimens mondiale grâce au MNHN, 200 équipes de recherches, des champions industriels pour certains pionniers dans le domaine et un tissu dynamique de PME.

Le biomimétisme représente en outre un potentiel socioéconomique des territoires, des acteurs publics et des entreprises au service de la lutte contre le changement climatique et plus généralement de la transition écologique.

En effet, le biomimétisme est ainsi une réponse aux enjeux sociétaux et aux défis stratégiques du pays, c'est un vecteur de promesses en termes de :

- Performance environnementale (réduction empreintes énergétiques et chimiques, réponses ODD, etc.) ;
- Performance et d'efficacité opérationnelles (augmenter la résistance, la robustesse, la vitesse, etc.) ;
- Performance économique (création d'emplois sur le territoire, génération de PME *deeptech*, etc.) ;

Pour étayer ce positionnement, il faudra avec des moyens fléchés impulsés par les acteurs publics, continuer à établir et apporter la preuve des externalités positives du biomimétisme en termes environnementaux par des méthodes probantes, à mesurer les retombées socio-économiques et à faciliter l'appropriation et la démocratisation du biomimétisme par des outils opérationnels.

Son développement pourra, en outre, avoir plus d'impact social en promouvant des projets de science participative, qui intègrent les citoyens dans la démarche en tant que contributeur (ex. renseigner des informations sur une base concernant des espèces observées). Le biomimétisme sera en cela un formidable outil mis au service de la protection de la biodiversité, car on ne protège que ce l'on connaît. Le développement d'une « filière » professionnelle et apprenante en biomimétisme nous incitera à mieux explorer le vivant et ses potentialités pour mieux la protéger.

Le biomimétisme est ainsi le syncrétisme de tous les espoirs. Il réconcilie écologie et croissance sobre et soutenable, nous préparant à la résilience d'une nation. Il porte en lui la promesse d'un enchantement des jeunes générations, d'une planète régénérée, régénérative et sûre, pour un futur souhaitable à toutes les espèces animales, végétales, fongiques, ou bactériennes.

L'agenda 2030 comprend des enjeux mondiaux de développement durable auxquels, pour la plupart, le biomimétisme a le potentiel de répondre. Pour ce faire, la promotion du biomimétisme doit maintenant s'accélérer. Il apparaît clair qu'à l'issue des échanges entre parties prenantes qu'il faut inclure dans les plans d'action de recherche et d'innovation des projets transversaux bio-inspirés. Ceebios doit aussi poursuivre son action de structuration de l'écosystème. Il est certes difficile de rompre la logique de silos et de modifier nos organisations (notamment pour la Recherche) selon des thématiques sociétales. Mais des initiatives comme le OnePlanet Lab du Président Macron peuvent venir émuler les processus d'innovation et le paysage entrepreneurial qui permettent l'essor de disciplines novatrices.

Thomas LESUEUR
Commissaire général au
Développement durable
MTES





A n n e x e s

Point sémantique

Plusieurs acteurs font du biomimétisme aujourd’hui en France et l’on a vu qu’historiquement, bien des innovations pourraient être considérées comme biomimétiques. Cependant, tous ne mettent pas le même sens sur la sémantique utilisée, ce qui rend la structuration et le dialogue de l’écosystème compliqués.

Otto Schmitt (1913-1998) est le premier à avoir utilisé le terme américain biomimetics en 1969 sous la définition de « une science de l’utilisation de données sur le fonctionnement de systèmes biologiques pour résoudre des problèmes d’ingénierie ».

Le terme biomimicry est lui employé la première fois dans un article scientifique rédigé par Merrill et Connie Lange en 1982 (*Biomimicry of the dioxygen active site in the copper proteins hemocyanin and Cytochrome Oxidase*, Rice University). C’est ce terme que Janine Benyus popularise dans son livre de 1997 *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* et y ajoutant la nécessité que l’innovation soit soutenable par nature. Janine Benyus définit le biomimétisme donc ainsi : « une nouvelle science qui étudie les modèles et processus biologiques et ensuite les imite ou s’en inspire pour résoudre des problèmes humains ». Elle développe dans ce livre un ensemble de « principes du vivant » qui se veulent définir le cahier des charges du monde durable de demain, conçu par la démarche biomimétique. Le cadre apporté par Janine Benyus est fondateur et fait aujourd’hui majoritairement office de référence au sein de l’écosystème du biomimétisme. Cependant on peut lire d’autres termes et d’autres interprétations.

Les mots « bio-inspiration », « biomimétique », « biomimétisme », « bionique », « biotechnologie », « bioingénierie » prêtent à confusion et on pourrait ajouter à cette liste le mot écomimétisme. Pour faciliter l’emploi et la bonne compréhension des notions, entre 2011 et 2017, des travaux ont abouti à 3 normes ISO et une norme expérimentale AFNOR.

Normes

Ces normes, du côté français portées par Ceebios, sont dans la continuité des travaux de Janine Benyus. La norme ISO définit le biomimétisme ainsi : « philosophie et approches conceptuelles interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable (social, environnemental et économique) » en omettant le côté méthodologique de la démarche, de la même manière que l’écoresponsabilité de la biomimétique n’est pas obligatoire.

Cependant, les acteurs de l’écosystème s’accordent à dire que la bio-inspiration nécessite une méthodologie pour la rendre pertinente aux yeux de l’industrie et de servir au développement durable pour la mettre en phase avec les enjeux mondiaux actuels. C’est pourquoi Ceebios définit et promeut le biomimétisme comme une bio-inspiration écoresponsable à méthodologie. Il faut garder en tête que les normes ISO et AFNOR ne fournissent qu’un cadre de travail et n’ont pas vocation à contraindre ou imposer la définition, tel qu’un label pourrait le faire.

D’autres définitions et cadres sont proposés par des acteurs proches de l’écosystème Ceebios comme l’éditeur de l’écologie pratique Terre vivante ou la Fondation pour la recherche sur la biodiversité.

Ces divergences sont relevées par Lauren Kamili, doctorante EHESS/ADEME en anthropologie, qui fait partie de celles et ceux qui ouvrent la marche sur les interrogations éthiques autour du biomimétisme, notamment la remise en question des travaux fondateurs de Janine Benyus ou la logique utilitariste de la nature au sein la démarche. Plusieurs autres approches dans le domaine de l’anthropologie interrogent les relations entre imitation, techniques et conceptions de la nature (Pitrou, Dalsuet & Hurand 2015, Fisch 2017, Kamili 2019, Meyer & Pitrou 2019).

La communauté du biomimétisme intègre par ailleurs d’autres approches selon les interlocuteurs et les effets d’aubaine :

- Le bio-usage/sourcing (ex. mycorémédiation des sols pollués par des champignons) ;
- Le biocontrôle (ex. utilisation d’auxiliaires biologiques vivants comme des coccinelles ou de substances chimiques naturelles comme des phéromones pour lutter contre les ravageurs).

L’utilisation des services d’organismes vivants ne relève pas en soit du biomimétisme mais la démarche amont de recherche d’organismes d’intérêt par le biais de la transposition du monde technologique au monde biologique inclue certains de ces projets dans le biomimétisme (ex. Hemarina).

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

Date: 2015-01-26
ISO 18458:2015(F)
ISO/TC 266/SC /GT 1
Secrétariat: DIN
Biomimétique — Terminologie, concepts et méthodologie

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

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

Date: 2016-06-03
ISO/FDIS 18457
Secrétariat: DIN
Biomimétisme — Matériaux, structures et composants biomimétiques

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

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

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

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

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

Ainsi qu'**une norme expérimentale** AFNOR

XP X42-502
Date: 2017-03-08
Biomimétisme - Intégration de la biomimétique dans les démarches d'éco-conception

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

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

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

Focus normatif, extrait de *Biomimétisme en France*, Ceebios, juillet 2018

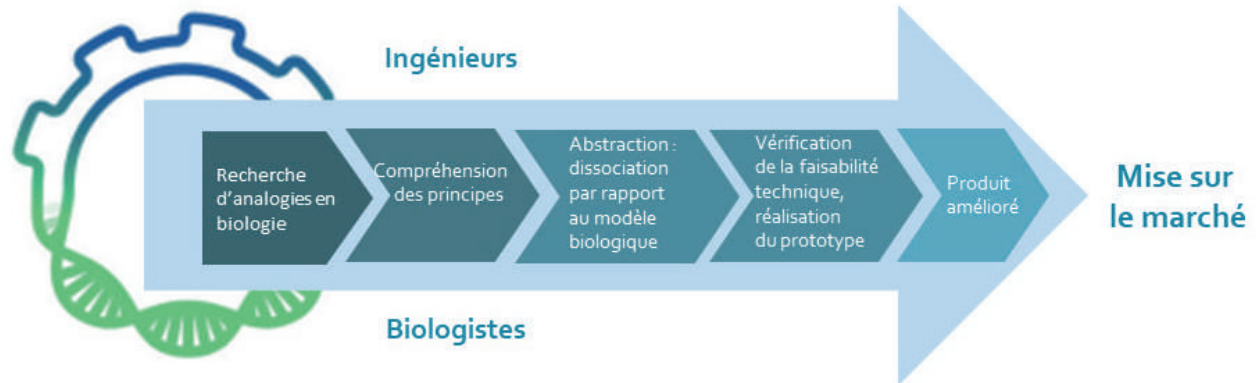
64

65

Méthode de transposition

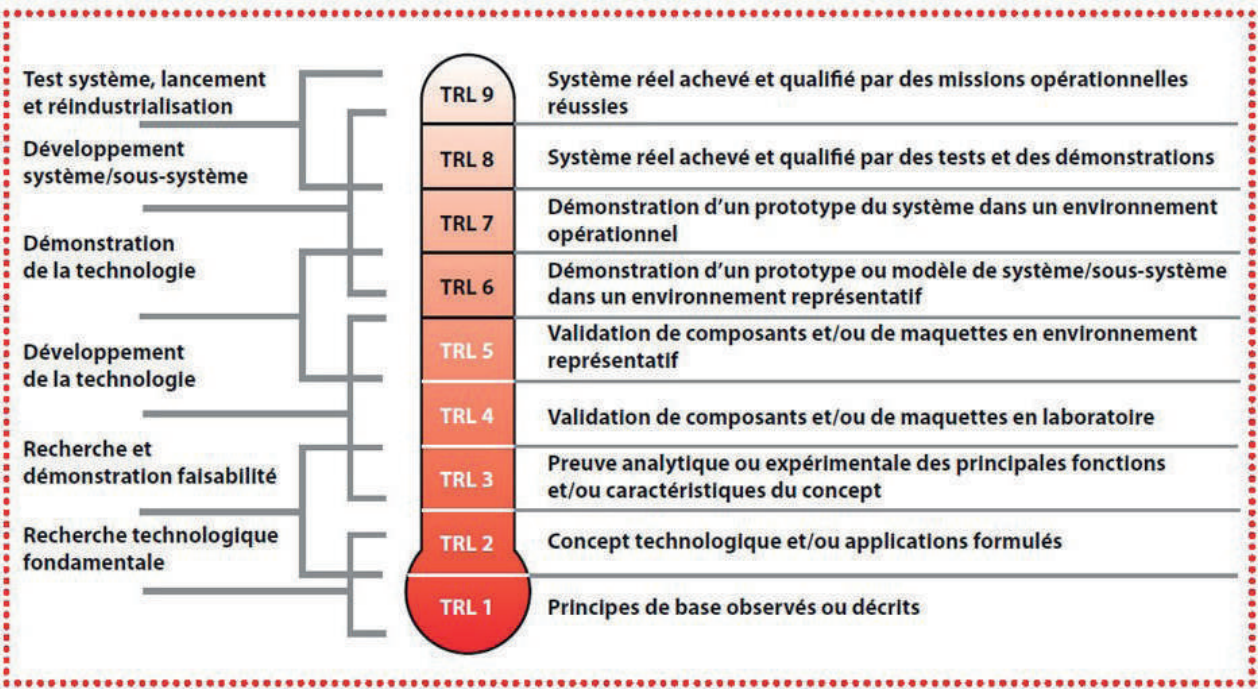
Des méthodes de transposition ont été élaborées par Ceebios, les acteurs de la recherche et les industriels pour faire travailler ensemble biologistes et ingénieurs sur des projets opérationnels destinés au marché. Des travaux méthodologiques sont en cours et on peut citer notamment le doctorat de P.E. Fayemi (*Innovation par la conception bio-inspirée : proposition d'un modèle structurant les méthodes biomimétiques et formalisation d'un outil de transfert de connaissances*, 2016) ayant permis un état de l'art structurant dans le domaine.

La transposition méthodologique du vivant au produit



Niveau de maturité technologique

TRL (Technology Readiness Level)



Source : « Quelques explications sur l'échelle des TRL d'après le plan stratégique de recherche & technologie de défense et de sécurité - dga 2009 »

Table des sigles

- CESE Conseil économique, social et environnemental
- CGDD Commissariat général au développement Durable
- MTES ministère de la Transition écologique et solidaire
- CEEBIOS Centre d'études & d'expertise en biomimétisme
- ADEME Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
- CNRS Centre national de la recherche scientifique
- ANR Agence nationale de la recherche
- ODD Objectifs développement durable
- SNR Stratégie nationale de la recherche
- AID Agence innovation défense

Biographies par ordre d'intervention

BÉRENGÈRE MESQUI, ORGANISATRICE

Bérengère Mesqui est directrice du département Développement durable et numérique de France Stratégie. Diplômée de l'École Polytechnique et de l'ENSAE, Bérengère Mesqui a travaillé à la Dares et au Trésor, avant de rejoindre le CGDD sur les questions d'économie de l'environnement.

PATRICIA RICARD, GRAND TÉMOIN

Patricia Ricard est présidente de l'Institut océanographique Paul Ricard, situé sur l'île des Embiez (Var). Cette association loi de 1901, fondée en 1966 par l'industriel Paul Ricard, a pour vocation de connaître, faire connaître et protéger la mer. De 2010 à 2015, Patricia Ricard a siégé au Conseil économique, social et environnemental (CESE), au titre de la protection de la nature et de l'environnement. En 2015, elle y présente le rapport voté à l'unanimité : *Le biomimétisme : s'inspirer de la nature pour innover durablement*. Depuis 2017, Patricia Ricard fait partie du comité de pilotage de la Plateforme océan et climat, dont l'Institut est membre fondateur, en tant que porte-parole. En 2017, Patricia Ricard devient membre de l'Explorer Club de New York. En 2019, Patricia Ricard est nommée cheffe de file de la délégation française, par le Président Emmanuel Macron, dans le cadre du Sommet des deux rives (juin 2019, Marseille).

CHRYSTELLE ROGER, ORGANISATRICE ET MODÉRATRICE TABLES RONDES 1 ET 3

Présidente Fondatrice de Myceco

De formation École de commerce et titulaire d'un mastère Développement durable et stratégie RSE ISIGE/École des MinesParisTech, Chrystelle Roger a occupé des postes de Partner Associée ou Executive Sponsor au sein de cabinets de Management Consulting et d'ESN (KPMG, Accenture, Capgemini, Econocom...) auprès des grands comptes de la sphère publique et de la Défense & Industrie aéronautique, principalement sur des fonctions de stratégie de développement sectoriel. Face aux nouveaux défis de sociétés nécessitant une réinvention des modèles d'entreprises et de croissance, Chrystelle Roger a décidé de créer en 2019 Myceco, cabinet de conseil en innovation de rupture bio-inspirée et en numérique responsable.

KALINA RASKIN, ORGANISATRICE

Directrice Générale de Ceebios

Ingénieure physico-chimiste et docteure en biologie, Kalina Raskin a d'abord promu le biomimétisme pour l'innovation responsable au sein de l'agence Paris région entreprises. Elle contribue au développement de l'association Ceebios, réseau national de compétences en biomimétisme, depuis 2014. Son ambition est de positionner la France en pionnier du développement du biomimétisme comme outil de la transition écologique, réconciliant biodiversité, innovation et économie.

Table ronde 1 : Industriels

ANTONIO MOLINA

De formation scientifique, Antonio Molina a un passé de chercheur au CNRS, Antonio est PDG de Mäder Group et de plusieurs autres groupes et instituts de recherche. Il a été président de Ceebios jusqu'en 2020. Il est aussi président du pôle de compétitivité EuraMaterials. Mäder Group est une entreprise de dimension internationale, de 850 salariés, qui fabrique des peintures, des revêtements et des structures composites.

NATHALIE MERCIER PERRIN

Nathalie Mercier-Perrin, diplômée de management général à l'ESSEC, a collaboré au sein du groupe ECS et de l'ESSEC en tant que directrice générale des alumni avant de rejoindre en 2000 Naval Group ex DCNS pour diriger le processus de transformation de trois sites industriels du groupe en centre de profit.

En 2013, elle est à l'origine de la création du regroupement des équipes de recherches et d'innovation du groupe qui se sont installées au technocampus Océan à Nantes, le premier d'une série en cours d'ouverture (Australie et Singapour). La création de ces plateformes ou centres de recherches s'inscrit dans les outils de développement collaboratif et d'open innovation du groupe.

Nathalie Mercier-Perrin est également auditeur IHEST, elle en retient chaque jour combien le développement une culture partagée des relations science-société les participants acquièrent une nouvelle façon de manager des situations complexes et incertaines.

OLIVIER GRABETTE

Olivier Grabette est Directeur général adjoint, Prospective, expertise et solutions, membre du Directoire Rte depuis 2015.

Diplômé de l'École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace et titulaire d'un DEA en automatique, il a occupé de nombreuses fonctions dans l'ingénierie des réseaux de transport d'électricité en France et à l'étranger (EDF), avant de rejoindre les activités de maintenance de Rte en 2002. À partir de 2006, il occupe différentes fonctions de management au Centre national d'expertise réseau de Rte. En 2012, il crée la direction de la R&D de Rte. Depuis 2014, il accompagne la présidence de Rte dans le pilotage du chantier Réseaux électriques intelligents (Smartgrids).

FLORENCE DUFRASNES

Après plus de 20 ans dans le secteur des équipementiers et opérateurs télécoms, puis 5 ans en qualité de responsable Ingénierie système dans le secteur Services sur infrastructures spatiales d'Astrium, Florence Dufrasnes occupe la position de responsable Excellence technique au sein de l'Ingénierie de la division Defence & Space du groupe Airbus.

À ce titre, son équipe analyse les nouvelles tendances réglementaires et sociétales susceptibles d'impacter la gamme de produits de la division ; elle en dérive de nouvelles exigences, recommandations, moyens de conformité et formations ~ solutions de développements de compétences et les fournit aux équipes en charge de développer et délivrer les avions militaires, satellites, réseaux de communications et l'ensemble des produits du portefeuille d'Airbus Defence & Space.

LAURENT GILBERT

Laurent Gilbert est agrégé de Sciences physiques de l'École normale supérieure de Saint-Cloud et a obtenu un doctorat en Chimie organique de l'Université de Paris-Sud en 1987. Laurent Gilbert a rejoint Rhône Poulenc, où il a travaillé dans différents domaines de recherche et a dirigé le centre de recherche américain de Rhodia pendant trois ans.

En 2002, Laurent Gilbert a rejoint L'Oréal comme responsable du Département international des matières premières, puis a assuré la responsabilité mondiale du développement des nouveaux ingrédients venant de collaborations externes ou ceux développés en interne. En 2011 il a pris la responsabilité du développement international de la Recherche avancée.

Actuellement, Laurent Gilbert dirige l'équipe de la Recherche environnementale et du développement durable et coordonne la mise en œuvre des engagements d'innovation durable du groupe dans le cadre de son programme *Sharing Beauty with All*.

Table ronde 2 : Enseignement-recherche

TARIK CHEKCHAK, MODÉRATEUR

Directeur du pôle Biomimétisme de l'Institut des futurs souhaitables et expert associé de PIKAIA.

Il a été pendant 12 ans directeur Sciences & Environnement de l'Équipe Cousteau. Ingénieur écologue de formation, il a une formation initiale de biologiste et de spécialiste de la gestion intégrée des milieux naturels, prenant aussi bien en compte les aspects socio-économiques que naturels et culturels. Mais il est également l'un des pionniers en France de la promotion du biomimétisme, approche visant à stimuler l'émergence d'innovations au service de la transition écologique et inspirées de l'observation des systèmes vivants. Il développe des méthodes d'écoconception biomimétique qu'il enseigne dans une variété d'institutions publiques et privées.

LAURENT BILLON

Professeur à l'Université de Pau & des Pays de l'Adour où il enseigne la Science des polymères. Il est directeur adjoint de l'IPREM UMR 5254 et anime un groupe de chercheurs autour des matériaux bio-inspirés en étudiant leur fonctionnalité et leur capacité d'auto-assemblage. Les domaines d'applications de ces recherches se situent dans le domaine des cosmétiques et de la santé mais aussi des nouvelles énergies. Il est coordinateur du projet européen eSCALED dont la thématique est la photosynthèse artificielle. L'objectif est de synthétiser des carburants solaires, l'hydrogène ou des molécules carbonées comme briques de construction de la chimie (méthanol, acide formique ...).

JÉRÔME CASAS

Jérôme Casas est professeur des universités, classe exceptionnelle, exerçant à l'université de Tours et est membre de l'Institut universitaire de France. Il est le récipiendaire de la chaire d'excellence CARNOT/LETI en technologie bio-inspirées (<http://www.leti-cea.com/cea-tech/leti/english/Pages/Applied-Research/Chair%20of%20Excellence/Carnot-Chair-Excellence.aspx>). Il a animé des consortia internationaux en bio-inspiration basés sur l'étude des insectes, en particulier les poils senseurs de flux et leur implémentation en MEMS. Il fait partie du directorat de BIONIKON-The International Biomimetics Association (Berlin) et du comité de sélection du Bionic Award (<https://www.bionic-award.com/>) et organise le second Intl. workshop on Insect bio-inspired microtechnologies (<https://insect-bio-inspired-microtechnology.insight-outside.fr/>) en novembre 2019.

GENEVIÈVE SENGISSEN

Designer industrielle, enseignante certifiée, diplômée de l'ENSCI – Les Ateliers. Elle a créé et dirigé l'agence de design Adéquat, puis été directrice de la veille chez Creacar cabinet d'innovation, et design manager chez Design office. Présidente du syndicat professionnel de la FEDI, elle collabore la à défense et à la promotion du design en étant trésorier du Centre de design Rhône Alpes et en siégeant au CA de l'ENSCI – Les Ateliers. Elle dirige pour la DGCIS l'étude sur la formation continue en design de 2010. En parallèle, elle enseigne au DSAA de la Martinière à Lyon. En 2007, elle monte le département de formation continue de l'École de design de Nantes Atlantique, et poursuit la collaboration comme porte-parole de la direction à Paris. Directrice de l'ISD Valenciennes en 2013, elle se tourne vers le professorat en 2014 et les sciences de l'éducation. Depuis 2017, elle assure la programmation et le développement du département de formation continue de l'ENSCI – Les Ateliers.

JIAN-SHENG SUN

Biophysicien de formation, ayant un double parcours public (25 ans au Muséum national d'Histoire naturelle) et privé (10 ans, PDG de DNA Therapeutics) ; directeur du département Adaptations du vivant qui s'intéresse au fonctionnement du vivant à toutes les échelles d'organisation, de molécules, gènes, jusqu'aux communautés écologiques ; directeur scientifique de la mission *Bio-Inspire-Muséum* qui coordonne et met en synergie les activités bio-inspirées du MNHN en lien avec d'autres acteurs nationaux, européens et internationaux.

STÉPHANE VIOLLET

Stéphane Viollet, Directeur de Recherche au CNRS, est responsable de l'équipe Biorobotique et directeur adjoint de l'Institut des sciences du mouvement à Marseille (CNRS/Aix-Marseille Université). Ses intérêts scientifiques concernent l'étude des réflexes sensori-moteurs chez la mouche, les capteurs optiques bio-inspirés, les stratégies de pilotage de robots inspirées de l'insecte et récemment les robots Origami. Il a participé au développement du premier œil composé artificiel inspiré de l'œil de la drosophile (projet européen CurvACE).

Table ronde 3 : Acteurs publics

IMAN BAHMANI-PIASECZNY

Diplômée d'un doctorat international en sciences agronomiques de l'Université Massey en Nouvelle-Zélande et de l'Institut Polytechnique de Lorraine, Iman Bahmani-Piaseczny a été chercheuse pendant 2 ans à l'INRAE UMR Nancy Colmar sur l'élaboration d'indicateurs environnementaux permettant d'évaluer les impacts environnementaux des pratiques agricoles sur les pâturages destinés à l'élevage bovin.

Forte de son expertise et de son expérience, Iman Bahmani-Piaseczny a intégré l'ADEME Picardie, en tant que responsable agriculture et experte en environnement/agronomie. Elle a contribué, au développement des systèmes de management environnemental collectifs adaptés au monde agricole, l'adaptation du référentiel RSE en agriculture et bien d'autres sujets relatifs à la bioéconomie (méthanisation, efficacité énergétique, produits et matériaux biosourcés...).

Elle est passée par la fonction de coordinatrice du pôle Économie circulaire en 2010 et experte en bioéconomie, puis suite à la fusion des régions, elle est devenue coordinatrice du pôle Recherche/Innovation/Investissement d'avenir pour l'ADEME Hauts de France. Elle contribue à la déclinaison de la stratégie RDI de l'ADEME à l'échelle de la région Hauts de France et coordonne une équipe de 16 ingénieurs thématiques sur les sujets de la transition énergétique et écologique. Depuis peu, elle a en charge la mise en œuvre d'un programme d'actions dans le cadre d'une convention nationale ADEME/Ceebios sur le déploiement national du biomimétisme, en tant que référente à l'ADEME du biomimétisme

FRANCK MARESCAL (COLONEL)

Directeur de l'Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie nationale. Diplômé d'une école d'ingénieur en science de l'information, il a aussi obtenu le master en traitement du signal à Telecom ParisTech. Durant sa carrière, il a occupé des postes à responsabilités à l'Institut de recherche criminelle de la gendarmerie (le laboratoire des experts) comme chef de département ou de division. Il a eu aussi l'opportunité de commander des unités territoriales de gendarmerie, et en particulier le département de la Loire. Il a créé l'Observatoire central des systèmes de transports intelligents et a dirigé un bureau dédié à la cybersécurité à l'Inspection générale de la Gendarmerie nationale. Il est aussi chevalier de l'Ordre national du mérite et chevalier de la Légion d'honneur.

FRANÇOIS SPIERO

Après ses diplômes d'ingénieur en France et de Ph.D. (Doctorat) dans le domaine spatial aux États-Unis, François Spiero rejoint en 1990 le centre de recherche de l'Agence Spatiale Européenne aux Pays-Bas. Son travail est alors essentiellement dans les domaines de la science (missions lunaires et martiennes) et de l'observation de la Terre (satellite Envisat). Fin 1997, François Spiero rejoint le siège du CNES à Paris pour s'occuper d'affaires européennes dans ces mêmes domaines. En 2004, il devient le responsable des vols habités au CNES. À ce titre, il défend les intérêts de la France dans les programmes de la Station spatiale Internationale et de l'exploration habitée de la Lune et de Mars. Il est notamment le responsable programmatique de la mission PROXIMA de l'astronaute français Thomas Pesquet en 2016-2017. Après cette mission, François Spiero anime un groupe d'anticipation sur les futures bases humaines sur la Lune et Mars. En 2019, il devient responsable de la prospective spatiale au CNES.

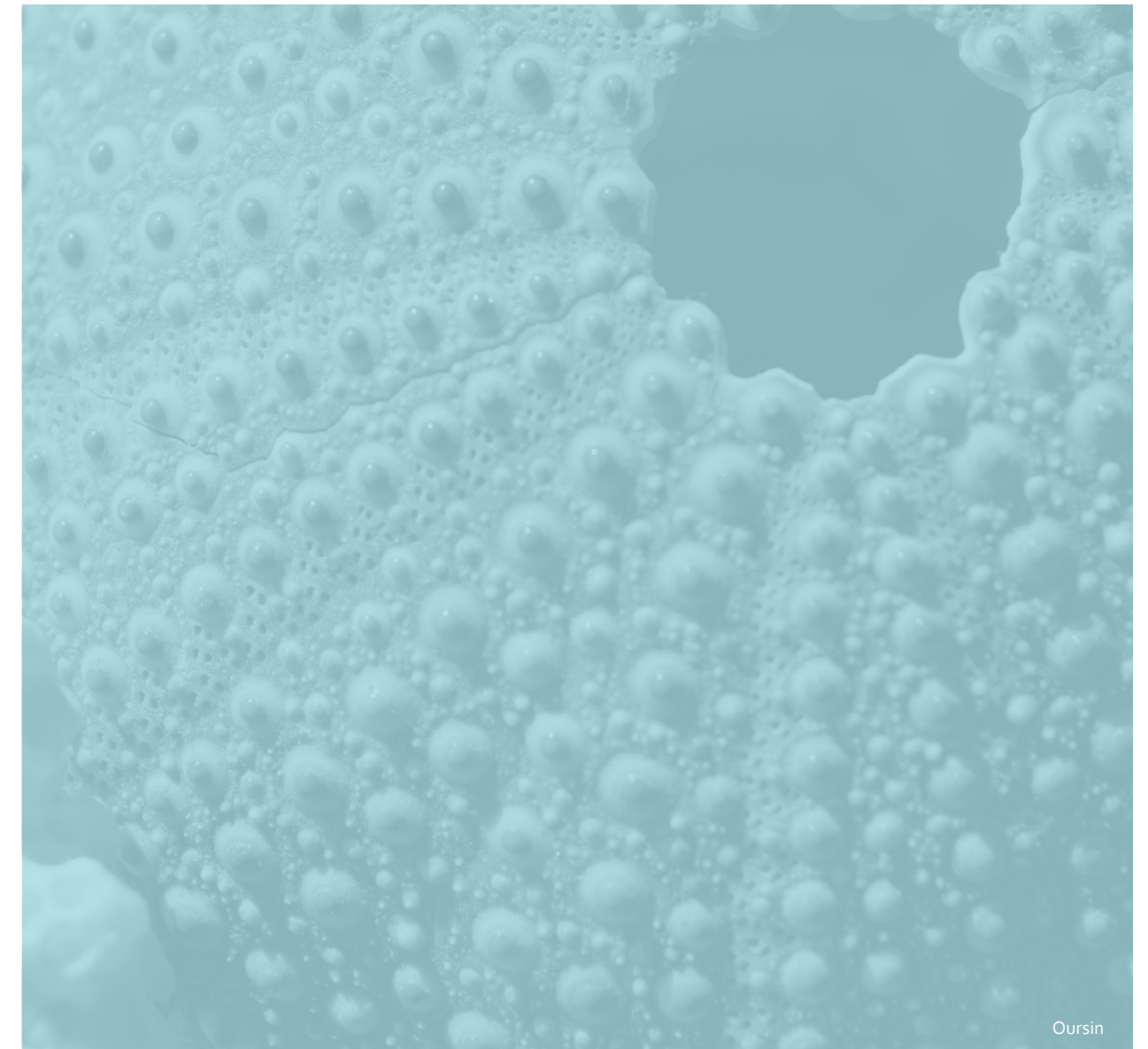
NICOLAS THIERRY

Vice-président de la région Nouvelle-Aquitaine, auteur de l'ouvrage *Se réconcilier avec le vivant*, historien et sociologue de formation.

Clôture

THOMAS LESUEUR

Nommé le 30 avril 2019 en qualité de commissaire général et délégué interministériel au Développement durable, Thomas Lesueur est conseiller référendaire à la Cour des comptes. Après une première partie de carrière d'officier de l'armée de l'air, Thomas Lesueur est devenu magistrat de la Cour des comptes en 2005. Promu conseiller référendaire en 2007, il a exercé les fonctions de secrétaire général de la Cour de discipline budgétaire et financière de 2008 à 2011. Détaché de 2011 à 2013 dans les services du Premier Ministre, il a été nommé chef du service Pilotage et maîtrise des risques à la direction interministérielle des Systèmes d'information et de communication. De 2013 à 2017, il a exercé la fonction d'adjoint au directeur des services judiciaires, au ministère de la justice. De 2017 à 2019, il a été directeur de cabinet adjoint du ministre d'État, ministre de la Transition écologique et solidaire.



Oursin

Tableau de bord complet des pré-requis et préconisations

		Défi #1	Défi #2		Défi #3	Défi #4	Défi #5
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 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 ».		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.	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'entrepreneariat 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'entrepreneariat. 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.	la méthodologie standardisée permettrait de mettre la recherche au service d'un objectif clairement défini et piloté. 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.
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'émulation pour l'entrepreneariat, 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.		Cette plateforme permettrait de fédérer et stocker l'ensemble des acteurs du biomimétisme : 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> .	La plateforme pourrait faire office de lieu physique de rencontre et d'émulation autour de l'entrepreneariat 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.	Valoriser et faire connaître les détenteurs de la connaissance biologique, majoritairement issu du monde académique aux entrepreneurs, industriels etc.
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 incluse 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 biomimétique, 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.		Mettre en place des programmes collaboratifs entre chercheurs, concepteurs et leur permettre de travailler ensemble dans un cadre privilégié.	Une vision cohérente du biomimétisme est plus à même d'inspirer les entrepreneurs et les talents dans un soucis d'innover de manière durable.	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.
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 (que 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.		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.	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 ...).	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.
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'État (Défense, Ecologie/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 sert le même objectif. S'ils sont absents, il faut les mettre en place au niveau régional.		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.	Lancer des défis auprès d'agences d'innovation dans les secteurs respectifs (Energie, Agriculture, Architecture, Défense, etc) .	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.

RESTITUTION DE LA JOURNÉE DE TRAVAIL
« Biomimétisme » du 29 novembre 2019
chez France Stratégie
– Ceebios, Myceco –

RÉDACTEURS
Myceco : Chrystelle Roger, Félix Guéguen
Ceebios : Kalina Raskin, Chloé Lequette

2020

Polices utilisées : Spin Cycle OT, SciFly, Corbel
Crédits des icônes utilisées : Freepik & Flaticon

