

# Séminaire « Soutenabilités »

## Contribution - Covid-19 : pour un « après » soutenable

**Nom :** Roger

**Prénoms :** Chrystelle

**Institution ou entreprise :** Myceco et Ceebios

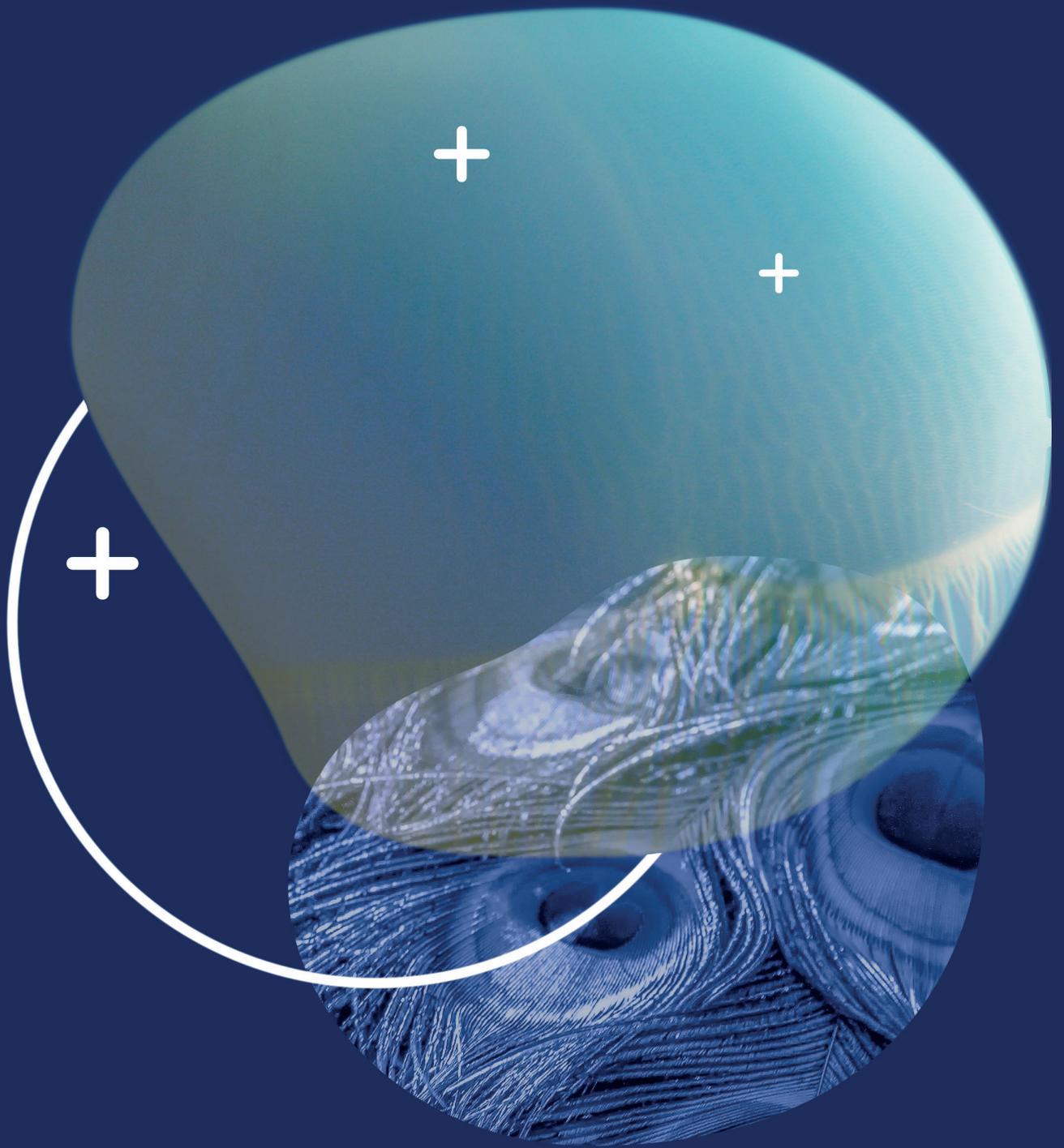
**Axe(s) :**

- Quelles interactions humains-nature, mondialisation et pandémies ?

**Intitulé de votre contribution :** Le biomimétisme comme levier de soutenabilité

**Résumé de votre contribution :**

La crise du Covid nous incite à repenser en profondeur les doctrines de soutenabilité par des leviers d'innovations inspirés de la résilience du vivant. Aussi le cabinet de conseil en biomimétisme Myceco et l'association Ceebios, ont choisi de répondre à l'appel à contributions pour un « Après soutenable » lancé par France Stratégie en particulier sur l'axe 1 : Quelles interactions humains-nature, mondialisation et pandémies ? Pour cela nous avons choisi de publier un extrait du rapport de la journée de travail sur le thème « Biomimétisme : quels leviers de développement et quelles perspectives pour la France ? » qui a eu lieu le 29 novembre 2019 chez France Stratégie réunissant des parties prenantes issues des mondes la recherche, de l'industrie, ainsi que des acteurs publics. Ce rapport en cours de finalisation sous dizaine sera soumis à la validation de France Stratégie pour y apposer notamment sa signature. Le biomimétisme est ainsi une approche pluridisciplinaire qui permet de s'inspirer du vivant pour concevoir des innovations durables dans tous les secteurs d'activité. Le biomimétisme nous pousse à explorer l'ingéniosité du vivant et constitue ainsi 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. Notre rapport comporte plusieurs axes de recommandations issus notamment de l'atelier d'idéation qui peuvent faire écho à des questions soulevées par France Stratégie dans son appel à contribution. Chrystelle ROGER (Myceco) & Kalina Raskin (Ceebios)



SUITE À LA JOURNÉE  
DE TRAVAIL CHEZ  
FRANCE STRATÉGIE

# Biomimétisme

Quelle contribution du biomimétisme  
pour un « après soutenable » ?



– Ceebios, Myceco –

*« La crise sanitaire que nous traversons, dont on peut à ce jour seulement entr'apercevoir les conséquences sociales, économiques, politiques et géopolitiques, nous oblige, comme l'a dit le président de la République le 12 mars dernier\*, à « interroger notre modèle de développement ». Elle a mis en lumière les fragilités, les vulnérabilités et les « failles\* » de ce modèle. [...]*

*Cela suppose de définir un horizon pour l'après : préparer un redémarrage qui tienne compte des erreurs du passé pour ne pas les reproduire, réévaluer nos priorités et nos besoins, avec le souci du long terme, dans le respect de nos engagements environnementaux, de nos libertés publiques, et de nos droits sociaux.*

*Dès lors qu'il ne s'agit pas de relancer le système à l'identique, un devoir d'imagination s'impose à nous. »*

---

## FRANCE STRATÉGIE

Appel à contribution - Covid-19 : pour un « après » soutenable

\*Emmanuel Macron, président de la République,  
Adresse aux Français, le 12 mars 2020.



## Écho à l'Appel de France Stratégie

- Quelles interactions humains-nature, mondialisation et pandémies ?
- Quelles attentes à l'égard de la puissance publique face aux risques ?
- Quelles interdépendances et quelles formes d'autonomie à différentes échelles ?
- Quel modèle social pour « faire avec » nos vulnérabilités ?
- Quelle voie pour une économie soutenable ?
- Quelles relations entre savoirs, pouvoirs et opinions ?
- Numérique : nouveaux usages, nouvelles interrogations

**Ces axes de l'Appel à contribution - Covid-19 : pour un « après » soutenable font écho aux préconisations issues de la journée de travail sur le biomimétisme organisée chez France Stratégie, et plus largement à la contribution du biomimétisme aux Objectifs du Développement Durable.**

## 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.

## 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'acceptation 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).

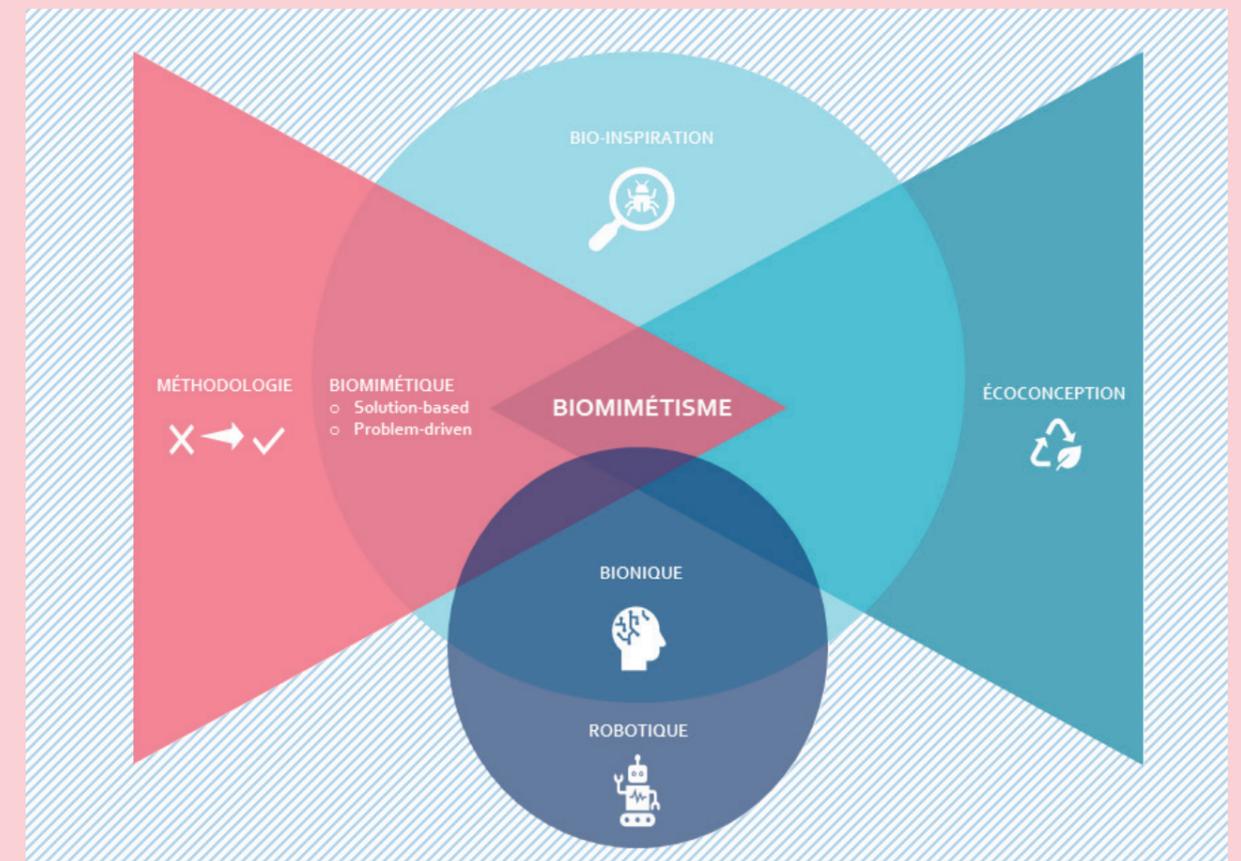


Schéma sémantique repris avec la permission de E. Graeff, LCPI, ENSAM - Crédits Myceco/Ceebios

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.

# Avant-propos

## La crise du Covid nous incite à repenser en profondeur les doctrines de soutenabilité par des leviers d'innovations inspirés de la résilience du vivant. Aussi l'association Ceebios et le cabinet de conseil en biomimétisme Myceco ont choisi de répondre à l'appel à contributions pour un « Après soutenable » lancé par France Stratégie en particulier sur l'axe 1 : Quelles interactions humains-nature, mondialisation et pandémies ?

Pour cela nous avons choisi de publier un extrait du rapport de la journée de travail sur le thème « **Biomimétisme : quels leviers de développement et quelles perspectives pour la France ?** » qui a eu lieu le 29 novembre 2019 chez France Stratégie réunissant des parties prenantes issues des mondes de la recherche, de l'industrie, ainsi que des acteurs publics. Ce rapport en cours de finalisation sous dizaine sera soumis à la validation de France Stratégie pour y apposer notamment sa signature. 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.

Notre rapport comporte plusieurs axes de recommandations issues notamment de l'atelier d'idéation qui peuvent faire écho à des questions soulevées par France Stratégie dans son appel à contribution : la soutenabilité de notre société.

### AXE 1 : QUELLES INTERACTIONS HUMAINS-NATURE, MONDIALISATION ET PANDÉMIES ?

#### QUESTION : COMMENT MIEUX PROTÉGER LES ÉCOSYSTÈMES ? EN FRANCE ET EN EUROPE, COMMENT LIMITER LES PRESSIONS SUR LA BIODIVERSITÉ ET LA DESTRUCTION DES ÉCOSYSTÈMES ?

Le cahier des charges du vivant repose sur des principes de performance, de sobriété et de durabilité. Il constitue un véritable socle d'innovation pour des domaines d'applications multiples dans des secteurs aussi variés que l'énergie, la construction et l'habitat, la mobilité, la cosmétique, la santé, l'automobile...

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 moins élevée ;
- D'utiliser **moins de matière** en ayant recourt par exemple à l'impression 3D ;
- D'obtenir des procédés industriels **moins polluants, moins coûteux en énergie, recyclables et régénératrices de biodiversité** : restauration des écosystèmes marins, surfaces autonettoyantes sans produits chimiques, système de détection anticorrosion, systèmes *antifouling*, dépollution des sols par les champignons, béton autocicatrisant).

**Le biomimétisme nous pousse à explorer l'ingéniosité du vivant et constitue ainsi 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.

#### QUESTION : COMMENT ACCÉLÉRER LA TRANSITION AGROÉCOLOGIQUE EN FRANCE ET EN EUROPE ? COMMENT ACCÉLÉRER LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE DE NOTRE SYSTÈME ALIMENTAIRE POUR MOINS IMPACTER NOTRE PLANÈTE ?

La démarche biomimétique en agriculture invite à s'inspirer des écosystèmes naturels pour constituer une approche qui se retrouve dans la permaculture, l'agro écologie, 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). Des **stratégies de biocontrôle des ravageurs** constituent des alternatives aux pesticides pour la protection des cultures.

#### QUESTION : DOIT-ON FAIRE ÉVOLUER NOTRE RAPPORT AU VIVANT ? COMMENT SORTIR D'UNE VISION UTILITARISTE DE LA NATURE ET INTÉGRER LA FINITUDE – C'EST-À-DIRE LA NON RENOUVELABILITÉ – DES RESSOURCES NATURELLES BIOLOGIQUES ?

Le biomimétisme nous permet de nous réconcilier avec « les vivants », de regarder la nature autrement avec respect « des biens communs ». Il permet à l'homme de « réapprendre » à en faire partie sans rapport « consumériste » et de prédation, dans une logique saine de circularité des flux. Le biomimétisme génère un potentiel d'émerveillement auprès des jeunes générations. Développer l'enseignement d'un biomimétisme éthique et responsable permettra de préparer les mentalités dès le plus jeune âge à la valeur de la nature.

Ainsi, 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.).

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 ou végétales.

L'extrait de notre rapport de la journée de travail peut répondre à plusieurs questions de différents axes. Nous avons choisi de présenter la synthèse des préconisations et la réponse du biomimétisme à 10 ODD susceptibles d'alimenter la réflexion.



# Note de conviction & synthèse des préconisations

## 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<sup>e</sup> siècle<sup>1</sup>, 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<sup>1b</sup>. Ces crises sanitaires et écologiques nous incitent davantage à adopter une pensée systémique dans une logique « OneHealth »<sup>2</sup> 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.**<sup>3</sup>

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](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>

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 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 international<sup>4</sup>.

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<sup>e</sup> siècle fut l'âge d'or de la chimie et le XX<sup>e</sup> 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'homme 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.

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



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

- De formes & de structure : optimisation aérodynamisme des aéronefs et trains à grande vitesse ;
- De fonctions & de propriétés : par exemple pour concevoir des surfaces super hydrophobes (Lotus), super adhésives (Gecko), auto-nettoyantes (Morpho), auto-déployables et rétractables (Coccinelle), antibactériennes (soie d'araignées), antifouling (algue rouge), etc. ;
- D'organisation : 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'énergie<sup>5</sup>.

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**<sup>6</sup>. 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 31000 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 l'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.

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)

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

Le biomimétisme est la voie pour nous diriger vers des modèles d'affaires et de sociétés renouvelés (ex. : Permaéconomie<sup>6b</sup>, Économie Symbiotique<sup>6c</sup>). 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<sup>6d</sup>, 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 Myceco et Ceebios 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 2015<sup>7</sup>, 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 Economique Sociale 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.

# 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\* :



### PR A : Consolider les liens entre biomimétisme & développement durable

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 liens entre biomimétisme & impact économique

Consolider le lien entre biomimétisme et impact 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.

### P#1 Fixer les méthodes & les outils

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

La démocratisation du biomimétisme passe ainsi par des **actions transformationnelles multiples** : une vision partagée de la définition de l'approche, la prise de conscience des atouts du biomimétisme par les acteurs publics en fournissant des preuves des externalités positives d'un point de vue économique et écologique, la génération de réflexes pluridisciplinaires permis notamment par des outils de fouille de la donnée et de transposition méthodologique pour une meilleure appropriation par les industriels, la généralisation des formations au biomimétisme dans tous les cursus pour éviter une confiscation du sujet par les seuls scientifiques biologistes, etc.

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

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

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

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

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

### P#4 Construire le système éducatif du biomimétisme

Il faut que de manière générale la pluridisciplinarité soit favorisée, non seulement au sein des programmes scolaires mais aussi au sein des administrations. Doivent émerger de nouvelles formations d'études supérieures (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 ce 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.

\*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

## 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 résistante 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.



# Soutenabilité environnementale

**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<sup>e</sup> 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.



LE BIOMIMÉTISME A ÉTÉ IDENTIFIÉ COMME SUSCEPTIBLE DE RÉPONDRE À 10 DES 17 ODD DE L'ONU :

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.

OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HEMARINA s'inspire des particularités de l'hémoglobine d'un ver marin pour la <b>conservation des greffons</b> et la <b>cicatrisation</b> des escarres.</li> <li>• TERUMO permet des <b>injections cutanées indolores</b> par aiguille grâce à l'observation de la trompe de moustique.</li> <li>• BIOMATRICA développe un système de <b>conservation des vaccins</b> à température ambiante en s'inspirant de la stratégie de protection du tardigrade (cryptobiose).</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CHEMBIOMED s'inspire du mucus des méduses pour développer un système de filtration au niveau nanoscopique afin d'assurer une <b>dépollution de l'eau</b>.</li> <li>• SUEZ ENVIRONNEMENT développe un principe de <b>filtration de l'eau</b> inspiré des zones humides naturelles pour garantir des <b>traitements complémentaires contre les micropolluants</b> et limiter leur diffusion dans les milieux aquatiques en y <b>maintenant la biodiversité</b>.</li> <li>• THINAIRWATER apprend du <i>Onymacris unguicularis</i>, un scarabée du désert, pour développer une biomembrane capable de <b>condenser l'eau</b> ambiante de l'atmosphère.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RENAULT associé à l'UNIVERSITÉ D'EVRY optimise la <b>consommation des ressources</b> des véhicules hybrides sur le modèle du métabolisme humain.</li> <li>• EEL ENERGY développe des <b>hydroliennes</b> inspirées des stratégies de locomotion ondulatoire des organismes marins.</li> <li>• Le PROGRAMME EUROPÉEN ESCALED travaille sur la <b>photosynthèse artificielle</b> et les <b>carburants solaires</b> en s'appuyant sur des composés enzymatiques biologiques.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WAVERA met en place une <b>technologie de pompe</b> issue de la stratégie de locomotion ondulatoire des organismes marins permettant la mise en <b>mouvement d'un fluide</b>.</li> <li>• La solution d'ELBÉ PETRO limite l'<b>évaporation des liquides industriels</b> en mimant la capacité des lentilles d'eau à leur surface.</li> <li>• FESTO développe des <b>systèmes robotisés d'automatisation</b> efficaces et bio-inspirés comme le BionicMotionRobot qui est capable de porter son propre poids.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SELF-HEALING CONCRETE développe des <b>bétons auto-cicatrisants</b> grâce à des bactéries encapsulées sécrétant de la matière pour combler les fissures.</li> <li>• La phyllotaxie des plantes inspire IN SITU ARCHITECTE pour un algorithme d'<b>aménagement de quartier</b>, notamment en termes d'ensoleillement.</li> <li>• EUROBIOS optimise des <b>flux urbains</b> (ex. collecte des déchets) sur la base d'algorithmes inspirés du comportement des fourmis.</li> </ul>	



• JACQUES LIVAGE et CLÉMENT SANCHEZ s'inspirent des diatomées et éponges marines pour mettre en place des **procédés de chimie douce** (température et pression ambiante) 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 solutions bio-inspirées 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 **bioremédiation**.



• 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, M2i 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.



