

Déclinaisons du biomimétisme pour la filière cosmétique

2025



Ceebios

Édito

En première ligne des sciences de la beauté humaine, l'industrie cosmétique s'est-elle suffisamment penchée sur les beautés du vivant ?

A travers l'ensemble des espèces végétales, animales, fongiques, microbiennes, il est pourtant si fascinant d'explorer la palette de couleurs, de nuances, d'effets optiques, de textures, de formes tantôt géométriques et régulières, tantôt courbes et désordonnées... Loin d'une vision naïve, certaines espèces suscitent pourtant toujours dégoût et rejet ! Quelles relations entretenons-nous avec le vivant : fascinant, agréable, rassurant ou bien répugnant, hostile, souvent méconnu ou ignoré ?

Au-delà de l'esthétisme, il s'agit de se rappeler que ce vivant dont nous faisons partie est le fruit d'une histoire évolutive : nous sommes toutes et tous relié.es par la première cellule LUCA apparue il y a au moins 3,8 milliards d'années. Ce vivant s'est multiplié, complexifié, combiné, a résisté, a exploré, s'est épanoui dans tous les recoins de la planète. Chaque branche qui le constitue exprime ce juste équilibre entre singularité et universalité.

Pourtant, par le développement de nos techniques, l'humain a cru s'émanciper de ce tissu du vivant. Les conséquences actuelles et à venir du changement climatique et de la crise de la biodiversité nous rappellent violemment nos interdépendances. L'enjeu principal aujourd'hui est de réintégrer les activités humaines dans des cycles compatibles avec la biologie et la physico-chimie de notre planète. Avec le vivant comme modèle et boussole, le biomimétisme s'appuie sur un cadre méthodologique robuste, formidable levier de transformation.

Ce document décline des opportunités bio-inspirées pour toutes les dimensions de la R&D en cosmétique, avec une ouverture progressive sur les enjeux les plus systémiques. Néanmoins, une transformation en profondeur ne saurait se jouer que sur des aspects scientifiques. Culture, posture, organisations, modèles économiques et politiques... en sont également des composantes essentielles.







Sommaire

Édito	2
Le biomimétisme en cosmétique	5
Spécificités et opportunités pour ce secteur	5
Leviers d'actions pour l'innovation responsable bio-inspirée	6
L'innovation bio-inspirée	8
Pour toutes les dimensions de la R&D en cosmétique	8
Des principes actifs bio-inspirés	10
Formulation & galénique bio-inspirées	12
Des emballages bio-inspirés	14
Matières premières et circularité	16
Procédés de transformation	18
L'eau : qualité et quantité	20
Multifonction et adaptation	22
Infrastructures et organisations	24
Auteurs	26

Le biomimétisme en cosmétique

Spécificités et opportunités pour ce secteur

Par son fort besoin d'innovation responsable associé à un rapport unique au vivant, la cosmétique est un acteur majeur historique de l'approche biomimétique. Des formes multiples de bio-inspiration ont donc toujours nourri les développements de ce secteur sans forcément en porter le nom.

Innovation

Dans ses métiers de l'hygiène, du soin et de l'esthétique, l'industrie cosmétique est en quête permanente d'innovation, ce qui se traduit par de forts investissements R&D et de nombreux dépôts de brevets.

L'enjeu est de répondre à l'évolution des besoins des consommateurs. Par exemple, le mode de vie, le vieillissement de la population ou l'environnement (pollution, alimentation, exposition au soleil) ont des répercussions sur la peau et créent d'importants désordres cutanés. En parallèle, les consommateurs attendent des expériences sensorielles inédites et personnalisées.

L'innovation doit contribuer à une transformation responsable et durable de la filière. Afin de maintenir une activité compatible avec les limites planétaires et les recommandations internationales sur le climat et la biodiversité, le secteur doit faire évoluer ses pratiques en termes de consommation des ressources naturelles, de réduction des déchets et de gestion de la pollution.

Biologie

L'industrie cosmétique a développé une expertise unique à l'interface entre chimie et biologie du corps humain. Ce rapport privilégié au vivant s'exprime également par l'utilisation d'ingrédients biosourcés dans ses produits associé à un univers marketing nourri par les références naturelles.

Tout comme la médecine, la filière cosmétique entretient un lien étroit entre les produits développés et les substrats biologiques : peau, cheveux, ongles... Pour chacune de ces zones, il s'agit d'un comprendre la composition (eau, collagène, kératine), la structure (lamelle, vésicule, réseau), les fonctions (protection, communication, sécrétion), les mécanismes (vieillesse, régénération, cicatrisation). Huiles végétales (ricin, pépin, argan), pigments organiques (à partir de feuilles, fleurs, racines, écorces), produits de la ruche (miel, propolis, gelée royale) : pratiques actuelles et ancestrales reposent grandement sur les ingrédients biosourcés, dans une recherche de naturalité. Au-delà des ingrédients, les procédés de transformation s'inscrivent dans la même logique avec le recours aux biotechnologies, à la catalyse enzymatique, à la fermentation...

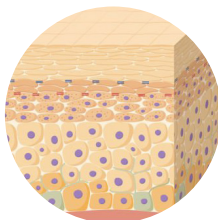
Déclinaisons du biomimétisme en pratique en cosmétique

Molécules bio-inspirées



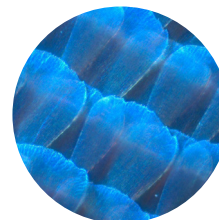
Ingrédients sur le modèle des venins et toxines pour les soins anti-âge

Structures biomimétiques



Crèmes biomimétiques reprenant l'architecture lamellaire de la peau

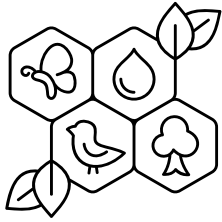
Stratégies biologiques



Fards à coloration structurale comme les ailes du papillon Morpho

Leviers d'actions pour l'innovation responsable bio-inspirée

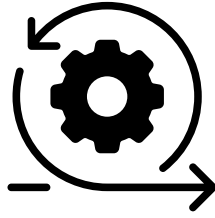
Les récents développements en biomimétisme, comme stratégie de conception innovante outillée au service de la durabilité, en font un levier puissant de la transformation écologique au service de la stratégie d'entreprise. Trois angles d'attaque sont à combiner pour libérer son potentiel.



Conception basée sur la biologie et la pluridisciplinarité

Le biomimétisme est une stratégie de conception innovante qui s'appuie sur la biologie : le vivant est pris comme modèle pour répondre aux besoins humains.

L'expertise biologique dans les métiers R&D de la cosmétique (substrats d'application et ingrédients) est une ressource précieuse pour faciliter l'adoption du biomimétisme. Néanmoins il s'agit d'aller plus loin que les pratiques usuelles d'extraction et d'utilisation de substances naturelles. Le biomimétisme invite à cultiver et facilite le dialogue dans cet espace fertile à l'interface entre les disciplines scientifiques, entre recherche biologique et champs d'application technique. En décorrélant inspiration et utilisation, le biomimétisme autorise l'exploration de tous les règnes du vivant : végétaux, animaux, microorganismes, champignons...



Approche méthodologique universelle, multi-échelle

La démarche pluridisciplinaire du biomimétisme s'appuie sur un raisonnement méthodologique et un processus cognitif, avec notamment : un regard fonctionnel sur le vivant, l'abstraction des mécanismes observés et la transposition dans une réalisation technique.

Molécule, cellule, tissu, organe, organismes... mais aussi communautés d'organismes, architectures animales, écosystèmes... : le biomimétisme se décline à toutes les échelles, pour tous les sujets R&D, dans tous les secteurs d'application. Pour la filière cosmétique, le sujet le plus documenté est celui de la chimie des ingrédients bio-inspirés. Un vaste champ des possibles reste à explorer pour repenser de manière plus globale le produit ou même le site de production.



Ancrage dans la durabilité

Par son histoire évolutive et les interdépendances entre espèces, l'ensemble du vivant a développé des performances environnementales aujourd'hui stratégiques pour les entreprises : circularité, sobriété, résilience...

Toutes les espèces biologiques s'inscrivent dans les grands cycles de ressources planétaires (eau, carbone, azote...). Par leur activité, elles participent aux services écosystémiques (structuration des sols, stockage du CO₂, pollinisation...). Tout en assurant leurs fonctions vitales (gestion de l'énergie, transformation de la matière, communication, déplacement...). Le biomimétisme cherche à tirer partie de l'ensemble de ces propriétés dans une logique d'éco-conception et de design régénératif.

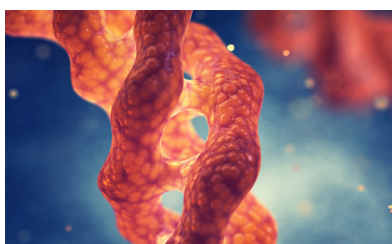


L'innovation bio-inspirée

Pour toutes les dimensions de la R&D en cosmétique

De l'efficacité produit (comme la protection solaire) à la performance environnementale (telle la gestion des emballages en fin de vie) en passant par la recherche d'éco-procédés, les enjeux R&D de l'industrie cosmétique se répartissent sur un large éventail. Ce document propose d'explorer chacune de ces facettes sous l'angle du biomimétisme afin de révéler l'opportunité stratégique de cette démarche d'innovation.

À l'échelle du produit



Principes actifs

Les molécules et les mécanismes du vivant au service de la fonctionnalité principale des produits cosmétiques pour repenser actifs et ingrédients.



Formulation et galénique

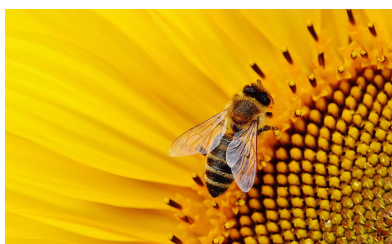
Focus sur la structure globale et les propriétés de la matière pour faciliter sa mise en forme et son utilisation, à partir de l'observation de fluides biologiques et d'interactions macromoléculaires.



Emballages

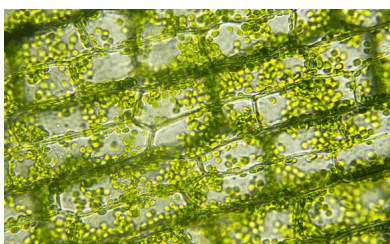
Conserver, transporter, informer, différencier, appliquer : les enveloppes du vivant (peaux, écorces, cuticules, carapaces...) pour répondre au cahier des charges exigeant du pack en cosmétique.

Dans une logique de gestion des ressources



Matières premières et circularité

Origine des ingrédients, conditions de production, gestion des déchets : les interactions entre espèces au sein des écosystèmes naturels donnent le mode opératoire de la circularité.



Procédés de transformation

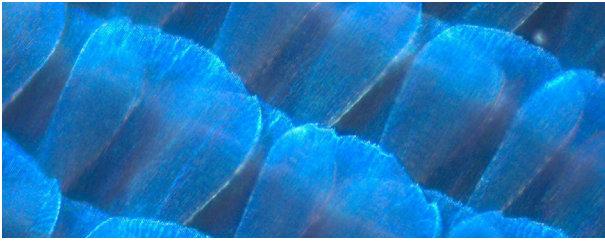
Stratégies bottom-up, catalyse enzymatique, conditions de chimie douce... le vivant dispose d'un catalogue de procédés efficaces pour fabriquer des matériaux fonctionnels et structurels.



L'eau : qualité et quantité

Solvant biologique universel, élément vital pour toutes les espèces, de nombreuses stratégies sont déployées dans la nature : captation, stockage, traitement, distribution.

Originalité et transversalité du biomimétisme

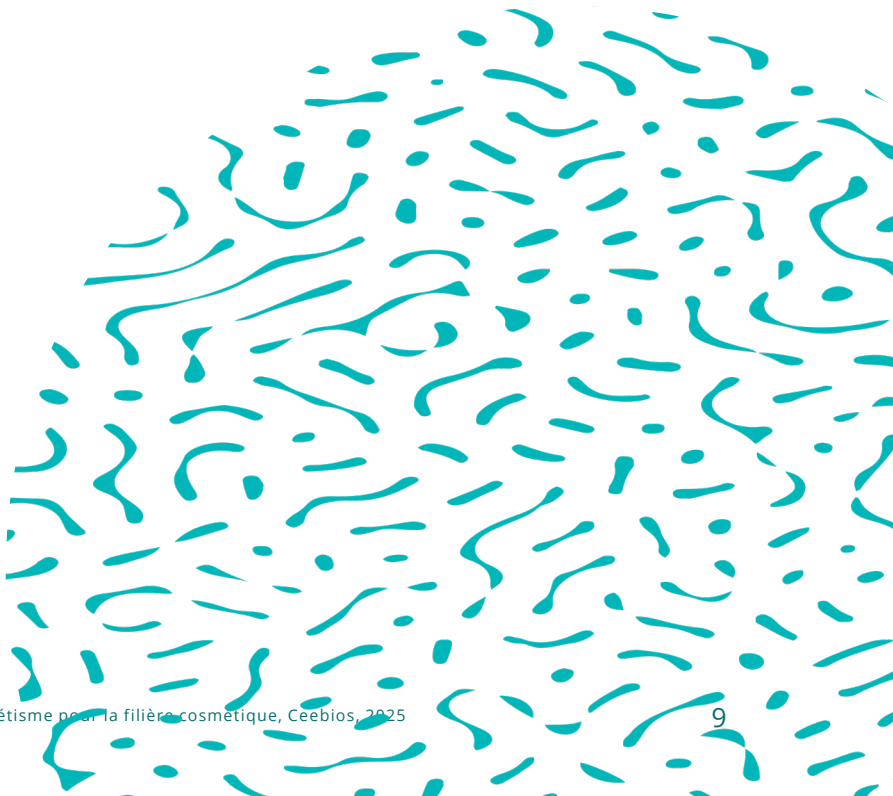


Multifonctionnalité et adaptation

Percevoir les secrets de l'organisation multi-échelle du vivant pour développer des solutions multifonctionnelles et adaptatives, en réponse à l'environnement.

Infrastructures et organisations

Universalité et puissance de la démarche bio-inspirée qui se décline à toutes les échelles : des biomolécules aux territoires en passant par les bâtiments ; et dans tous les domaines : de la physico-chimie à la stratégie d'entreprise.



Des principes actifs bio-inspirés

Innovation produit

Au croisement entre ingrédient chimique et fonctionnalité du produit fini, les principes actifs représentent un élément central et différenciant dans l'industrie cosmétique. Prendre le vivant comme modèle à cette échelle c'est s'assurer de s'inscrire dans les principes de la chimie verte qui sont complètement convergents avec la biochimie. Pour chaque fonction recherchée, c'est aussi accéder à un catalogue de réalisations biologiques mettant en œuvre une diversité de mécanismes inspirants.

Au coeur de la cosmétique : les principes actifs

Piliers des produits cosmétiques, les principes actifs garantissent les fonctions principales du produit pour le corps humain : protection solaire, hydratation de la peau, lutte contre le vieillissement, propriétés optiques du maquillage... Face à des attentes croissantes de qualité et de sécurité, l'industrie cosmétique recherche constamment des innovations pour développer des ingrédients toujours plus performants.

Zoom sur...

... Le pigment blanc biomimétique

Alternative prometteuse aux minéraux tels que le dioxyde de titane pour leurs propriétés optiques, l'entreprise Seprify reproduit la blancheur de l'exosquelette du scarabée *Cyphochilus* à partir de cellulose.

<https://seprify.com>

Syurik J, et al. Bio-inspired, large scale, highly-scattering films for nanoparticle-alternative white surfaces. Sci Rep. 2017 Apr 21;7:46637



Le biomimétisme, pour répondre aux défis de l'innovation cosmétique

Nombreuses des fonctions attendues des principes actifs trouvent leurs parallèles explicites dans le vivant (voir tableau page suivante). Ces déclinaisons naturelles respectent déjà un cahier des charges exigeant, des standards rigoureux en termes d'efficacité optimale et de durabilité. L'objectif du biomimétisme est bien de rapprocher les pratiques industrielles de ces stratégies biologiques.

... Les couleurs chatoyantes du vivant

Ailes de papillons morpho et fruits de *Pollia condensata* produisent des couleurs iridescentes spectaculaires. Sparxell reproduit ces effets métalliques à partir de cellulose, sans plastiques, sans mica, sans titane.

<https://sparxell.com>

S. Vignolini et al. Pointillist structural color in Pollia fruit. PNAS2012 Sept 10; 109 (39) 15712-15715

Sparxell



Une fonction cosmétique, des modèles biologiques

Quelles convergences entre fonctions cosmétiques et propriétés biologiques ?

Quelles sources d'inspiration naturelles pour les principes actifs de demain ?

Quel potentiel d'innovation biomimétique ?

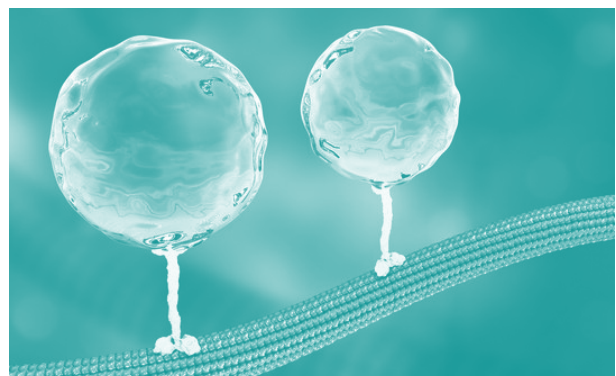
En cosmétique Propriété recherchée	Dans le vivant Modèles biologiques pertinents	
Protection UV		<p>→ Duvet filamenteux qui recouvre l'Edelweiss (fleurs, feuilles, tiges). Réseau de fibres réfléchissant une grande partie du rayonnement, réduit l'accessibilité de la surface, dissipe l'énergie des UV par de multiples réflexions.</p> <p>→ Sécrétion filmogène sur la peau d'hippopotame. Pic d'absorption dans l'UV par les pigments synthétisés ; autoassemblage des pigments en cristaux liquides qui bloquent la transmission par leur structure régulière.</p>
Cicatrisation		<p>→ Régénération rapide des écailles de pangolins. Réorganisation des biopolymères sous l'action de l'eau pour restaurer les propriétés mécaniques.</p> <p>→ Composition de la sève d'hévéa. Microcapsules renfermant une substance visqueuse, libérée selon les contraintes mécaniques.</p>
Hydratation		<p>→ Propriété hygroscopique de la peau de serpent. Maintien d'un film aqueux par une surface granuleuse et des canaux interscalaires.</p> <p>→ Stockage d'eau dans les plantes succulentes. Limite l'évaporation par un revêtement cireux et rôle du mucilage pour contenir l'eau sous forme de gel visqueux.</p>

Aller plus loin

Au-delà de la fonction recherchée, s'inspirer des molécules elles-mêmes

Le vivant regorge de superstructures moléculaires : tridimensionnelles, complexes et aux fonctions multiples : la solubilité des protéines globulaires dans l'eau, les propriétés mécaniques des protéines fibreuses, l'identification ciblée permises par les protéines membranaires (canal ou récepteur).

Les interactions spécifiques entre molécules permettent d'activer certaines fonctions en général par changement de conformation : transport et/ou libération du contenu d'une vésicule, déclenchement d'une activité enzymatique, ouverture / fermeture d'un canal.



Les protéines *kinésines* transportent des vésicules le long du cytosquelette, le « squelette » interne des cellules.

Formulation & galénique bio-inspirées

Innovation produit

L'art de la formulation : science, créativité et conscience

Étape clé de mise en forme, la formulation doit répondre à plusieurs critères :

- Stabilité : compatibilité des principes actifs entre eux, maintien dans le temps des fonctions recherchées ;
- Sensorialité : proposition d'expériences utilisateurs, interactions avec le produit, comportements et usages ;
- Sécurité : biocompatibilité, innocuité, impact sur le cycle de vie du produit.

Lever le voile sur la physico-chimie du vivant

Sécrétions, mucus, salive, sèves, films, membranes... l'immense diversité de fluides et de surfaces biologiques sont autant de potentielles sources d'inspiration pour des formulations nouvelles et performantes, tant sur le plan fonctionnel qu'environnemental.

Zoom sur...

... La conservation de vaccins, inspirée d'espèces extrêmophiles

Certaines espèces, dites extrêmophiles - comme le tardigrade ou la plante de la résurrection - sont connues pour leur capacité de résistance à la sécheresse exceptionnelle. Un phénomène expliqué par la mobilisation d'un sucre qui leur permet de maintenir la structure tri-dimensionnelle et donc la fonctionnalité de leurs biomolécules.

Ce principe a été transposé pour la conservation des vaccins, avec l'utilisation de tréhalose et en explorant le changement d'état de transition vitreuse. Une solution aujourd'hui commercialisée notamment par Biomātrica et Nova Laboratories.

[https://laboratorytalk.com/article/345805/samplematrix-technology-protect](https://laboratorytalk.com/article/345805/samplematrix-technology-protecting-vaccines)

<https://m.novalabs.co.uk/stabilisation-technologies>

O. Schill et al. Molecular mechanisms of tolerance in tardigrades: New perspectives for preservation and stabilization of biological material, Biotech Adv. 2009 July-Aug, 27, 4, 348-352.

Biomātrica



Nova
Laboratories Ltd



Des problématiques transversales déclinées par le vivant

Quelles stratégies biologiques pour assurer les interfaces entre ingrédients ?

Comment obtenir des compromis de propriétés fonctionnelles ?

Quelles caractéristiques rhéologiques du vivant pour transformer les produits cosmétiques ?

En cosmétique Propriété recherchée	Dans le vivant Modèles biologiques pertinents
Miscibilité	 <ul style="list-style-type: none">→ Stockage des lipides dans les graines des plantes oléagineuses. <i>Structures intracellulaires (oléosomes) et stabilisation contre la coalescence par des molécules très hydrophobes.</i>→ Production de la soie d'araignée. <i>Polymérisation sous écoulement par le mélange d'ingrédients stockés dans des glandes séparées.</i>→ Expansion brutale du mucus de la myxine. <i>Hydratation instantanée des fibres, multiplicité des éléments filandreux et libération d'énergie élastique.</i>
Adhésion	 <ul style="list-style-type: none">→ Stratégie des plantes grimpances : colle du lierre. <i>Nature rhéofluidifiante de la sève, à base de nanoparticules organiques, puis évaporation de solvant pour réticulation solide.</i>→ Construction sous-marine des vers marin. <i>Assemblage par électricité statique selon la charge ionique des protéines, solidification par différence de pH avec l'environnement salin.</i>→ Locomotion des escargots. <i>Propriétés visco-élastiques du mucus de gastéropodes pour alterner entre lubrifiant et adhésif selon la contrainte mécanique.</i>

Aller plus loin

Une formulation plus sobre

Comment réduire le nombre d'ingrédients ?

Miser sur la multifonctionnalité des biomolécules. Par exemple, les flavonoïdes, molécules très présentes dans le règne végétal.

Les flavonoïdes possèdent plusieurs fonctions comme la coloration et la photoprotection. Elles jouent un rôle majeur dans la lutte contre les stress biotiques et abiotiques comme le froid ou encore les carences nutritionnelles. Cette multifonctionnalité permet une certaine sobriété dans le nombre de molécules nécessaires au fonctionnement d'une plante.

Remplacer des ingrédients chimiques par des stratégies physiques.

La protection antimicrobienne peut être obtenue par des composés tels que les sphénicines - identifiées dans l'estomac des manchots afin de conserver le bol alimentaire à destination des juvéniles. Cette même propriété est réalisée par la topologie micro- et nano-texturée de surfaces telles que les ailes de cigales et la peau de requin..

Des emballages bio-inspirés

Innovation produit

Le pack : un élément à ne pas négliger dans la conception produit

Le contenant des cosmétiques est essentiel à considérer puisqu'il requiert des propriétés paradoxales :

- Protège le produit (stress mécanique, physique, chimique, biologique...) mais facilite son utilisation et se transforme facilement en fin de vie (recyclage ou biodégradation) ;
- Est vecteur d'un maximum d'informations (composition, numéro de lot, recommandations, image de marque, allégations...) tout en utilisant le moins de matière possible ;
- Confronté au défi de conserver un cahier des charges exigeant en s'affranchissant des matériaux plastiques.

Le vivant : un allié pour des emballages innovants plus durables

Maintenir des conditions internes stables dans un environnement changeant est la définition même du vivant. Les organismes enveloppent et conservent à toutes les échelles de la molécule à l'organisme, et de manière variée : globale ou compartimentée, permanentes ou temporaires... à partir des biomolécules abondantes et recyclables (lipides, protéines, polymères...).

Zoom sur...

... Des structures alliant résistance et légèreté

Jouer sur la porosité comme le font de nombreux organismes (os des vertébrés, frustules des diatomées, bambou...), c'est la proposition de matériaux alvéolaires de Modulatio' et Metavoxel Technologies.

Renforcer les matériaux par des structures hélicoïdales comme l'organisation polymères dans les carapaces de crustacés : Helicoid Industries INC. et Logoplaste (Vitalis).

<https://www.modulatio.fr>

<https://www.metavoxel.tech>

<https://www.helicoidind.com>

<https://www.logoplaste.com>

... Des surfaces fonctionnelles

Solutions antibactériennes inspirées de la peau de requin (Sharklet Technologies) ou autonettoyantes à partir de plantes carnivores Nepenthes (SLIPS Technologies) reposent sur des texturations de surface micro et nanométriques pour imiter l'organisation des matériaux biologiques aux échelles infracellulaires. Les technologies laser sont les techniques de fabrication les plus couramment utilisées (ALPhA NOV, FUSION BIONIC).

<https://www.sharklet.com>

<https://wyss.harvard.edu/technology/slips-slippery-liquid-infused-porous-surfaces>

<https://www.alphanov.com>

<https://fusionbionic.com>

MODULATIO
mieux avec moins

Metavoxel

HELICOID
INDUSTRIES INC.

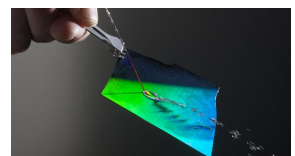
Logoplaste

Sharklet

SLIPS
TECHNOLOGIES

ALPhA NOV
Centre Technologique Optique et Lasers

FUSION BIONIC



Une enveloppe pour conserver et transporter

Comment protéger le produit des conditions extérieures : lumière, humidité, température, microorganismes... ?

Comment maintenir l'intégrité physique du produit tout au long de son cycle de vie ?

Comment assurer la traçabilité du produit ?

En cosmétique	Dans le vivant	
Propriété recherchée	Modèles biologiques pertinents	
Protection		<p>→ Combiner élasticité et étanchéité pour isoler le contenu. <i>Films biologiques : poches gulaires des oiseaux, membranes d'oeuf..</i></p> <p>→ Absorber les chocs mécaniques. <i>La peau des fruits : mousse alvéolaire, gradient de propriétés souple à l'intérieur, rigide à l'extérieur. La langue du pic vert qui se prolonge autour du cerveau.</i></p>
Gestion des fluides		<p>→ Assurer une circulation fluide efficace. <i>Valves cardiaques pour des flux unidirectionnels. Vannes intégrées qui préviennent les embolies gazeuses dans le xylème des arbres.</i></p> <p>→ Disperser un fluide. <i>Crachat de substances de protection (venins de serpents, encres de seiche...). Système de propulsion pour le déplacement (calmar).</i></p>
Communication		<p>→ Utiliser la signature optique de microstructures pour protéger des contrefaçons. <i>Ailes de papillon Morpho.</i></p> <p>→ Transmettre et moduler une information : changements de couleurs induits par un stimulus (conditions et durée de conservation...). <i>Carapace des coléoptères Charidotella sexpunctata.</i></p>

[Aller plus loin](#)

De nouveaux matériaux

Réintégrer les emballages dans des cycles biologiques

Mycomatériaux

À partir de mycélium de champignon, des matériaux fibreux sont développés notamment comme alternatives au polystyrène. Les mycomatériaux combinent les avantages d'un matériaux à croissance rapide (par rapport à d'autres biomatériaux), modulable (forme, densité...) et biodégradable.

Chitine

Matériau polymère équivalent à la cellulose, présent dans les carapaces de crustacés, mais aussi chez les insectes et les champignons, la chitine est un matériau de structure aux propriétés antibactériennes. Les gisements de co-produits de l'industrie agro-alimentaire font de la chitine une ressource d'intérêt pour améliorer le cycle de vie des emballages.

Matières premières et circularité

Gestion des ressources

Vers une gestion des ressources plus sobre pour un avenir plus durable

Après avoir délocalisé pendant longtemps la production de matières premières, l'enjeu aujourd'hui est de revenir au plus proche de leur fabrication afin d'assurer la qualité et diminuer les temps de transports. Il s'agit également de limiter les cultures végétales consommatrices d'eau, d'engrais et de pesticides, entrant en compétition avec les ressources alimentaires, ainsi que les ingrédients provenant de procédés pétrochimiques.

La valorisation des déchets et des co-produits ouvre la voie pour une optimisation en termes d'énergie et du rendement des terrains de production. Comment les principes du vivant peuvent ici encore servir de guide pour une meilleure gestion des ressources ?

Le vivant utilise les ressources de son environnement naturel et s'inscrit dans les grands cycles de matières (carbone, azote...). Il peut fonctionner en symbiose ou utiliser les déchets d'autres organismes pour collecter des ressources.

Zoom sur...

... La régénération d'écosystèmes

Le maintien du niveau de production des ressources dépend de la santé des écosystèmes naturels. Pour assurer leur régénération, le biomimétisme invite à recréer les conditions optimales par la mise en place de dispositifs artificiels (SeaBoost en milieu marin) ou par la stimulation de fonctions naturelles (Novobiom, Mycophyto, Gaiägo, pour la dépollution et les interactions biologiques dans les sols).

<https://www.novobiom.com>

<https://www.seaboost.fr>

<https://www.mycophyto.fr>

<https://www.gaiägo.eu>

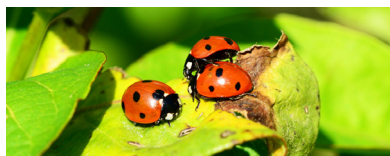


... Les solutions de biocontrôle

Pour protéger les cultures M2I Life Science et ImmunRise imitent les stratégies d'interactions entre individus ou entre espèces biologiques (communication chimiques des phéromones, mobilisation de microorganismes ou d'insectes...). Ces méthodes de biocontrôle constituent une alternative crédible aux produits phytopharmaceutiques.

<https://www.m2i-lifesciences.com>

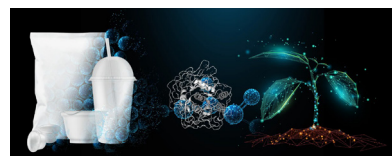
<https://www.immunrisebiocontrol.fr>



... Le recyclage enzymatique

Afin de faire entrer les industries plastiques et textiles dans une logique circulaire, Carbios anticipe la fin de vie des matériaux grâce à l'utilisation d'enzymes. Ces molécules naturelles sont sélectionnées et optimisées pour permettre la biodégradation du PLA et le recyclage (dépolymérisation) du PET.





<https://www.carbios.com/fr>



Produire comme un écosystème naturel

Comment repenser les cultures végétales en respectant les principes du vivant ?

Comment synchroniser les activités industrielles pour mutualiser les ressources ?

Concept	Inspiration et définition	
Systèmes de production	Propriétés des écosystèmes naturels	
Agriculture de conservation des sols		→ Système cultural qui favorise une perturbation minimale du sol, le maintien d'une couverture permanente du sol et la diversification des espèces végétales.
Agroforesterie		→ Intégration d'arbres dans les terres agricoles, sous forme de haies, de vergers, de bosquets... Ces associations d'espèces améliorent la productivité des sols et stockent le carbone. L'arbre protège les cultures (brise-vent, ombre...) et par ses racines favorise la remontée capillaire d'eau profonde.
Permaculture		→ Système de production qui repose sur l'observation minutieuse de l'efficacité des écosystèmes naturels afin de mettre en place des interactions favorables entre espèces. La forêt est une source d'inspiration majeure par l'utilisation de différentes strates (canopée, arbustes, plantes de couvertures...).
Aquaculture multitrophique intégrée		→ Production d'organismes aquatiques (poissons, mollusques, algues...) en association avec une diversité d'espèces afin de récréer un réseau trophique (chaînes alimentaires). L'objectif est d'améliorer le rendement en diminuant la pression sur les écosystèmes naturels.

[Aller plus loin](#)

Les stratégies de dépollution

Faire alliance avec le vivant pour la santé des écosystèmes

Le principe de biorémédiation consiste en la décontamination de milieux par des techniques de dégradations chimiques ou l'activité d'organismes vivants. Plus particulièrement, les plantes et les champignons, par leurs systèmes racinaires pénètrent l'intimité des sols et y prélèvent les nutriments nécessaires à leur métabolisme. Certaines espèces tolèrent voire séquestrent dans leurs tissus les composés toxiques tels que les métaux lourds. Cette propriété est exploitée afin de réintégrer les polluants dans des circuits de recyclage. Les travaux de Claude GRISON sur la phytoremédiation (laboratoire ChimEco, CNRS) vont plus loin en proposant des voies de valorisation de ces polluants : combinés aux molécules organiques, ils constituent des catalyseurs d'intérêt pour l'industrie chimique.

Procédés de transformation

Enjeux des procédés de la matière première au produit fini

Traitement de matières premières, extraction d'ingrédients, purification de composés, émulsification, encapsulation... le secteur de la cosmétique à recours à de nombreux procédés de transformation chimique lors de la formulation. Le nombre d'étapes, l'utilisation de solvants, la génération de déchets/co-produits toxiques sont des paramètres clés à prendre en compte pour définir les procédés les plus efficaces.

De la matière à la vie : chimie ? chimie ! (J.M. Lehn, prix Nobel de chimie)

L'ensemble des cascades réactionnelles au sein de chacune des cellules biologiques démontre l'importance de la chimie du vivant dans ses processus physiologiques (gestion de l'énergie, alimentation, système immunitaire...) et dans la construction de ses matériaux de structure. Modélisés sous la bannière de la chimie verte, 12 principes donnent le cahier des charges de la déclinaison de cette chimie du vivant dans les procédés industriels : l'eau comme solvant universel, conditions de température et de pression modérées, innocuité des réactifs et produits, recours à la catalyse... L'inspiration biologique va même plus loin : avec la chimie douce, on cherche à synthétiser des matériaux en s'inspirant directement des procédés de manufacture des organismes vivants, le verre biominéralisé par les diatomées en est l'exemple le plus emblématique.

Zoom sur...

... Les catalyseurs bio-inspirés et éco-catalyseurs

Novomer développe des catalyseurs ultra-spécifiques des monomères cibles, fonctionnant à température ambiante et s'inscrivant pleinement dans le cycle du carbone : à partir de matières premières végétales transformés en produits biodégradables.

Newiridium imite la photosynthèse pour capturer du CO₂ et le transformer en molécules énergétiques. Cette chimie contrôlée par la lumière (photocatalyse) permet de réduire l'usage de métaux lourds et la consommation d'énergie.

Bio-inspir valorise dans la chimie industrielle des complexes [catalyseur métallique + biomolécules] obtenus par dépollution des sols.

<https://www.novomer.com>

<https://newiridium.com>

<https://bioinspir.com>

NOVOMER
Catalyzed Chemistry

NEW IRIDIUM






BIOINSPIR



Stratégies de fabrication par le vivant

Comment est-ce que le vivant produit, transforme, assemble les molécules ?

Quelles sources d'énergie, quelles forces, quels mécanismes entrent en jeu ?

Concept Procédé	Définition et déclinaison dans le vivant Typologie de molécules et structures	
Photosynthèse		<p>→ Production élémentaire de la matière organique à partir d'eau, de CO₂ et d'énergie lumineuse. Synthèse de glucides par fixation de carbone.</p> <p>→ Photosynthèse artificielle et procédés électrochimiques cherchant à imiter ce processus naturel.</p>
Auto-assemblage	 	<p>→ Structures tri-dimensionnelles obtenues à partir de liaisons faibles entre groupements chimiques et du contraste d'hydrophilie :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Repliement des protéines - <i>spécificité chimique des enzymes ou anticorps, rôle structural des filaments d'actine, triple hélice du collagène...</i> • Polymérisation des sucres et assemblages supra-moléculaires soit fibreux (<i>cellulose, structure</i>) soit ramifiés (<i>glycogène, réserve énergétique</i>) • Extrême compacité du matériel génétique • Membrane lipidique pour compartimenter - <i>frontières cellulaires, vésicules...</i>
Bio-minéralisation	 	<p>→ Squelettes, carapaces, frustules... <i>Fabrication de structures minérales (verre, céramique, composites) par des organismes vivants. Mécanisme de cristallisation minérale contrôlée spatialement par une matrice organique (gabarit moléculaire obtenu par autoassemblage de lipides ou de copolymères à bloc) pour architecturer le matériau.</i></p>

[Aller plus loin](#)

Modes de production et relation au vivant

La démarche méthodologique du biomimétisme conduit à des concepts, de nouvelles idées, des stratégies innovantes. Mais de nombreux degrés de libertés perdurent sur la mise en pratique : le mode de réalisation peut-être plus ou moins proche du vivant. Des critères environnementaux, éthiques et techniques guident le choix vers l'une des options.

Voie biologique

Productions naturelles, matériaux bio-sourcés, solutions fondées sur la nature. L'objectif ici est de s'intégrer dans les cycles du vivant.

Voie artificielle

Chimie de synthèse, solutions techniques, reproductions artificielles. Les enjeux sont de lever la pression sur les ressources naturelles et de faire évoluer les procédés chimiques sur le modèle de la chimie douce.

Voie hybride

Recours aux biotechnologies, combinaison de processus biologiques et de solutions techniques pour articuler les cahiers des charges du vivant et de l'industrie.

L'eau : qualité et quantité

Utiliser l'eau de façon plus responsable

L'eau est au cœur de nombreux usages industriels tels que le lavage, l'évacuation des déchets, le refroidissement des installations... Des efforts significatifs sont produits afin de réduire les quantités utilisées, de limiter les volumes prélevés. Economies d'eau et circuits fermés sont les principales solutions accessibles aujourd'hui. En parallèle, la qualité de l'eau reste un enjeu majeur pour se prévenir des rejets de substances polluantes, par le traitement des effluents. Pour l'industrie cosmétique, à ces problématiques industrielles, s'ajoute l'utilisation d'eau par le consommateur en phase d'usage. La cosmétique solide, les habitudes en termes d'hygiène et la rinçabilité des produits sont des enjeux prégnants pour le secteur.

Zoom sur...

... La filtration moléculaire

Les technologies Aquaporin Inside® sont des membranes biomimétiques contenant des protéines transmembranaires type aquaporines qui filtrent à l'échelle de la molécule unique. Déclinées en surfaces planes ou en tubes, pour des utilisations en osmose directe ou inverse.

<https://aquaporin.com>

... Les zones humides dépolluantes

La zone Libellule développée par Suez assure la filtration des éléments résiduels en sortie de station d'épuration grâce aux performances naturelles des végétaux et des microorganismes. La répartition des espèces et la circulation d'eau ont été optimisés pour recréer les conditions les plus favorables.

<https://www.suez.fr/fr-fr/notre-offre/succes-commerciaux/nos-references/zone-libellule-chateauneuf>



La démarche biomimétique, vecteur d'innovations aux différentes échelles de l'eau

L'eau, élément vital pour l'ensemble des êtres vivants constitue en moyenne 80% de la constitution des tissus biologiques. Gérer autant l'excès d'eau (vie sous-marine) que sa rareté (espèces désertiques) ou son intermittence (saisonnalités) sont des défis quotidiens. De nombreuses fonctions biologiques sont associées à une gestion de l'eau : captation, stockage, transport, distribution, filtration...

... La collecte des déchets en rivière

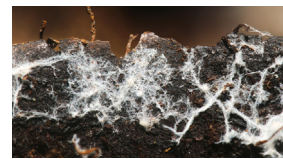
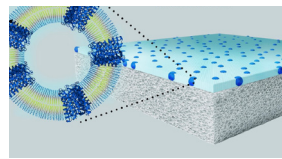
Le système H2OPE s'inspire de la morphologie des baleines, notamment les fanons, pour collecter un maximum d'éléments en milieu aquatique, en surface, sous écoulement, sans altérer la faune et la flore.

<https://www.h2ope.fr>

... La gestion de l'eau dans nos infrastructures

Tencate aquavia développe un textile pour traiter les eaux de ruissellement qui se chargent en polluants notamment hydrocarbures. Par sa structure et sa chimie, le textile provoque des mécanismes de biodégradation et favorisent la colonisation par des microorganismes également impliqués dans la dépollution de l'eau.

<https://www.tencategeoclean.com/fr>



Mécanismes et stratégies biologiques de gestion des flux

Comment s'intégrer dans les cycles de l'eau sans altérer sa qualité ?

Comment réduire notre dépendance et notre vulnérabilité à cette ressource particulière ?

Comment repenser nos usages de l'eau sur le modèle d'organismes vivants ?

En cosmétique	Dans le vivant	
Propriété recherchée	Modèles biologiques pertinents	
Collecte		<p>→ Lézard diable cornu. Condensation de la rosée dans les micro-sillons recouvrant ses épines.</p>
Stockage	 	<p>→ Plantes succulentes comme les griffes de sorcière. Accumulation d'eau dans les tissus à l'échelle cellulaire, protection contre la déshydratation par un revêtement cireux hydrophobe.</p> <p>→ Lentilles d'eau Lemna minor. Couverture partielle ou totale des plans d'eau par ses feuilles flottantes pour limiter l'évaporation.</p>
Transport	 	<p>→ Oiseaux phalaropes. Technique du "cliquet capillaire" pour faire remonter des gouttelettes d'eau le long de leur bec en jouant sur les forces capillaires par des mouvements répétés d'ouverture et de fermeture du bec.</p> <p>→ Membranes cellulaires. Phénomène d'osmose : diffusion d'eau entre deux compartiments selon le gradient de concentration.</p>

[Aller plus loin](#)

Microfluidique bio-inspirée

Le vivant un modèle de manipulation des fluides à petite échelle

Circulation dans les vaisseaux sanguins, pompe de la sève dans le xylème des arbres, production de fils de soie à partir des sécrétions des glandes séricigènes de l'araignée... Le vivant regorge de systèmes fluidiques miniaturisés. De nombreux travaux de recherche s'intéressent à ces dispositifs biologiques que ce soit sous l'angle de la physique des écoulements particulière à cette échelle (prédominance des forces capillaires) ou pour la manipulation d'objets biologiques telles que les cellules. La microfluidique est un outil puissant pour répliquer de manière simplifiée des fonctions biologiques (organ-on-a-chip, surfaces fonctionnelles...). En miroir, la microfluidique bénéficie de développements biomimétiques : pompes, vannes, filtres, mélangeurs, gestion des bulles, inspirés par des systèmes vivants.

Multifonction et adaptation

Originalité et transversalité

Un cahier des charges inaccessible ?

L'innovation cosmétique est confrontée à des aspirations contradictoires :

- Des produits de plus en plus performants, combinant les propriétés transversales (fonction cosmétique, texture, conservation...), en même temps hyper ciblés pour répondre aux besoins spécifiques de chacun ;
- Une tendance vers la naturalité, le minimalisme dans la formule, une grande simplicité.

Une des clés de résolution de cette ambivalence peut se trouver dans la recherche de multifonctionnalité et de propriétés adaptatives pour réagir à son environnement, programmer des comportements différenciés.

Le vivant est en permanence soumis à cette problématique, sous de multiples formes :

- Compromis de performances entre les fonctions vitales (nutrition, protection, reproduction...)
- Adaptations morphologiques, métaboliques, comportementales selon l'environnement externe (saisons, modification des écosystèmes, évènements ponctuels...)
- Utilisation d'organes et de stratégies généralistes et polyvalents ou bien spécialisés, spécifiques.

Plus particulièrement, l'organisation multi-échelle de la matière permet de combiner les effets : chaque phénomène physico-chimique ayant sa propre taille caractéristique.

Zoom sur...

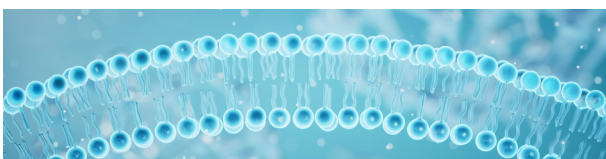
... Des matériaux "tout-en-un"

Sur le modèle de la membrane cellulaire, LipoCoat développe un revêtement similaire aux bicouches phospholipides aux nombreuses propriétés : hydrophobicité, lubrification, antifouling, autoréparant et antithrombotique.

À partir de cellulose bactérienne, BIOM propose Nanulose, un matériau très résistant mécaniquement et optiquement (UV), stabilisateur d'émulsions et de mousses, biocompatible, hypoallergénique, biodégradable.

<https://www.lipocoat.com>

<https://bioinspiredmaterials.com/en/products/nanulose>



... Des matériaux sensibles

Dans le domaine biomédical, l'entreprise Tissium a développé une colle chirurgicale pour tissus biologiques inspirée des capacités d'adhésion des organismes marins. Cette colle est activée spécifiquement par un signal optique.

Basilisk confère une propriété autocicatrisante aux bétons afin de prolonger la durée de vie des infrastructures. Des microorganismes sont encapsulés et leur activité de biominéralisation pour combler les fissures est déclenchée par l'humidité extérieure.

<https://tissium.com>










<https://basiliskconcrete.com/en>



Donner vie aux matériaux

Quelle composition et quelles structures pour quelles propriétés ?

Quels stimuli, quels déclencheurs pour quels effets ?

Concept	Dans le vivant	
Propriété recherchée	Modèles biologiques pertinents	
Multifonctionnalité	 <p><i>Caiophora coronaria</i></p>  <p><i>Hippophae rhamnoides</i></p>  <p><i>Kalanchoe tomentosa</i></p>	<p>→ Les feuilles de nombreuses plantes (fougères, conifères, plantes à fleurs...) sont recouvertes d'une couche externe protectrice appelée cuticule, composée de cristaux de cires. Selon leur taille, leur forme et leur organisation, ils contribuent à des fonctions variées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Imperméabilité ; • État de surface superhydrophobe ; • Revêtement anti-adhésion et autonettoyant ; • Communication optique vers les pollinisateurs ; • Protection contre le rayonnement UV ; • Dissipation thermique ; • Résistance mécanique structurelle...
Activation contrôlée	     	<p>→ Taux d'humidité</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Dispersion des graines</i>. Ouverture / fermeture des écailles de pomme de pin selon le taux d'humidité grâce à une organisation hétérogène des fibrilles de cellulose : la variation locale du gonflement induit la déformation mécanique globale. • <i>Défense, information aux prédateurs</i>. Changement de couleur des élytres de Dynaste Hercule selon l'infiltration d'eau dans la structure multicouche de chitine, ce qui modifie le contraste d'indices optiques. <p>→ Mécanique</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Défense, protection contre les prédateurs</i>. Repliement rapide des feuilles de mimosa pudica suite à une stimulation tactile générant un déplacement d'eau entre cellules. • <i>Camouflage, protection contre les prédateurs</i>. Contraction / dilation des cellules pigmentaires des caméléons et des pieuvres pour sélectionner les interactions lumière-cellules produisant la couleur souhaitée. <p>→ Chimie</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Production d'un matériau, capture des proies</i>. Cristallisation sous écoulement, selon le pH, des sécrétions liquides issues des glandes séricigènes de l'abdomen de l'araignée pour former les fils de soies. • <i>Défense, protection contre les prédateurs</i>. Gonflement rapide du mucus de myxine au contact de l'eau de mer par interaction entre les ions contenus dans l'eau et les fibres de protéines densément repliées.

Infrastructures et organisations

Originalité et transversalité

Dimension systémique de nos infrastructures

Gestion des flux (eau et énergie) et comportement des matériaux (mécanique, optique, acoustique...) sont des briques élémentaires qui se déclinent depuis la R&D produit jusqu'aux infrastructures. De nombreuses façades de bâtiments bio-inspirés combinent une ou plusieurs de ses propriétés afin de répondre à des cahiers des charges complexes en termes de faisabilité technique, d'usage du bâtiment, de durabilité.

Dès l'échelle du bâtiment, mais encore plus à celle du quartier, la question des interactions entre nos infrastructures et la biodiversité devient cruciale. Le biomimétisme peut et doit être un levier non seulement pour réduire notre empreinte négative (pression sur les ressources, génération de pollutions...) mais également afin d'avoir des contributions positives dites régénératrices (accueil de biodiversité, dépollution de l'air...).

Au-delà de la R&D, du biomimétisme dans tous les services de l'entreprise

Si les questions de chimie, de matières premières, de matériaux, de qualité de l'eau, sont d'ordre matérielles, le biomimétisme est également décliné sous l'angle de l'algorithme d'optimisation, des enjeux logistiques, de la notion de services. Le regard sur le vivant et son histoire évolutive nous invitent aujourd'hui à questionner nos organisations : depuis le modèle économique jusqu'à la stratégie d'entreprise en passant par le mode de gouvernance.

Zoom sur...

... Pocheco

Entreprise française dédiée à la fabrication d'enveloppes à usage industriel, Pocheco a amorcé une démarche très engagée depuis 1997 afin de rester économiquement compétitif tout en réduisant la dangerosité de l'activité industrielle tant pour la santé de l'Homme que pour l'environnement. Pionnier de l'économie, Pocheco développe une approche d'économie écologique, qui fait alliance avec le vivant, en travaillant simultanément sur 6 axes : biodiversité, eau, énergie, mobilité, production, bâtiment, site. La méthode de travail consiste en la construction d'une vision partagée qui lie transition écologique, changement dans l'entreprise et mobilisation des collectifs de travail.



<https://pocheco.com/fr>



Le vivant comme guide pour la durabilité écologique

Quels principes sous-jacents régissent le développement du vivant ?

Au service de quels objectifs mobiliser la démarche méthodologique du biomimétisme ?

Concept	Définition et déclinaison dans le vivant Inspirations et enseignements	
Les principes inspirés du vivant pour l'éco-conception		<p>→ Énoncés par les biologistes M.B. Hoagland, B. Dodson & J. Hauck, en 1995, popularisés pour le biomimétisme par J. Benyus en 1997, et largement déclinés par l'ensemble de la communauté du biomimétisme depuis (voir article G. Lecointre et al., Biomimetics, 2023), ces principes visent à relier des grandes tendances observés dans le vivant avec les enjeux de développement durable, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le caractère bottom-up et auto-organisation des matériaux biologiques ; • La frugalité énergétique à partir de ressources renouvelables ; • La circularité des flux pour abolir la notion de déchets ; • L'optimisation multicritère préférée à la maximisation d'une grandeur ; • ...
Les services écosystémiques		<p>→ Ce sont les bénéfices que les humains retirent des écosystèmes naturels, tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Services d'approvisionnement - nourriture, combustible, médicaments, matériaux... • Services de régulation - climat, inondation, pollinisation... • Services socio-culturels - récréatif, esthétique, spirituel... • Services de soutien - cycles biogéochimiques, formation des sols... <p>→ Des effets synergiques et régénératifs sont attendus au croisement de ces services écosystémiques, du biomimétisme et des solutions fondées sur la nature.</p>

[Aller plus loin](#)

L'écologie industrielle et territoriale

Favoriser les échanges de ressources entre acteurs économiques

Sur le modèle des cycles de matières et d'énergie dans un écosystème naturel, l'écologie industrielle et territoriale invite à la création de flux entre différentes activités afin de se rapprocher d'un mode de fonctionnement proche de la boucle fermée, de limiter la génération de déchets ultimes. Parmi les flux possibles : chaleur et vapeur, eau, gaz, gypse, biomasse et engrais liquide, cendres, boues d'épuration...

Ce principe repose sur une forte complémentarité entre les acteurs, une proximité et un ancrage local, une réelle logique de coopération.

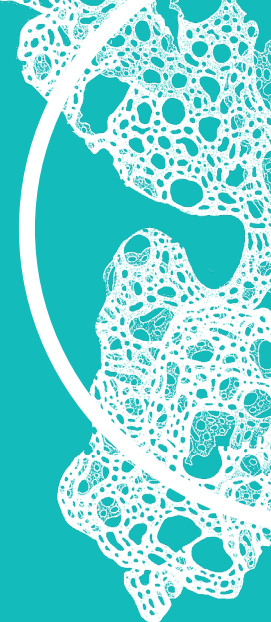


Ceebios

Centre d'études & d'expertises
en biomimétisme

Depuis 2015

- + **20 experts** Ceebios, docteurs, biologistes, ingénieurs
- + **200 clients et projets** industriels accompagnés
- + **500 partenaires** dans un écosystème unique en Europe

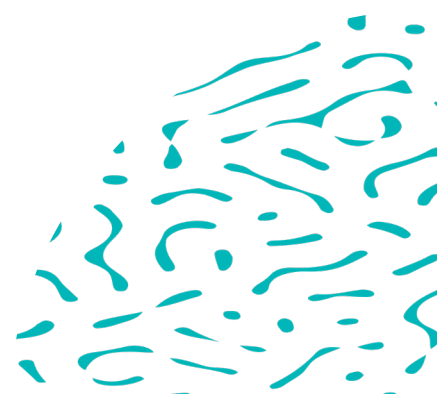


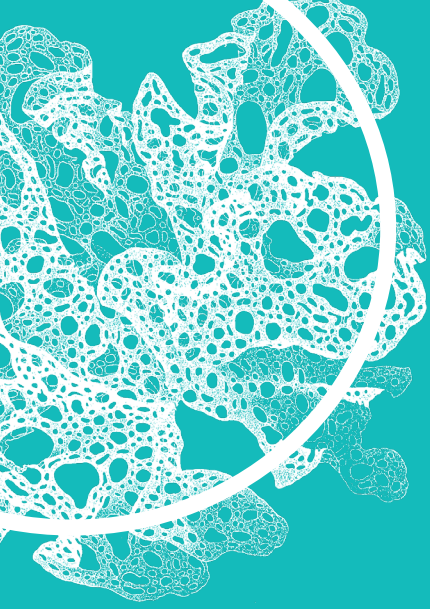
Ceebios est le Centre d'Etudes et d'Expertises en Biomimétisme dédié au déploiement du biomimétisme au service de la transition écologique. Avec un statut de société coopérative d'intérêt collective, à but non lucratif, labellisé ESUS, Ceebios se positionne à l'interface entre sciences du vivant et enjeux de transition.

Ceebios coordonne la structuration et la mise en oeuvre d'une feuille de route nationale du biomimétisme, notamment autour de trois grands axes :

- **Déployer le biomimétisme en France** : animation du réseau national et écosystème privilégié de coopération, actions de communication et de formation.
- **Explorer le potentiel du biomimétisme** : à travers ses propres actions de R&D, développement d'outils et de ressources pour faciliter le processus d'innovation biomimétique grâce à des méthodologies robustes et éprouvées.
- **Innover avec le biomimétisme** : accompagnement de la R&D et de l'innovation par une activité reconnue de conseil appliquée à tous les secteurs industriels.

www.ceebios.com





Cosmimetic Group

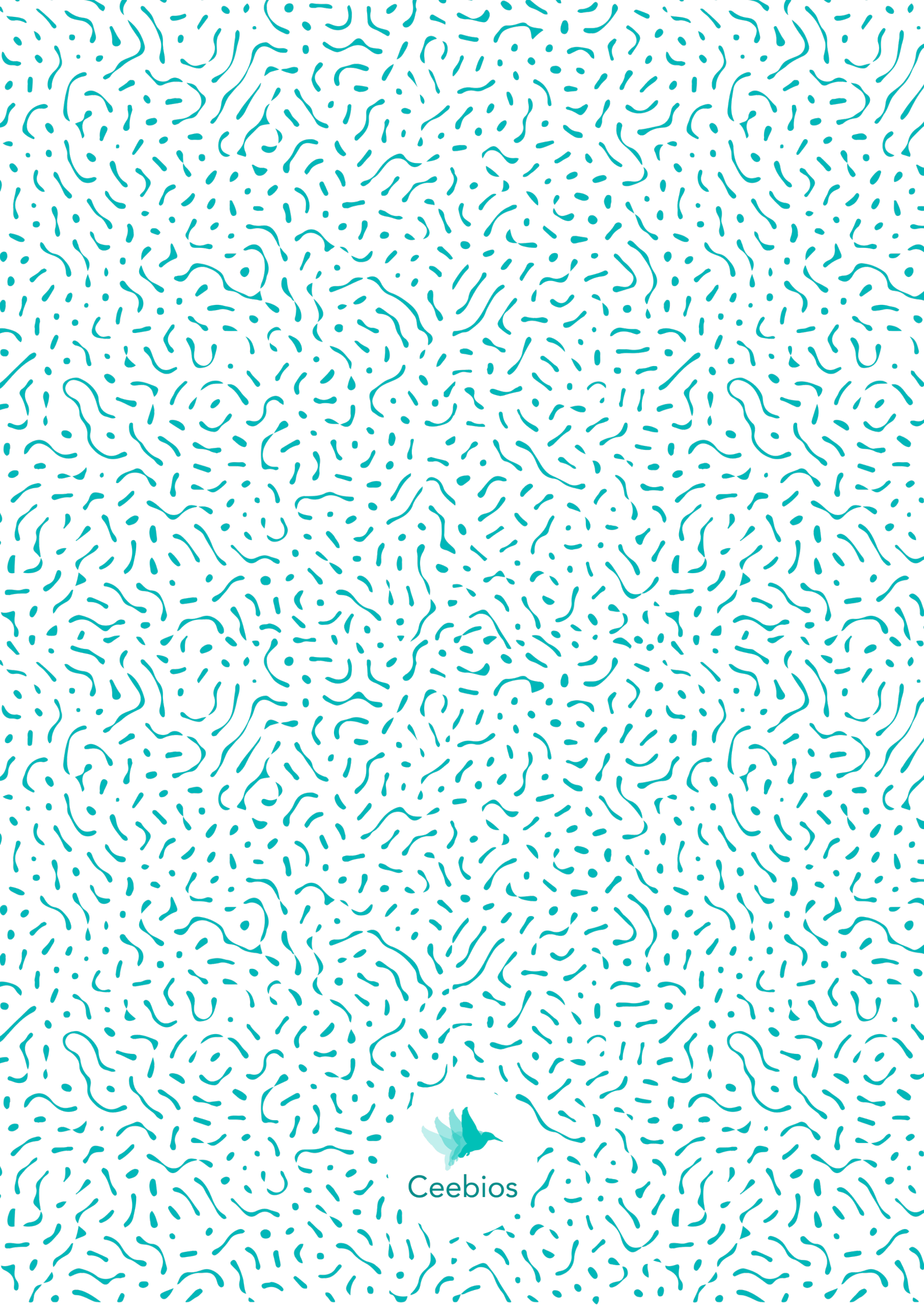
Le Cosmimetic Group est un groupe de travail Ceebios rassemblant ses membres abonnés de la filière cosmétique, autour du sujet du biomimétisme, la démarche d'innovation responsable qui s'inspire des stratégies du vivant. Cette initiative a pour objectif d'accompagner l'appropriation de la démarche biomimétique pour la filière, et notamment :

- De construire **une vision collective et ambitieuse** des bénéfices du biomimétisme dans le contexte spécifique de la filière cosmétique ;
- D'assurer **la montée en compétences** du groupe en biomimétisme, par l'agrégation et la production de ressources inspirantes, la mobilisation et la rencontre d'expertises, la découverte et l'appropriation des enjeux méthodologiques ;
- De faciliter **l'émergence de projets bio-inspirés**, collaboratifs, concrets, innovants, durables.

En 2024, le Cosmimetic Group, piloté par Ceebios, rassemble : GREENTECH, L'Oréal, Lucas Meyer Cosmetics by Clariant, Mibelle Biochemistry, NAOS, Pierre Fabre, Stearinerie Dubois.

Cette synthèse a été réalisée grâce au soutien
de la région Nouvelle-Aquitaine.





Ceebios