

# XP X42-502

MARS 2017

[www.afnor.org](http://www.afnor.org)

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients AFNOR.  
Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit,  
même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of AFNOR customers.  
All network exploitation, reproduction and re-dissemination,  
even partial, whatever the form (hardcopy or other media), is strictly prohibited.



**DOCUMENT PROTÉGÉ  
PAR LE DROIT D'AUTEUR**

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans accord formel.

Contacteur :  
AFNOR – Norm'Info  
11, rue Francis de Pressensé  
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex  
Tél : 01 41 62 76 44  
Fax : 01 49 17 92 02  
E-mail : [norminfo@afnor.org](mailto:norminfo@afnor.org)

**afnor**

AFNOR

Pour : BIBLIOTHEQUE MARIE CURIE – SCD DOC INSA

Client : 7165900

le : 09/07/2018 à 16:37

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur

Distributed under licence of the publisher

# normalisation française

**XP X 42-502**

8 Mars 2017

Indice de classement : X 42-502

ICS : 07.080

## **Biomimétisme — Intégration de la biomimétique dans les démarches d'éco-conception**

E : Biomimicry — Integration of biomimetics in ecodesign approaches

D : Bionik — Berücksichtigung der Biomimikry in den Ökodesign-Ansätzen

### ***Norme expérimentale***

publiée par AFNOR.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être adressées à AFNOR avant le 28 février 2020.

### ***Correspondance***

À la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux de normalisation internationaux ou européens traitant du même sujet.

### ***Résumé***

Le présent document fournit des lignes directrices à tout type d'entreprise, quelle que soit sa taille, et en particulier aux TPE et PME, qui souhaitent initier une démarche d'éco-conception par l'approche biomimétique. Il propose une méthodologie pragmatique de mise en place de cette démarche et facilite notamment son appropriation au sein de l'entreprise.

### ***Descripteurs***

**Thésaurus International Technique** : biologie, système, ingénierie, innovation, transfert, conception, produit industriel, biens de consommation, service, mise en oeuvre, principe, exigence, modèle, analyse fonctionnelle, processus, cycle de vie, cahier des charges, développement durable, environnement, protection de l'environnement.

### ***Modifications***

### ***Corrections***

## La norme expérimentale

**La norme expérimentale**, destinée à servir de base dans les relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux, est caractérisée par une période de mise à l'épreuve pendant laquelle les acteurs socio-économiques en évaluent la pertinence et l'applicabilité.

À l'issue de cette période qui ne peut excéder 3 ans, la commission de normalisation doit décider de réviser la norme expérimentale, d'en prolonger une fois la période d'expérimentation ou de la supprimer.

La norme expérimentale par nature est d'application volontaire. Référencée dans un contrat, elle s'impose aux parties.

**La norme expérimentale est un document élaboré par consensus** au sein d'un organisme de normalisation. Son adoption ne nécessite pas d'enquête publique.

## Pour comprendre les normes expérimentales

L'attention du lecteur est attirée sur les points suivants :

Seules les formes verbales **doit et doivent** sont utilisées pour exprimer une ou des exigences qui doivent être respectées pour se conformer au présent document. Ces exigences peuvent se trouver dans le corps de la norme ou en annexe qualifiée de «normative». Pour les méthodes d'essai, l'utilisation de l'infinitif correspond à une exigence.

Les expressions telles que, **il convient et il est recommandé** sont utilisées pour exprimer une possibilité préférée mais non exigée pour se conformer au présent document. Les formes verbales **peut et peuvent** sont utilisées pour exprimer une suggestion ou un conseil utiles mais non obligatoires, ou une autorisation.

En outre, le présent document peut fournir des renseignements supplémentaires destinés à faciliter la compréhension ou l'utilisation de certains éléments ou à en clarifier l'application, sans énoncer d'exigence à respecter. Ces éléments sont présentés sous forme de **notes ou d'annexes informatives**.

## Commission de normalisation

Une commission de normalisation réunit, dans un domaine d'activité donné, les expertises nécessaires à l'élaboration des normes françaises et des positions françaises sur les projets de norme européenne ou internationale. Elle peut également préparer des normes expérimentales et des fascicules de documentation.

La composition de la commission de normalisation qui a élaboré le présent document est donnée ci-après. Lorsqu'un expert représente un organisme différent de son organisme d'appartenance, cette information apparaît sous la forme : organisme d'appartenance (organisme représenté).



Vous avez utilisé ce document, faites part de votre expérience à ceux qui l'ont élaboré.

Scannez le QR Code pour accéder au questionnaire de ce document ou retrouvez-nous sur <http://norminfo.afnor.org/norme/116715>.

---

## La Biomimétique

## AFNOR BIOMIM

---

### Composition de la commission de normalisation

Président : M PRÉVOST

Secrétariat : M TRABELSI — AFNOR

M	BOYER	ECOLE DES MINES DE NANTES
M	FAYEMI	CENTRE EUROPEEN D'EXCELLENCE EN BIOMIMETISME DE SENLIS
M	GIANNECHINI	MEEM /SG /SDSIE
M	MAUARY	CYBERIO
M	PRÉVOST	CGDD
M	PRUCHE	CENTRE EUROPEEN D'EXCELLENCE EN BIOMIMETISME DE SENLIS
MME	RASKIN	CENTRE EUROPEEN D'EXCELLENCE EN BIOMIMETISME DE SENLIS
M	SCHEFFER	X TU
M	WILDERS	LABO'LIFE FRANCE

## XP X 42-502

### Sommaire

	Page
<b>Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>1    <b>Domaine d'application .....</b></b>	<b>7</b>
<b>2    <b>Références normatives .....</b></b>	<b>7</b>
<b>3    <b>Termes et définitions.....</b></b>	<b>7</b>
<b>4    <b>Principes fondamentaux du biomimétisme .....</b></b>	<b>8</b>
<b>5    <b>Exigences concernant l'intégration de la biomimétique dans les démarches       d'éco-conception .....</b></b>	<b>10</b>
<b>Annexe A Liste de questions permettant d'intégrer les propriétés et stratégies du vivant dans la       méthodologie d'éco-conception (Étape 3) .....</b>	<b>15</b>
<b>Annexe B Liste des centres et réseaux européens en biomimétisme.....</b>	<b>20</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>22</b>

## Introduction

La biomimétique est définie comme une démarche de transfert de connaissances issues de l'analyse de systèmes biologiques vers des applications pratiques répondant à des besoins identifiés pour l'homme. Il s'agit, par construction, d'une approche multidisciplinaire, à la frontière des sciences du vivant et des autres champs des savoirs et techniques.

En tant que démarche d'innovation, la biomimétique comprend trois étapes de maturation (cf. NF ISO 18458) :

- l'analyse de systèmes biologiques ;
- la conceptualisation de certaines caractéristiques de ces systèmes en un modèle, c'est-à-dire en une abstraction fondée sur l'analyse de ces systèmes ;
- l'application du modèle obtenu à un développement technique ou organisationnel répondant à un besoin défini.

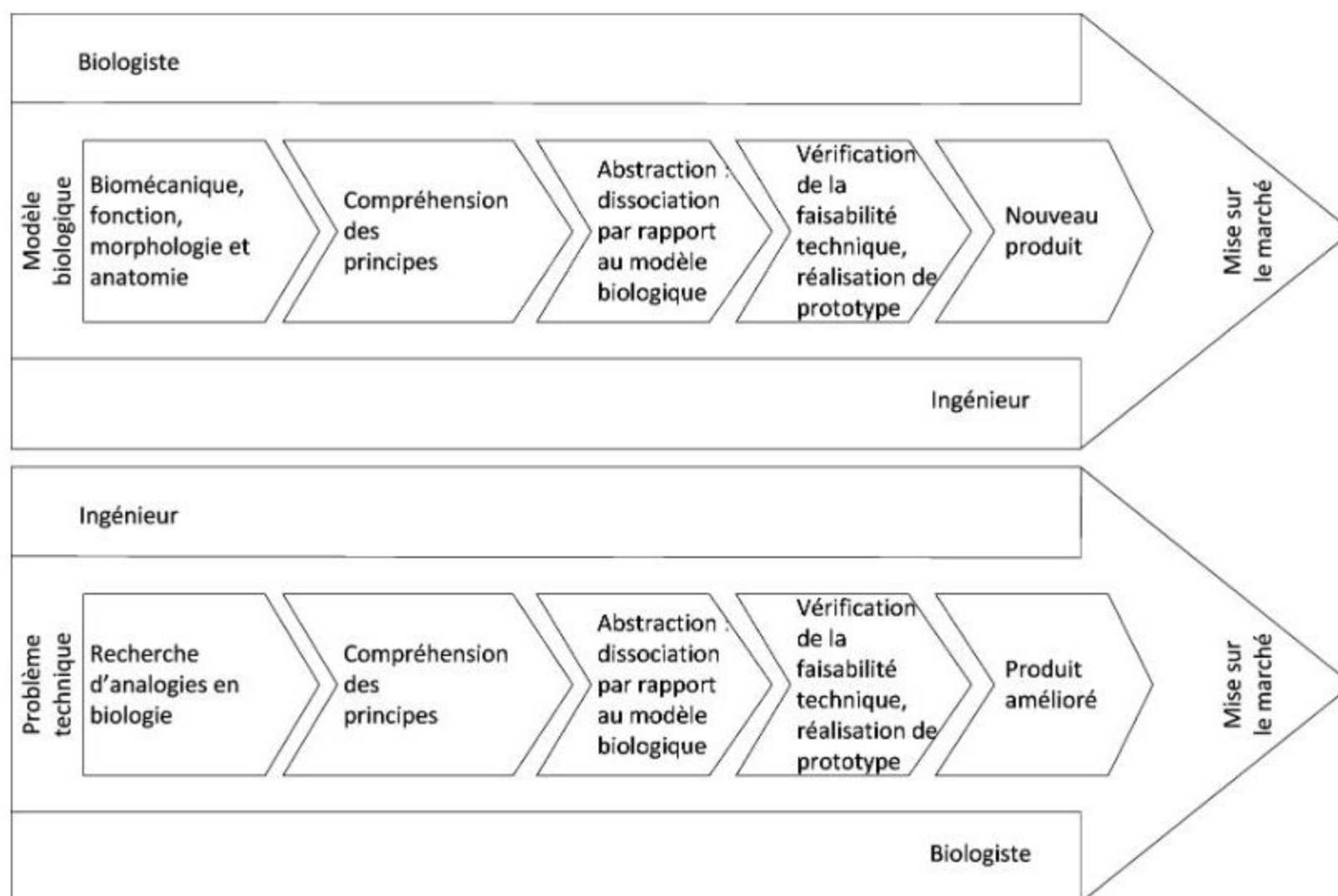


Figure 1 — Processus type de développement biomimétique pour une « poussée biologique » (haut) et un « attrait technologique » (bas). Réf NF ISO 18458

## **XP X 42-502**

Compte-tenu des limites physiques de notre planète d'une part et de la capacité constatée des systèmes naturels à répondre de manière soutenable à ces limites d'autre part, la démarche d'inspiration du vivant qu'est la biomimétique ouvre des perspectives nouvelles de développement durable pour l'homme. La diversité des systèmes naturels observables aujourd'hui, dont l'adaptation est souvent reconnue comme un optimum intrinsèque, constitue la source d'inspiration première (en termes de gestion des flux de matière, d'énergie et d'information notamment) de la biomimétique.

Toutefois, la biomimétique ne conduit pas à des solutions durables systématiques. Ainsi, par exemple, l'innovation bio-inspirée peut-elle s'appuyer dans sa conception sur des ressources non renouvelables, ou générer des produits à la toxicité persistante pour l'homme ou son environnement.

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

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

L'objet du présent document est de proposer un cadre de principes et d'exigences qui accompagne une démarche biomimétique éco-responsable.

## **1 Domaine d'application**

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

## **2 Références normatives**

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

XP ISO/TR 14062, *Management environnemental — Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit*

NF X 30-264, *Management environnemental - Aide à la mise en place d'une démarche d'éco-conception*

NF ISO 18458, *Biomimétique — Terminologie, concepts et méthodologie (indice de classement : X 42-500)*.

NF EN ISO 14006, *Systèmes de management environnemental — Lignes directrices pour intégrer l'éco-conception (indice de classement : X 30-006)*.

NF EN ISO 14040, *Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre (indice de classement : X 30-300)*.

## **3 Termes et définitions**

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

### **3.1**

#### **éco-conception**

intégration systématique des aspects environnementaux dès la conception et le développement de produits (biens et services, systèmes) avec pour objectif la réduction des impacts environnementaux négatifs tout au long de leur cycle de vie à service rendu équivalent ou supérieur. Cette approche dès l'amont d'un processus de conception vise à trouver le meilleur équilibre entre les exigences, environnementales, sociales, techniques et économiques dans la conception et le développement de produits. NF X 30-264

### **3.2**

#### **bio-inspiration**

approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques

### **3.3**

#### **système biologique**

groupe cohérent d'éléments observables issus du monde vivant, allant de l'échelle nanométrique à l'échelle macrométrique

### **3.4**

#### **biomimétisme**

philosophie et approches conceptuelles interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable (social, environnemental et économique)

### **3.5**

#### **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 ainsi que du transfert et de l'application de ces modèles à la solution



## XP X 42-502

### 3.6

#### produit

tout bien, service ou système. NF X 30-264

### 3.7

#### système de produit

ensemble de processus élémentaires comportant des flux de produits et des flux élémentaires, remplissant une ou plusieurs fonctions définies, qui sert de modèle au cycle de vie d'un produit

[SOURCE : NF EN ISO 14040], NF X 30-264

### 3.8

#### cycle de vie

phases consécutives et liées d'un système de produits, de l'acquisition des matières premières ou de la génération des ressources naturelles à l'élimination finale

[SOURCE : NF EN ISO 14040, 3.8]

### 3.9

#### innovation

processus qui consiste en la mise en œuvre d'un produit, procédé, ou service, nouveau.

## 4 Principes fondamentaux du biomimétisme

### 1) Propriétés et stratégies observables dans les systèmes biologiques.

Avec leurs différents niveaux de complexité et d'organisation, les systèmes naturels ont des solutions énergétiques durables : une utilisation efficace, des sources renouvelables et diversifiées, un stockage chimique et une gestion des réseaux de distribution optimisés, adaptés aux fluctuations environnementales et à la disponibilité de nutriments.

Il est ainsi possible de dresser une liste de propriétés et stratégies des systèmes vivants, qui sont autant de critères pour élaborer un cahier des charges de conception produit.

**Tableau 1 — Propriétés et stratégies observables dans les systèmes biologiques. Ces différents paramètres sont détaillés en Annexe A**

Propriétés	Stratégies
(Auto-) assemblé Modulaire Multifonctionnel Adaptable Biocompatible Forme adaptée à la fonction Réparable Réactif Biodégradable Démontable / décomposable Résilient ...	Ressources renouvelables Ressources localement disponibles Matériaux recyclables et recyclés Approvisionnements non fossiles Mutualisation Chimie douce Fabrication additive Diversité des stratégies de stockage et de distribution ...

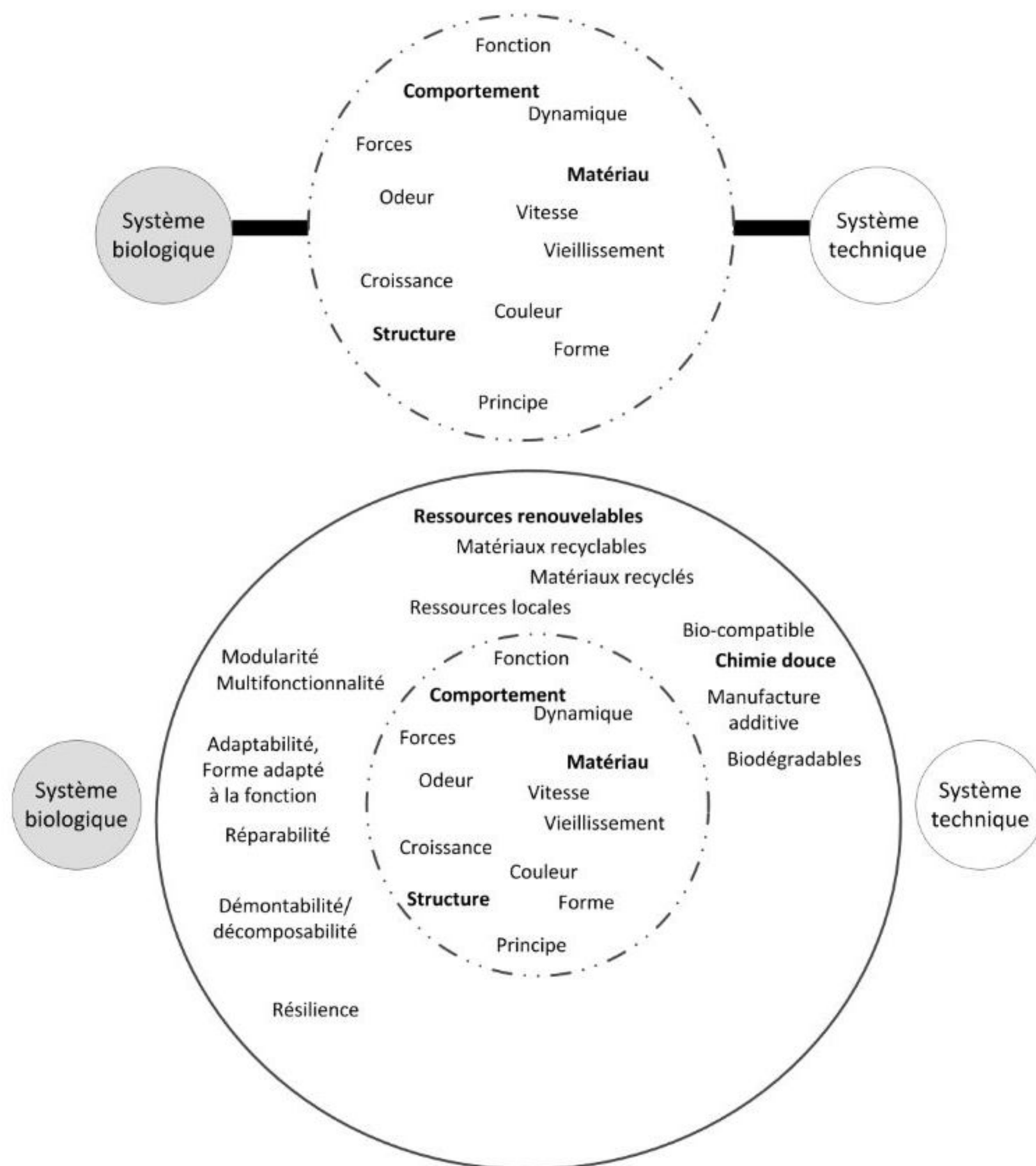
## 2) Le Biomimétisme — un levier de l'éco-conception

Le cycle du carbone fait partie des facteurs primordiaux pour le développement des êtres vivants. Le développement de la filière bio-sourcée ainsi que l'exploitation de l'activité des micro-organismes ou encore l'imitation de la photosynthèse pour la séquestration de CO<sub>2</sub> et la production de chaînes carbonées à partir du CO<sub>2</sub> atmosphérique grâce à l'énergie solaire, témoignent de l'intérêt d'une approche biomimétique pour les industriels.

La chimie du vivant est fondée sur des principes hautement présents dans toutes les espèces : utilisation principalement d'atomes abondants (C, H, O, N, P, S), réactions essentiellement basées sur l'énergie solaire, réalisées à température et pression ambiantes et en solution aqueuse, reposant sur le recyclage métabolique et la catalyse enzymatique, afin de produire des molécules biodégradables et biocompatibles, sans toxicité à long terme. Ces principes, connus depuis des décennies, convergent vers ceux annoncés en 1998 par Paul Anastas et J.C. Warner, à l'origine du concept de « chimie verte ».

Les principaux défis concernant la conception des matériaux résident dans la conciliation de performances structurales élevées et, compte tenu du cycle de vie du produit, d'un processus de fabrication respectueux de l'environnement en termes de consommation d'énergie et de ressources, ainsi que le retrait des produits chimiques toxiques et rares des processus de fabrication. Il existe dans la variété des organismes vivants une vaste gamme de stratégies de production de matériaux compatibles avec les contraintes environnementales telles que l'adoption de structures hiérarchisées, composites et interfaciales, assurant la multifonctionnalité tout en étant manufacturés en conditions douces. Ces stratégies ont été largement imitées afin de construire des matériaux aux performances physiques élevées, par exemple les céramiques inspirées de l'ormeau, la production de soie d'araignée ou la production sol-gel du verre.

**XP X 42-502**



**Figure 2 — Aspects possibles utilisés différenciant la biomimétique (haut) et le biomimétisme (bas) tels qu'énoncés dans la NF ISO 18458**

**5 Exigences concernant l'intégration de la biomimétique dans les démarches d'éco-conception**

D'après la NF X 30-264, l'éco-conception s'appuie sur :

- **une approche multi-critère** qui intègre l'ensemble des paramètres environnementaux dont notamment : consommations de matières premières vierges et/ou recyclées et d'énergie fossile et/ou renouvelable sur l'ensemble du cycle de vie du produit et de ses composants ; rejets dans l'eau, l'air, les sols, toxicité, production de déchets, sur l'ensemble du cycle de vie du produit et de ses composants ; les transformations des milieux naturels et du cadre de vie ;
- **une approche cycle de vie** qui exige la prise en compte au cours du processus de conception et de développement des aspects environnementaux significatifs d'un produit au cours de toutes les phases de son cycle de vie ;
- **une approche système** où le produit doit être pris en compte avec l'ensemble des éléments qui le composent à savoir : le produit lui-même, les emballages primaires, secondaires et tertiaires, les consommables, les pièces de rechange et les supports promotion (actions publicitaire). L'architecture produit ainsi que le comportement des systèmes constitutifs doivent également être pris en compte ;

- **une approche fonctionnelle** du produit. Le produit vise à remplir une ou des fonctions pour satisfaire un besoin. Au cours de la démarche d'éco-conception, on cherche à remplir la fonction en minimisant les impacts environnementaux en utilisant les ressources de façon efficace ;
- **une approche multi-acteurs** sur la chaîne de valeur du produit. La mise en place d'une démarche d'éco-conception en entreprise nécessite l'implication de divers professionnels. Les responsables du projet doivent impliquer les acteurs internes et externes de la chaîne de valeur du produit.

Outre ces exigences, une démarche biomimétique éco-responsable inclut :

- **une analyse de risques environnementaux et sanitaires** pour les produits et services visés. Cette analyse s'appuie sur l'état de l'art des connaissances scientifiques des domaines concernés ;
- **une compréhension des systèmes biologiques** sous-tendant le développement visé (cf. Article 4 et Annexe A).

Le biomimétisme apparaît comme un outil de l'éco-conception. L'entreprise peut donc utiliser la liste de critères issus du vivant, comme trame pour atteindre les spécifications responsables de l'innovation au sein d'un projet.

Mise en œuvre

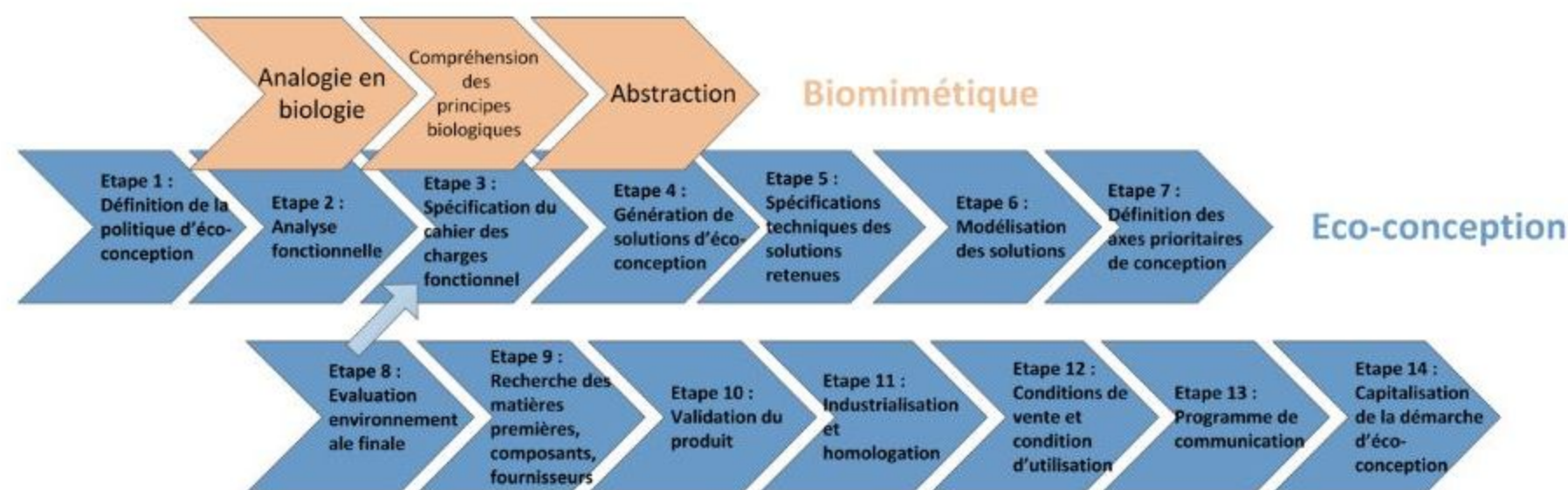


Figure 3 — Biomimétisme : intégration de la biomimétisme dans la démarche d'éco-conception

Les étapes méthodologiques proposées ci-dessous sont celles détaillées dans la NF X 30-264 relative à l'éco-conception, enrichies par la biomimétisme.

Étape 1	Définition de la politique d'éco-conception par la biomimétisme = biomimétisme
<b>Objectif</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Traduire en termes d'engagements la volonté de l'entreprise à réduire ses impacts environnementaux.</li> <li>— Guider la décision et le choix de la stratégie d'éco-conception par la biomimétisme.</li> </ul>
<b>Données d'entrée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Politique produit de l'organisme.</li> <li>— Réglementation.</li> <li>— Attente des parties prenantes.</li> <li>— Ressources de l'organisation (humaines, techniques, économiques).</li> </ul>
<b>Acteurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Direction (Direction de l'environnement).</li> </ul>
<b>Outils</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Guides d'éco-conception</li> <li>— Guides de biomimétisme (NF ISO 18458)</li> </ul>
<b>Données de sortie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Politique d'éco-conception par la biomimétisme communiquée aux acteurs internes et aux acteurs de la chaîne de valeur concernés (documentée, mise en œuvre et tenue à jour).</li> </ul>

**XP X 42-502**

Étape 2	Analyse fonctionnelle
<b>Objectif</b>	— Analyser le produit en termes de fonction ou services à rendre en minimisant les impacts environnementaux en utilisant les ressources de façon efficace, en s'inspirant des propriétés et stratégies des systèmes vivants.
<b>Données d'entrée</b>	— Produit de référence (si existant).
<b>Acteurs</b>	— Équipe projet (BE, R&D, Marketing, Achats, Production, etc.).
<b>Outils</b>	— Outils organisationnels. — Analyse des besoins selon l'analyse de la valeur. — Méthodologie de la biomimétique (NF ISO 18458)
<b>Données de sortie</b>	— Liste de services attendus (ou fonctions à remplir) par le produit éco-conçu.

Étape 3	Spécification du cahier des charges fonctionnel
<b>Objectif</b>	— Établir un référentiel des besoins et des contraintes intégrant les propriétés et stratégies des vivants (Article 4 et Annexe A) en cohérence avec les critères environnementaux identifiés dans les actions précédentes. — Intégrer de façon précise les éléments de la fonction « respecter l'environnement ».
<b>Données d'entrée</b>	— Produit de référence. — Résultats de l'analyse fonctionnelle (liste de services attendus).
<b>Acteurs</b>	— Équipe projet (BE, R&D, Marketing, Achats, Production, etc.).
<b>Outils</b>	— Veille réglementaire (réglementation sur le produit ou le secteur industriel). — Veille technique et concurrentielle. — Une liste de questions permettant d'affiner le critère biomimétique considéré (cf Annexe A).  L'ensemble des critères (cf. Article 4 et Annexe A) doivent être analysés et idéalement retenus. Néanmoins, certains d'entre eux pourront être écartés pour des raisons qui devront être explicitées et documentées (contraintes techniques, économiques, réglementaires ...).
<b>Données de sortie</b>	— Cahier des charges fonctionnel. — Définition des critères et des niveaux de performance aux contraintes environnementales.

**XP X 42-502**

Étape 4	Génération de solutions d'éco-conception
<b>Objectif</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Rechercher des idées et des concepts, issus du vivant afin de réduire de façon significative les impacts environnementaux.</li> </ul>
<b>Données d'entrée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Cahier des charges fonctionnel.</li> <li>— Définition des critères et des niveaux de performance aux contraintes environnementales.</li> </ul>
<b>Acteurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Équipe projet (BE, R&amp;D, Marketing, Achats, Production, etc.).</li> <li>— Filière de traitement de fin de vie.</li> </ul> (Entreprises de collecte / traitement des déchets et entreprises de recyclage)
<b>Outils</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Outils de créativité.</li> <li>— Outils d'innovation.</li> <li>— Normes, guidelines, check-lists, logiciels, etc.</li> <li>— Méthodologie de hiérarchisation.</li> </ul> (voir Annexe B). Afin de faciliter le transfert de connaissances de la biologie vers les autres disciplines, l'équipe pourra : <ul style="list-style-type: none"> <li>— inviter les biologistes aux groupes de travail ;</li> <li>— rechercher dans les articles scientifiques et manuels de biologie ;</li> <li>— inviter des spécialistes du domaine de la bio-inspiration dans ses groupes de travail, en particulier ceux qui travaillent sur les réseaux de compétences et d'outils de résolution de problèmes spécifiques ;</li> <li>— consulter les bases de données et utiliser les outils existants (référence).</li> </ul>
<b>Données de sortie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Liste d'options, d'alternatives possibles hiérarchisées et validées techniquement.</li> </ul>

## XP X 42-502

Étape 5	Spécifications techniques des solutions retenues
Étape 6	Modélisation des solutions
Étape 7	Définition des axes prioritaires de conception
Étape 8	Évaluation environnementale finale, comparaison avec le produit de référence et analyse des risques environnementaux et sanitaires Renvoi notamment à l'étape 3 et à la liste d'exigences de l'Article 5
Étape 9	Recherche des matières premières, composants, fournisseurs
Étape 10	Validation du produit
Étape 11	Industrialisation et homologation
Étape 12	Conditions de vente et condition d'utilisation
Étape 13	Programme de communication
Étape 14	Capitalisation de la démarche d'éco-conception

## **Annexe A** (informative)

### **Liste de questions permettant d'intégrer les propriétés et stratégies du vivant dans la méthodologie d'éco-conception (Étape 3)**

#### **(Auto-) Assemblage**

Quelles étapes consomment la plupart des ressources et de temps dans mon processus d'assemblage ?

Puis-je les supprimer ou les modifier ?

Qu'est-ce que, dans la conception des composants relatifs à cette étape, nécessite un tel procédé d'assemblage ?

Puis-je revoir mes composants afin de limiter la complexité de l'ensemble ?

#### **Modularité**

Quels composants ne fonctionnent que dans le contexte de mon produit et/ou de son usage ?

Pourquoi ne sont-ils pas fonctionnels dans un autre contexte ?

Puis-je les repenser de manière à ce qu'ils fonctionnent de façon indépendante de leur appartenance au produit ?

#### **Résilience**

- Lesquelles de mes fonctions essentielles ne sont pas décentralisées ou pourraient être effectuées par des sous-systèmes diversifiés et redondants ?
- Pourquoi ne sont-elles pas décentralisées ?
- Pourquoi ne sont-elles pas effectuées par des sous-systèmes diversifiés ?
- Pourquoi ne sont-elles pas effectuées par des sous-systèmes redondants ?
- Est-ce que je pense à une conception spécifique augmentant la résilience de mon réseau de relations entre les composantes de mon système ? Surtout si les flux d'information sont impliqués ?

#### **Multifonctionnalité**

- Quelles sont les principales fonctions de mon produit, nécessaires pour fournir les résultats souhaitables ?
- Y a-t-il des composants ou sous-systèmes, qui pourraient être conçus pour fournir plusieurs fonctions à la fois ?

#### **Adaptabilité/Réactivité**

- Est-il intéressant en termes d'énergie ou d'efficacité des matériaux, de multiplier les états et les comportements de mon produit ? (Un exemple simple : actif et modes de veille).
- Sur quelles variables environnementales pourrait-on fonder un changement de signal d'état ou de comportement ?



## **XP X 42-502**

- Puis-je concevoir mon produit afin de multiplier ses états et comportements ?
- Puis-je concevoir mon produit afin de le rendre sensible aux variables pertinentes à son état et celui de son environnement ?
- Puis-je ajouter un système pour mon produit qui détermine son état ou son comportement par rapport à des variables pertinentes environnementales ?
- Comment le produit peut-il utiliser la mémoire afin d'augmenter son efficacité énergétique et matérielle ?
- Quelles sont les variables internes et externes importantes pour mesurer et mémoriser ?
- Puis-je concevoir mon produit afin d'intégrer une forme de mémoire qui va influencer les réponses comportementales / fonctionnelles ?

### **Forme adaptée à la fonction**

- Les formes des composants de mon produit sont-elles toutes clairement liées aux fonctions et aux résultats souhaités ?
- Puis-je repenser la forme d'un de mes composants afin de réduire la consommation de matières ou de l'énergie ?
- Puis-je réduire la complexité d'un composant en adaptant sa forme ?

### **(Auto-) réparable**

- Quelles sont les composantes essentielles de mon produit ?
- Comment puis-je concevoir mon produit afin d'éliminer ses caractéristiques critiques ?
- Comment puis-je rendre mon produit facilement réparable pendant sa phase d'utilisation (service de réparation et d'entretien, pièces de rechange d'approvisionnement, Internet FAQ et / ou forum ...) ?

### **Démontable/ Décomposable**

- Quelles étapes dans le processus de démontage consomment le plus de ressources et de temps ?
- Pourquoi sont-ils si problématiques ?
- Comment puis-je concevoir mon produit de manière à simplifier son démontage ?
- Comment organiser la collecte de mes produits à la fin de leur cycle de vie ?
- Comment tester si les composants prélevés sur mon produit sont encore fonctionnels ?
- Comment réintégrer ces composants encore fonctionnels dans le processus de production ?

### **Biocompatible**

- Quels matériaux liés au produit ne sont manifestement pas bio-compatibles ?
- Quelles sont les propriétés attendues de ces matériaux dans le fonctionnement du produit ?
- Peut-on trouver des substituts bio-compatibles pour ces matériaux ?
- Si non, pouvons-nous concevoir le produit de façon à éliminer la nécessité de ces matériaux non bio-compatibles ?

## XP X 42-502

- Si les matériaux sont bio-compatibles, suis-je sûr que leur niveau de rejet dans l'environnement ne sont pas à l'origine de problèmes environnementaux connus ?

### **Biodégradable**

- Quels matériaux liés au produit ne sont pas biodégradables ?
- Quelles sont les propriétés attendues de ces matériaux en ce qui concerne le fonctionnement du produit ?
- Peut-on trouver des substituts biodégradables pour ces matériaux ?
- Si non, pouvons-nous concevoir le produit afin d'éliminer la nécessité de ces matériaux non biodégradables ?
- Comment organiser le compostage des matières biodégradables contenues dans mon produit ?

### **Ressources renouvelables**

- Quelles sont les matières non renouvelables utilisées dans mon produit ?
- Quelles sont les propriétés attendues de ce matériau pour le fonctionnement du produit ?
- Peut-on trouver un substitut renouvelable pour ce matériel ?
- Si non, pouvons-nous concevoir le produit afin d'éliminer la nécessité de ce matériel ?
- Quelles sont les sources d'énergie non renouvelables utilisées pour concevoir mon produit ?
- Puis-je trouver des sources renouvelables qui peuvent être utilisés par mon produit ?
- Si non, puis-je concevoir mon produit de manière à utiliser une source d'énergie renouvelable d'un autre type ?

### **Ressources localement disponibles**

- Quelles sont les sources les plus lointaines de matériaux et d'énergie qui alimentent mon produit ?
- Puis-je trouver des sources utilisables localement pour le produit ?
- Si non, puis-je concevoir mon produit afin d'utiliser une source d'énergie primaire locale d'un autre type ?
- Quelles sont les propriétés attendues du matériau utilisé dans le fonctionnement du produit, et puis-je trouver des substituts locaux pour ces matériaux ? Sinon, puis-je concevoir le produit de façon à éliminer la nécessité de ces matériaux non locaux ?

### **Matériaux recyclables et recyclés**

- Quels matériaux non recyclés sont présents dans mon produit ?
- Quelles sont les propriétés attendues de ces matériaux pour le fonctionnement du produit ?
- Peut-on trouver des substituts recyclés pour ces matériaux ?
- Si non, pouvons-nous concevoir le produit afin d'éliminer la nécessité de ces matériaux non recyclés ?
- Comment organiser la collecte de la matière à recycler à la fin du cycle de vie de mon produit ?

## **XP X 42-502**

- Les matériaux choisis sont-ils ceux qui peuvent être recyclés le plus efficacement (en termes d'énergie, de matériaux, de rétrogradation) ?
- Quels composants sont recyclés alors qu'ils sont encore fonctionnels ?
- Quels sont les matériaux non recyclables présents dans mon produit ?
- Quelles sont les propriétés attendues de ces matériaux pour le fonctionnement du produit ?
- Peut-on concevoir des substituts recyclables pour ces matériaux ?
- Si non, pouvons-nous concevoir le produit de façon à éliminer la nécessité de ces matériaux non recyclables ?
- Pourquoi ? Est-ce un défaut dans le processus de démontage ?
- Est-il possible de concevoir le produit, son montage et son démontage, pour ne recycler que les composants défectueux ?

### **Approvisionnements non fossiles**

- Dans quelle mesure dois-je utiliser les combustibles fossiles pour concevoir et vendre mon produit ?
- Puis-je remplacer les combustibles fossiles par des sources renouvelables ?
- Puis-je concevoir mon produit afin d'être en mesure de remplacer les combustibles fossiles ?

### **Mutualisation**

- Quelles ressources liées à mon produit pourraient être mutualisées ?
- Ces ressources déjà utilisées dans d'autres processus en propre, ou ceux de mes partenaires potentiels ?

### **Chimie douce**

- Quels sont les processus liés à mon produit qui ne sont pas réalisés à pression et température ambiantes ?
- Puis-je envisager des processus qui ont lieu à pression et température ambiantes ?
- Si non, puis-je concevoir mon produit afin d'éliminer la nécessité de recourir à ces processus ?
- Quels sont les processus liés à mon produit qui n'utilise pas l'eau comme solvant ?
- Puis-je remplacer ces processus par d'autres en utilisant des solvants aqueux ?
- Quels sont les processus liés à mon produit qui utilisent des éléments rares ?
- Puis-je remplacer cette substance par une autre ?
- Puis-je remplacer ou éviter des phases de synthèse en utilisant la catalyse enzymatique ?

### **Fabrication additive**

- Quels sont les procédés de fabrication liés à mon produit ne fonctionnant pas par addition de matière, à savoir la fabrication additive ?
- Puis-je les remplacer par des procédés utilisant la fabrication additive ?

## XP X 42-502

- Si non, puis-je concevoir mon produit de telle sorte que son processus de fabrication fonctionne via l'ajout de matériel ?
- Si oui, puis-je utiliser des matières premières renouvelables et respectueuses de l'environnement, ou tout au moins recyclées ?

### **Diversité des stratégies de stockage et de distribution**

- Est-ce que mon système repose sur des ressources diversifiées et décentralisées ?
- Est-ce que mon système est capable de détecter les changements qui nécessiteraient une adaptation ?
- Si oui, est-il en mesure de traiter efficacement l'information afin d'y répondre correctement ?

**XP X 42-502**

**Annexe B**  
(informative)

**Liste des centres et réseaux européens en biomimétisme**

Réseaux à rayonnement international

BIOKON INTERNATIONAL : [www.biokon-international.com](http://www.biokon-international.com)

CEEBIOS : [www.cebios.com](http://www.cebios.com)

EUROPEAN BIOMIMICRY ALLIANCE : [www.biomimicryalliance.eu](http://www.biomimicryalliance.eu)

Réseaux nationaux

Autriche : BIONIK - [www.bionikum.at](http://www.bionikum.at)

France : CEEBIOS - [www.cebios.com](http://www.cebios.com)

Allemagne: BIONIK and BIONIK INTERNATIONAL - [www.biokon-international.com](http://www.biokon-international.com)

Centres et réseaux régionaux allemands

Kompetenznetz Biomimetik Baden-Württemberg

Bayonik Bionik-Netz Bayern

Bionik-Innovations-Centrum (B-I-C) Bremen

Bionic Engineering Network (BEN) Saarland

Bionik-Netzwerk Hessen

Bionik-Zentrum ‚bionicum‘ in Nürnberg

Collaborative Research Center - Transregio 141

Freiburg Centre for Interactive Materials and Bioinspired Technologies (FIT)

Royaume-Uni

UCL - <http://www.natureinspiredengineering.org.uk/the-centre/themes>

Nature Inspired Manufacturing Center : <http://www.ch.cam.ac.uk/news/nature-inspired-manufacturing-workshop>

Suisse

National center of competence and research - <http://www.ch.cam.ac.uk/news/nature-inspired-manufacturing-workshop>

## Réseaux en émergence

[www.biomimicry.eu](http://www.biomimicry.eu)

[www.biomimicrynl.org](http://www.biomimicrynl.org)

[www.biomimicrygermany.de](http://www.biomimicrygermany.de)

<http://planet.wemimic.it>

[www.biomimicryiberia.com](http://www.biomimicryiberia.com)

[www.biomimicry-uk.org](http://www.biomimicry-uk.org)

[www.biomimicrych.org](http://www.biomimicrych.org)

<http://biomimicryswitzerland.org/>

## XP X 42-502

### Bibliographie

- ALLENBY, B. (2011)  
Thoughts on industrial ecology, emerging technologies, and sustainability science  
Sustainability Science 6, 119–122
- ALLENBY, B. R., and COOPER, W. E. (1994)  
Understanding industrial ecology from a biological systems perspective  
Environmental Quality Management 3, 343–354
- ANASTAS, P. T., and WARNER, J. C. (1998)  
Green Chemistry: Theory and Practice  
Oxford University Press, USA
- ARTERO, V. et al. (2013)  
Recherches bio-inspirées : une opportunité pour la transition écologique ? Actes du colloque du 10 décembre 2012 Collection "Références", Direction de la recherche et de l'innovation du Commissariat général au développement durable.
- BAR-COHEN, Y. (2011)  
Biomimetics: nature based innovation  
CRC Press LLC
- BENSAUDE-VINCENT, B., and HESSENBRUCH, A. (2004)  
Materials science: a field about to explode?  
Nat Mater 3, 345–347. Available at: [Accessed March 5, 2013]
- BENSAUDE-VINCENT, B., ARRIBART, H., BOULIGAND, Y., and SANCHEZ, C. (2002).  
Chemists and the school of nature  
New J. Chem. 26, 1–5. Available at: [Accessed March 5, 2013]
- BENYUS, J. M. (1997)  
Biomimicry  
New York: Harper Perennial
- BOGATYREV, N., and BOGATYREV, O. (2014)  
Inventor's Manual  
BioTRIZ Ltd
- CAPRA, F.  
The Web of Life  
New York. Anchor/Doubleday
- CHEN, J. L., and YANG, Y.-C. (2011)  
Eco-Innovation by Integrating Biomimetic with TRIZ Ideality and Evolution Rules  
Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing, 101–106
- CHEN, R., WANG, C., HUANG, Y., and LE, H. (2008)  
An efficient biomimetic process for fabrication of artificial nacre with ordered-nanostructure.  
Materials Science and Engineering: C 28, 218–222 44  
CNRS (2012)  
La Nature Pour Modèle  
Journal du CNRS 268
- DE PAUW, I., KANDACHAR, P., KARANA, E., PECK, D., and WEVER, R. (2010)

Nature inspired design: Strategies towards sustainability

DURAND, H. (2012)

Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France :  
état des lieux, potentiel, leviers état des lieux, potentiel, leviers

ERKMAN, S. (2004)

Vers une écologie industrielle  
Charles Léopold Mayer/ECLM

FERMANIAN BUSINESS & ECONOMIC INSTITUTE (2010)

The Global Biomimicry Efforts: An Economic Game Changer

GLEICH, A. von, PADE, C., PETSCHOW, U., and PISSARSKOI, E. (2010)

Potentials and Trends in Biomimetics  
Springer

ISENMANN, R. (2003)

Industrial ecology: Shedding more light on its perspective of understanding nature as model  
Sustainable Development 11, 143-158

PAWLYN, M. (2011)

Biomimicry in Architecture  
Riba Pub.

PEDERSEN ZARI, M. (2010)

Biomimetic design for climate change adaptation and mitigation  
Architectural Science Review 53, 172-183

SANCHEZ, C., ARRIBART, H., and GUILLE, M. M. G. (2005)

Biomimetism and bioinspiration as tools for the design of innovative materials and systems  
Nature materials 4, 277-288

SWIEGERS, G. (2012)

Bioinspiration and Biomimicry in Chemistry  
Wiley

VINCENT, JF. (2008)

Biomimetic materials  
Journal of Materials Research 23:3140-3147

VINCENT, JF., BOGATYREVA, O., BOGATYREV, N. (2006)

Biology doesn't waste energy: that's really smart  
In: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2006-01-01, San Diego, CA.

VINCENT, JF., BOGATYREVA, O., PAHL, A-K., BOGATYREV, N., BOWYER, A. (2005)

Putting biology into TRIZ: a database of biological effects  
Creativity and Innovation Management 14:66-72

VINCENT, JF., BOGATYREVA, OA., BOGATYREV, NR., BOWYER, A., PAHL, A-K. (2006)

Biomimetics: its practice and theory  
Journal of the Royal Society Interface 3:471-482

BOGATYREV, N. and BOGATYREV, O. (2014)

Eco-innovation and the Development of Business Models: Lessons from Experience and New Frontiers in  
Theory and Practice  
Springer