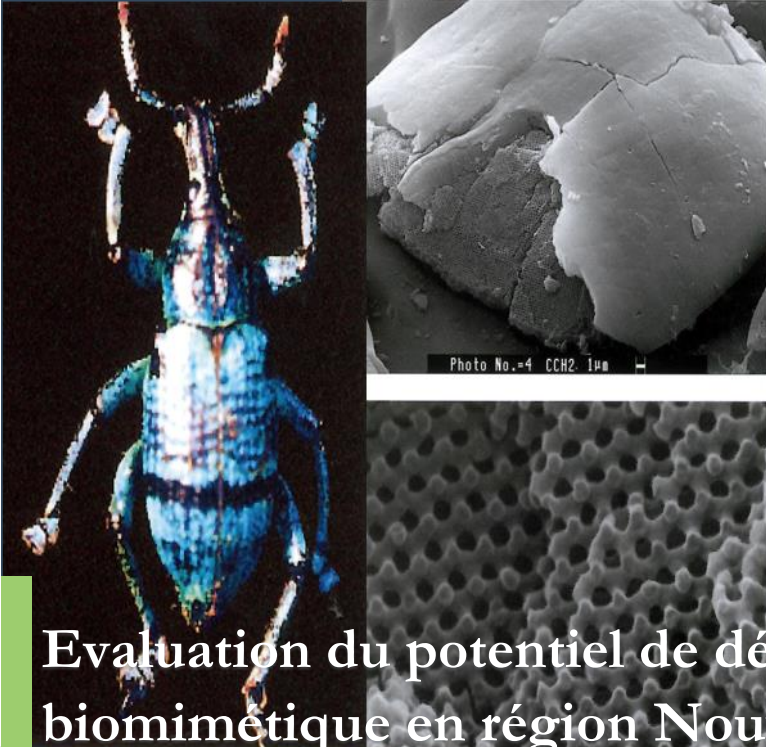
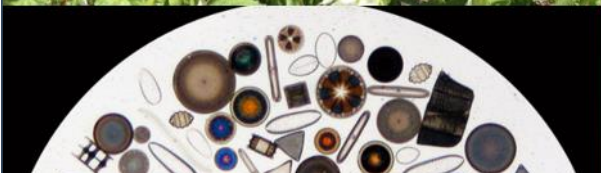
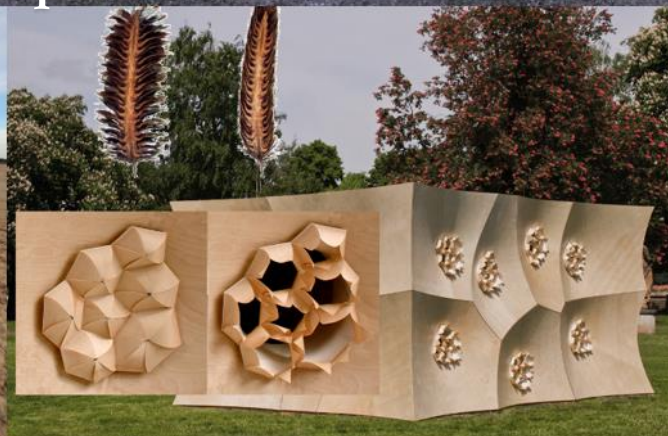




VERTIGOLAB
ECONOMIE & ENVIRONNEMENT

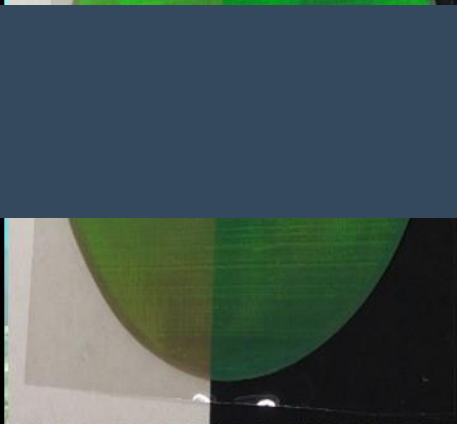
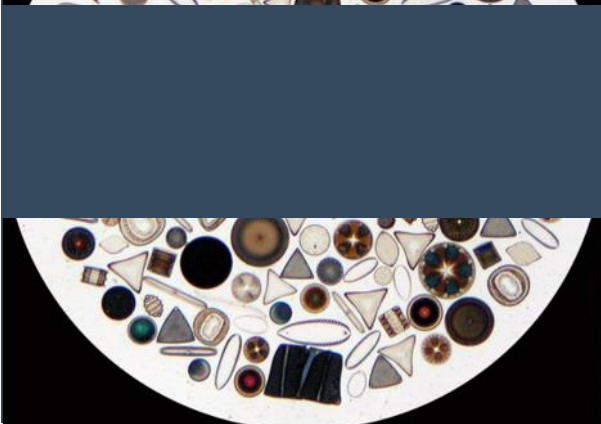


Evaluation du potentiel de développement de la biomimétique en région Nouvelle-Aquitaine



Rapport provisoire

Décembre 2017



SEABOOST

Rédacteurs : Thomas Binet, Vertigo Lab ; Amélie Colle, Vertigo Lab ; Jean-Christophe Martin, Vertigo Lab ; Laurie Piquer, Vertigo Lab.

Personnes auditionnées : liste présente en annexe.

Table des matières

Avant-propos.....	5
I- Introduction.....	7
II- Les mécanismes de la biomimétique.....	9
2.1 Présentation de la biomimétique	9
2.2 Innovation et biomimétique.....	11
La biomimétique : un processus d'innovation	11
Relations entre biomimétique et théories classiques de l'innovation	14
Influence de la biomimétique sur la performance de l'innovation	15
III- Evaluation des retombées socio-économiques du développement de la biomimétique en région Nouvelle-Aquitaine	19
L'engagement de la Région Nouvelle-Aquitaine en matière de biomimétique	19
L'inscription de la biomimétique dans la stratégie de développement régional.....	19
3.1 Méthodologie.....	19
3.2 Scénario 1 : Evaluation des retombées socio-économiques du développement de la biomimétique en Nouvelle-Aquitaine au sein des secteurs de la chimie, de l'habitat, de l'agriculture et de la croissance bleue.....	21
3.2.1) Chimie et matériaux.....	21
La chimie des matériaux en mutation en Nouvelle-Aquitaine	21
Etude de cas.....	30
Résultats de l'évaluation des impacts socioéconomiques du développement de la biomimétique pour le secteur de la chimie.....	32
3.2.2) Habitat	36
L'habitat durable en Nouvelle-Aquitaine.....	36
La biomimétique, un outil dans la mallette de l'éco-conception.....	39
Etude de cas.....	45
Résultats de l'évaluation des impacts socioéconomiques du développement de la biomimétique pour le secteur de l'habitat.....	47
3.2.3) Agriculture.....	51
L'agriculture en Nouvelle-Aquitaine	51
Les apports de la biomimétique à l'innovation en agriculture	54
Etudes de cas	61
Résultats de l'évaluation des impacts socioéconomiques du développement de la biomimétique pour le secteur de l'habitat.....	64
3.2.4) Océan et croissance bleue	66

L'économie bleue en Nouvelle-Aquitaine	66
L'océan, source de solutions biomimétiques.....	69
Etude de cas.....	73
Résultats de l'évaluation des impacts socioéconomiques du développement de la biomimétique pour le secteur de l'océan	75
3.2.5) Impacts du développement de la biomimétique sur l'ensemble de l'économie régionale	78
Et si l'approche biomimétique était adoptée plus largement en Nouvelle-Aquitaine ?	79
3.3 Scénario 2 : Influence d'une adoption plus large des principes biomimétiques à l'ensemble de la société.....	80
3.3.1) Le management biomimétique ou l'application de principes de fonctionnement des écosystèmes à l'échelle organisationnelle de l'entreprise.....	81
3.3.2) Les écosystèmes industriels ou comment appliquer les principes de fonctionnement des écosystèmes à nos entreprises et territoires	84
Présentation des écosystèmes industriels et territoriaux.....	84
Tour d'horizon des facteurs clefs de succès de la mise en place d'un écosystème industriel et territorial	85
IV- Recommandations.....	88
V- Conclusion.....	92
VI - Bibliographie.....	93
Annexe 1 – Liste des personnes auditionnées	97
Annexe 2 – Présentation du modèle économique.....	98

Avant-propos

Si l'homme s'inspire de la nature depuis toujours, le concept de biomimétisme connaît une notoriété et un engouement croissant depuis quelques années. Il se présente comme une solution aux enjeux écologiques, énergétiques et sociétaux actuels, pour concevoir des technologies, des bâtiments, des villes et même des sociétés plus résilientes. Le biomimétisme est aujourd'hui reconnu nationalement et internationalement comme un levier de l'innovation responsable.

La présente étude s'inscrit dans la continuité des travaux et décisions ayant marqués ces dernières années. Dès 2012, le Commissariat Général du Développement Durable publiait une « Etude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte ». En 2014, le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie inscrit le biomimétisme parmi les approches clés de la stratégie nationale pour la transition écologique. En 2015, un rapport et avis en faveur du déploiement du biomimétisme en France sont rendus et adoptés à l'unanimité par le Conseil Economique Social et Environnemental.

C'est dans ce contexte que la région Nouvelle-Aquitaine a engagé en 2016 une démarche régionale en faveur du biomimétisme afin de s'inspirer de la nature pour innover de façon responsable et créatrice de développement économique. Dans le cadre de cet engagement, un partenariat a été signé entre la Région et le Ceebios pour de faire de la Nouvelle-Aquitaine une région pilote en la matière. Ce partenariat a notamment permis d'engager la réalisation de la présente étude qui vise à appréhender le potentiel de développement que représente le biomimétisme pour les acteurs du territoire régional.

Bien que défini il y a déjà 20 ans par Janine Benyus, le biomimétisme reste un concept relativement récent dont les potentialités de développement au sein de l'économie sont encore assez méconnues. Cette étude s'est attachée à y apporter des éléments de réponse afin donner un aperçu du potentiel de développement économique du biomimétisme. Pour ce faire, cette étude s'est appuyée sur l'auditions d'experts¹ permettant la réalisation de scénarios et hypothèses venant nourrir un modèle économique d'analyse de retombées socio-économiques.

Si de plus en plus d'entreprises et laboratoires de recherche s'intéressent de près à la source d'inspiration que représente la nature, le chemin est encore long avant d'enclencher une transition bioinspirée, ou ne serait-ce que rattraper le retard de la France par rapport à son voisin allemand.

Cette étude ne constitue aucunement une analyse économique des retombées socio-économiques actuelles du biomimétisme, ni une analyse prédictive. Elle est au contraire une étude prospective, permettant de mettre en exergue le potentiel de développement du biomimétisme dans les années à venir, un potentiel de transition bioinspirée dont il faut se saisir.

Outre les données chiffrées résultant de l'analyse économique, trois points de cette étude peuvent être mis en avant. Le premier est l'importance de l'accès à la « bibliothèque à ciel ouvert » que constitue la nature. Ce point est à l'origine même du biomimétisme. Le deuxième est de veiller à ce que le biomimétisme demeure au service de la nature : s'inspirer du vivant, pour le vivant. Dernier point, le soutien financier. Véritable nerf de la guerre, la biomimétisme suppose une phase de R&D indispensable mais coûteuse.

¹ La liste des personnes auditionnées est disponible en annexe.

Enfin, nous tenons à remercier l'ensemble des personnes ayant contribué à la réalisation de cette étude, pionniers du biomimétisme, chercheurs, entrepreneurs inspirés, acteurs de terrain et penseurs, sans qui ce travail n'aurait pu être réalisé. Le biomimétisme incarne l'interdisciplinarité, en réunissant les expertises de chimistes, biologistes, architectes, économistes, agronomes, etc., cette étude s'en fait l'illustration.

Ce qu'il faut retenir

1. L'approche biomimétique constitue **une démarche d'innovation présentant des avantages** en termes de gain de temps, d'énergie, et de matériaux permettant des bénéfices socio-économiques.
2. Le développement de la biomimétique **nécessite un investissement et soutien de la part des acteurs publics.**
3. Le développement de la biomimétique doit se faire en veillant à ne pas perdre le sens qu'elle porte de manière inhérente : **pour et par le vivant.**

I- Introduction

Issu de deux racines grecques, bios [vie], et mimesis [imitation], le concept de biomimétisme consiste à étudier le vivant afin de s'en inspirer pour innover. Il a été formulé par l'écologue américaine Janine Benyus dans son livre publié en 1997, *Biomimicry* (*Biomimétisme* en français).

Depuis, et avec le passage au français, plusieurs termes sont couramment utilisés, biomimétisme, bioinspiration, biomimétique, ces derniers présentant des nuances plus ou moins marquées. Ils ont récemment été définis par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) au sein de la norme ISO 18458 : 2015. L'encadré ci-après présente la terminologie retenue à ce jour par l'organisme.

Eléments de définition

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

Bio-inspiration : approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques.

Biomimétique : coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovations dans le but de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, leur abstraction en modèles ainsi que le transfert et l'application de ces modèles à la solution. Trois critères doivent être remplis pour qu'un produit soit considéré comme biomimétique :

- une analyse fonctionnelle d'un système biologique disponible a été effectué ;
- une abstraction du système biologique vers un modèle a eu lieu ;
- un modèle a été transféré et appliqué pour concevoir le produit.

La biomimétique peut être considérée comme une discipline scientifique, un processus d'innovation, ou une technique de créativité selon l'intensité avec laquelle elle est appliquée.

Bionique : discipline technique qui vise à répliquer, améliorer, ou remplacer des fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques ou mécaniques

Système biologique : ensemble d'éléments du monde vivant interagissant entre eux, de l'échelle nano à macro.

Source : (ISO (International Organization for Standardization) 2015)

Tous ces termes renvoient à cette même démarche qui vise à étudier les 3,8 milliards d'années de R&D que constitue le monde vivant et qui sont à portée de main. Autant d'années qui ont rendu la nature plus efficace, plus économe, et plus résiliente.

Par la suite de cette étude, et afin de se saisir pleinement du potentiel de cette approche, nous utiliserons le terme « biomimétique ».

Cette étude s'est ainsi attelée à analyser le levier économique potentiel que représente le déploiement de la biomimétique à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine. L'étude est structurée en deux temps, présentant deux scénarios d'évolution de la biomimétique. Le premier scénario s'intéresse aux retombées socio-économiques du développement de la biomimétique à moyen

terme² et ce particulièrement pour quatre secteurs clés : la chimie, l'habitat, l'agriculture, et la croissance bleue. Le second scénario dépasse ces quatre secteurs et cherche à donner à voir ce qu'une adoption plus large de la biomimétique au sein de notre société pourrait avoir comme impacts, à moyen terme également.

Cette méthodologie d'évaluation prospective s'appuie sur la réalisation d'entretiens et la construction d'un modèle économique solide, appelé « modèle entrées-sorties »³.

Enfin, l'analyse de ces résultats et des différentes données collectées dans le cadre de cette étude a permis de mettre en évidence des pistes d'actions et des recommandations pour activer le levier de la biomimétique, notamment, à travers des politiques d'innovation.

« Bibliothèque à ciel ouvert », « 3,8 milliards d'années de R&D », tels sont les expressions fréquemment utilisées pour définir le potentiel d'innovation lié à la biomimétique. En capitalisant sur des solutions déjà existantes, la biomimétique peut constituer un précieux gain de temps et de ressources. Désigné comme un outil de l'innovation par la Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable (SNTEDD), et un outil de la croissance verte dans le cadre de la loi sur la biodiversité, la biomimétique est annoncée comme un outil de l'innovation et un levier de développement (CESE 2015).

L'innovation est considérée comme un moteur de la croissance. Selon l'OCDE, l'innovation constitue même « un facteur déterminant de la croissance et des performances de l'économie mondialisée » (OCDE 2007). De plus, en étant basée sur l'accumulation de connaissances plutôt que de capital, l'innovation favorise une croissance durable, car sur le long terme et se basant sur une utilisation rationnelle de ressources finies (Philippe Aghion 2013). A l'échelle des entreprises, l'impact de l'innovation sur la productivité varie fortement selon les branches d'activités : de 3% de croissance pour les industries à faibles opportunités technologiques à 9% pour les industries à fortes opportunités technologiques (Emmanuel Duguet 2003).

Aussi, l'enjeu aujourd'hui est de réussir à estimer comment la biomimétique, à travers le processus d'innovation qu'il facilite, constitue un levier de développement économique intéressant.

Aux Etats-Unis, une étude réalisée par le Fermanian Business & Economic Institute a tenté d'approcher l'évolution du nombre d'emplois liés au développement de la biomimétique à l'horizon 2025. Les résultats obtenus évaluent les impacts de la biomimétique à 1,6 million d'emplois et 300 milliards de dollars de PIB. Toutefois, ces résultats sont à considérer avec précaution car ils représentent les effets bruts, et non le nombre d'emplois ou de richesse créés en supplément grâce au développement de la biomimétique (Fermanian Business & Economic Institute 2010). En pointant les limites de cette étude, le CESE a recommandé la réalisation d'une étude plus fine des retombées socio-économiques de la biomimétique, attente à laquelle répond cette étude régionale (CESE 2015).

² Dans le cadre de cette étude, le terme « moyen terme » fait référence à un horizon à 10 ans environ.

³ La méthodologie mise en œuvre pour cette étude est précisée par la suite et détaillée en annexe.

II- Les mécanismes de la biomimétique

« *More ideas – distant ideas – different ideas* » - (Cohen et Reich 2016)

2.1 Présentation de la biomimétique

Dans son livre fondateur, Janine Benyus formalisa trois niveaux de la démarche biomimétique. Le premier, considéré comme le plus simple des trois, est celui des **formes**. L'exemple le plus connu est celui du TGV japonais, le Shinkansen, dont le « nez » de la locomotive est inspiré du bec du martin-pêcheur afin de réduire l'onde de pression générée lors du passage dans les tunnels. Grâce à cette forme biomimétique, le train a gagné 10% de vitesse et réduit de 15% sa consommation électrique.

Le second niveau est celui des **matériaux et procédés**. Il vise à imiter le processus de fabrication des matériaux et les fonctionnalités du vivant (la manière dont les organismes synthétisent et assemblent leurs matériaux, stockent leur énergie, etc.). Des applications existent d'ores et déjà sur le marché telle que la peinture Lotusan® développée à partir de l'étude des surfaces autonettoyantes et imperméables des feuilles de lotus.

Le troisième et dernier niveau est le plus complexe, c'est celui des **systèmes**. Ce niveau s'intéresse aux interactions au sein des écosystèmes, à leur fonctionnement et organisation. Il s'agit de prendre du recul pour observer comment le vivant optimise ses flux de matière et d'énergie, recycle l'ensemble de ses constituants et coopère pour mieux avancer. Le champ d'application est vaste, de l'agroécologie aux écosystèmes industriels en passant par les bâtiments régénératifs ou les nouvelles formes de management d'entreprises. Au Danemark, le complexe industriel de Kalundborg s'est développé sur des principes économiques écosystémiques et circulaires, transformant les déchets des uns en ressources, ce qui permet d'économiser environ 3 millions de m³ d'eau et 20 000 tonnes de mazout par an (ISIGE 2017).

Ces trois niveaux se traduisent au sein des six principes de la vie mis en forme par l'organisation Biomimicry 3.8 co-fondée par Janine Benyus. Ces principes sont les leçons du monde vivant dont nous pouvons nous inspirer pour innover de manière plus efficace, économe et durable. En 3,8 milliards d'années, le vivant a mis au point des stratégies et modèles qui peuvent être résumés à travers les règles suivantes :

- S'adapter aux conditions changeantes ;
- Être localement à l'écoute et réactif ;
- Utiliser une chimie connexe avec la vie ;
- Être efficient avec les ressources ;
- Intégrer le développement avec la croissance ;
- Evoluer pour survivre.

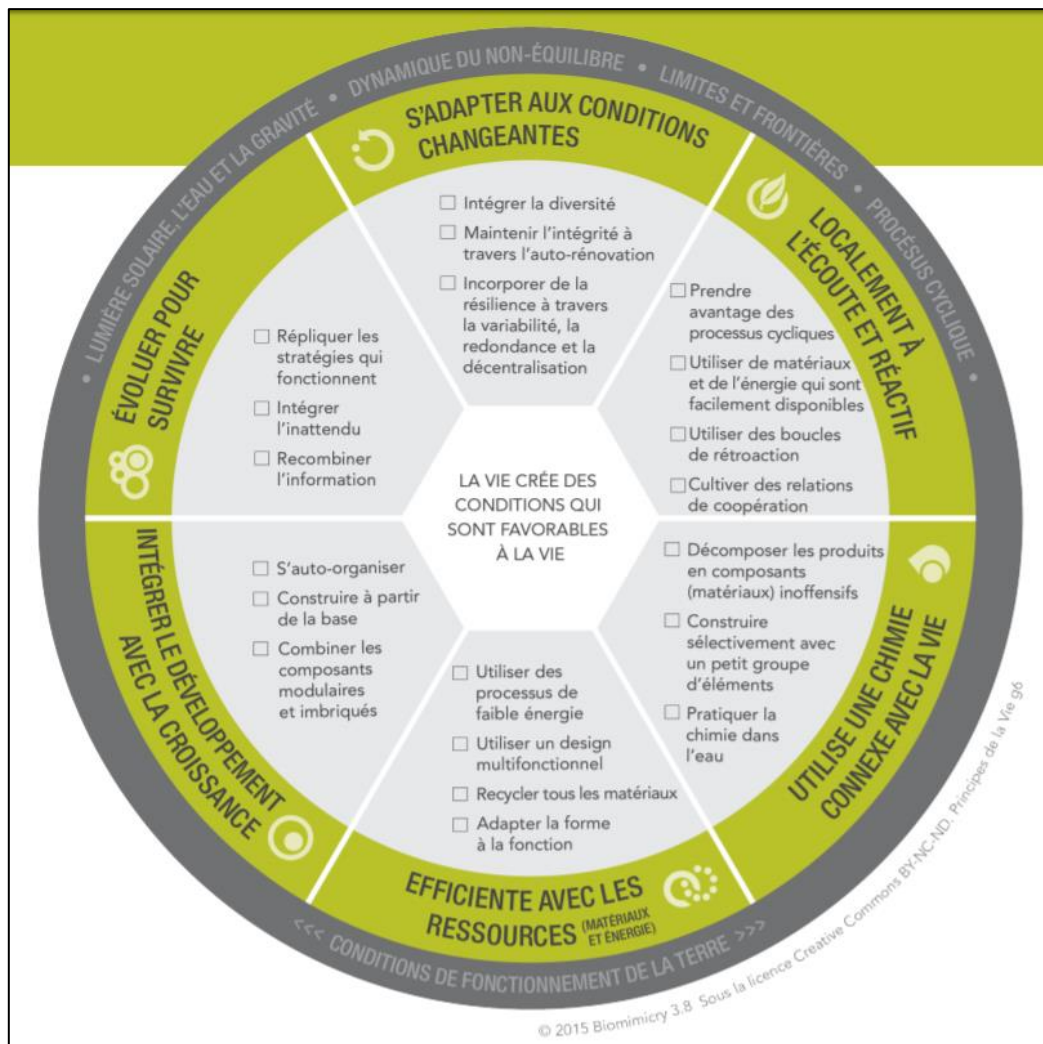


Figure 1 : Principes de la vie - DesignLens du biomimétisme selon Biomimicry 3.8

Si la nature est durable naturellement, l'application de ces règles n'est pas pour autant le gage de la durabilité des innovations créées. En effet, un produit peut être conçu à partir d'un mécanisme présent dans la nature mais fabriqué ensuite à l'aide de produits toxiques ou en utilisant de grandes quantités d'énergies fossiles. Une solution biomimétique peut être déclarée durable uniquement suite à une analyse détaillée de l'objet concerné, en s'intéressant à l'ensemble de son cycle de vie.

Afin de développer des solutions biomimétiques au caractère durable, il est possible de s'inspirer des stratégies de durabilité de la nature :

- Utiliser les sources d'énergie présentes dans l'environnement : les systèmes biologiques utilisent des sources d'énergie facilement mobilisables dans leur environnement proche ;
- Utiliser les éléments de l'environnement comme des composants essentiels du système : les systèmes biologiques ont recours à des éléments de leur environnement proche pour constituer leurs composants essentiels ;
- Unifier les parts du système : la multifonctionnalité est l'un des principaux principes de design de la nature : fournir plusieurs fonctions avec un seul composant. (Cohen et Reich 2016)

Il apparaît aujourd'hui indispensable de veiller au caractère durable des innovations biomimétiques et de s'assurer que biomimétique et durabilité aillent systématiquement de pair. La norme ISO se positionne dans cette direction en intégrant la notion de développement durable dans la définition du biomimétisme. On parle alors de **biomimétisme** lorsque toutes les dimensions d'une biomimétique éco-responsable sont intégrées : 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 (AFNOR 2017; ISO (International Organization for Standardization) 2015).

Par ailleurs, la biomimétique intègre une dimension vertueuse à travers le recours à des gisements de connaissances plutôt que des gisements de ressources (p. ex. utiliser la fonctionnalité d'une plante plutôt que la plante elle-même). De plus, elle contribue à un objectif de préservation de la biodiversité en démontrant l'importance économique de la protection de cette dernière comme source d'inspiration.

Aussi, comme le dit souvent par Nicolas Hulot, « *notre monde est caractérisé par une profusion de sciences et un déficit de conscience* », il faut alors se garder de faire de la biomimétique une illustration de cette déclaration.

2.2 Innovation et biomimétique

« *L'innovation est la rencontre entre l'invention et le marché* »

La biomimétique : un processus d'innovation

A travers la génération de nouvelles idées qu'elle induit, la biomimétique constitue de manière inhérente un processus d'innovation. Le point de départ pour le développement de nouvelles idées peut provenir soit de la biologie (« poussée biologique ») soit des sciences de l'ingénierie (« poussée technologique »). Dans le premier cas, les idées surviennent à partir de solutions rencontrées dans la nature, grâce aux connaissances biologiques issues de la recherche fondamentale. Dans le second cas, les solutions sont générées sur la base de problèmes techniques rencontrés dans des situations précises. La motivation sous-jacente à l'innovation réside alors dans l'amélioration ou l'affinement d'un produit ou processus existant (ISO 2015).

De manière globale, le processus d'innovation biomimétique est composé de quatre phases (analyse – abstraction – transfert – application) qui peuvent se répéter pour constituer huit étapes lorsque le point de départ est un problème technique :

- 1) **Analyse** : analyse du problème technique
- 2) **Abstraction** : abstraction du problème technique
- 3) **Transfert** : transposition à la biologie
- 4) **Application** : identification de potentiels modèles biologiques
- 5) **Analyse** : sélection de modèle(s) biologique(s) d'intérêt
- 6) **Abstraction** : abstraction de stratégies biologiques
- 7) **Transfert** : transposition à la technologie
- 8) **Application** : implémentation et test du concept dans le contexte initial

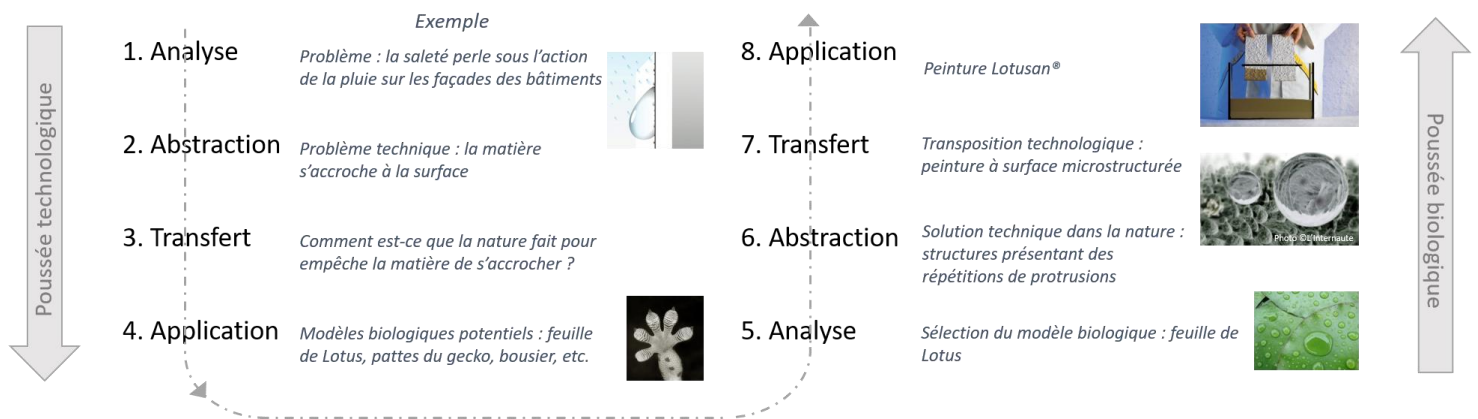


Figure 2 : Schéma du process d'innovation biomimétique. Illustration Vertigo Lab à partir de Wanieck et al., 2017 ; Sto.fr et AskNature.

Au terme de ce processus, l'invention doit encore être introduite sur le marché de manière réussie, ce n'est qu'alors qu'elle devient une innovation. Les étapes les plus complexes sont celles de l'abstraction de principes biologiques et l'identification de systèmes biologiques (K Wanieck, PE Fayemi, N Maranzana, C Zollfrank and S Jacobs 2017a). Pour faciliter cette démarche, une classification taxonomique a été réalisée par le Biomimicry 3.8 Institute afin d'identifier plus facilement la fonction recherchée et le système biologique y ayant recours de la manière la plus performante et durable.

Relations entre biomimétique et théories classiques de l'innovation

Le Manuel d'Oslo (OCDE 2005) définit l'innovation comme la mise en œuvre d'un produit (bien ou service) ou d'un procédé nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques de l'entreprise, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures.

Cette définition englobe quatre catégories d'innovations :

- **Innovations de produit** : impliquent des modifications significatives des caractéristiques des biens ou des services. Cette catégorie inclut à la fois les biens et services entièrement nouveaux et les améliorations importantes qui sont apportées à des produits existants.
- **Innovations de procédé** : correspondent à des changements significatifs dans les méthodes de production et de distribution. Il peut s'agir de modifications des pratiques de l'entreprise, de l'organisation du lieu de travail ou des relations extérieures de la firme.
- **Innovations d'organisation** : se rapportent à la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'organisation.
- **Innovations de commercialisation** : impliquent la mise en œuvre de nouvelles méthodes de commercialisation. Il peut s'agir d'un changement dans la conception et le conditionnement d'un produit, dans la promotion et le placement d'un produit, ou bien dans les méthodes de tarification de biens et de services.

Une des spécificités de la biomimétique est d'agir sur les quatre types d'innovation présentés ci-dessus.

Tout d'abord, **la biomimétique génère de l'innovation de produit**, car les produits biomimétiques tendent à être plus économes en énergie et en matières. Ils cherchent également généralement une meilleure durabilité et peuvent contribuer à générer moins de déchets. Par exemple, l'Eastgate building construit au Zimbabwe a calqué son système de ventilation à celui des termitières, ce qui a permis d'utiliser seulement 10 % de l'énergie habituellement dépensée dans un bâtiment « standard » (Durand 2012).



Figure 4 : Eastgate building, © 2013 National Institute of Environmental Health Sciences

Ensuite, **la biomimétique modifie le processus de production des biens et services (innovation de procédé)**. Il contribue à économiser des matières et de l'énergie pour produire des biens et services, et à intégrer dans le processus de production l'interaction avec l'environnement (réduction des déchets et d'émissions de polluants). Par exemple, l'agroécologie est une pratique

agricole qui vise à appliquer les principes de fonctionnement que l'on trouve dans les écosystèmes naturels. Elle contribue par exemple à réduire la consommation d'engrais chimiques et l'utilisation de produits phytosanitaires. La mise en place de principes d'économie circulaire constitue un autre exemple, à travers la modification du processus de production des entreprises afin de minimiser l'extraction de matières, d'éviter le gaspillage et de recourir au gaspillage.

La biomimétique ne s'arrête pas seulement aux deux premières catégories, **elle contribue aussi à l'innovation organisationnelle**. En effet, la nature peut être inspirante pour gérer les ressources humaines d'une entreprise, par exemple. Le management d'entreprises peut s'inspirer des organisations du vivant (fourmilière, ruche) pour assurer une bonne circulation de l'information, un personnel qui gagne en autonomie, en productivité et des espaces de travail mieux organisés.

Enfin, **la biomimétique concourt également à l'innovation de commercialisation**. La biomimétique contribue à développer un marketing spécifique pour valoriser ces produits sur le marché.

Adopter une démarche biomimétique présente ainsi un gain en termes de marketing, ce que soutient à la fois Colin McReynolds des Laboratoires de Biarritz⁴ et Jutta Umbhauer d'Aquitaine Chimie Durable⁵. Pour tous deux, la biomimétique est un bon moyen de se démarquer par rapport aux concurrents. Laurent Bedel, président fondateur d'Elbé Pétro⁶ partage cet avis tout en soulignant que bien que la sympathie suscitée par la démarche biomimétique soit un vrai plus elle est loin d'être suffisante. En ce qui le concerne, ses clients sont principalement motivés par les questions de sécurité, d'efficacité du procédé et les incitations réglementaires auxquelles la biomimétique peut apporter des solutions⁷.

Influence de la biomimétique sur la performance de l'innovation

Le processus d'innovation nécessite très généralement deux phases : la phase de R&D et la phase d'industrialisation.

La phase de R&D vise à acquérir de nouvelles connaissances (p.ex., à travers l'acquisition des principes de l'écologie fonctionnelle pour des applications industrielles), à développer de nouvelles technologies et à tester des prototypes. La phase d'industrialisation consiste quant à elle à mettre sur le marché les prototypes déjà testés dans la phase de R&D. Cette phase nécessite donc une acceptation sociale de l'invention. Le passage entre les deux phases n'est pas automatique (applications industrielles des inventions pas toujours réussies) et non linéaire (présence de nombreuses interactions entre les phases de R&D et d'industrialisation). En outre, certaines innovations ne nécessitent pas toujours le passage par la phase de R&D. C'est très généralement le cas de l'innovation organisationnelle ou de l'innovation de commercialisation.

Il est important de souligner que la biomimétique peut contribuer à accélérer l'innovation dans chacune de ces deux phases (R&D et application industrielle).

⁴ <https://www.laboratoires-biarritz.fr/>

⁵ <http://www.aquitainechimiedurable.fr/>

⁶ <http://elbe-petro.com/>

⁷ Il a développé une solution innovante de réduction de l'évaporation de fluides pétroliers et dérivés en s'inspirant de lentilles d'eau sur les marais.

En premier lieu, la biomimétique peut accélérer l'innovation dans la phase de R&D, essentiellement dans la partie conceptualisation. C'est par ailleurs là que se situe le potentiel d'optimisation des produits le plus important puisque les premières étapes de design sont responsables d'environ 70% de la qualité finale du produit et de son coût alors que les connaissances disponibles pour soutenir ces premières phases de développement sont plutôt rares (Cohen et Reich 2016). La biomimétique **accroît donc le champ des solutions potentielles**. La nature, c'est **3,8 milliards d'années d'évolution**. La nature a toujours eu besoin d'évoluer pour survivre face aux différentes contraintes (ex. : compétition entre les espèces, adaptation aux aléas climatiques). Elle a développé à chaque fois de nouvelles stratégies qui sont devenues au fil du temps de plus en plus efficaces. Par conséquent, le processus d'innovation dans la nature est **cumulatif**, à l'instar du processus d'innovation technologique. Autrement dit, **la nature est le plus grand laboratoire d'expérimentation à ciel ouvert**. Le nombre exact d'organismes n'est pas connu, mais estimé entre 10 et 100 millions. Très peu sont connus, et encore moins étudiés. Par conséquent, **le potentiel de la connaissance par la nature est immense**. De plus, les solutions de la nature relèvent du domaine public, d'un bien commun, dont l'accès est libre pour tous. Chacun peut étudier et s'inspirer des modèles de la nature, contrairement à certaines innovations technologiques protégées par des brevets (Cohen et Reich 2016). **La nature est donc une grande bibliothèque**, une bibliothèque qui fournit des modèles. C'est là l'un des avantages de la biomimétique pour Pierre-Emmanuel Fayemi⁸ : *« Peu des grandes méthodologies d'innovation prodiguent un rôle de boussole, elles permettent d'innover mais ne donnent pas d'objectif, d'idéal. Alors que la grande force de la biomimétique est justement cela, de par l'antériorité de la nature on sait quel résultat on poursuit, on connaît les gains très tôt, et on parvient donc à entraîner du monde avec nous »*. Cette grande bibliothèque constitue donc une excellente source de connaissance pour des applications industrielles, à condition bien entendu de pouvoir déchiffrer les livres de cette bibliothèque. Par exemple, Claude Grison, Directrice du Laboratoire de Chimie bio-inspirée et d'Innovations écologiques ChimEco, considère que la nature est une véritable source d'idées et d'inspiration pour ses activités de recherche et développement dans le domaine de la chimie et de l'écologie. Sans une connaissance de la nature, il serait difficile, voire impossible, de développer certaines molécules en se basant seulement sur notre propre imagination. Dans ce sens, **la biomimétique permet d'obtenir généralement un gain de temps de R&D important, du fait qu'une grande partie des techniques a été déjà développée par la nature elle-même**. Le temps que la nature a mis pour développer ces techniques constitue un gain de temps pour les chercheurs. Toutefois, ce gain peut être en partie annulé par le manque actuel de connaissance des mécanismes complexes de la nature. Cela requiert en effet du temps que d'étudier et analyser la multitude de modèles disponibles. C'est ce que soutient Laurent Billon : *« Essayer de comprendre le vivant, s'en approprier les mécanismes, les mettre en lien avec nos connaissances et les convertir en production, tout cela est très coûteux en temps. Mais une fois que l'on a intégré les mécanismes du vivant et que l'on se situe à la dernière étape du processus, alors oui on peut imaginer pouvoir gagner du temps. Il y a encore une grande étape de traduction des principes du vivant à franchir pour parler de gain de temps »*. De même, ce gain de temps peut être contrebalancé à cause des difficultés de transfert de connaissances entre disciplines qui peuvent représenter un frein au développement de la biomimétique, et ce notamment de la biologie à la chimie, point soulevé par Jutta Umbhauer et Christophe Magro d'Aquitaine Chimie Durable. Ensuite, la biomimétique s'appuie sur le **transfert analogique de connaissance** de la biologie à la technologie. Les analogies sont une des plus vieilles et des plus efficaces façons d'accroître l'innovation. **Les analogies entre différents domaines apportent des idées plus originales que les analogies à l'intérieur d'un même domaine** (Cohen et Reich 2016)

⁸ Consultant en innovation chez Active Innovation Management ayant réalisé un doctorat sur les interactions entre conception inspirée du vivant (biomimétique) et méthodologies inventives (TRIZ et dérivées).

Enfin, la biomimétique favorise les innovations de rupture qui ont le plus de chance de faire modifier nos processus de production pour qu'elles deviennent plus soutenables, et ce rapidement. C'est dans cette génération d'innovations de rupture que se situe l'avantage de la biomimétique par rapport à d'autres méthodes d'innovations pour Laurent Bedel. Il soutient que c'est notamment un avantage vis-à-vis des financeurs et investisseurs qui sont à la recherche d'innovation de rupture.

Le tableau ci-dessous compare les différences entre les systèmes technologiques et les systèmes biologiques. Il montre en quoi la biomimétique génère une innovation de rupture, à savoir une autre façon de concevoir la production de biens et des services.

Tableau 1 : Comparaison entre un système technologique et un système biologique. Source : Cohen et Reich (2016)

Système technologique	Système biologique
Les ingénieurs produisent à partir d'un plan de conception.	La nature développe un matériel en accord avec l'ensemble de l'organisme selon les principes de l'autoassemblage.
Chaque composante dans un système technologique a une ou seulement quelques fonctions.	Le système biologique suit le principe de conception multifonctionnelle : chaque composante a un certain nombre de fonctions. La conception est souvent rentable et élégante.
Les lignes droites et les angles droits sont communs dans les structures technologiques.	Différents principes de conception sont trouvés dans la nature. Par exemple, la nature utilise très généralement des curvilignes permettant aux matériaux d'être beaucoup plus résistants.
Les solutions technologiques lorsqu'elles sont conçues ne tiennent pas compte des bénéfices sur les écosystèmes et du problème inhérent à la décomposition des matériaux	Les solutions biologiques tiennent compte davantage des bénéfices sur les écosystèmes.

Ce tableau présente comment la biomimétique offre des opportunités pour dépasser la conception telle que fixée par le système technologique et comment elle contribue à trouver des stratégies de conception plus efficaces. En second lieu, la biomimétique peut jouer également un rôle important dans la partie industrialisation, à savoir l'acceptation sociale de l'innovation. En effet, l'innovation issue de la biomimétique peut être poussée par une demande sociale de plus en plus forte en faveur des produits écologiques (modification de la préférence des ménages, réglementation environnementale plus exigeante...).

Tout d'abord, nos modes de production et de consommation sont très intensifs en combustibles fossiles et en matériaux. Toutefois, leur disponibilité n'est pas assurée même dans un avenir proche du fait qu'ils ne sont pas tous renouvelables. La raréfaction des ressources naturelles non renouvelables expliquée à la fois par une augmentation de la croissance économique mondiale (essentiellement dans les pays en développement) et une baisse du stock mondial de ces ressources entraîne une hausse du prix de ces ressources. Par exemple d'après le rapport de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), le pic pétrolier⁹ serait déjà atteint. Près de 30 % de la production des puits de pétrole conventionnel aujourd'hui en activité aura disparu dans 10 ans. **Il se pose dès maintenant une réflexion sur le développement des modes de production et de consommation moins gourmands en énergie et en matériaux et, donc, plus soutenables.**

⁹ Le pic pétrolier est défini comme le maximum de production de pétrole que la planète puisse produire.

Face à ces enjeux d'épuisement des ressources mais également confronté aux contraintes d'accélération de la société (innover et produire toujours plus vite), Pierre-Emmanuel Fayemi résume l'équation de la manière suivante : « *Comment peut-on innover sur plus de sujets, plus vite et avec moins ?* ». Pour lui, la biomimétique constitue la solution la plus intéressante, sentiment que partage par ailleurs Laurent Billon concernant le secteur de la chimie.

Enfin, **les ménages sont de plus en plus sensibilisés aux impacts socioéconomiques et environnementaux de leur dépense**. Ils essaient de développer des achats « responsables ». Par exemple, d'après les chiffres de l'agence française pour le développement et la promotion de l'agriculture biologique, le chiffre d'affaires de la filière agricole biologique connaît une croissance annuelle de 8,4 % contre seulement 1 % pour l'ensemble de la filière agricole. Une étude de l'OCDE montre que les ménages sont prêts à payer jusqu'à 15 % plus cher pour des produits plus écologiques (Serret-Itzicsohn et Johnstone 2011).

III- Evaluation des retombées socio-économiques du développement de la biomimétique en région Nouvelle-Aquitaine

L'engagement de la Région Nouvelle-Aquitaine en matière de biomimétique

Dès 2015, l'ancienne Région Aquitaine initiait un travail sur « *le biomimétisme comme levier de développement et de croissance durable des entreprises régionales* ». En novembre 2016, la Région Nouvelle-Aquitaine a conclu un partenariat avec le CEEBIOS afin de poursuivre la dynamique engagée et élargir la démarche à l'ensemble de la nouvelle Région. La première étape a consisté en l'établissement d'une cartographie des acteurs aquitains engagés dans une démarche biomimétique. Afin de soutenir et nourrir cette démarche, la présente étude a été initiée dans le but d'identifier le potentiel réel de développement de la biomimétique sur le territoire régional.

L'inscription de la biomimétique dans la stratégie de développement régional

Adopté le 19 décembre 2016, le Schéma régional de Développement Economique, d'Innovation et d'Internationalisation (SRDEII) fixe les orientations de la Région en matière de développement économique pour les dix années à venir. En tant que levier identifié de développement et de croissance des entreprises du territoire, la biomimétique trouve sa place dans ce document stratégique que constitue le SRDEII. Elle s'insère ainsi au sein des enjeux prioritaires fixés par le document, des principes d'actions approuvés par les élus, et des orientations stratégiques qui constituent la feuille de route des acteurs économiques. En visant la création d'écosystèmes dynamiques à travers l'innovation, l'amélioration de la performance industrielle et la coopération des acteurs du territoire, et ce afin d'encourager la création d'emplois tout en veillant à s'inscrire dans le cadre d'un développement durable, le SRDEII accueille dans ses lignes directrices les principes d'un développement biomimétique. En plus de s'inscrire pleinement dans le SRDEII, le développement biomimétique participe à l'atteinte des objectifs fixés, notamment en matière de développement économique et de création d'emplois.

En outre, parmi les onze filières identifiées comme prioritaires, se trouvent celles choisies et étudiées dans le cadre de cette étude pour leur potentiel biomimétique, à savoir : l'agriculture (1^{ère} filière identifiée), la chimie (4^{ème} et 5^{ème}), l'habitat (4^{ème} et 6^{ème}), et la croissance bleue qui dispose d'une stratégie propre (Région Nouvelle-Aquitaine 2017d).

3.1 Méthodologie

Afin de réaliser une évaluation ex ante de l'impact socioéconomique du développement de la biomimétique en région Nouvelle-Aquitaine, nous avons utilisé une méthodologie d'évaluation prospective s'appuyant sur un modèle économique dit entrée-sortie¹⁰. L'enjeu principal lié à l'utilisation de ce modèle réside dans la collecte des données d'entrées nécessaires pour le faire fonctionner. Dans le cas de cette étude, il s'agissait d'identifier et de quantifier dans quelle mesure la biomimétique influence le processus technique et le niveau d'activité des branches d'activités de

¹⁰ Le modèle économique utilisé est présenté en annexe.

l'économie régionale. Pour ce faire, nous nous sommes intéressés au processus de création de valeur de la biomimétique pour les quatre secteurs choisis : la chimie, l'agriculture, l'habitat et la croissance bleue. Ces secteurs ont été sélectionnés par le CEEBIOS et la Région Nouvelle-Aquitaine sur la base des connaissances de l'écosystème régional en matière de biomimétique ainsi que sur le dynamisme des secteurs et de ces acteurs.

En partant du postulat que la biomimétique constitue une démarche d'innovation, un processus de R&D, nous avons cherché à identifier les gains attribuables à l'application de cette approche. Les bénéfices engendrés en termes de consommation d'énergie, de matière première, etc. ont ensuite été traduits et intégrés dans le modèle économique.

Afin d'approcher ces informations, la méthodologie suivante a été mise en œuvre. Dans un premier temps, une analyse sectorielle a été conduite pour chaque secteur afin de disposer d'une connaissance fine des enjeux de ces derniers et ainsi identifier les leviers d'actions d'une approche biomimétique. Une revue de la littérature existante a ainsi été conduite. Puis, les personnes clefs à interroger ont été identifiées pour chacun des secteurs, tant des experts des domaines d'activités sélectionnés que des spécialistes ou acteurs de la biomimétique de ces domaines. Des questionnaires ciblés ont alors été construits en fonction des données recherchées. Au total, 30 personnes ont été auditionnées pour cette étude, dont un peu plus de la moitié étant des acteurs présents en Nouvelle-Aquitaine. La liste complète des personnes consultées est présente en annexe.

Les données collectées auprès des personnes auditionnées étant principalement qualitatives, faute de recul suffisant sur une approche encore très récente, elles ont été traduites quantitativement afin de pouvoir être insérées dans le modèle. Les spécificités du modèle sont présentées en annexe.

Cette démarche constitue le scénario 1. **Ce scénario 1 intègre ainsi l'évaluation des retombées socio-économiques du développement de la biomimétique à moyen terme¹¹ pour les quatre secteurs sélectionnés.** Les résultats sont présentés selon différentes hypothèses de taux de pénétration de la biomimétique dans l'économie néo-aquitaine. **Le taux de pénétration est ici défini comme la part des entreprises implantées en Nouvelle-Aquitaine qui adoptent des procédés biomimétiques dans leur processus de production.** Quatre taux de pénétration différents ont été retenus : 25 %, 50 %, 75 % et 100 %, reflétant ainsi le potentiel de retombées socioéconomiques relatif à un développement plus ou moins important de la biomimétique. Les résultats de ce scénario 1 ont ainsi permis d'approcher le potentiel de retombées socio-économiques du développement de la biomimétique sur l'ensemble des secteurs primaires, secondaires et de transport de l'économie régionale.

Le potentiel de la biomimétique n'étant pas cantonné aux quatre secteurs sélectionnés initialement, ni aux seuls secteurs primaires et secondaires, il a été décidé de dépasser le cadre du scénario 1 en s'intéressant au potentiel de développement de la biomimétique à plus grande échelle, via une adoption de l'approche au sein de la société dans son ensemble, c'est le scénario 2. En effet, il est apparu au cours de l'étude un potentiel non négligeable de création de valeur à travers le troisième niveau d'application de la biomimétique, le niveau organisationnel. Pour ce scénario, il convient alors de considérer le secteur tertiaire, ce dernier étant moins concerné par les leviers considérés dans le premier scénario.

¹¹ Dans le cadre de cette étude, le terme « moyen terme » fait référence à un horizon à 10 ans environ.

3.2 Scénario 1 : Evaluation des retombées socio-économiques du développement de la biomimétique en Nouvelle-Aquitaine au sein des secteurs de la chimie, de l'habitat, de l'agriculture et de la croissance bleue

Principaux résultats à retenir du scénario 1 :

- Des **retombées socio-économiques positifs** pour le développement de la biomimétique en Nouvelle-Aquitaine : **575 millions d'euros de PIB et 5 626 emplois créés** pour les quatre secteurs pour un taux de pénétration de la biomimétique de 25%.
- Des **impacts plus ou moins importants selon les secteurs** : le secteur agricole arrive en première position des impacts générés.
- Des **bénéfices variables de l'innovation biomimétique** selon les secteurs et au sein des secteurs : gain de temps, économie d'énergie, de matières premières plus ou moins importants.
- Des **acteurs de la biomimétique largement convaincus de son potentiel de développement** pour les quatre secteurs étudiés.

Ce premier scénario s'intéresse aux retombées socioéconomiques du développement de la biomimétique à moyen terme¹² pour les quatre secteurs suivants : la chimie, l'habitat, l'agriculture, et la croissance bleue. Les résultats de ce scénario sont présentés ci-après, secteur par secteur, avant une présentation des impacts du développement de la biomimétique sur l'ensemble des secteurs primaires, secondaires et de transport de l'économie néo-aquitaine.

Les résultats présentés dans ce scénario reflètent le potentiel de développement de la R&D en matière de biomimétique et les retombées socioéconomiques qui peuvent en découler.

3.2.1) Chimie et matériaux



« La chimie est la communication, elle nous sauvera » - Gilles Bœuf, Biomim'expo 2017

La chimie des matériaux en mutation en Nouvelle-Aquitaine

Discipline essentielle au service de nombreuses activités, « industrie des industries », la chimie est un secteur très hétérogène qui regroupe des activités et des marchés finaux variés, allant de la construction à l'alimentaire en passant par la pharmacie et la cosmétique. Secteur clef de l'économie nationale - la France se hissant au deuxième rang européen derrière l'Allemagne - l'industrie chimique a un ancrage historique important en Nouvelle-Aquitaine, centré autour de l'ancien bassin gazier de Lacq, de la région bordelaise avec le bec d'Ambès, et de la région de Limoges avec ses

¹² Dans le cadre de cette étude, le termes « moyen terme » fait référence à un horizon à 10 ans environ.

activités de céramique industrielle. En effet, la région dispose d'atouts importants avec une industrie locale et des ressources végétales abondantes. Au plan régional, l'industrie chimique pèse relativement lourd, se classant au rang de 3^{ème} secteur exportateur (10% de l'export) (CCI Nouvelle Aquitaine 2017), et n'a cessé de voir ses activités évoluer, notamment dans le domaine des matériaux, et plus particulièrement au sein des filières du bois-papier, de l'aéronautique, du spatial et de la construction, ces dernières étant mises au défi du développement durable et de la nécessaire évolution vers des matériaux plus durables et des énergies moins polluantes. L'industrie chimique, concernée pour son activité propre mais aussi pour les solutions qu'elle peut apporter aux filières dans lesquelles elle intervient, a donc pour enjeu d'être à la pointe de l'innovation pour apporter des solutions aux défis technologique, économiques et environnementaux de demain.

La chimie en Nouvelle-Aquitaine est représentée par quelques grands champions mondiaux de souche française à l'instar d'Arkema ou de grands groupes internationaux tels que Solvay à La Rochelle ou le leader nippon Toray dernièrement implanté dans le bassin de Lacq. On trouve également des ETI leaders sur leur segment tels que le landais DRT, spécialisé dans la chimie du pin avec ses 350 millions d'euros de chiffre d'affaires annuel et ses 1 200 salariés, ainsi que de nombreuses PME/PMI concentrées sur des domaines de chimie de spécialité. Au total, la filière compte plus de 800 établissements, composés à plus de 90% des PME de moins de 200 salariés (Aquitaine Chimie Durable 2015).

Au-delà de ce socle d'activités, les projets de développement ne manquent pas, notamment en matière de chimie du végétal. Si cette filière est ancestrale, elle a fortement progressé au cours de ces dernières années, s'appuyant sur l'agriculture et l'exploitation des forêts, deux ressources fortement présentes en Nouvelle-Aquitaine. La région dispose en effet de nombreux acteurs dans le domaine de l'extraction de principes actifs issus du végétal pour les marchés de la cosmétique, de la pharmacie ou encore de l'agroalimentaire qui sont en demande croissante de matières premières biosourcées. Des démarches telles que celle du pôle de compétitivité Xylofutur¹³ ou du cluster Développement de Matériaux Innovants (Demain)¹⁴ se consacrent à la valorisation de ces ressources par le développement de matériaux ou de composants performants et respectueux de l'environnement.

Malgré sa forte structuration et son dynamisme économique, la filière chimie en Nouvelle-Aquitaine, et plus généralement en France et en Europe, connaît certaines fragilités. Des tensions apparaissent au niveau des filières d'approvisionnement, comme en témoignent le ralentissement des activités pétrochimiques et la fermeture des puits gazifères de Lacq en 2013. L'épuisement des matières premières concerne également les ressources minérales qui sont aujourd'hui les principaux catalyseurs des réactions chimiques mais qui ne pourront pas être éternellement exploitées en circuits ouverts. La réduction ou l'élimination de l'utilisation de ressources rares ou polluantes est donc devenue un enjeu majeur pour une industrie par ailleurs très décriée pour ses pratiques très souvent perçues comme néfastes. Pour Laurent Billon, chercheur à l'Institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux de IPREM de l'UPPA, « *la chimie ne pourra continuer à produire des emplois et des matériaux innovants si elle ne travaille pas avec des ressources qui ont des cycles de reproduction plus courts, à l'échelle humaine* ». Néanmoins la transition vers ce type de ressources se heurte aux difficultés rencontrées par les milieux universitaires et industriels pour

¹³ <http://xylofutur.fr/>

¹⁴ <http://www.eco47.fr/index.php/fr/les-opportunites/clusters47/14-eco47/les-opportunites/145-cluster-demain>

dépasser les frontières de leurs disciplines respectives et tendre vers des approches interdisciplinaires, intégrant la biologie.

Une évolution vers plus de collaboration et un renouvellement des pratiques est donc crucial pour le secteur, et c'est dans ce contexte, selon Claude Grison, directrice du laboratoire ChimEco et professeure à l'Université de Montpellier, que s'inscrit le développement de la chimie dite verte. Néanmoins, cette dernière appelle à la prudence dans l'usage de ce terme qui se révèle être à deux vitesses : dans son acception *stricto sensu*, la chimie verte se définit à travers les 12 principes établis par deux chimistes américains, Paul Anastas et John C. Warner, combinant procédés plus respectueux de l'environnement et utilisation raisonnée des matières premières, tandis que de nombreux procédés se parent du qualificatif chimie verte en se détournant de certaines exigences scientifiques, « *ce qui est dommageable pour l'ensemble de la communauté scientifique* » (voir encadré infra). Quant à Laurent Billon, il met également en avant le fait que l'ensemble de la chaîne de valeur d'un composant chimique doit être considérée, de l'extraction de la matière première au recyclage des déchets issus de la production ainsi que du produit lui-même. Cela sans négliger les paramètres sociaux liés à l'acceptabilité de la population : « *La chimie, les gens l'utilisent au quotidien sans le savoir, sans le voir.* »

Consciente de ces enjeux, l'ancienne région Aquitaine a soutenu en 2010 le lancement du cluster Aquitaine Chimie Durable (ACD), initié par l'Union des Industries Chimiques d'Aquitaine, avec le soutien de l'État et de l'Europe. ACD a pour vocation de rapprocher l'ensemble des acteurs et des ressources régionaux afin de stimuler et d'accompagner les projets d'innovation dans la filière, en vue de la conception de produits chimiques et de procédés de fabrication plus respectueux de la santé de l'homme et de son environnement. Parmi les domaines clefs identifiés par ACD, la chimie du végétal, plus économe et permettant le positionnement sur des produits à haute valeur ajoutée, est un des axes à l'étude, notamment au sein des institutions universitaires de la région comme à l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers.

De plus, l'activité fleurissante de plateformes technologiques à l'instar de Canoe¹⁵ dans le domaine des composites et des nanostructures organiques ou de Nobatek¹⁶ dans la construction durable permet de soutenir l'innovation en chimie des matériaux. Ainsi, de nombreux projets de R&D sont aujourd'hui arrivés au stade industriel, dont le projet Effiwind qui a permis de mettre au point de nouveaux matériaux polymères thermoplastiques acryliques recyclables qui constituent une innovation technologique majeure pour le secteur de l'éolien. Par ailleurs, Si la chimie verte en est à ses balbutiements et qu'on est loin d'un vrai développement de technologies en rupture avec le mode de fonctionnement actuel, elle répand peu à peu ses procédés à l'ensemble des secteurs. Offrant de belles perspectives en matière d'innovation, elle représente donc un levier de croissance majeur pour la compétitivité et l'emploi en Nouvelle-Aquitaine.

¹⁵ <http://www.plateforme-canoe.com/>

¹⁶ <http://www.nobatek.com/>

Forces	Faiblesses
– Présence en Nouvelle-Aquitaine d'acteurs privés de la chimie au rayonnement national et international – Présence en Nouvelle-Aquitaine de laboratoires et d'instituts spécialisés (institut de chimie de l'UPPA, Institut des Sciences Moléculaires de Bordeaux, Laboratoire de Chimie de Polymères Organiques etc.) – Ressources importantes sur le territoire néo-aquitain (ressources agricoles, forestières et marines)	– Epuisement des matières premières et situations géopolitiques instables des principaux pays producteurs de ces matières – Impacts très néfastes et avérés de certaines industries sur l'environnement (pollution des eaux et de l'air, contamination des sols, etc.) – Image négative de l'industrie auprès de la population, méfiance sociale et revendications sanitaires
Opportunités	Menaces
– Développement de plateformes et de clusters pour accompagner la recherche des acteurs privés – Acteurs influents en chef de file de l'innovation : pharmacie et cosmétique en tête, qui n'hésitent pas à investir des sommes conséquentes dans la recherche biomimétique. – Engouement autour de la chimie verte et structuration d'une dynamique (cf. Congrès international de la Rochelle sur la chimie verte¹⁷) – Pression sociale pour développer des produits chimiques respectueux de l'environnement et de la santé humaine	– Manque d'interdisciplinarité, notamment le cloisonnement entre chimie et biologie – Manque de financements pour la recherche et manque de retours rapides sur investissements – Manque de sensibilisation de la population sur les évolutions à venir (exemple de Laurent Billon : un changement des mentalités doit s'opérer pour faire accepter aux gens qu'à l'avenir la maison isolée devra avoir sa propre unité de production énergétique tirée de la puissance du Soleil et ne pourra plus se fournir auprès d'une centrale utilisant des combustibles rares venant de l'autre côté de la planète et ayant un impact sur notre environnement présent mais aussi futur.) – Difficulté de remise en cause par les industriels de modèles de production qui fonctionnent actuellement

Depuis des millénaires, verres et céramiques sont fabriqués en chauffant le sable ou l'argile à très haute température. Pourtant, en observant la façon dont les organismes produisent certaines substances, dans quelles circonstances et avec quels moyens, on se rend compte qu'il est possible de revoir nos méthodes de synthèse, de les améliorer et d'en inventer de meilleures plus douces et compatibles avec la vie. L'intuition biomimétique n'est toutefois pas simpliste, si le spicule de l'éponge de verre fascine il n'en est pour le moins pas aisé d'en comprendre le mécanisme de formation. Alors comment s'inspirer de la nature pour inventer de nouveaux matériaux biomimétiques ?

¹⁷ <http://www.larochelle-evenements.fr/agendas/2017/05/15/international-symposium-on-green-chemistry>

Le mot de : Claude Grison, enseignante-chercheure à l'Université de Montpellier, directrice du laboratoire ChimEco



« La chimie est arrivée dans une impasse, plus personne ne souhaite la chimie telle qu'elle s'est déroulée durant le dernier siècle. Dans le même temps, on s'aperçoit de plus en plus que les meilleures idées et les meilleures innovations viennent de la nature. S'il faut compter sur notre propre imagination pour concevoir une molécule qui fonctionne, les idées sont pauvres et limitées, alors que la nature a résolu ces problèmes depuis plus longtemps avec efficacité et optimisation ».

Chimie verte, chimie douce, chimie durable : petite mise au point terminologique

A compter de la fin du XX^{ème} siècle, la défiance des sociétés à l'égard de l'industrie chimique, du fait d'une meilleure connaissance des effets des produits chimiques sur la santé et sur l'environnement, s'est considérablement accrue. Elle s'est accompagnée de l'édiction de réglementations nationales et communautaires, à l'instar du système européen REACH. Dans ce contexte, une importante pression sociale est exercée sur une industrie chimique contrainte d'opérer un virage dans ces pratiques afin d'y intégrer cette demande de la société.

Dans cet esprit, douze principes instituant le concept de chimie verte ont été énoncés en 1998 par deux chercheurs américains, Paul Anastas et John C. Warner, dans leur ouvrage *Green Chemistry : theory and practise*, afin de donner un nouveau cadre de comportement. La liste dégagée par ces chimistes - économie d'atomes, utilisation de substances non toxiques, suppression ou diminution des substances auxiliaires, minimisation des besoins énergétiques etc. - obéit à deux mots d'ordre : dématérialisation pour l'aspect quantitatif et détoxification pour l'aspect qualitatif. Aussi, d'une part, la chimie verte privilégie les processus permettant d'améliorer les rendements et les bilans en termes d'économie d'atome et d'énergie avec l'utilisation de solvants, réactifs et catalyseurs alternatifs. D'autre part, par le recours à la biologie, la toxicologie et l'écologie, elle développe des substances renouvelables, non-persistantes et éco-compatibles. Si la chimie verte préconise le recours à des ressources renouvelables, comme les agro ressources, elle s'attache également à ce qui se situe en aval. En somme, il s'agit de concevoir une chimie plus propre et plus économe, pourvoyeuse de molécules biocompatibles et biodégradables dépourvues de toxicité à long terme.

Quant à la chimie douce, terme forgé en 1977 par le chimiste Jacques Livage, elle prend le contre-pied des dépenses d'énergie pharamineuses à l'œuvre dans la chimie classique. Elle s'inspire des processus de biominéralisation pour synthétiser des matériaux à température ambiante. Alors que la fabrication du verre nécessite des fours chauffés à 1000 degrés, les diatomées, des micro-algues, fabriquent naturellement à température ambiante un exosquelette de silice, une carapace de verre. Cette approche repose sur le développement des procédés dits « sol-gel » (solution-gélification) et est de plus en plus popularisée dans les cercles de recherche.

Une révolution est ainsi en marche, plus en adéquation avec l'environnement et plus acceptée par les citoyens. Mais si ces nouvelles formes de chimie gagnent peu à peu du terrain, la révolution n'en est qu'à ses débuts. Si on veut une transition vers une chimie durable, comme la qualifie Elizabeth Rico-Lattes, chercheuse au CNRS, il faudra construire une approche holistique impliquant tous les acteurs de la chaîne depuis les laboratoires de recherche jusqu'aux utilisateurs finaux en passant par les entreprises de l'industrie chimique.

La chimie est un facteur clef de progrès vers une économie plus durable. En tant que fournisseur de produits de base pour l'agriculture, l'industrie ou les services, elle occupe une position singulière qui l'amène non seulement à devoir maîtriser durablement sa propre empreinte environnementale mais aussi à contribuer à réduire celle des autres industries ou secteurs d'application.

Selon Claude Grison, nombreuses sont les industries qui ont déjà compris les intérêts économiques d'une telle approche. *« La pharmacologie et la cosmétique sont parmi les secteurs les plus investis sur ces questions ; ils n'hésitent pas à engager des fonds conséquents pour aller puiser dans le vivant des propriétés de texture, d'adhésion, de filtration UV ou encore de nouveaux coloris. En observant comment des organismes produisent certaines substances, des chercheurs proposent ainsi des matériaux bioinspirés tout en ouvrant des voies de production alternatives, veillant à la réduction de la quantité de déchets générés et au respect des sources d'extraction de la matière première »*. Cette convergence entre les exigences de développement durable de la chimie verte et le recours au vivant comme source d'inspiration donne lieu à une chimie que l'on peut qualifier de biomimétique.

La chimie peut prendre appui sur le vivant pour réaliser des réactions moins coûteuses en énergies et moins dommageables sur la santé et l'environnement. Une des particularités de la chimie du vivant est sa capacité à construire des matériaux aussi complexes et variés à partir d'aussi peu d'atomes de base (une vingtaine) et de molécules (les quatre grandes familles), *« le vivant construit à partir d'une sélection réduite d'éléments »* (Gauthier Chapelle 2015). Pour produire ces matériaux, la chimie du vivant dispose d'une arme bien aiguisée, la catalyse enzymatique, qui ne nécessite pas de recours à des températures ou des conditions de pression élevées.

Souvent médiatisée, la chimie des matériaux constitue une approche biomimétique particulièrement prometteuse. Des travaux sur la fabrication de verre, colles et céramiques, s'inspirant des soies, des araignées ou des coquilles d'une abalone, démontrent qu'il est possible de fabriquer à température et pression ambiantes des matériaux aux qualités dynamiques que la synthèse chimique semble ne pas être parvenue à atteindre. Cette chimie qualifiée de douce (voir encadré supra) a déjà connu certaines applications industrielles et laisse donc entrevoir un vaste champ d'innovations possibles. De la création de « biopiles », des batteries alimentées par des substances naturelles à partir de bactéries produisant de l'électricité, à la reproduction de la cornée à partir de collagène récupéré sur des tissus animaux, l'objectif est d'établir comment un organisme vivant construit un matériau afin de pouvoir s'en inspirer ou reproduire le procédé pour plus d'efficacité en tout point (Jérôme Béalès 2017). En travaillant à l'aide de processus biomimétique, des gains économiques non négligeables peuvent être notés lors du processus de production comme en donne l'exemple Laurent Billon dans le cadre de ses propres travaux : *« pour la structuration de surface, les techniques actuelles ont recours à des machines se chiffrant jusqu'à plusieurs millions d'euros tandis que dans le cadre de processus bioinspirés on ne dépasse pas quelques milliers d'euros »*.

Dans cette veine, de nombreuses expérimentations sont en cours mais la perspective de voir arriver en masse des solutions biomimétiques sur le marché est encore très éloignée. Malgré le leadership affirmé de quelques groupes, un faible taux de conversion industriel traduit une certaine immaturité de l'approche ainsi qu'un manque de moyens alloués à la recherche. Néanmoins, et c'est notamment le cas en Nouvelle-Aquitaine, des activités de recherche se structurent autour de sujets aussi variés, allant du bio-médical à la conception d'éco-matériaux. A cela s'ajoute la recherche

menée par des entreprises, soutenues par ces mêmes laboratoires ainsi que des initiatives privées. Par exemple, le projet Above vise à développer un procédé innovant d'assemblage de bois non séché à travers une colle polyuréthane très résistante polymérisée à partir de l'utilisation de l'humidité du bois. En matière agricole, on retrouve l'entreprise M2I Life sciences¹⁸ qui s'est inspirée à 100% de la nature pour élaborer son dispositif de contrôle biologique de la lutte contre la chenille processionnaire grâce aux phéromones, innovation qui lui vaut aujourd'hui d'être le premier producteur européen de phéromones et d'atteindre les 2,7 millions de chiffre d'affaires. Toutefois, comme le met en avant Stéphanie Magnet, responsable de l'unité R&D de M2i, même si les phéromones en tant que produit de Biocontrôle, bénéficient d'un parcours d'enregistrement simplifié, la contrainte réglementaire pour obtenir les autorisations de mise sur le marché reste longue et coûteuse et peut constituer un frein pour de nombreuses entreprises. Cela ralentit assurément le remplacement des phytos traditionnels par les solutions biologiques. Il y a encore des améliorations à apporter pour simplifier la coordination entre les différents pays européens.

L'industrie cosmétique quant à elle redouble d'efforts pour aller puiser dans son environnement proche les propriétés requises par les consommateurs, à l'image des Laboratoires de Biarritz¹⁹ qui extraient les actifs antioxydants des algues rouges de la côte basque pour concevoir des crèmes solaires inoffensives pour la santé et l'océan.

Le mot de : Sylvain Bourrigaud, chercheur en chimie des polymères au sein du groupement de recherche Arkéma Lacq

« Ce qui marche à l'échelle du mm² peine parfois à fonctionner au moment de l'extrapolation industrielle. Une des difficultés auxquelles va se heurter le biomimétisme en matière de chimie sera le changement d'échelle. Certaines biotechnologies sont faciles à produire car les quantités restent modestes, comme en pharmacie, mais en chimie des grands polymères certaines techniques sont difficilement extrapolables à l'échelle industrielle. »

¹⁸ <http://www.m2i-lifesciences.com/>

¹⁹ <https://www.laboratoires-biarritz.fr/>



Figure 5 : Enjeux du secteur de la chimie et réponses proposées par la biomimétique

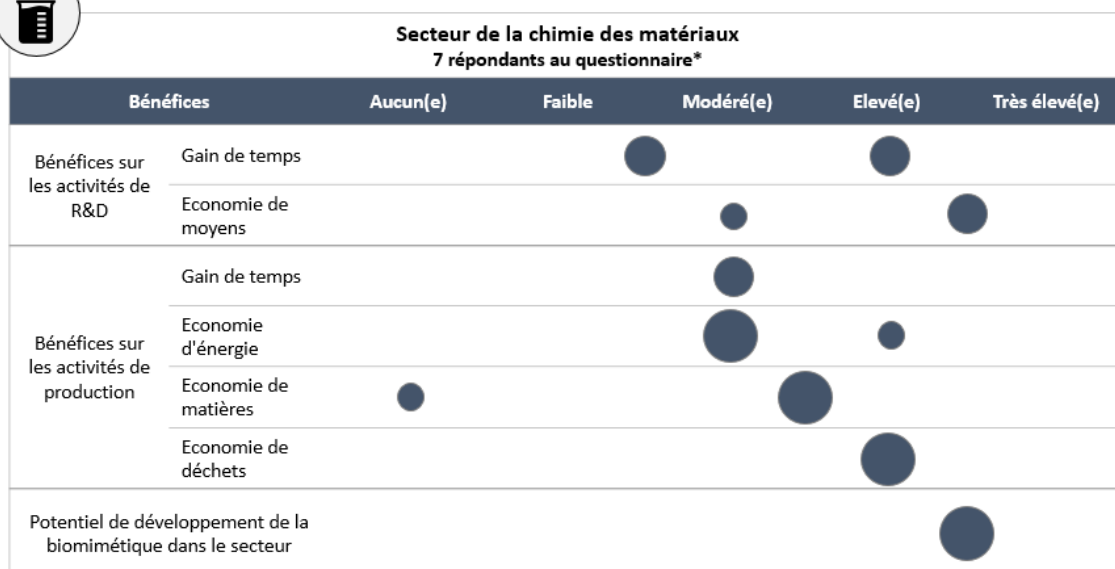
Les travaux de Laurent Billon sur la coloration structurale

Laurent Billon est responsable du groupe « Physique-chimie des polymères » à l'institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux IPREM de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour. Le groupe développe des matériaux polymères innovants et performants à fonctionnalité et structure biomimétiques, bien souvent en collaboration avec de grands groupes industriels : « *Les propriétés les plus recherchées par nos partenaires industriels sont soit des propriétés instantanées (la couleur et l'adhésion principalement) soit des propriétés de long terme, telle que des propriétés de recyclabilité et de durabilité* ». Il est notamment impliqué sur le développement de particules iridescentes biomimétiques qui génèrent des couleurs sans pigments. Comme l'illustrent les ailes du papillon morpho, la carapace des coléoptères ou encore les plumes du paon, la coloration physique - des couleurs nées de la diffraction de la lumière - existent dans la nature et représentent une source d'innovation considérable pour les industriels, particulièrement dans l'industrie cosmétique où la recherche de colorants naturels constitue un véritable défi.



Sources : (Laurent Billon 2012).

Les informations recueillies lors des entretiens afin d'approcher les bénéfices d'une démarche biomimétique pour le secteur de la chimie sont synthétisées ci-dessous. Nous avons élaboré un modèle économique sur la base de ces informations afin d'obtenir les présentés dans la partie ci-après.



* Certaines de ces personnes n'étaient pas en mesure d'apporter une réponse à chacune des questions posées. Il faut donc tenir compte du fait que l'on ne retrouve pas l'avis de chacune d'elle pour chaque critère.

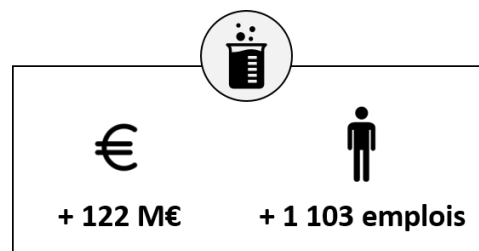


Figure 6 : Synthèse qualitative des entretiens concernant les bénéfices d'une démarche biomimétique pour le secteur de la chimie.

Contexte socioéconomique du secteur de la chimie en Nouvelle-Aquitaine :

- **1 105 M€ de valeur ajoutée** en 2013 (soit 0,7 % du PIB de la région Nouvelle-Aquitaine) ;
- **9 161 emplois salariés** dans la région.

Influence du développement de la biomimétique sur le secteur de la chimie en Nouvelle-Aquitaine²⁰ :



Le développement de la biomimétique dans le secteur de la chimie génère des impacts socioéconomiques dans la région Nouvelle-Aquitaine à travers deux effets : **l'effet de structure** et **l'effet de volume**.

Le premier effet, **l'effet de structure**, correspond aux impacts liés aux économies réalisées dans les achats d'énergie et de matières grâce à l'adoption des procédés biomimétiques pour un même niveau de production. Le processus de production devient ainsi plus efficace : il est possible de produire autant pour une quantité moindre d'énergie et de matières. Ces économies monétaires servent à mieux rémunérer les facteurs de production travail (accroissement du montant total de la rémunération des salariés) et de capital (augmentation des marges des entreprises) qui sont des composantes de la valeur ajoutée. L'augmentation de la valeur ajoutée finance des créations d'emplois. Le taux de valeur ajoutée devient ainsi plus important.

Le second effet, **l'effet volume**, correspond aux impacts liés à l'accroissement du chiffre d'affaires permis par le développement de nouveaux biens et services issus de la biomimétique. En effet, comme nous l'avons mentionné, les entreprises qui ont recours aux procédés biomimétiques sont des entreprises innovantes. Ces entreprises se distinguent ainsi plus facilement des leurs concurrents, générant davantage de chiffre d'affaire et par conséquent de retombées socioéconomiques pour le territoire. En effet, l'enquête communautaire sur l'innovation montre que les entreprises innovantes sont plus productives (le chiffre d'affaires par effectif est 4 % plus élevé dans les entreprises innovantes que pour l'ensemble des entreprises) et plus compétitives (la part du chiffre d'affaires destinées à l'exportation est 8 % plus importante dans les entreprises innovantes que pour l'ensemble des entreprises) (Eurostat 2014).

Pour chacun de ces deux effets, différents types d'impacts peuvent être distingués : les **impacts directs** (les impacts sur le secteur de la chimie), les **impacts indirects** (les impacts sur les fournisseurs se trouvant en amont de la chaîne de valeur du secteur de la chimie) et les **impacts**

²⁰ Pour un taux de pénétration de 25% et à moyen terme. Ce taux de pénétration signifie que 25% des entreprises du secteur adoptent une démarche biomimétique.

induits (les impacts provenant de la rémunération des salariés travaillant directement ou indirectement dans le secteur de la chimie)²¹.

Le tableau ci-dessous présente les impacts sur le PIB pour la région Nouvelle-Aquitaine du développement de la biomimétique dans le secteur de la chimie.

Tableau 2 : Impacts sur le PIB du développement de la biomimétique dans la région Nouvelle-Aquitaine pour le secteur de la chimie (en M€)

Taux de pénétration biomimétique	Type d'impacts	Effet structure	Effet volume	TOTAL
100%	Effets directs	342	58	400
	Effets indirects	-19	20	1
	Effets induits	70	17	87
	TOTAL	393	95	488
75%	Effets directs	257	43	300
	Effets indirects	-14	15	1
	Effets induits	52	13	65
	TOTAL	295	71	366
50%	Effets directs	171	29	200
	Effets indirects	-9	10	0
	Effets induits	35	9	43
	TOTAL	196	47	244
25%	Effets directs	86	14	100
	Effets indirects	-5	5	0
	Effets induits	17	4	22
	TOTAL	98	24	122

De par le caractère linéaire du modèle, le montant des impacts est proportionnel au taux de pénétration. Ainsi, si le taux de pénétration est doublé, les impacts attendus sont doublés.

Le gain maximum de PIB pouvant être attendu pour la biomimétique dans le secteur de la chimie (dans le cas d'un taux de pénétration maximum de 100 %) est pratiquement de 500 M€ pour l'ensemble de l'économie néo-aquitaine (tous secteurs confondus). Ce gain est principalement expliqué par un effet de structure provenant des économies réalisées dans les achats en produits intermédiaires (+ 393 M€), l'effet de volume expliqué par un accroissement des ventes représente une part moindre (+95 M€). L'effet structure est principalement dû à un effet direct (+ 342 M€). Une économie dans les achats de matières et d'énergie par la chimie contribue ainsi à économiser 342 M€, ce qui permet d'accroître la valeur ajoutée de ce même montant. Le taux de valeur ajoutée dans la chimie passe donc de 26 % à 34 %. Les effets indirects sont quant à eux négatifs (-19 M€), ceci s'explique par le fait que les économies réalisées en matière d'achats de produits intermédiaires sont des revenus en moins pour les industries des matériaux et de l'énergie. Les effets induits sont expliqués par deux effets contraires : un effet négatif lié à une réduction de la rémunération des salariés provenant des économies d'achats en matériaux et en énergie, et un effet positif lié à l'accroissement de la rémunération des salariés travaillant dans le secteur de la chimie. Les effets induits étant positif (+ 70 M€), cela traduit le fait que les effets provenant de l'augmentation de la rémunération des salariés travaillant dans le secteur de la chimie compensent

²¹ Une explication détaillée des différents niveaux d'impacts est présentée en annexe.

les effets provenant de la baisse de la rémunération des salariés travaillant pour les fournisseurs en énergie et en matière à destination de ce secteur. **Il est intéressant de noter que pour l'effet structure, les impacts positifs provenant des effets directs et induits contrebalancent très largement les impacts négatifs provenant des effets indirects.**

Concernant l'effet de volume, les impacts sont essentiellement expliqués par les effets directs (+ 58 M€). L'augmentation du chiffre d'affaires a des effets positifs pour les industries se trouvant en amont de la chaîne de valeur (à savoir les effets indirects : + 20 M€). Elle génère aussi des effets positifs du fait d'une hausse de la consommation provenant d'un montant plus élevé de la rémunération des salariés²² dans le secteur de la chimie (à savoir les impacts induits : + 17 M€).

Finalement, en couplant les effets structures et effets volumes, les impacts directs contribuent à 82 % des effets totaux. Pour les impacts indirects, l'augmentation de la valeur ajoutée pour l'effet de volume compense la réduction de la valeur ajoutée pour l'effet de structure.

L'interprétation des impacts est la même pour les autres taux de pénétration de la biomimétique.

Le tableau ci-dessous présente les impacts sur le nombre d'emplois salariés pour la région Nouvelle-Aquitaine du développement de la biomimétique dans le secteur de la chimie.

Tableau 3 : Impacts sur la création d'emplois du développement de la biomimétique dans la chimie dans la région Nouvelle-Aquitaine (en nombre d'emplois salariés)

Taux de pénétration biomimétique	Type d'impacts	Effet structure	Effet volume	TOTAL
100%	Effets directs	2 837	480	3 317
	Effets indirects	-158	221	63
	Effets induits	827	205	1 032
	TOTAL	3 506	905	4 411
75%	Effets directs	2 128	360	2 488
	Effets indirects	-118	165	47
	Effets induits	620	154	774
	TOTAL	2 630	679	3 309
50%	Effets directs	1 418	240	1 658
	Effets indirects	-79	110	32
	Effets induits	413	102	516
	TOTAL	1753	453	2 206
25%	Effets directs	709	120	829
	Effets indirects	-39	55	16
	Effets induits	207	51	258
	TOTAL	877	226	1 103

La création maximum d'emplois pouvant être attendue du développement de la biomimétique dans la chimie (dans le cas d'un taux de pénétration maximum de 100 %) est d'un peu plus de 4 400 emplois salariés pour l'ensemble de l'économie néo-aquitaine (tous secteurs confondus). L'interprétation des résultats est à peu près similaire à celle du PIB.

²² Le montant de la rémunération des salariés est égal par définition au montant du salaire brut moyen par salarié multiplié par le nombre de salariés. Le modèle suppose que le salaire est rigide. Par conséquent, toute augmentation de la rémunération des salariés dans un secteur est expliquée par des créations d'emplois dans ce secteur.

Les créations d'emplois sont davantage expliquées par un effet de structure (+ 3 506 emplois salariés) que par un effet de volume (+ 905 emplois salariés). Les créations d'emplois sont principalement expliquées par l'effet direct (75 % du nombre de créations d'emplois). Concernant l'effet de structure, les impacts positifs provenant des effets directs et induits compensent très largement les impacts négatifs provenant des effets indirects.

Pour un taux de pénétration de la biomimétique de 25 % dans le secteur de la chimie, les gains attendus sur le PIB sont de l'ordre de 120 M€ avec une création de 1 100 emplois salariés pour l'ensemble des secteurs de l'économie néo-aquitaine. Compte-tenu du développement actuel de la biomimétique dans le secteur, un taux de pénétration de 25% constitue un objectif à moyen terme tout à fait réaliste pour la région Nouvelle-Aquitaine qui souhaite promouvoir cette approche.

3.2.2) Habitat



« L'architecte du futur construira en imitant la nature parce que c'est la plus rationnelle, la plus durable et la plus économique des méthodes » - Antoni Gaudí, 19^{ème} siècle. Il s'est inspiré des arbres et de leurs branches pour concevoir les colonnes torsadées et économes en pierres de son œuvre emblématique, la Sagrada Família.

L'habitat durable en Nouvelle-Aquitaine

Loger une population croissante dans des espaces urbains de plus en plus denses tout en protégeant les écosystèmes des investissements immobiliers, le défi à relever est de taille pour une région qui, forte de l'attractivité de ses départements littoraux, se place au 1^{er} rang national pour le nombre de terrains achetés par des particuliers pour y bâtir des maisons individuelles. Cette dynamique n'est pas pour déplaire à un secteur du bâtiment qui se relève peu à peu de la crise de 2008. De plus, suite aux objectifs nationaux fixés par la loi de 2015 sur la transition énergétique pour la croissance verte, le marché de la rénovation offre les débouchés les plus conséquents, allant dans le sens de la valorisation de la performance énergétique et environnementale de l'habitat.

Une telle démarche est bienvenue en Nouvelle-Aquitaine où le seul secteur résidentiel contribue à 26 % de la consommation finale d'énergie et à 18 % des émissions de gaz à effet de serre (Région Nouvelle-Aquitaine 2017c). Une telle contre-performance énergétique du parc de logements néo-aquitains s'inscrit dans la moyenne française, bien moins bonne que celle de la plupart des pays de l'Union Européenne. Aussi, si elle veut parvenir à atteindre son objectif de 30% d'économie d'énergie à l'horizon 2020, la Région doit renforcer ses actions de rénovation énergétique des logements. En cohérence avec cet objectif, elle se doit également de trouver des solutions durables à la pression démographique s'exerçant sur ses littoraux et certains de ses pôles urbains. Il s'agit de répondre à l'impératif légal d'accès au logement sans pour autant sacrifier la qualité de l'habitat, la viabilité en milieu urbain et la protection de l'environnement. A ce titre, la maîtrise de l'empreinte carbone devient de plus en plus centrale pour les constructeurs. On peut cependant distinguer deux composantes de cet enjeu comme le spécifient Iswann Ali Benali et François Dapilly, tous deux chargés de mission au département développement durable et innovation transverse d'Eiffage : celle de la performance énergétique, axe plus ancien qui présente une feuille de route et des pratiques bien établies et popularisées et celle des matériaux qui en est encore à ses balbutiements et pour laquelle il est plus difficile de sortir des sentiers battus : *« La culture des groupes de BTP s'oriente progressivement vers des solutions constructives innovantes qui restent néanmoins en marge de la filière traditionnelle, pour le moment »*.

Après un ternissement ces dernières années, on constate une amélioration conjoncturelle dans le secteur de la construction en Nouvelle-Aquitaine depuis début 2015 avec une promotion immobilière qui retrouve des couleurs. Ce retournement de tendance a permis de clore l'exercice 2016 par une augmentation des mises en chantier de plus de 18,9% par rapport à l'année précédente (DREAL Nouvelle-Aquitaine 2016). Ce rebond du marché ne s'est cependant pas encore traduit par la restauration d'un climat optimiste sur le marché de l'emploi puisque l'emploi salarié continue à décliner (en baisse de 3% en 2016), au profit de l'emploi intérimaire (en augmentation de 8,8%

sur la même période) (Région Nouvelle-Aquitaine 2017c). Cette reprise d'activité est poussée par le segment des logements collectifs, notamment du parc locatif social qui, en Nouvelle-Aquitaine, compte 284 100 logements et affiche une progression de 2,5 % sur un an. Néanmoins, de fortes disparités départementales viennent nuancer cette tendance. Les parcs se développent davantage dans les départements à forte densité de population où la demande locative est importante, tels que la Gironde qui concentre à elle seule un tiers des logements sociaux régionaux. Un récent diagnostic de performance énergétique (DPE) réalisé dans 71% des logements du parc locatif social régional fait état d'une consommation d'énergie moindre en comparaison des logements du parc locatif social de France métropolitaine. Un résultat encourageant certes, mais des efforts à poursuivre puisque d'après une étude menée en 2016, 15% des ménages vivant en Nouvelle-Aquitaine sont exposés à la vulnérabilité énergétique liée au logement, ce pourcentage peut atteindre 35% dans le département de la Creuse contre seulement 9% en Gironde et dans les Pyrénées-Atlantiques (DREAL Nouvelle-Aquitaine 2016).

La filière du bâtiment est ainsi résolument appelée à s'inscrire dans la logique de la transition énergétique pour remédier à la problématique du vieillissement du parc de logement et à ses conséquences sociales et environnementales. En Nouvelle-Aquitaine, avec 1,5 million de résidences construites avant 1975, date de la première réglementation thermique, 40 % des logements sont classés sous la lettre énergétique E au DPE (Région Nouvelle-Aquitaine 2017a). Consciente de l'urgence à agir et poussée par le plan national de rénovation énergétique de l'habitat qui porte à 50 000 le nombre de logements devant être rénovés par an sur son territoire, la Région s'organise pour structurer une offre de professionnels du bâtiment formés et engagés dans le chantier de la réhabilitation énergétique à travers le label RGE (Reconnu Garant pour l'Environnement). En effet, comme le souligne Olivier Scheffer, directeur général adjoint chez Nobatek/INEF4, le secteur du bâtiment, du fait de son éclatement en une myriade de TPE et PME, a du mal à diffuser les innovations et les bonnes pratiques indispensables à la mutation de l'ensemble des professionnels, et il importe donc d'inciter à la formation et à la modernisation. De surcroît, la Région accompagne les particuliers dans leurs démarches de rénovation, leur facilitant le recours aux outils de financement proposés par l'Etat (éco-prêt à taux zéro, crédit d'impôts pour la transition énergétique) par la mise en place d'une agence régionale dédiée à la rénovation énergétique et plus particulièrement au financement adapté des travaux, Artée²³. Enfin, sur l'ensemble du territoire, elle propose une aide à hauteur de 710€ pour aider à la rénovation énergétique de l'habitat privé des ménages. Cependant, comme relevé par le CESE, ce dispositif présente pour limite majeure de ne pas tenir compte des locataires du parc privé dont les propriétaires bailleurs, seuls à disposer de l'aide publique, tardent ou refusent de procéder à une rénovation énergétique du bien mis en location.

La rapide évolution des normes et des réglementations vient ajouter son lot de difficultés au traitement de la question. Toutefois, elle alimente parallèlement une dynamique d'innovations autour des matériaux biosourcés, des procédés de construction ou encore des applications numériques telles que la maquette numérique 3D, en matière de construction. Comme le met en avant l'observatoire BBC Effinergie Aquitaine²⁴, outil de référencement de bonnes pratiques en matière de construction durable, de nombreuses initiatives développées en Nouvelle-Aquitaine

²³ <https://www.artee.fr/>

²⁴ <http://www.observatoirebbc.org/nouvelleaquitaine>

offrent de réelles opportunités, consolidées par la présence de centres de ressources technologiques à l'instar de Nobatek et de l'INEF4, et de clusters comme le CREAHD sur l'ancienne région Aquitaine et le Cluster Eco-Habitat de Poitiers. Pour participer à la réussite de la transition énergétique de la filière, ces différentes entités portent d'importants programmes de recherche et développement, investissements qui font traditionnellement défaut dans le secteur du bâtiment. Aussi, ces plateformes de développement d'innovations accompagnent des porteurs de projet dans le développement de nouveaux matériaux, composites et structures, dont certains font la part belle à la nature. Par exemple, pour mettre au point le projet Paradesee, qui consiste en du design paramétrique pour la conception énergétique et environnementale des bâtiments, les équipes de Nobatek s'intéressent de près au biomimétisme (Nobatek 2015). Comme le précise Olivier Scheffer, au-delà de l'innovation technologique, un des chantiers majeurs qui attend le secteur est de démontrer aux artisans que le recours à ce type d'éco-procédés représente à termes de réels avantages pour eux, notamment en termes économiques : « *Il faut démontrer que le gain final est supérieur à l'effort demandé à la filière* ».

Ces innovations sont autant de pistes d'amélioration pour le développement de l'éco-construction. Dans cette perspective, les bâtiments seraient localement adaptés, prenant part aux écosystèmes naturels dans lesquels ils s'inscrivent, puisant leurs ressources dans le stockage des eaux de pluie et la conversion de la lumière du soleil. A la manière des organismes qui n'ont eu de cesse de s'adapter à leur environnement pour survivre, l'architecte Jacques Rougerie voit dans cette attention renouvelée à l'égard de l'imbrication de l'habitat dans son environnement, l'occasion de se soustraire à l'uniformisation de l'habitat qui a guidé l'architecture au cours du dernier siècle. Une telle ambition ne prend corps que dans très peu de cas actuellement mais constitue une tendance dont le développement des écoquartiers constitue, bien que très modestement, une des manifestations. Il en existe quelques prototypes en Nouvelle-Aquitaine (le quartier Arago à Pessac, Ginko à Bordeaux et Séqué à Bayonne) alors que d'autres projets sont en cours de réalisation pour une prochaine labellisation et que 28 collectivités ont également signé la charte d'engagement dans la démarche.

Forces	Faiblesses
– Un marché de la rénovation dynamique – Un regain sur le marché de la construction, tiré par la dynamique immobilière sur les littoraux et des villes comme Bordeaux et La Rochelle	– Un parc immobilier de l'habitat vieillissant avec ses conséquences en termes de déperdition énergétique et de précarité des ménages – Un faible investissement en R&D des acteurs en présence qui sont pour la grande majorité des TPE/PME – Une atomisation des acteurs et donc une diffusion lente et insuffisante de la connaissance et de l'innovation
Opportunités	Menaces
– Les exigences réglementaires en termes de performance énergétique – Les aides financières, dispensées par la Région et par l'Etat, pour aider les propriétaires à financer leurs travaux de rénovation – Les centres de recherche, plateformes et cluster qui ont pour objectif de soutenir les activités de recherche et développement – La structuration d'un réseau d'artisans formés à la rénovation énergétique (mise en place d'un label)	– Le manque de transversalité et de dialogue entre le monde de la construction et les autres acteurs de la recherche, y compris les biologistes – Le manque de financements et d'accompagnement dans le développement des innovations – Le manque de valorisation autour de projets innovants qui fonctionnent (manque d'exemples concrets qui fonctionnent, de « démonstrateurs ») – Le manque d'argumentaires économiques autour des avantages à se tourner vers de nouvelles pratiques pour convaincre les décideurs finaux

La biomimétique, un outil dans la mallette de l'éco-conception

Les enjeux autour de la conception d'un habitat plus performant, tant dans sa gestion des flux énergétiques qu'au travers de l'empreinte environnementale des matériaux qui le composent, sont de plus en plus prégnants. De nombreux experts s'accordent pour dire qu'il faudra construire davantage en hauteur dans les villes, moyen le plus économe en énergie, matériaux et emprise foncière, et, dans le même temps, verdifier l'espace urbain. Aussi, s'inspirer de la nature pour mieux construire semble tomber sous le sens. Des architectes à la renommée mondiale à l'instar de Mick Pearce se sont saisis de cette source d'inspiration pour utiliser avec parcimonie les ressources naturelles, démonstration faite avec le fameux Eastgate building d'Harare. La biomimétique est également au cœur du projet du pôle d'excellence allemand, le SFB-TRR-141²⁵, pionnier dans le domaine de l'architecture légère et qui mène aujourd'hui un vrai travail de R&D sur des sujets particulièrement prometteurs, à l'instar d'un dispositif passif d'ouverture des parois de bâtiments selon l'hydrométrie ambiante, inspiré de la dilatation des fibres du bois.

²⁵ <http://www.trr141.de/>

Après avoir construit à tour de bras de grands édifices comme autant de passoires énergétiques, les grandes métropoles reviennent sur leurs pas et portent des innovations architecturales qui semblent préfigurer la ville de demain. Des fameux Superarbres de Singapour aux Bosco Verticale de Milan, les exemples de bâtiments durables commencent à se multiplier (Jordan Pouille 2017). Selon Jacques Rougerie, la prise de conscience de la communauté des bâtisseurs quant à leur responsabilité environnementale rentre en résonnance avec un respect de plus en plus grand vis-à-vis du fonctionnement de la nature. Toujours d'après ce dernier, ce basculement s'appuie en grande partie sur les progrès de l'informatique qui rendent possible une meilleure compréhension de la nature et un transfert de ses principes dans des modèles architecturaux, notamment grâce aux nouvelles capacités de modélisation. Ainsi, pas à pas, les avancées en biotechnologie donnent forme à l'habitat nouveau.

On retrouve donc des innovations en matière de construction qui s'appuient sur les 3 niveaux d'inspiration du biomimétisme mis en avant par Janine Benyus, à savoir l'inspiration formelle, fonctionnelle et celle des écosystèmes. Comme l'explique Olivier Scheffer, « *l'approche biomimétique est une démarche parmi d'autres qui s'inscrit dans le faisceau plus global de l'éco-conception* », comme un outil à la disposition des architectes et des ingénieurs. Toutefois elle est peut-être plus compliquée que les autres composantes à démocratiser au sein du monde du bâtiment, en particulier du fait de l'éloignement entre ce dernier et le monde de la biologie.

Malgré ces difficultés, plusieurs acteurs se sont lancés dans le développement d'innovations biomimétiques qui séduisent, à l'image d'un verre autonettoyant inspiré de la feuille de lotus. Mais il ne faut pas perdre de vue que la biomimétique n'est pas une fin en soi, qu'il s'agit d'y avoir recours pour permettre de développer la résilience et l'efficacité énergétique de nos habitats. A ce titre, les façades, responsables à 50% de la déperdition d'énergie, font l'objet de réflexions pour mettre au point un principe laissant sortir l'air vicié mais retenant la chaleur, inspiré de l'œuf de mouche qui laisse passer l'air dans les deux sens. Dans une perspective d'éco-conception, la façade est également exploitée pour capter les émissions de CO₂ et réintroduire la verdure que le béton a engloutie. Toujours dans une perspective globalisante d'éco-conception, et, comme le prône Jacques Rougerie, une démarche verte en architecture doit construire un édifice qui tire profit de toutes les sources d'énergie autour de lui, s'adaptant aux contraintes climatiques de son environnement et pourvoyant à ses propres besoins. Repoussant encore plus loin cet horizon, Estelle Cruz, chargée de mission Habitat au Ceebios, entend définir les bases d'un habitat régénératif - capable de stocker le carbone et de purifier l'air - qui rend des services à la biosphère, à la manière d'un écosystème (voir encadré infra). Il y a donc un fort enjeu autour des enveloppes, dans une optique de multi-régulation ainsi que d'allègement. Comme le précise Guillaume Niel, ingénieur structures et façades et directeur d'établissement chez Terrell²⁶, grâce à la bio-inspiration il s'agit de s'acheminer vers des typologies de structures légères qui vont permettre d'agir sur l'énergie grise et d'être plus économes en matériaux.

²⁶ <http://terrellgroup.net/>

Le mot de : Olivier Bocquet, architecte en charge de la recherche-innovation chez Tangram Architectes



« Il faut accepter de perdre du temps pour en gagner ensuite ; la bioinspiration est une forme d'investissement qui permet de revenir et comprendre les racines. Ça nourrit le projet. Il y a un réel intérêt à perdre du temps. Et les bénéfices économiques qui en découlent peuvent être énormes car la bioinspiration permet de proposer des innovations de rupture »

Les bonnes idées ne manquent pas en matière de construction mais leurs réalisations ont souvent un coût et dépendent donc d'investisseurs audacieux. Eiffage, qui a porté un projet de mycoremédiation sur son chantier Smartseille, a fait l'expérience du co-développement d'un projet de recherche qui caractérise les innovations biomimétiques en France. « En 2015, Eiffage a pu expérimenter les écarts existants entre les problématiques issues des laboratoires d'une petite entreprise et la réalité opérationnelle (conditions climatiques de chantier, assurance, industrialisation, etc.) qui rend complexe l'émergence des solutions biomimétiques », et ne peut que déplorer l'insuffisance de transversalité scientifique et de fonds pour permettre un développement industriel fructueux des innovations.

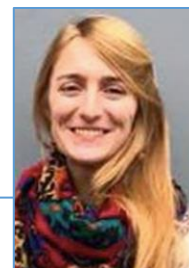
Le mot de : Iswann Ali Benali & François Dapilly, chargés de projets développement chez Eiffage

« Le principal enjeu du biomimétisme en France est de réussir à avoir des démonstrateurs concrets pour mettre en valeur des projets qui ont réussi. On constate un fort engouement du public sur ces sujets et l'approche peut donner des résultats impressionnants. Les exemples concrets de réussite ont toutefois encore du mal à émerger, il faut investir dans la recherche, encourager les approches pluridisciplinaires. Les leviers sont multiples ! »

Ce frein financier est également mis en avant par Guillaume Niel qui cite également un frein réglementaire. En effet, l'obligatoire obtention d'une ATEx (Appréciation Technique d'Expérimentation) permettant de justifier qu'une innovation ne relevant pas de la mise en œuvre traditionnelle satisfait les exigences de solidité, fiabilité et durabilité constitue une démarche très longue et coûteuse pour les entreprises. Aussi, les innovations biomimétiques sont des projets de longues haleines qui peuvent se trouver encore plus ralentis par ce frein réglementaire pour autant nécessaire. Selon lui, une solution pourrait être de s'appuyer sur les bailleurs sociaux pour porter la transition du bâti et expérimenter des solutions biomimétiques. En travaillant sur des gros volumes et sur des ouvrages dont les principales caractéristiques varient peu, les bailleurs sociaux peuvent permettre la mise en pratique d'innovations sur le long terme. De plus, la construction d'écoles serait particulièrement intéressante notamment pour les vertus pédagogiques que cela peut impliquer.

La question du modèle économique est également primordiale pour Tangram Architectes et son Lab dédié à l'innovation. Financé à majorité sur les fonds du cabinet, ils ont développé des partenariats public/privé afin de pouvoir développer leurs projets. C'est le cas pour le projet Biolumarchi (développement d'une bioluminescence naturelle à partir de bactéries) pour lequel une thèse bénéficie de fonds régionaux. Par ailleurs, l'évaluation du gain économique de l'innovation développée dans le cadre de la thèse constitue un objectif en soi afin de développer un modèle économique pour l'innovation. Olivier Bocquet cherche ainsi à mettre en place des indicateurs de valeurs pour montrer qu'il y a un retour sur investissement, ce dont il est intimement convaincu.

Quant à la Nouvelle-Aquitaine, d'après Olivier Scheffer, elle est en avance sur les autres régions françaises mais « *il faut éviter de trop se gargariser car la France a 15 ans de retard sur les allemands* ». Mais à l'échelle française, la région semble motrice et porteuse d'une certaine prise de conscience. De nombreuses entreprises y développent des projets inspirés du vivant à l'image du projet Panijoule, une peinture chauffante à base de polymères conducteurs (entreprise soutenue par le CREAHD). La nature néo-aquitaine ne manque cependant pas de potentiel comme le souligne Jacques Rougerie, avec ses ressources riches et variées et ses conditions climatiques favorables ... « *mais on en est encore qu'aux balbutiements !* »



Le mot de : Estelle Cruz, chargée de mission Habitat au CEEBIOS

« Les processus de R&D qui font appel au biomimétisme sont pour le moment réputés pour être longs car ils mobilisent des corps de métiers n'ayant pas l'habitude de collaborer (équipes comptant des biologistes, ingénieurs, architectes...) mais c'est possible de faire autrement, de faire plus court. Par exemple, l'Eastgate building, bâtiment emblématique du biomimétisme, dont le système de ventilation est inspiré de celui des termitières, résulte d'une combinaison de technologies existantes et principes déjà identifiés. »

Habitat régénératif et inspiration allemande

Plusieurs chercheurs abordent aujourd'hui très en amont les thématiques de la rénovation et construction sous un angle régénératif. Estelle Cruz définit l'habitat régénératif ainsi : « *les habitats régénératifs visent un impact positif sur la biosphère et ainsi rendent des services à celle-ci à la manière des écosystèmes. Il s'agit de concevoir des habitats qui sont par exemple en capacité de recycler tous leurs déchets in situ, de stocker le carbone, de purifier l'aire, etc. ; en somme qui soient capables de participer de manière positive à leur environnement comme un écosystème* ». La biomimétique est donc perçue comme une opportunité majeure pour répondre aux enjeux du bâtiment durable mais, malgré quelques solutions emblématiques (cf. bâtiment auto-ventilé à Harare, les travaux de recherche d'Achim Menges...) le stade de la recherche fondamentale est rarement franchi. Les habitats régénératifs sont encore particulièrement marginaux mais progressent lentement, aux Etats-Unis, une certification développée par le Living Building Challenge fixe un premier cahier des charges avec déjà 300 bâtiments labélisés dans le monde.

Quelques centres d'excellence comme le célèbre le SFB-TRR-141 en Allemagne parviennent à développer d'importantes connaissances sur la conception biomimétique de structures de bâtiments. Dès lors, on regarde le modèle allemand où la biomimétique bénéficie d'un soutien public à la recherche : trois ministères (Industrie, Recherche et Écologie) ont distribué plus de 75 millions d'euros de financement. Un tel effort a permis aux universités de Stuttgart, Fribourg et Tubingen de cocréer le SFB-TRR-141. En France la recherche souffre d'un manque de structuration et d'interdisciplinarité pour exploiter à plein le potentiel de la biomimétique. Les deux groupes de travail du CEEBIOS sur l'habitat et les matériaux bioinspirés cherchent à répondre à ces enjeux en fédérant plusieurs acteurs du secteur du bâtiment tels que les groupes Eiffage, Vicat, Rabot Dutilleul, Elan, EGIS, Nobatek/INEF4 et des agences d'architecture. Ces partenaires du CEEBIOS amorcent aujourd'hui des projets implémentant la biomimétique. Parmi les premiers projets associant biomimétique et architecture, le site Ordener à Senlis, siège du CEEBIOS, lance des travaux de rénovation en 2018 en ambitionnant de devenir un emblème de l'architecture biomimétique française.

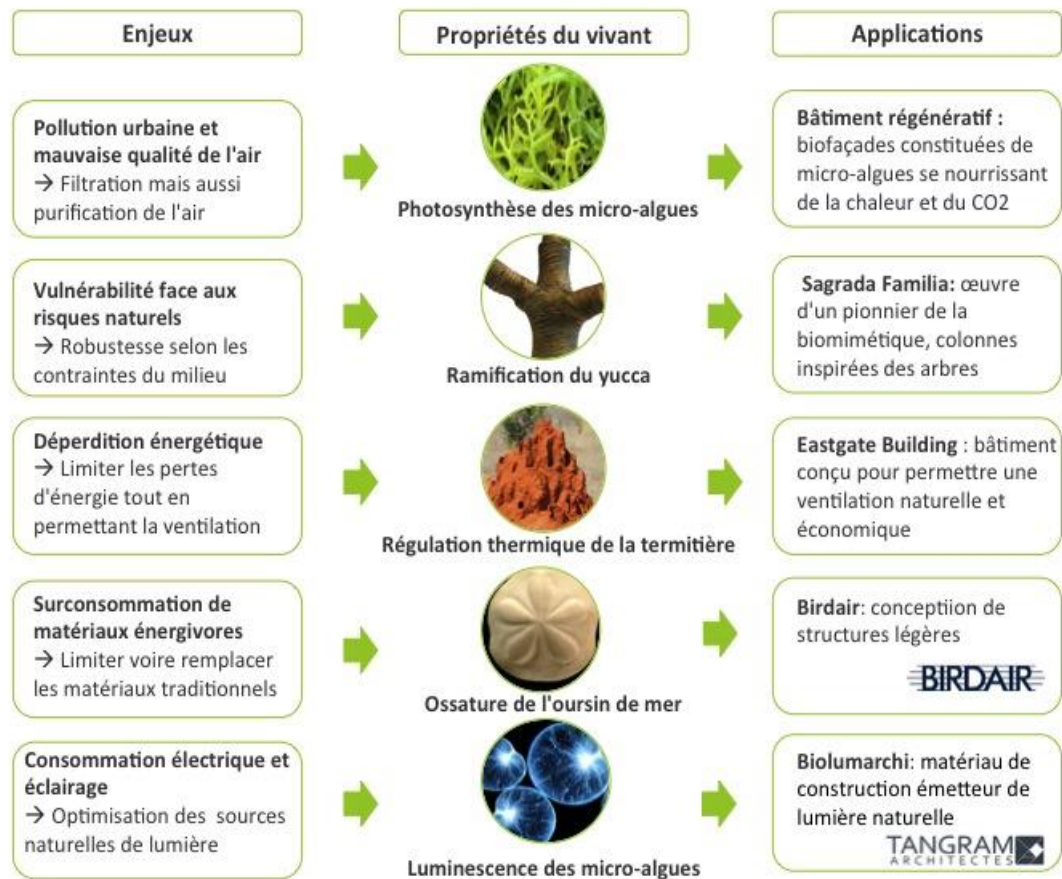


Figure 7 : Enjeux du secteur de l'habitat et réponses proposées par la biomimétique

Les travaux de Nobatek/INEF4 et la vision d'Olivier Scheffer

NOBATEK/INEF4 est un centre de recherche technologique privé, Institut national pour la transition énergétique et environnementale dans le secteur de l'aménagement, de la réhabilitation et de la construction durable. Sa mission principale est d'accélérer l'innovation, le passage de l'idée au marché. En effet, face à un des secteurs où l'intensité de R&D est la plus faible, il y a un réel besoin de plateforme d'innovation, de moyens pour assurer la transition entre des idées innovantes et leur arrivée sur le marché. Pour Olivier Scheffer c'est d'ailleurs là qu'est la clé : réussir à démontrer sur des projets réels et dans les conditions du marché, et pas uniquement sur des objets démonstrateurs uniques.

En Nouvelle-Aquitaine, on peut ainsi citer l'écoquartier du Séqué à Bayonne sur lequel a travaillé Nobatek/INEF4 et dont l'un des objectifs était de minimiser l'impact sur le terrain. Ainsi, les bâtiments ont été construits sur pilotis afin de réduire l'emprise au sol et dans l'idée de pouvoir un jour peut-être les démonter. De plus, la disposition de chacun des bâtiments a été réfléchie afin d'optimiser l'orientation au soleil, et ce notamment l'hiver. De surcroît, il a été décidé de ne couper aucuns arbres, selon le principe d'architecture vernaculaire. Les bâtiments ont alors été disposés de manière à bénéficier de l'ombre offerte par les arbres en été tout en profitant du soleil en hiver. Ces principes d'aménagement s'inspirent alors de la nature et notamment des plantes qui s'adaptent à leur environnement et qui cherchent à maximiser la réception en rayonnements solaires.

Aussi, comme souligné par Nicolas Vernoux Thelot du cabinet d'architecture In Situ lors de la Biomim'expo 2017, une approche biomimétique reposant sur un parallèle entre plantes et bâtiments est particulièrement féconde. En effet, plantes et bâtiments partagent des caractéristiques communes : l'immobilité ; des besoins en lumière naturelle, en eau et en ventilation ; l'exposition aux aléas des contraintes géoclimatiques extérieures.



Sources : (Olivier Scheffer 2017) ; (Gérard Leclerc 2016) ; (Kalina Raskin et Estelle Cruz 2017).

Les informations recueillies lors des entretiens afin d'approcher les bénéfices d'une démarche biomimétique pour le secteur de l'habitat sont synthétisées ci-dessous. Nous avons élaboré un modèle économique sur la base de ces informations afin d'obtenir les présentés dans la partie ci-après.



Secteur de l'habitat 7 répondants au questionnaire *		Aucun(e)	Faible	Modéré(e)	Elevé(e)	Très élevé(e)
Bénéfices sur les activités de R&D	Gain de temps					
	Economie de moyens			N/A		
Bénéfices sur les activités de production	Gain de temps					
	Economie d'énergie					
	Economie de matières					
	Economie de déchets					
Potentiel de développement de la biomimétique dans le secteur						

* Certaines de ces personnes n'étaient pas en mesure d'apporter une réponse à chacune des questions posées. Il faut donc tenir compte du fait que l'on ne retrouve pas l'avis de chacune d'elle pour chaque critère.


Majorité/totalité
des réponses


Moitié des réponses

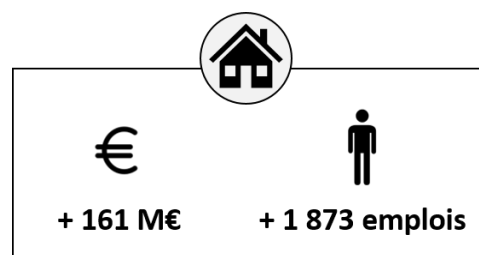

Minorité des réponses

Résultats de l'évaluation des impacts socioéconomiques du développement de la biomimétique pour le secteur de l'habitat

Contexte socioéconomique du secteur de l'habitat en Nouvelle-Aquitaine :

- **828 M€ de valeur ajoutée** en 2013 (soit 0,5 % du PIB de la région Nouvelle-Aquitaine) ;
- **10 007 emplois salariés** dans la région.

Influence du développement de la biomimétique sur le secteur de l'habitat en Nouvelle-Aquitaine²⁷ :



Le développement de la biomimétique dans le secteur de l'habitat engendre trois types d'effets pris en compte par le modèle :

- Le premier effet est un **effet de structure pour le secteur de la construction de bâtiment**. Le développement des procédés biomimétiques implique une réduction, pour le secteur de construction de bâtiment²⁸, des achats de matières (p. ex. ciment, béton...) pour un même niveau de production. Ces économies permettent d'accroître le taux de valeur ajoutée du secteur, et de financer de nouveaux emplois.
- Le second effet est un **effet de volume pour le secteur de la construction de bâtiment**. Grâce au développement de la biomimétique, le secteur de la construction de bâtiment propose des biens et services innovants et de meilleures qualités, ce qui permet aux entreprises de se distinguer par rapport aux concurrents. Par conséquent, l'innovation biomimétique contribue à accroître le chiffre d'affaires des entreprises du secteur du fait d'une meilleure compétitivité.
- Le troisième effet est un **effet de structure pour la consommation finale des ménages**. Les logements « biomimétiques » ont des bilans énergétiques plus positifs que les logements « conventionnels ». Ils permettent aux ménages de réduire leurs dépenses énergétiques. Ces économies peuvent être une opportunité pour les ménages de réaliser des achats d'autres biens et services²⁹.

Le tableau ci-dessous présente les impacts sur le PIB pour la Nouvelle-Aquitaine du développement de la biomimétique dans le secteur de l'habitat en fonction des effets présentés ci-dessous et pour trois types d'impacts : directs, indirects et induits.

²⁷ Pour un taux de pénétration de 25% et à moyen terme. Ce taux de pénétration signifie que 25% des entreprises du secteur adopte une démarche biomimétique.

²⁸ Le secteur de la construction (ici de bâtiment exclusivement) inclut aussi les entreprises spécialisées dans la rénovation des bâtiments existants afin d'améliorer leur bilan énergétique.

²⁹ En supposant que la proportion moyenne à consommer est stable.

Tableau 4 : Impacts sur le PIB du développement de la biomimétique dans la région Nouvelle-Aquitaine pour le secteur de l'habitat (en M€)

Taux de pénétration biomimétique	Type d'impacts	Secteur de la construction/ du bâtiment			Consommation finale des ménages (Effet structure)	TOTAL
		Effet structure	Effet volume	TOTAL		
100%	Effets directs	152	39	192	344	536
	Effets indirects	-24	16	-8	14	6
	Effets induits	31	15	46	57	103
	TOTAL	160	70	230	415	644
75%	Effets directs	114	29	144	258	402
	Effets indirects	-18	12	-6	10	4
	Effets induits	23	11	34	43	77
	TOTAL	120	53	172	311	483
50%	Effets directs	76	20	96	172	268
	Effets indirects	-12	8	-4	7	3
	Effets induits	16	7	23	29	51
	TOTAL	80	35	115	207	322
25%	Effets directs	38	10	48	86	134
	Effets indirects	-6	4	-2	3	1
	Effets induits	8	4	11	14	26
	TOTAL	40	18	57	104	161

Le gain maximum de PIB pouvant être attendu du développement de la biomimétique dans le secteur de l'habitat (dans le cas d'un taux de pénétration maximum de 100 %) est environ de 640 M€ pour l'économie néo-aquitaine (tous secteurs confondus).

64 % des impacts sont expliqués par le report des dépenses énergétiques des ménages en faveur des bâtiments vers les autres achats de biens et services. En effet, une réduction de 40 % des dépenses énergétiques des ménages néo-aquitains en faveur des bâtiments leur permet d'économiser jusqu'à 1 302 M€. Ce montant peut être consacré à l'achat d'autres biens et services, dont 52 % sont à destination des biens et services produits dans la région Nouvelle-Aquitaine (soit 700 M€). La modification de la structure des dépenses des ménages des produits énergétiques vers les autres biens et services (pour un montant total identique des dépenses) génère des impacts positifs pour l'économie néo-aquitaine. Ceci s'explique par le fait que les importations pour les produits énergétiques sont relativement bien plus importantes que les importations d'autres biens et services. La valeur ajoutée des secteurs qui sont impactés directement par cette modification de la structure de la consommation des ménages s'accroît de 344 M€. Les impacts indirects (via les effets sur les fournisseurs) et les effets induits (via la modification de la rémunération des salariés) sont estimés respectivement à 14 M€ et à 57 M€.

Concernant les impacts sur le secteur de la construction de bâtiments, les économies générées par la réduction des achats de matières par les entreprises du secteur sont de l'ordre 152 M€. Ces économies servent à accroître la valeur ajoutée du secteur de ce même montant. Toutefois, la réduction des achats de matière a un effet dépressif sur les fournisseurs se trouvant en amont de la chaîne de valeur du secteur de la construction avec une réduction de 25 M€ de valeur ajoutée. Toutefois, ces impacts indirects négatifs sont totalement contrebalancés par des impacts induits

expliqués par un accroissement de la rémunération des salariés dans le secteur de la construction (+ 31 M€). En outre, l'augmentation du chiffre d'affaires du secteur liée à l'effet compétitivité dû à l'innovation biomimétique provoque un accroissement de la valeur ajoutée de ce secteur de 39 M€. Cet accroissement génère des effets indirects (via les fournisseurs se trouvant en amont de la chaîne de valeur) et induits (via la rémunération des salariés) avec une augmentation respectivement de 16 M€ et de 15 M€ de valeur ajoutée.

Le tableau ci-dessous résume les impacts sur l'emploi du développement de la biomimétique dans le secteur de l'habitat en Nouvelle-Aquitaine.

Tableau 5 : Impacts sur l'emploi du développement de la biomimétique dans la région Nouvelle-Aquitaine pour le secteur de l'habitat (en nombre d'emplois salariés)

Taux de pénétration biomimétique	Type d'impacts	Secteur de la construction/ du bâtiment			Consommation finale des ménages (Effet structure)	TOTAL
		Effet structure	Effet volume	TOTAL		
100%	Effets directs	1 842	474	2 316	3 914	6 230
	Effets indirects	-330	190	-139	283	143
	Effets induits	370	174	545	572	1 117
	TOTAL	1 883	838	2 721	4 769	7 490
75%	Effets directs	1 382	355	1 737	2 935	4 673
	Effets indirects	-247	143	-105	212	107
	Effets induits	278	131	409	429	838
	TOTAL	1 412	629	2 041	3 577	5 618
50%	Effets directs	921	237	1 158	1 957	3 115
	Effets indirects	-165	95	-70	141	72
	Effets induits	185	87	272	286	558
	TOTAL	941	419	1 361	2 384	3 745
25%	Effets directs	461	118	579	978	1 558
	Effets indirects	-82	48	-35	71	36
	Effets induits	93	44	136	143	279
	TOTAL	471	210	680	1 192	1 873

La création maximum d'emplois pouvant être attendue de la biomimétique dans le secteur de l'habitat (dans le cas d'un taux de pénétration maximum de 100 %) est d'environ de 7 500 salariés pour l'économie néo-aquitaine (tous secteurs confondus).

La modification de la structure de la consommation finale des ménages (réduction des dépenses énergétiques en faveur des achats d'autres biens et de services) génère directement une création de 3 914 emplois salariés. Les impacts indirects (via les fournisseurs en amont de la chaîne de valeur) et induits (via la rémunération des salariés) expliquent respectivement une création de 283 et 572 d'emplois salariés.

Les économies générées par la réduction des achats de matière par le secteur construction de bâtiments contribuent à créer 1 842 emplois. Les effets négatifs provenant des impacts indirects (via une réduction des achats de matières) sont contrebalancés par les effets positifs provenant des

impacts induits (via à une hausse de revenu des travailleurs). En effet, les impacts indirects peuvent causer une réduction de 330 emplois tandis que les impacts induits expliquent une création de 370 emplois³⁰. L'augmentation du chiffre d'affaires dans le secteur de la construction du fait d'une plus grande compétitivité devrait générer au total une création de 838 emplois salariés (dont 474 expliqués par les effets directs, 190 par les effets indirects et 174 par les effets induits).

Pour un taux de pénétration de la biomimétique de 25 % dans le secteur de l'habitat, les gains attendus sur le PIB sont de l'ordre de 160 M€ avec une création de près de 1 900 emplois salariés. Compte-tenu du développement actuel de la biomimétique dans le secteur, un taux de pénétration de 25% constitue un objectif à moyen terme tout à réaliste pour la région Nouvelle-Aquitaine qui souhaite promouvoir cette approche.

³⁰ Il est évident que la dimension humaine derrière ces chiffres ne doit pas être oubliée, des emplois différents ne peuvent pas se substituer l'un à l'autre aussi simplement.

3.2.3) Agriculture



« L'agroécologie consiste pour le paysan à imiter la nature dans son champ, là où l'agriculture industrielle prétendait la décomposer ». – Olivier de Schutter, rapporteur des Nations Unies sur le droit à l'alimentation, 2011.

L'agriculture en Nouvelle-Aquitaine

Le rapprochement de trois régions à dominante rurale pour fonder la Nouvelle-Aquitaine a accouché d'un grand territoire à prédominance agricole. Ses 4,2 millions d'hectares sont à 84% composés d'espaces dédiés à l'agriculture et à la forêt. Sous cette unité administrative, une telle étendue renferme une grande diversité agricole par la variété des sols, des cultures et des climats. Des bassins viticoles bordelais et charentais à l'élevage bovin dans le Limousin en passant par les cultures maraîchères et arboricoles des plaines fertiles du Lot-et-Garonne, il existe une importante variété d'orientations agricoles qui, au travers de modes de production variés, apporte une certaine forme de complémentarité. Un recensement récent de l'intégralité des produits de Nouvelle-Aquitaine détenant un signe d'identification de la qualité et de l'origine fait état de 216 produits régionaux identifiés. Les activités s'avèrent plus ou moins rémunératrices lorsque l'on compare les 65 milliers d'euros en moyenne de résultat courant avant impôt par actif générés par la viticulture en 2014 contre les 12 milliers d'euros pour les producteurs de céréales et d'oléoprotéagineux (DRAAF Nouvelle-Aquitaine 2016). Le prix des terres est également très variable avec un prix moyen variant de moins de 5 750€ par hectare pour le Limousin à plus de 8 780€ par hectare dans le département des Landes (DRAAF Nouvelle-Aquitaine 2017). De telles disparités économiques sont bien sûr à mettre en balance avec la disponibilité des terres arables et l'attractivité du territoire.

Au-delà de ces spécificités territoriales, l'agriculture demeure un secteur clef de l'économie régionale. Les grandes cultures y occupent une place prépondérante avec une production annuelle estimée à 10 Mt, dont 90 % de céréales et 10 % d'oléoprotéagineux. Le débouché majeur demeure l'export, pour un montant avoisinant les 8 milliards d'euros, via les cinq sites portuaires de la côte atlantique par lesquels transitent plus de 60 % de la collecte (FranceAgriMer 2017). Ainsi la Nouvelle-Aquitaine, leader français de la production de tournesol (36% de la surface nationale) et de maïs (32%), est la première région agricole française par la valeur de sa production agricole : 11 milliards d'euros (hors subventions) en 2013 (Région Nouvelle-Aquitaine 2016). Avec une telle création de valeur, elle constitue la première économie de notre région et procure près de 180 000 emplois directs si l'on associe le total des actifs agricoles (123 751 dénombrés en 2014) au total des emplois dans l'industrie agroalimentaire (54 000 emplois en 2014) (DRAAF Nouvelle-Aquitaine 2017). Il ne faut néanmoins pas négliger la grande dépendance du secteur aux aides publiques qui s'élèvent à 61,7 millions d'euros pour la Région attribués en 2016 auxquels s'ajoutent les 220 millions d'euros de l'Union européenne (Région Nouvelle-Aquitaine 2017b).

Consciente de son atout agricole, la région a à cœur de s'adapter et d'innover pour conserver ses avantages compétitifs dans le secteur. Des entreprises et acteurs locaux de la société civile, à l'instar

des Vignerons de Buzet³¹ et du projet Scyll'Agro³², soucieux de l'évolution de leurs pratiques dans le sens d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement, ont déjà mis sur pied des solutions durables qui ont trouvé un écho important à l'échelle nationale. Emboitant le pas à ces pionniers, la région Nouvelle-Aquitaine se veut à présent être le lieu d'innovations agricoles comme en témoigne des initiatives récentes telles que le projet de laboratoire d'innovation ouverte, « living lab », associant l'Inra, l'Institut de la vigne et du vin (ISVV), le pôle de compétitivité Agri Sud-Ouest Innovation, le cluster Inno'Vin, le Vinopôle, la Région, qui vise à réduire l'usage des pesticides dans la viticulture. De surcroît, à travers des programmes d'accompagnement à l'instar du Plan Végétal Environnement lancé cette année, la région entend soutenir financièrement les professionnels dans leurs dépenses d'investissement concernant les enjeux d'optimisation de la consommation d'entrants, de réduction des pollutions et des prélèvements sur la ressource en eau.

De telles évolutions sous l'impulsion de l'acteur régional sont d'autant plus souhaitables que les défis environnementaux liés au changement climatique, à l'érosion et l'appauvrissement des sols ainsi qu'aux pressions parasites n'épargnent pas la Nouvelle-Aquitaine. Cette dernière est régulièrement sujette aux baisses de rendement imputables à des saisons atypiques de plus en plus fréquentes et à des maladies comme le mildiou et l'oïdium dans le milieu viticole. Aussi le maintien de la fertilité des sols, la gestion des ressources en eau ou encore l'endiguement des épidémies sont autant d'enjeux auxquels la région se doit de répondre si elle souhaite conserver le dynamisme et les bénéfices de son agriculture. Revenir sur des décennies de pratiques agricoles ravageuses pour la biodiversité n'est cependant pas chose aisée et le développement d'alternatives durables ne saura faire l'économie d'un investissement conséquent dans les activités de recherche. Aussi des pôles d'excellence, adossés à la pratique de producteurs et enrichis de l'expertise des acteurs académiques maillant le territoire, sont appelés à se développer afin de proposer des innovations capables de relever les défis environnementaux de demain.

A ces derniers s'ajoute le phénomène lancinant de déprise agricole à l'œuvre dans notre société depuis plus d'un demi-siècle déjà et auquel les pouvoirs publics peinent à apporter une solution durable. Face à la baisse du nombre d'exploitations au profit d'un mouvement de concentration industriel, force est de constater que des mouvements sociétaux émergent progressivement et plaident en faveur d'un renouveau agricole. D'une part, l'agriculture biologique, poussée par une demande à la croissance exponentielle, s'inscrit dans une dynamique globale en faveur d'une agriculture plus responsable et durable. Elle a rencontré un fort succès en Nouvelle-Aquitaine ces dix dernières années avec en 2015 pas moins de 4 215 exploitations bio recensées, soit +6,8% par rapport à 2014, sur 162 537 ha bio et un taux de conversion en bio de la surface agricole utile (SAU) estimé à 4,2% (Agence Bio 2016). D'autre part on constate l'apparition d'une nouvelle population d'agriculteurs, les hors-cadre familiaux (HCF), dont le nombre n'a cessé de grandir jusqu'à représenter 6 nouveaux installés sur 10 sur le département de la Gironde (Agritaine dossiers 2014). Eu égard au vieillissement de la population de travailleurs agricoles et aux enjeux de transmission induits, cette nouvelle population d'entrepreneurs prêt à mettre les mains à la terre représente un potentiel conséquent. Ce changement démographique est d'autant plus porteur que bien souvent les HCF souhaitent s'inscrire dans le cadre de pratiques agricoles durables. Cependant ces derniers, pour la plupart non issus du monde agricole ou rural, rencontrent souvent des difficultés financières

³¹ <http://www.vignerons-buzet.fr/>

³² <http://www.scyllagro.com/>

quant à l'accès au foncier, l'accompagnement à l'installation, le financement de leur projet. Aussi il importe de lever ces différents freins afin de sécuriser les parcours d'installation de ces néo-agriculteurs avec des efforts à consentir sur la création d'emplois agricoles pérennes, à la fois par la formation continue et la structuration des filières de production agrobiologiques et locales. La Région mène ainsi une ambitieuse politique de soutien à l'installation avec chaque année plus de 21 millions d'euros qui y sont consacrés à travers trois dispositifs majeurs : la dotation Jeune Agriculteur, les prêts d'honneur et les mesures d'accompagnement.

Ces différents enjeux sont autant d'opportunités à saisir pour aller dans le sens de la refonte de notre modèle agricole, suivant le chemin tracé par les multiples initiatives locales. Le renouveau agricole passe également par la mise en lumière des initiatives s'inscrivant dans une agriculture durable. A travers le jeu des certifications et des engagements producteurs - à l'image du label « verger éco-responsable » délivré aux agriculteurs du Limousin respectueux des actions prescrites dans la Charte qualité des pomiculteurs écoresponsables – les nouvelles pratiques peuvent acquérir une certaine visibilité. En ce sens, la tenue de concours comme le prix de l'innovation dans le cadre des trophées de l'agroécologie permet de rendre visibles les innovations les plus inspirantes et sujettes à essaimer. Aussi, le développement de modes de production plus proches de la nature, adoptant une approche holistique d'un écosystème comme le prescrit l'agroforesterie ou la permaculture, constitue la promesse de changements profonds dont l'efficacité économique reste encore cependant à démontrer pour être plus largement reprise.

Forces	Faiblesses
– 1^{ère} région agricole de France – Richesse et diversité des productions – Force d'exportation – Variété des sols et des climats	– Vieillesse de la population des agriculteurs et difficultés subséquentes (transmission des exploitations, acquisition du foncier) – Revenus et situations précaires de certains agriculteurs – Grande dépendance financière vis-à-vis de la PAC – Fragmentation et cloisonnement des exploitations de petite taille
Opportunités	Menaces
– Emergence d'une nouvelle population d'agriculteurs (HCF) qui présentent un attrait pour la pratique d'une agriculture durable – Croissance continue de la demande de produits biologiques – Installation et conversion d'exploitations biologiques – Développement de « laboratoires ouverts » – Implication forte des exploitants pour les signes de qualité (AOC, AOP, IGP)	– Manque de formation et de financements des HCF – Pressions parasitaires et épidémiques – Saisons atypiques récurrentes – Appauvrissement des sols – Contamination des eaux par les phytosanitaires

Les apports de la biomimétique à l'innovation en agriculture

La dénonciation des pratiques agricoles misant sur l'accroissement de la productivité brute et sur une surconsommation des ressources non renouvelables - ce « forçage » des systèmes écologiques comme le qualifie Michel Griffon - a progressivement poussé le secteur agricole à se remettre en question. Les objectifs qu'on lui assigne évoluent profondément sur la base d'enjeux écologiques et environnementaux mais aussi économiques, sanitaires et sociaux. Dans ce cadre, les alternatives à l'agriculture conventionnelle comme l'agroécologie, l'agriculture biologique ou encore l'agriculture écologiquement intensive, constituent de nouveaux référentiels agronomiques qui se recoupent et se complètent plus qu'ils ne se distinguent. En effet, les pratiques prescrites ont en commun de partager une approche globale d'un agrosystème, favorisant la diversité et complémentarité à l'instar de ce que l'on peut observer dans la nature ; la monoculture intensive n'y existe pas. Cet agrosystème est perçu avant tout comme un écosystème régi par des fonctionnalités naturelles et des modes d'interaction complexes qu'il s'agit de comprendre. Les méthodes de l'agriculture écologiquement intensive et ses déclinaisons apparaissent donc comme des moyens pour amplifier ces fonctionnalités de maintenance et de renouvellement (Griffon 2013). C'est au sein de ce cercle vertueux que, selon François Léger enseignant-chercheur à AgroParisTech, doit s'inscrire l'agroécologie : « *Si on est capable d'utiliser le fonctionnement de l'agroécosystème alors on arrive à installer des systèmes autonomes et fertiles* ».

Comprendre les mécanismes fonctionnels des écosystèmes productifs peut aussi mener, pas simplement à les piloter, mais à les stimuler et à inventer des solutions consistant à les imiter. Cette idée de mimer la nature est développée par certaines techniques qui cherchent, à la manière de l'agroforesterie, à utiliser les mécanismes d'un écosystème forestier pour atténuer les écarts climatiques, minimiser les pertes en eau, protéger le sol du ruissellement, et même attirer la pluie. On peut même aller jusqu'à s'intéresser aux génomes des plantes et des animaux afin d'être en mesure de créer de nouvelles voies de production d'insecticides par l'imitation des toxines de défense. En somme, il existe dans la nature des fonctionnalités qu'il s'agit d'utiliser afin de remettre le vivant au cœur de l'agriculture. Comme le définit François Léger : « *Inventer des systèmes agricoles qui fonctionnent comme des écosystèmes, c'est le biomimétisme* ».

Or cette inspiration du vivant s'avère décisive face aux enjeux actuels : nous connaissons par exemple la menace qui pèse sur la production d'engrais avec l'épuisement des réserves de phosphate à l'horizon de 30 ans et l'urgence qu'il y a à trouver des substituts durables. Aussi des pratiques aussi fondamentales que la pratique du couvert végétal permanent et les associations d'espèces, prenant les écosystèmes naturels en modèle, s'offrent simplement à nous. En ce sens, comme le précise le rapport du CESE, « *l'approche biomimétique n'est pas un type d'agriculture en soi* » (CESE 2015) mais une approche qui invite à appréhender les systèmes de production agricoles comme des écosystèmes fonctionnant en boucle fermée, utilisant intensivement leurs capacités spécifiques selon les lois scientifiques de l'écologie afin de s'inscrire dans une perspective de développement viable (Griffon 2013). Pour le chercheur en écologie Jacques Tassin, auteur de « *Agroforesterie et conservation des sols* », la démarche biomimétique en agriculture représente « *le moteur d'un autre rapport de l'Homme avec le vivant, qui serait davantage un rapport de collaboration que de domination* ». D'après lui cette nouvelle forme collaborative sous-tend une reconnexion de notre part avec l'ensemble du vivant et une posture d'une plus grande humilité.

Les vertus de l'amplification et de la diversification des fonctionnalités écologiques sur les surfaces cultivées séduisent de plus en plus de producteurs désireux de se soustraire à l'utilisation d'intrants chimiques. C'est notamment le cas des 1900 fermes en agroécologie du réseau Dephy qui sont parvenues, sans diminuer leurs rendements, à réduire l'utilisation de pesticides de 10% à 12%. En viticulture, à la façon des Vignerons de Buzet, les fréquences de traitement peuvent même chuter jusqu'à 80%. La solution qui consiste à combiner les productions dans l'espace et dans le temps, sur la base de cultures jumelant par exemple maïs et haricot, permettrait selon Jacques Tassin d'accroître la production de 50% (Hors-série La Vie 2017). Dans ce schéma on a besoin que de peu d'intrants, peu de perturbateurs, dans la mesure où l'écosystème produit ses propres ressources. Selon les dires d'Alain Canet, président de l'association française d'agroforesterie, on peut attendre une augmentation de 30% de productivité de la biomasse ramenée à la parcelle en agroforesterie. En conditions expérimentales, il a également été démontré qu'1ha d'agroforesterie pouvait produire autant de bois et de produits agricoles que 0,8ha d'agriculture et 0,6ha de forêt (Hors-série La Vie 2017). Ainsi, le fil conducteur de toutes ces pratiques est bien l'augmentation de la matière organique des sols, contrairement à l'agriculture actuelle qui n'a de cesse d'en exporter. Le simple fait que dans la région les sols restent en moyenne chaque année 130 jours nus suffit pour prendre la mesure de leur vulnérabilité et appauvrissement. Et comme aime à le rappeler Alain Canet, « *c'est bien les plantes qui fabriquent les sols et pas l'inverse !* ».

Face au potentiel prometteur de ces pratiques, il convient néanmoins de rester vigilants aux conséquences qu'elles impliquent ; comme pour toute action sur notre environnement. En effet, comme le souligne Pierre Gaillard, directeur d'Invenio³³, ce n'est pas parce qu'une action ou pratique s'inspire du vivant qu'on peut pour autant la qualifier de naturelle.

Le mot de : Pierre Gaillard, directeur d'Invenio, station d'expérimentation de la filière fruits et légumes d'Aquitaine.



« Nos systèmes de culture sont des systèmes biologiques complexes. La reproduction de mécanismes ponctuels tel que l'apport ciblé d'auxiliaires, antagonistes des parasites des plantes, ne résout pas tout. Par exemple pour la culture de fraise sous abris où la pression est importante, pucerons, acariens, thrips, punaises, drosophyla Suzuki, cette technique est d'une part onéreuse, 8 à 10 fois plus chère qu'une protection raisonnée, et d'autres part risquée car les équilibres ravageurs-antagonistes sont très fragiles avec des augmentations brutales des populations de ravageurs difficiles à endiguer car liées aux variations climatiques. Des travaux sur ces dynamiques de populations sont en cours à Invenio. Par contre, pour la plantation de châtaigniers, la seule façon de lutter contre le Cynips passe par des lâchers de Taurymus. Dans ce cas précis, la lutte chimique est non seulement inefficace, mais à proscrire afin de préserver l'implantation de l'auxiliaire. De ce fait, là encore des ravageurs, secondaires jusque-là, ressurgissent tel que le carpocapse. Sur ce point des travaux sont en cours à Invenio avec la mise en œuvre d'une confusion sexuelle à partir de drones. »

³³ <http://www.invenio-fl.fr/>

Les innovations autour de ces principes bourgeonnent en Nouvelle-Aquitaine. Des pôles reconnus concentrent et développent cette dynamique à l'image de l'Agropôle³⁴ pour le secteur agroalimentaire et le cluster Agrinove³⁵ pour le machinisme agricole. D'importants efforts sont portés sur la réduction des pesticides et des phytosanitaires, notamment par le développement de l'agriculture de précision et du biocontrôle. En ce sens, de plus en plus d'exploitations se tournent vers les nouvelles technologies et acquièrent des outils innovants dont ceux de la société aquitaine Airinov³⁶ qui a mis au point un drone capable de fournir des informations concernant la fertilisation azotée des parcelles. La formation a également pris le pli comme en témoigne la mise en place d'un enseignement spécialisé en imagerie aérienne pour une agriculture de précision à l'EPLEFPA Bordeaux-Gironde. Enfin, certaines personnes se sont lancées dans la mise au point de substituts innovants aux intrants à l'instar de la société bordelaise Immunrise³⁷ qui invente les biopesticides de demain à base de micro-algues. Enfin, la commercialisation n'est pas en reste avec le développement des circuits courts et des labels de qualité pour valoriser l'agriculture régionale et laisser de côté les trop nombreux intermédiaires. En somme, l'innovation, l'expérimentation et le transfert de technologies apparaissent comme les composantes incontournables d'une nouvelle approche pour relever le challenge d'une agriculture durable.

La viabilité et le passage à l'échelle de ce type de pratiques impliquent de s'intéresser aux revenus agricoles, à l'équité économique, aux marges des intermédiaires et autres problématiques qui relèvent du besoin d'établir un nouveau pacte économique et social entre les sociétés et leur monde agricole, afin de soutenir les tendances actuelles. La question de l'emploi est à ce sujet illustrative. Comme le signale François Léger, les facteurs qui ont permis l'accroissement de la productivité du travail (monoculture, optimisation maximale de l'espace etc.) vont se trouver profondément changés et, si l'on veut maintenir la productivité, il va falloir nécessairement augmenter le travail non mécanisé, c'est-à-dire la main d'œuvre. Même s'il est difficile d'évaluer la portée de ces changements, différentes études ont montré qu'une élévation de la surcharge de travail s'élève de 50% lors de la conversion d'une culture à agriculture traditionnelle en agriculture biologique. Il y a donc là un potentiel de création d'emplois important, reste un important travail de sensibilisation, d'accompagnement et de formation comme le souligne Alain Canet. Ainsi l'innovation ne doit pas être que technique mais également sociale et économique.

³⁴ <http://www.agropole.com/>

³⁵ <http://www.agrinove-technopole.com/>

³⁶ <https://www.airinov.fr/>

³⁷ <http://www.immunrisebiocontrol.fr/>

Le mot de : François Léger, docteur en écologie, enseignant-chercheur à AgroParisTech



« L'enjeu du biomimétisme est de découvrir des fonctionnements qui permettent d'éviter des apports externes en intrants et économiquement cela se traduit par une réduction des charges opérationnelles. On trouve donc de l'efficacité économique dans ces systèmes au niveau des consommations intermédiaires. Le tout est de savoir évaluer dans quelle mesure cette modification de consommation intermédiaire permet de compenser l'augmentation du coût de la main d'œuvre. »

L'agriculture biomimétique, des impacts bien au-delà de la production agricole recherchée

Outre la question des retombées en termes d'emplois et de revenus, les attentes sociétales concernant les enjeux de santé et d'environnement associés aux pratiques d'agriculture conventionnelle sont de plus en plus prégnantes, comme en témoignent les récents débats autour de la réglementation des perturbateurs endocriniens. Or le développement d'alternatives agricoles est l'occasion de comparer leurs performances environnementales et sociales à celles de l'agriculture conventionnelle.

Au cœur des externalités négatives, les considérations sanitaires occupent une place importante. Nous sommes quotidiennement exposés à de multiples composés exogènes tels que des polluants environnementaux et des substances provenant de notre alimentation, à l'instar des antibiotiques utilisés en élevage. Il est néanmoins très difficile de chiffrer les coûts de santé des effets sanitaires de ces intrants puisque les liens de causalité ont du mal à être établis du fait du caractère multifactoriel des maladies et des effets de retards par rapport aux expositions. De plus, il importe de différencier les expositions aiguës des expositions chroniques, pour lesquelles il s'agirait de prendre en compte des niveaux de risque et des probabilités de déclenchement de cancers et autres maladies. Toutefois une estimation des coûts sociaux de ces externalités sanitaires peut être menée à partir de la prise en compte, entre autres, des coûts directs de prise en charge des malades, des coûts associés à l'absentéisme professionnel sur la productivité des entreprises et des impacts monétaires sur la cellule familiale. Une telle méthodologie a déjà été déployée, notamment dans une étude de la sénatrice Leila Aïchi « La pollution de l'air ; le coût de l'inaction » qui s'est en partie attachée à démontrer l'impact sur la santé des différentes formes de pollutions azotées (ammoniac, oxydes d'azote, nitrates). Aussi le coût sanitaire de la pollution de l'air a été estimé entre 68 et 97 milliards d'euros, appréciation qui tient également compte des coûts associés à la baisse des rendements agricoles et à la perte de la biodiversité.

Il semblerait également pertinent de procéder à une évaluation sur la base de catégories de personnes plus ou moins directement concernées, en premier lieu les utilisateurs de substances chimiques (agriculteurs, mais aussi techniciens de l'industrie de production phytosanitaire) et dans un second temps les riverains et les consommateurs. Le Ministère de la Santé se saisit progressivement de ces questions comme le démontrent les études engagées par l'INSERM et l'ANSE sur l'évaluation des effets des pesticides sur ces différentes populations. Et les résultats sont révélateurs. Dans le rapport INSERM 2013, les auteurs concluent à l'existence d'une association positive entre exposition professionnelle à certains pesticides et certaines pathologies comme la maladie de Parkinson, le cancer de la prostate et certains cancers hématopoïétiques. 42 nouveaux types de maladies professionnelles dues aux produits phytosanitaires ont été reconnues depuis 2002, soit 4 ou 5 par an, dont la maladie de Parkinson et le Lymphome malin Non Hodgkinien (LNH), tous deux reconnus comme maladie professionnelle par la MSA. En dehors de la population agricole, l'ANSES fait état « d'augmentations de risque significatives pour plusieurs pathologies (Parkinson, Alzheimer), en lien avec l'exposition aux pesticides et/ou selon les catégories d'usages (insecticides, herbicides, fongicides) », par inhalation, contact épidermique ou bien ingestion.

L'alimentation, d'après la National Academy of Sciences, serait d'ailleurs la principale source d'exposition. En France, les instances de santé publique semblent avoir pris la mesure de cet enjeu depuis déjà plusieurs années et encouragent, à travers le plan national santé environnements, certains choix en faveur d'une qualité nutritionnelle, en lien avec une agriculture plus respectueuse de l'environnement, en vue de prévenir certaines pathologies. Dans cette perspective, la méta-analyse de Baranski et al. (2014), publiée dans la revue *British Journal of Nutrition*, indique que les fruits, légumes et céréales bio ont des concentrations en antioxydants (reconnus pour leur intérêt dans la prévention de maladies neurodégénératives et cardio-vasculaires et de certains cancers) plus élevés (de 18 à 69%) que les mêmes produits en agriculture conventionnelle.

Malgré ces quelques données, les liens entre l'exposition aux intrants chimiques agricoles et l'apparition de certaines maladies sont difficiles à mettre en évidence. Par conséquent, réglementer les émissions par produit n'est pas chose aisée puisque pour bien faire il s'agirait de réglementer les usages en prenant en compte les diverses sources d'exposition (Vergnaud et Ern -Heintz, 2016).

De surcroît, les externalités environnementales, autres que sanitaires, se font de plus en plus pressantes. Les coûts associés à la pollution de l'eau, l'érosion des sols et autres appellent à la mise en place d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement. S'inscrivant dans une logique écosystémique, l'agriculture peut même ambitionner de participer au fonctionnement de l'écosystème général, et par ses fonctionnalités écologiques, à la production d'externalités positives, appelés services écologiques. Une utilisation intensive des fonctionnalités écologiques aboutit ainsi à la production élargie de services écologiques en complément de la production des produits agricoles (service d'approvisionnement) : des services de régulation (fixation et stockage du carbone, régulation de la qualité de l'eau, pollinisation) ; de soutien (fertilité des sols, cycles biochimiques) ; et culturels (valeur patrimoniale, récréative, paysagère). L'Institut Technique de l'Agriculture Biologique, dans son rapport « Quantifier et chiffrer économiquement les externalités de l'agriculture biologique ? », a voulu traduire monétairement la valeur des services de séquestration du carbone rendus par l'agriculture biologique. Bien qu'il soit difficile de proposer une valeur moyenne de potentiel de séquestration de carbone supérieure en agriculture biologique, les auteurs proposent des estimations en choisissant comme valeur tutélaire celle de la tonne de carbone en France qui en 2016 était de 46 . Tenant compte de la méta-analyse de Gattinger et al., (2012) qui indique une séquestration différentielle moyenne entre agriculture conventionnelle et agriculture biologique de 0,5tC/ha, et en prenant soin de noter que certaines pratiques de travail du sol peuvent générer du déstockage, ils formulent des hypothèses de bénéfices situés entre 0 et 0,5 tC/ha/an, soit entre 0 et 23 à/ha.

Malgré toutes les limites que cette estimation comporte, la traduction en termes économiques des impacts positifs d'une agriculture raisonnée est un argument supplémentaire en faveur de la transition agricole.

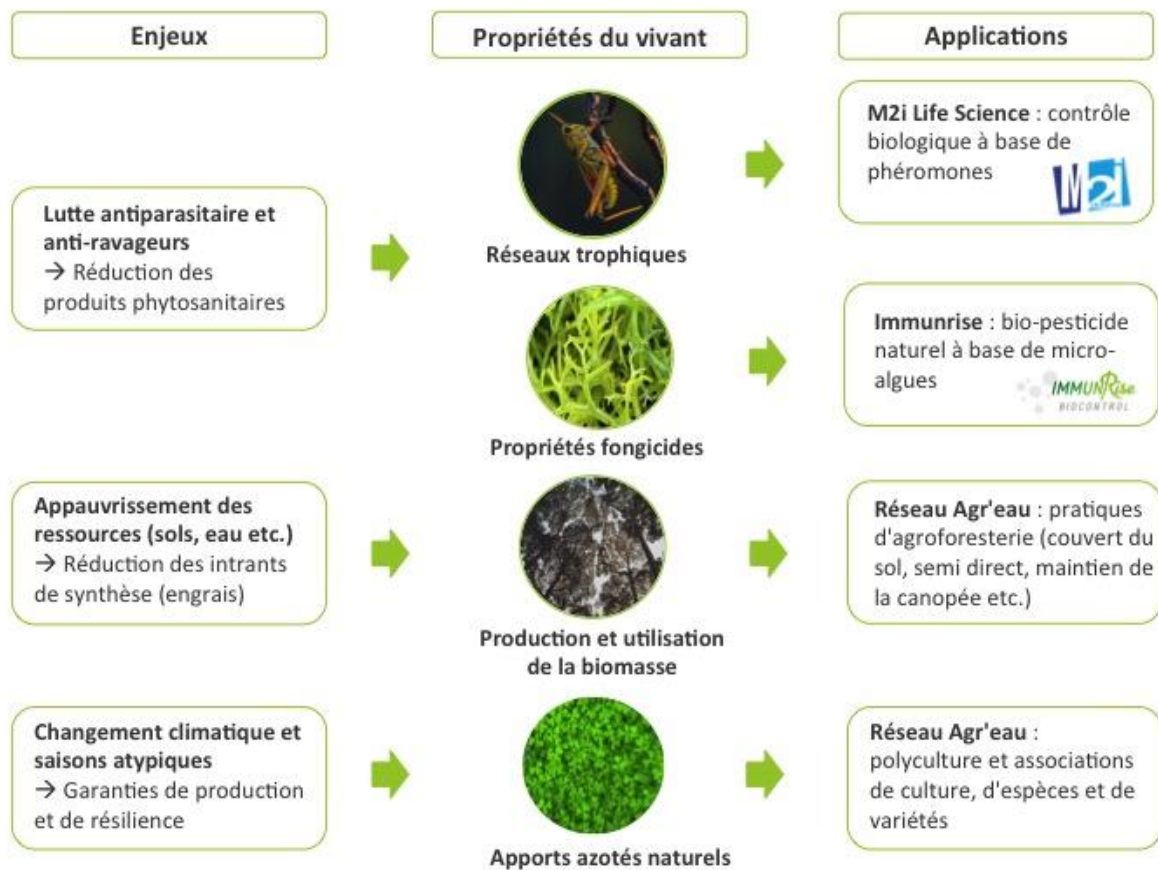


Figure 8 : Enjeux du secteur de l'agriculture et réponses proposées par la biomimétique

M2i Life Sciences, le géant européen de la lutte biologique à base de phéromones

M2i Life Sciences, leader européen dans le secteur des phéromones, s'inscrit dans une démarche d'innovation et de haute technologie pour promouvoir la protection des cultures sans insecticides chimiques. Proposant une solution efficace de lutte biologique respectueuse des sols et de la flore et sans impact pour les pollinisateurs, l'entreprise reconstitue par biomimétisme les phéromones de certains ravageurs, imitant la façon dont les insectes communiquent pour les leurrer et les piéger.

Dans son centre de recherche de Lacq (64), l'équipe de M2i dirigée par Stéphanie Magnet travaille sur deux procédés à des stades de développement différents. D'un côté, on trouve le monitoring avec une large gamme de produits aux performances (durée de diffusion et efficacité) supérieures aux produits traditionnels, notamment grâce à sa technologie brevetée de micro encapsulation naturelle et biodégradable. Cette pratique, visant à prévenir l'exploitant de la présence de ravageurs et donc à développer une pratique raisonnée des traitements classiques, ne nécessite pas d'autorisation de mise sur le marché. M2i travaille également à la mise au point de solution de confusion sexuelle, qui sont en cours de processus réglementaire. Néanmoins les perspectives sont belles pour la société : *« Le marché du biocontrôle est un marché encore jeune mais qui représente déjà plusieurs centaines de milliers d'euros. Les phéromones s'adressent à tous types de marchés : espaces, verts, jardins particuliers, forêt et bien sûr l'agriculture et particulièrement la viticulture, secteur clé en Nouvelle-Aquitaine, très friande de produits phytosanitaires mais de plus en plus encline à la conversion vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement »*.*

M2i emploie 110 collaborateurs, dont plus du quart en R&D, et détient 11 familles de brevets protégeant sa technologie et ses gammes de produits innovants. Récompensée à de multiples reprises pour les avancées qu'elle propose, la société a reçu en 2015 le grand prix « Innovation dans les technologies » du Ministère de l'environnement pour la micro-encapsulation verte des phéromones à des fins de protection biologique des cultures.



* Pour information, la vigne représente 3,7% de la surface agricole du territoire français, mais 20% de la consommation en pesticides.

Sources : (Région Nouvelle-Aquitaine et CEEBIOS 2016) ; (M2i Life Sciences 2017).

Stéphane Gatti, chef d'orchestre à la ferme Laplume

Stéphane Gatti, pionnier de la filière de l'agroforesterie en Aquitaine, a commencé ses activités sur l'exploitation familiale de 117 ha alors en agriculture conventionnelle pour la production de céréales (maïs, sorgho, tournesol, vesce, fèverole, colza, blé, triticale, orge). La réflexion qui l'a conduit vers l'agroforesterie est nourrie de rencontres et d'échanges, notamment avec l'association gersoise Arbres et paysages 32, pionnière dans la région et même en France. Puis progressivement, au lieu-dit Le Pech à Laplume (47), il va mettre en place la méthode du semis direct, un semis sans travail préalable du sol et en conservant un couvert végétal en permanence afin d'augmenter le taux de matières organiques nourrissant le sol. Puis en 2012, accompagné par l'association Arbre et Agriculture en Aquitaine, il met 17,5 ha en agroforesterie, composé de 19 essences différentes. Cette évolution des pratiques est motivée par la volonté de s'affranchir progressivement de la chimie, à la fois pour limiter les coûts de production et pour favoriser la vie du sol : « *Ces différentes techniques de couverture végétale des sols ainsi que l'apport de biofibre et de bois rameaux fragmentés (BRF) présentent de nombreux avantages : réduction de l'érosion, sols vivants et fertiles, gestion de l'eau en qualité et quantité, économie d'intrants, stockage de carbone, augmentation de la biodiversité...* ». Il a aujourd'hui pour projet de convertir 22 ha supplémentaires en agroforesterie.

D'après les données récoltées par le programme Agr'eau s'attachant à évaluer les performances de son réseau de fermes pilotes : les différents rendements plafonnent autour de 1,4 TEP (Tonne Equivalent Pétrole), il faut donc au moins 0,8 ha pour produire seulement 1 TEP ; et le bilan énergie est supérieur à 1 : c'est à dire que les TEP produites sont supérieures aux TEP consommées.



Sources : (Agreau 2014; Cultivons une terre vivante 2017; Jacques Ripoché 2012).

Les informations recueillies lors des entretiens afin d'approcher les bénéfices d'une démarche biomimétique pour le secteur de l'agriculture sont synthétisées ci-dessous. Nous avons élaboré un modèle économique sur la base de ces informations afin d'obtenir les présentés dans la partie ci-après.



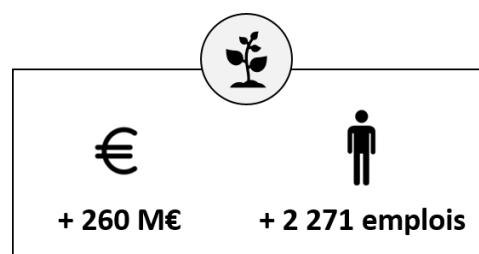
Secteur de l'agriculture 3 répondants au questionnaire		Aucun(e)	Faible	Modéré(e)	Elevé(e)	Très élevé(e)
Bénéfices sur les activités de R&D	Gain de temps			N/A		
	Economie de moyens					
Bénéfices sur les activités de production	Gain de temps	●	●			
	Economie d'énergie					●
	Economie de matières				●	
	Economie de déchets			●		
Impacts sur la valeur ajoutée		●			●	
Potentiel de développement de la biomimétique dans le secteur					●	

Résultats de l'évaluation des impacts socioéconomiques du développement de la biomimétique pour le secteur de l'habitat

Contexte socioéconomique du secteur de l'agriculture en Nouvelle-Aquitaine :

- **4 928 M€ de valeur ajoutée** en 2013 (soit 3,2 % du PIB de la région Nouvelle-Aquitaine) ;
- **42 324 emplois salariés** dans la région.

Influence du développement de la biomimétique sur le secteur de l'agriculture en Nouvelle-Aquitaine³⁸ :



Le développement de la biomimétique dans le secteur de l'agriculture génère des impacts socioéconomiques principalement à travers les **effets de structure**. En effet, l'essor de l'agroécologie contribue à réduire fortement les achats dans les consommations énergétiques (grâce à une moindre mécanisation) et les produits chimiques (engrais et pesticides). Ces économies servent à financer les créations d'emplois, qui sont nécessaires pour compenser la réduction de l'utilisation des machines agricoles. Le processus de production devient donc moins capitalistique et plus intensif en main d'œuvre (Commission européenne 2013).

Toutefois, le développement de l'agroécologie n'aurait pas d'impacts notables sur le chiffre d'affaires des agriculteurs (absence d'effets de volume). Une étude de la commission européenne réalisée à partir des données comptables des exploitations agricoles (Commission européenne 2013) montre que les exploitations spécialisées dans l'agriculture biologique n'ont pas un chiffre d'affaires plus élevé que celles de l'agriculture conventionnelle. En effet, d'après cette étude, le prix plus élevé des produits agricoles biologiques compense le rendement plus faible relativement à l'agriculture conventionnelle.

Le graphique ci-dessous présente les impacts sur le PIB pour la Nouvelle-Aquitaine du développement de la biomimétique dans le secteur de l'agriculture.

Tableau 6 : Impacts sur le PIB du développement de la biomimétique dans la région Nouvelle-Aquitaine pour le secteur de l'agriculture (en M€)

Taux de pénétration biomimétique	Effets directs	Effets indirects	Effets induits	TOTAL
100%	978	-35	100	1 042
75%	733	-26	75	781
50%	489	-18	50	521
25%	244	-9	25	260

³⁸ Pour un taux de pénétration de 25% et à moyen terme. Ce taux de pénétration signifie que 25% des entreprises du secteur adopte une démarche biomimétique.

Le gain maximum de PIB pouvant être attendu du développement de la biomimétique dans l'agriculture (dans le cas d'un taux de pénétration maximum de 100 %) est d'un peu plus de 1 000 M€ pour l'économie néo-aquitaine (tous secteurs confondus). Ce gain est surtout expliqué par un effet direct d'une valeur de 978 M€, soit une contribution de 94 % à l'effet total. Les économies liées à l'achat d'énergie et de produits chimiques d'un montant de 978 M€ servent à accroître la valeur ajoutée de ce même montant. Le taux de valeur ajoutée dans l'agriculture passe ainsi de 36 % à 43 %. Cette augmentation de la valeur ajoutée contribue à l'embauche des salariés agricoles, d'où une hausse du montant total de la rémunération des salariés. Toutefois, ces économies dans les achats intermédiaires ont des retombées socioéconomiques négatives dans la chaîne de valeur des fournisseurs avec une réduction de 35 M€ de PIB (impacts indirects). Concernant les impacts induits, l'accroissement de la rémunération des salariés agricoles liée aux recrutements des salariés agricoles génère des impacts positifs. Ils compensent les impacts négatifs provenant de la baisse de la rémunération des salariés travaillant dans la chaîne de valeur en amont de l'agriculture (énergie et produits chimiques). Les impacts induits sont donc positifs avec une contribution à un accroissement de PIB de 100 M€.

Le tableau ci-dessous résume les impacts sur le nombre d'emplois pour la Nouvelle-Aquitaine du développement de la biomimétique dans le secteur de l'agriculture.

Tableau 7 : Impacts sur le nombre d'emplois du développement de la biomimétique dans la région Nouvelle-Aquitaine pour le secteur de l'agriculture

Taux de pénétration biomimétique	Effets directs	Effets indirects	Effets induits	TOTAL
100%	8 396	-527	1 214	9 083
75%	6 297	-395	911	6 812
50%	4 198	-264	607	4 541
25%	2 099	-132	304	2 271

La création maximum d'emplois pouvant être attendue du développement de la biomimétique dans l'agriculture (dans le cas d'un taux de pénétration maximum de 100 %) est d'un peu plus de 9 000 emplois salariés pour la région Nouvelle-Aquitaine (tous secteurs confondus). L'interprétation des résultats est à peu près similaire à celui du PIB. Les impacts directs contribuent le plus à la création d'emplois (embauche de 8 396 salariés agricoles). Toutefois, les économies générées dans les achats de produits intermédiaires de l'agriculture impliquent une perte de 527 d'emplois salariés dans la chaîne de valeurs en amont de l'agriculture (impacts indirects). L'accroissement de la rémunération des salariés permise par les embauches de salariés dans l'agriculture compense très largement la baisse de la rémunération des salariés en amont de la chaîne de valeur de l'agriculture, car elle contribue à une création supplémentaire de 1 214 emplois salariés (impacts induits).

Pour un taux de pénétration du biomimétique de 25 % dans l'agriculture en Nouvelle-Aquitaine, les gains attendus sur le PIB sont de l'ordre de 260 M€ avec une création pratiquement de 2 300 emplois salariés. Compte-tenu du développement actuel de la biomimétique dans le secteur, un taux de pénétration de 25% constitue un objectif à moyen terme très ambitieux mais réaliste pour la région Nouvelle-Aquitaine.

3.2.4) Océan et croissance bleue

« On n'aura pas de deuxième planète mais l'océan est notre deuxième chance » - Patricia Ricard, interview Take Ocean For Future.

L'économie bleue en Nouvelle-Aquitaine

Bordée par le Golfe de Gascogne, la façade maritime de la région Nouvelle-Aquitaine s'étend du nord au sud sur plus de 720km de linéaire côtier. Riche de vastes espaces naturels reconnus et préservés, cette façade est le lieu d'un dynamisme économique autour des ressources et services de ses écosystèmes côtiers. Très attractif d'un point de vue démographique et touristique, ce littoral concentre de nombreuses activités « bleues » se répartissant dans tous les secteurs d'activité liés à la mer. De Charente-Maritime à la Côte Basque, l'océan génère plus de 49 000 emplois, soit 2,1% de l'emploi régional total et plus de 11% de l'emploi maritime français (Insee 2015). Ces emplois se trouvent non seulement dans le maintien des activités maritimes traditionnelles (pêche, transport maritime, tourisme, construction navale, conchyliculture) mais se trouveront aussi demain dans les secteurs émergents tels que les énergies marines renouvelables, l'aquaculture offshore, les ressources minérales profondes et les plateformes multi-usages profondes.

La pêche professionnelle sur la façade de la Nouvelle-Aquitaine se singularise par la prédominance de la petite pêche, avec toutefois l'existence d'une activité de pêche au large se concentrant aux ports de Bayonne et de La Rochelle. En 2014, 24 millions de tonnes de poissons, coquillages et crustacés ont été pêchées, équivalant à un montant de 91 millions d'euros, soit 15% du chiffre d'affaire national. En termes d'emploi, la pêche de la Nouvelle-Aquitaine procure peu d'emplois, avec une flotte de 500 navires (cela correspond à 8% de la flotte nationale) et 1 648 marins français en activité exerçant la pêche sur la façade Sud-Atlantique en 2015. Néanmoins, considérant qu'un emploi en mer génère environ 3 à 4 emplois à terre, cela représente près de 7 000 emplois directs et indirects dans la filière pêche et transformation des produits de la pêche (DIRM Sud-Atlantique 2016). De plus, le paysage maritime de la Nouvelle-Aquitaine est marqué par la présence d'une importante activité de conchyliculture : des bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon est extraite 32 % de la production nationale d'huîtres, tandis que la mytiliculture se concentre essentiellement dans les pertuis charentais, et en particulier dans la baie de l'Aiguillon. Ce patrimoine ostréicole sensible à la pollution des eaux, fait l'objet d'une vigilance importante des instituts de contrôle de la qualité des eaux qui, par exemple, ont déjà pu pointer du doigt l'augmentation de la teneur en cuivre des mollusques (Ifremer 1987). Aussi pour que le littoral demeure attractif et générateur de richesses, il est essentiel que les activités qui y sont pratiquées soient durables.

Dans les ports du territoire régional, cette exploitation des ressources vivantes de l'océan se double d'une activité de transport maritime, principalement à La Rochelle et à Bordeaux qui se classent respectivement aux 7èmes et 8èmes places des ports français en termes de trafic global de marchandises. En 2016, avec 4,3 millions de tonnes, les hydrocarbures étaient le premier poste du trafic portuaire, avant celui des céréales et des oléagineux (DIRM Sud-Atlantique 2016).

Malgré la permanence des activités portuaires, c'est le domaine du tourisme littoral qui arrive en tête des emplois de l'économie bleue en Nouvelle-Aquitaine, avec 21 900 travailleurs, soit 13% des emplois sur le littoral, et 60% de l'emploi du secteur de l'économie bleue, et 34 200 emplois saisonniers (Littoral Aquitain 2016). La large place réservée au tourisme social par la Mission Interministérielle pour l'Aménagement de la Côte Aquitaine (MIACA) des années 60 continue de porter ses fruits puisque la façade n'a cessé de voir son attractivité croître. Les activités de loisirs y trouvent un terrain propice à leur développement comme en témoigne le dynamisme de la filière nautique-glisser. En Poitou-Charentes, près de 400 entreprises couvrent le secteur nautique dans lequel la mise en œuvre de procédés de fabrication innovants et respectueux de l'environnement joue un rôle essentiel. De même, l'industrie de la glisse, évaluée à 1,7 milliards d'euros, a connu un développement considérable sur le littoral de la Nouvelle-Aquitaine et constitue à présent un atout majeur pour la région puisqu'elle apporte visibilité et promotion tout en étant fortement exportatrice (Aquitaine Export 2014).

Cette densification des activités économiques s'est accompagnée d'une croissance forte et continue de la population dans les communes du littoral, marquée davantage pour les Pyrénées-Atlantiques et la Gironde que pour la Charente-Maritime. Selon une étude de l'Insee, les communes littorales représentaient environ 9 % de la population des départements littoraux de Nouvelle-Aquitaine en 1876 contre 18 % en 2011. Un tel élan démographique soumet le territoire à des pressions contradictoires : il s'agit d'une part de répondre aux besoins de la population en termes résidentiel et urbanistique et d'autre part, de maîtriser les impacts du développement sur l'environnement. En effet les littoraux aquitains et charentais ne sont pas exempts des conséquences du réchauffement climatique et notamment des phénomènes d'érosion et de submersion marine, faits naturels qui peuvent parfois revêtir un caractère exceptionnel, comme ce fut le cas des tempêtes de l'hiver 2013-2014 ou de la tempête Xynthia en 2010 en Charentes Maritimes. D'après l'Observatoire de la Côte Aquitaine, sur la côte sableuse aquitaine, le trait de côte recule en moyenne de 2,5m/an en Gironde et 1,7m/an dans les Landes. Face à ces défis liés au changement climatique et dans un contexte d'élargissement du territoire, la région a ainsi lancé cette année le projet CORIMAT ayant vocation à mettre en réseau un ensemble d'acteurs pour la prévention et la gestion des risques littoraux (Observatoire de la Côte Aquitaine 2017).

L'articulation entre l'exploitation des ressources maritimes, l'attractivité du territoire et la protection d'un écosystème exceptionnel et fragile à la fois est donc au cœur des enjeux de développement de l'économie bleue en région Nouvelle Aquitaine. Vaste potentiel économique, la « croissance bleue » propose de se tourner vers les ressources de l'océan pour innover de manière durable. Les potentiels sont en effet nombreux : en matière alimentaire avec les nouvelles ressources halieutiques issues de l'aquaculture marine, en matière médicale grâce aux enzymes et autres molécules d'espèces marines à la résilience encore insondée ou encore dans le secteur du tourisme écologique. Quant à la transition énergétique, la façade sud Atlantique est adaptée au développement des énergies renouvelables. La production d'énergie, qui comprend les énergies renouvelables et les centrales électriques installées sur le littoral, représente actuellement 1 517 emplois, soit 3 % du secteur, contre 1,8 % au niveau national. Le Cluster Éolien Aquitain a pour ambition de positionner la région comme un territoire majeur du développement industriel de l'énergie éolienne tandis que la filière hydrolienne estuarienne est à l'étude dans le cadre du projet SEENEOH® Bordeaux (Site Expérimental Estuarien National pour l'Essai et l'Optimisation d'Hydroliennes) et représenterait un potentiel de 100MW. Les opportunités ne manquent pas non

plus pour l'énergie houlomotrice dont le potentiel est estimé à plus de 4 600 MW, l'équivalent de 200 barrages hydrauliques (Littoral Aquitain 2013), et des études sont en cours autour du port de Bayonne pour identifier des zones potentielles d'implantation. Ainsi, acteurs administratifs régionaux, entreprises de pointe du stockage énergétique, de l'aérospatial, de la défense, du nautisme, des matériaux composites et laboratoires de R&D sont appelés à se regrouper pour travailler conjointement au développement de cette industrie de pointe. Ce dernier ne doit pas négliger l'éducation et la formation dans ces filières d'excellence ainsi que la coopération entre les acteurs d'activités émergentes (énergies marines, biotechnologies marines...) et ceux des activités traditionnelles (pêche, aquaculture, tourisme, transport maritime).



Le mot de : Philippe Gray-Lopez, cofondateur de l'entreprise S'Wings

« La Région bénéficie d'un écosystème dynamique d'acteurs industriels et de pionniers en matière d'innovation et offre de belles perspectives de développement, notamment à travers l'Ocean Living Lab où de nombreuses synergies devraient voir le jour ».

Forces	Faiblesses
– Situation privilégiée avec une façade littorale de 720 km – Richesse du potentiel offert par la diversité des ressources naturelles – Présence de ports de commerce, de plaisance et de pêche – Présence de cités balnéaires (thalassothérapies et activités nautiques) – Industrie de la glisse dynamique (pôle de compétitivité EuroSIMA) – Forts courants marins	– Activités polluantes – pollution des eaux, du littoral et fluviales – Amenuisement des ressources halieutiques et écosystèmes naturels menacés – Importance de l'emploi non-salarié
Opportunités	Menaces
– Territoire dynamique qui attire des entreprises et des activités économiques qui constituent un gisement important d'emplois (7 millions en Europe d'ici à 2020 (Ecorys 2012)) – Mis en place de partenariats avec des acteurs européens déjà présents dans ce domaine (Portugal, Ecosse, Norvège...) – Inscription comme filière prioritaire au SRDEII	– Urbanisation croissante du littoral et risques environnementaux subséquents – Changement climatique – Risque sanitaire

L'océan, source de solutions biomimétiques

Ce diagnostic confirme le poids des activités maritimes dans l'économie régionale et met en exergue les enjeux liés à la thématique de la croissance bleue. La Région, très investie sur cette problématique, propose une vision stratégique cherchant à fédérer des acteurs très divers autour des ressources maritimes au sens large, et, à valoriser le potentiel de développement économique de la façade maritime néo-aquitaine, tout en respectant les grands enjeux environnementaux. Les opportunités à saisir concernent à la fois les axes de développement des activités nouvelles et traditionnelles et renvoient à des problématiques de recherche et d'innovation. Dans ce cadre, la biomimétique et les solutions prometteuses auxquelles elle concourt viennent s'inscrire en filigrane des actions des domaines stratégiques de la croissance bleue.

En ce qui concerne le développement des activités émergentes, l'approche ingénieuse et économe proposée par la biomimétique est une clé d'entrée pour innover différemment et durablement. En matière d'énergies marines renouvelables, nombreux sont les avis qui convergent pour dire que la biomimétique est appelée à jouer un rôle saillant. L'océan, par les nombreux phénomènes naturels qui interagissent, est une source inépuisable d'énergie pour que l'on puisse exploiter les courants, vagues, vents et marées en même temps qu'un puits sans fonds de propriétés du vivant remarquables et encore inconnues. Des acteurs comme Eel Energy, travaillant à la mise au point d'une hydrolienne à membrane ondulante dont le mouvement est inspiré de la propulsion de l'anguille, se sont déjà distingués pour leur innovation et font entrevoir un potentiel énergétique considérable. Si, comme précisé par Grégoire de Laval, directeur commercial, la production et la commercialisation de la membrane ne sont pas prévues avant 2021, une telle technologie constitue la promesse d'un acheminement progressif vers le développement du marché des énergies marines. Ce dernier se trouve encore à un stade précoce - les coûts expérimentaux étant importants et les réseaux d'acheminement et de distribution pas toujours adaptés à cette forme d'énergie- mais les énergies marines renouvelables connaissent aujourd'hui un fort développement et confortent les espoirs placés en elles.

D'autres secteurs affichent également leur volonté d'inclure une démarche biomimétique dans leur feuille de route. C'est notamment le cas de la filière glisse, secteur stratégique pour la Région, qui a à cœur de structurer et valoriser une approche d'éco-conception, incluant la promotion de la biomimétique. Portée par le cluster EuroSIMA³⁹, cette approche suscite un intérêt certain mais se heurte souvent à des barrières économiques comme l'exprime Christophe Seiller, directeur d'EuroSIMA : « *Dans l'industrie de la glisse des solutions bioinspirées émergent et font leurs preuves mais sont pour l'instant bien trop coûteuses et risquées pour les entreprises.* ». On pense notamment à la start-up basque S-wings qui propose des dérives de planches de surf flexibles inspirées du déplacement des poissons qui améliorent et facilitent la pratique pour les surfeurs de tous niveaux, ou aux combinaisons développée par le MIT dans un matériau inspiré de la fourrure du castor et de la loutre de mer, plus isolant et durable que le néoprène (MIT News 2016).

³⁹ <https://www.eurosim.com/>

Le mot de : Christophe Seiller, directeur de l'EuroSima Clsuter

« Notre filière a effectué de nombreux essais de développement de produits bioinspirés, mais avant d'aller plus loin et d'investir des sommes plus conséquentes dans ces recherches, il s'agira d'abord de généraliser le recours à l'écoconception et à la prise en compte du développement durable au sein de nos gammes de produits. Les projets basés sur le biomimétisme suivront l'acceptation généralisée de la prise en compte du développement des produits de façon durable et responsable ».

Au-delà du frein économique, c'est le sujet du désenclavement des filières qui est exprimé par le directeur du cluster : *« On doit sortir de notre filière, se décloisonner »*. Il y a une réelle nécessité de faire collaborer les filières de l'économie bleue entre elles pour faire fusionner les compétences et les visions, et la biomimétique, parmi d'autres thématiques, peut être de cette envergure. Le technopôle Ocean Start actuellement en réflexion au sein de l'agglomération Pays Basque – Adour semble préfigurer une réponse à ce besoin ; son objectif in fine devrait être de créer des filières industrielles de production, d'équipementiers et d'ingénierie ancrées sur le territoire néo-aquitain. Dans cette dynamique, le nautisme n'est pas en reste. Concevoir le navire du futur, divisant par deux sa consommation de carburant, est un défi considérable auquel le navigateur Yves Parlier s'est déjà attaqué au travers de son projet *Beyond the Sea* qui travaille au développement de voiles de cerf-volant inspirées de l'aile de la libellule pour tracter des cargos. De même, le navigateur Roland Jourdain s'est quant à lui attaqué à la conception de bateaux en fibre végétale et a notamment conçu un trimaran en fibres de lin.

Les solutions que peuvent apporter la biomimétique doivent s'inscrire dans des principes de durabilité, c'est à dire être économiquement viables, tout en apportant des réponses concrètes à des enjeux majeurs. Ainsi, la société Seaboost développe des solutions d'éco-conception inspirées du vivant visant une meilleure intégration des ouvrages maritimes dans leur écosystème et une restauration des habitats dégradés. En s'inspirant des symbioses propres au milieu marin, des récifs artificiels et matériaux pro-actifs favorisant le développement de la biodiversité ont été conçus. Il a ainsi été créé un béton à partir de déchets coquillers présentant une meilleure porosité et permettant la colonisation par la vie des ouvrages, ce que ne permet pas le béton classique utilisé pendant des décennies. Comme le résume Matthieu Lapinski, biologiste marin chez Seaboost (filiale du groupe Egis), *« la préservation du milieu marin et le développement maritime côtier ne sont plus incompatibles, des solutions d'ingénierie écologique simple et peu coûteuses sont désormais disponibles »*.

Autre enjeu prégnant, la santé. Olivier Mercoli, directeur de Biarritz Océan, voit ainsi un potentiel considérable dans le recours à la biomimétique en ce qui concerne la recherche biomédicale. Etudier de plus près des animaux qui ne sont pas susceptibles de développer des cancers constitue indéniablement une piste de recherche des plus fécondes. A ce titre, le docteur Eric Röttinger, à la tête d'une équipe de recherche s'intéressant aux capacités de régénération, la longévité et l'absence de maladies liées à l'âge dans d'un type d'anémone de mer à l'Institut de Recherche sur le Cancer et le Vieillessement de Nice (IRCAN), met en avant la place que doit prendre la biomimétique au sein des activités de recherche fondamentale : *« Au début ça peut faire sourire de travailler sur une anémone de mer mais quand on peut trouver des molécules susceptibles de guérir le cancer ou même pro-régénératives, là on commence à intéresser les gens »*.



Le mot de : Docteur Eric Röttinger, chef de l'équipe de recherche
« embryogénèse, régénération et vieillissement » à l'RCAN, Nice

« Il y a une volonté générale de compléter les recherches sur des modèles classiques de science fondamentale et/ou biomédicale avec des modèles originaux et novateurs. Pour cela, la vie marine est d'une richesse considérable et prometteuse, mais aussi d'une grande complexité. En effet, les molécules chimiques issues des organismes marins sont parfois des molécules très difficiles à synthétiser et il est donc impératif que la biologie fondamentale interagisse avec la chimie afin de lever le verrou sur cette science. »

Le stade de développement actuel de la biomimétique se cantonne ainsi globalement à l'échelle de la recherche fondamentale avec quelques projets phares au stade de l'application. Le chemin est encore long avant son déploiement à la hauteur de son potentiel.



Le mot de : Olivier Mercoli, directeur de Biarritz Océan

« Nous manquons collectivement d'une vision d'ensemble et d'applications très concrètes ; nous sommes encore pour l'essentiel au stade de la recherche fondamentale. Les bénéfices du biomimétisme peuvent être colossaux mais encore faut-il que nous parvenions à les transcrire. Tout est devant nous ! »

Enfin, la croissance bleue renvoie à une exploitation soutenable des ressources marines, point sur lequel insiste Michel Veunac, maire de la ville de Biarritz. Il est pour lui primordial de protéger l'océan des excès de l'homme en l'exploitant de manière intelligente, condition à laquelle il nous donnera des ressources formidables. Convaincu de l'intérêt de la biomimétique, Michel Veunac soutient que c'est d'ores et déjà une réalité économique aux traductions industrielles existantes et à développer.



Le mot de : Michel Veunac, maire de Biarritz

« L'océan est l'avenir de l'homme, c'est dans l'océan qu'on trouvera les ressources, les solutions pour répondre aux grands enjeux de l'homme. Si on sait le respecter, il saura nous montrer toute sa générosité. »

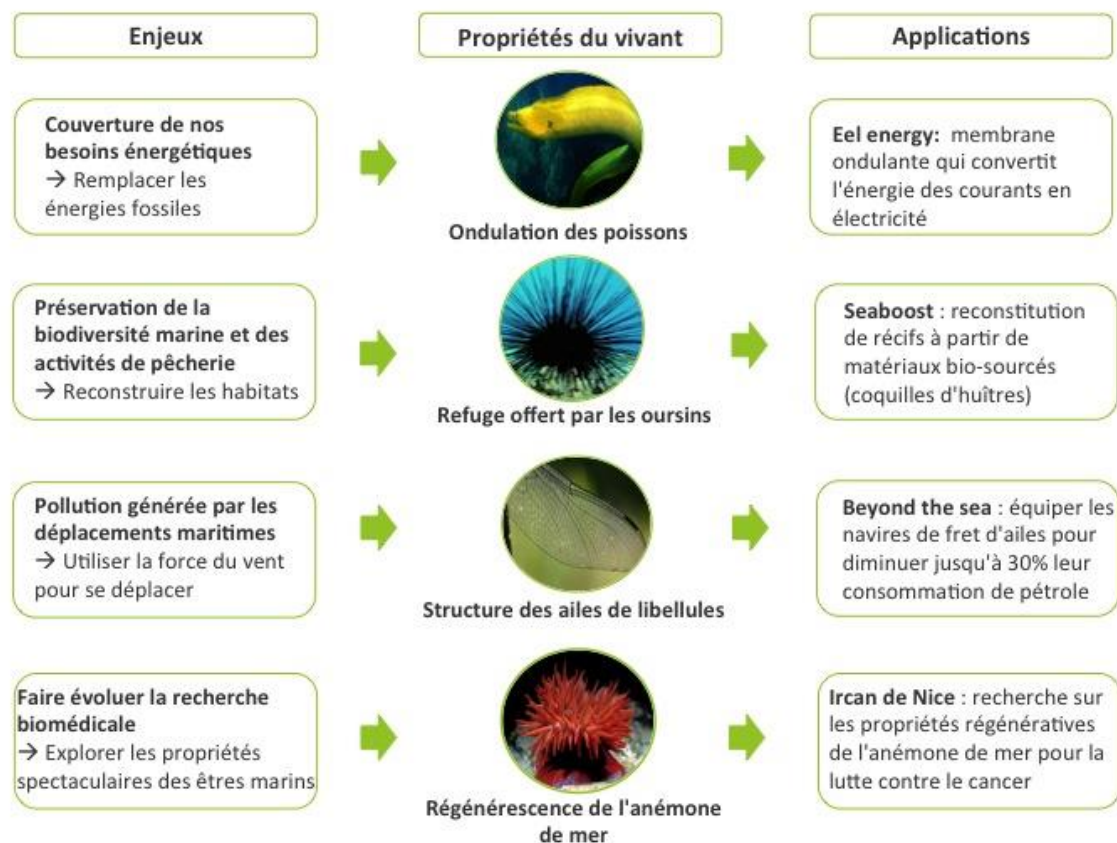


Figure 9 : Enjeux du secteur de l'océan et réponses proposées par la biomimétique

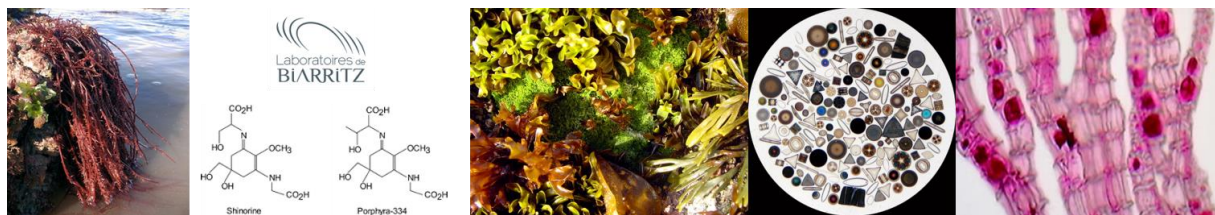
L'algue, ressource marine abondante aux usages multiples

Les algues, macro et micro, recèlent de richesses en grande partie inexplorées. Leur exploitation à des fins alimentaire, chimique ou bioénergétique est encore très marginale alors qu'elles contiennent des composants de grande valeur. Beaucoup moins connues que les plantes terrestres, elles suscitent de plus en plus l'intérêt de nombreux chercheurs et ouvrent des perspectives de marché immenses. Aussi en Nouvelle-Aquitaine, des initiatives fleurissent sur l'utilisation de cette ressource directement inspirée de la présence de l'océan.

Les Laboratoires de Biarritz s'inspirent de l'algue rouge au Pays Basque (*Gélidium sesquipedale*) pour élaborer une formulation, alga-gorria, rentrant dans la composition de leurs produits solaires. La première gamme de produits certifiés bio a été mise sur le marché au printemps 2012 formulées de manière à minimiser leur impact sur le milieu marin. Depuis, la recherche sur les mécanismes de défense naturels des algues se poursuit aux Laboratoires de Biarritz, entre les mains de Colin McReynolds pour qui le développement de la biomimétique dans le secteur des cosmétiques est motivé par les exigences accrues d'une clientèle soucieuse des impacts sur sa santé et sur l'environnement.

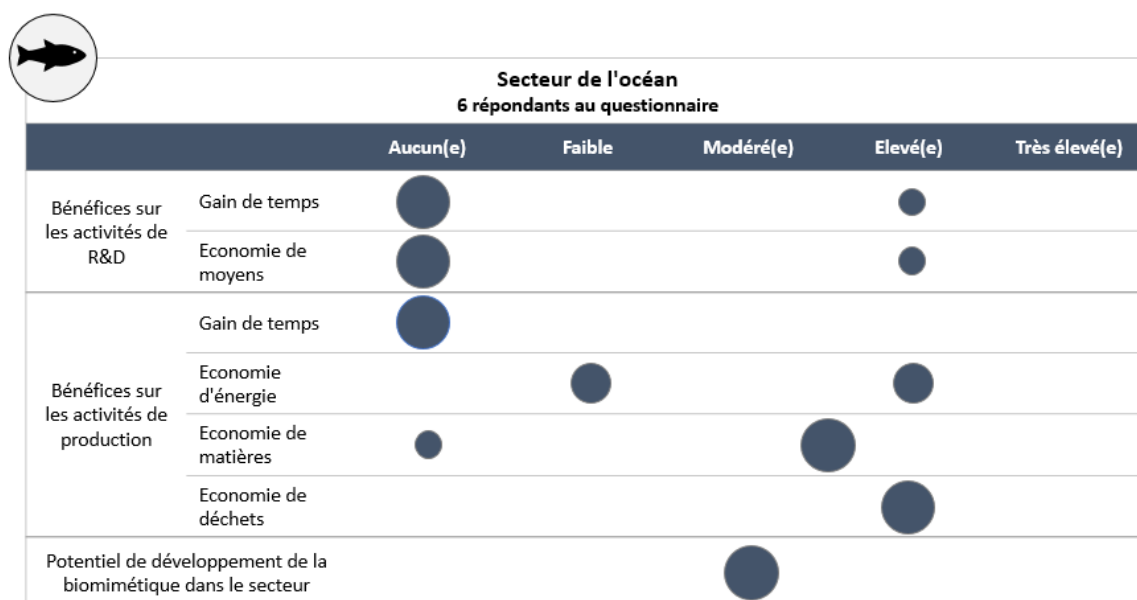
La biotech industrielle Fermentalg installée à Bordeaux a également perçu le potentiel des algues et a, à partir de son process unique de culture de microalgues par mixotrophie à dominante hétérotrophe, trouvé des usages variés à sa production. L'extraction de molécules contenues dans les algues comme l'oméga 3 permet notamment de s'adresser aux industriels de l'alimentaire pour proposer de nouvelles alternatives aux huiles traditionnelles. Selon l'ancien PDG Pierre Calleja : « *À l'horizon 2025, cette branche nutrition humaine devrait assurer un chiffre d'affaires annuel de 400 millions d'euros pour Fermentalg et nos sociétés partenaires* ». Fermentalg s'est également attaquée au marché des biocarburants en proposant de développer des agro-carburants de troisième génération basés sur les micro-algues. N'étant pas en compétition avec les cultures alimentaires pour le sol, et étant nourries par des sous-produits de l'industrie chimique et alimentaire, les micro-algues offrent une alternative intéressante aux agro-carburants existants. Fermentalg poursuit son exploration du potentiel des micro-algues avec le lancement d'une colonne Morris remplie d'eau dans laquelle vont croître des millions de ces organismes végétaux photosynthétiques qui vont capturer le CO₂ de l'air. Ce projet, mené en partenariat avec la ville de Paris et Suez, est fondé sur l'estimation qu'un puits de carbone de 1m³ d'eau permet de fixer une quantité de CO₂ équivalente à celles de 100 arbres.

Et le potentiel des algues ne s'arrête pas là : ImmunRise Technologies, dont le siège est à Paris mais qui possède une unité de préindustrialisation à Pessac (33) et travaille en collaboration avec l'Inra de Bordeaux, a découvert une algue microscopique produisant une molécule dotée de propriétés fongicides sur les champignons attaquant des cultures d'importance agronomique, « l'extrait D ». Les tests en laboratoire ont montré l'efficacité de l'algue sur la vigne mais aussi sur la tomate, le blé, la pomme, la pomme de terre ou encore la banane. Des essais ont été menés en laboratoire à l'Inra de Bordeaux, avec une efficacité de 100 % sur le mildiou et de 50 % sur le botrytis (la fameuse pourriture grise), ainsi que sur quatre champignons responsables de l'esca, une maladie du bois qui touche les vignobles partout dans le monde. Ces résultats sont donc prometteurs mais le prochain défi réside dans le passage à une production à l'échelle industrielle.



Sources : (Laboratoires de Biarritz 2017) ; (Nicolas César 2014) ; (Immunrise 2017) ; (Denis Lherm 2016)

Les informations recueillies lors des entretiens afin d'approcher les bénéfices d'une démarche biomimétique pour le secteur de l'habitat sont synthétisées ci-dessous. Nous avons élaboré un modèle économique sur la base de ces informations afin d'obtenir les présentés dans la partie ci-après.



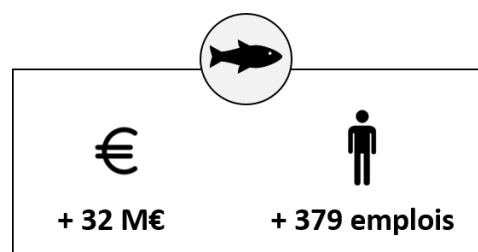
* Certaines de ces personnes n'étaient pas en mesure d'apporter une réponse à chacune des questions posées. Il faut donc tenir compte du fait que l'on ne retrouve pas l'avis de chacune d'elle pour chaque critère.



Contexte socioéconomique du secteur de l'océan⁴⁰ en Nouvelle-Aquitaine :

- **688 M€ de valeur ajoutée** en 2013 (soit 0,4 % du PIB de la région Nouvelle-Aquitaine) ;
- **9 061 emplois salariés** dans la région.

Influence du développement de la biomimétique sur le secteur de l'océan en Nouvelle-Aquitaine⁴¹ :



Le développement de la biomimétique dans les secteurs de l'économie maritime génère des impacts socioéconomiques dans la région Nouvelle-Aquitaine à travers deux effets : **l'effet de structure** et **l'effet de volume**.

L'**effet de structure** correspond aux impacts liés aux économies réalisées dans les achats d'énergie et de matières grâce à l'adoption de procédés biomimétiques pour un même niveau de production dans les activités maritimes (essentiellement dans les transports maritimes, la pêche et l'industrie navale). Cela inclut aussi une plus grande utilisation des ressources marines (p.ex., algues) par le secteur de l'industrie cosmétique, d'où un développement de la culture et de la récolte des algues. Les économies monétaires réalisées dans les achats de matière et d'énergie servent à accroître la valeur ajoutée et à financer la création de nouveaux emplois dans les activités maritimes. Le taux de valeur ajoutée dans les activités maritimes devient ainsi plus important. Ces effets de structure génèrent des retombées socioéconomiques indirectes (via la modification des achats des biens et services par les activités maritimes) et induites (via la rémunération des salariés travaillant dans la chaîne de valeur des activités maritimes).

L'**effet de volume** correspond aux impacts liés à l'accroissement du chiffre d'affaires permis par le développement de nouveaux biens et services issus de la biomimétique qui sont cherchent à gagner en performance. Ceci permet aux entreprises de se distinguer des concurrents et de générer une hausse du chiffre d'affaires pour les secteurs maritimes avec des retombées indirectes et induites dans les autres secteurs de l'économie néo-aquitaine.

Le tableau ci-dessous présente les impacts sur le PIB pour la région Nouvelle-Aquitaine du développement de la biomimétique dans les secteurs des activités maritimes.

⁴⁰ Les activités suivantes sont comprises dans le secteur pour la modélisation économique : transport maritime, construction navale, pêche, aquaculture et cosmétique (produits contenant des molécules d'origine marine). Ainsi, toutes les activités du secteur de la croissance bleue ne sont pas ici intégrées mais uniquement celles où l'influence de la biomimétique a pu être approchée.

⁴¹ Pour un taux de pénétration de 25% et à moyen terme. Ce taux de pénétration signifie que 25% des entreprises du secteur adopte une démarche biomimétique.

Tableau 8 : Impacts sur le PIB du développement de la biomimétique dans la région Nouvelle-Aquitaine pour les secteurs de l'océan (en M€)

Taux de pénétration biomimétique	Type d'impacts	Effet structure	Effet volume	TOTAL
100%	Effets directs	43	37	80
	Effets indirects	8	13	21
	Effets induits	13	14	27
	TOTAL	65	64	129
75%	Effets directs	32	28	60
	Effets indirects	6	10	16
	Effets induits	10	11	21
	TOTAL	49	48	97
50%	Effets directs	22	19	40
	Effets indirects	4	6	11
	Effets induits	7	7	14
	TOTAL	32	32	64
25%	Effets directs	11	9	20
	Effets indirects	2	3	5
	Effets induits	3	4	7
	TOTAL	16	16	32

Le gain maximum de PIB pouvant être attendu du développement de la biomimétique dans le secteur de l'océan (dans le cas d'un taux de pénétration maximum de 100 %) est pratiquement de 130 M€ pour l'économie néo-aquitaine (tous secteurs confondus). Ce gain est expliqué aussi bien par l'effet de structure (+ 65 M€) que par l'effet volume (+ 64 M€). 67 % des impacts provenant de l'effet structure sont dû à un effet direct (+ 43 M€). Une économie en termes d'achats de matières et d'énergie dans les secteurs maritimes contribue à économiser 43 M€, ce qui permet d'accroître la valeur ajoutée de ce même montant. Les impacts indirects de l'effet de structure sont ici positifs (+8 M€). Les impacts négatifs liés à un moindre achat de matière et d'énergie dans les activités maritimes sont totalement contrebalancés par les impacts positifs provenant du développement de l'aquaculture maritime⁴². La principale raison de ces impacts positifs s'explique par le fait que les ressources énergétiques et de matière sont principalement importées en Nouvelle-Aquitaine, tandis que les activités de culture/ extraction de ressources marines peuvent avoir lieu sur le territoire (dans le golfe de Gascogne). Les impacts induits attendus sont également positifs (13 M€) grâce à une augmentation de la rémunération des salariés travaillant dans les activités maritimes. Concernant l'effet de volume, les impacts sont essentiellement expliqués par les effets directs (+ 80 M€). L'augmentation du chiffre d'affaires a des effets positifs pour les industries se trouvant en amont de la chaîne de valeur (à savoir les effets indirects : + 21 M€). Elle génère aussi des impacts positifs grâce à une hausse de la consommation provenant d'une hausse de la rémunération des salariés travaillant dans les secteurs de l'océan (à savoir les impacts induits : + 27 M€).

Le tableau ci-dessous présente les impacts sur le nombre d'emplois salariés pour la région Nouvelle-Aquitaine du développement de la biomimétique dans le secteur de l'océan.

⁴² A savoir la fourniture en matières premières (ressources marines) pour le secteur de la cosmétique.

Tableau 9 : Impacts sur la création d'emplois du développement de la biomimétique dans les secteurs de l'océan dans la région Nouvelle-Aquitaine (en nombre d'emplois salariés)

Taux de pénétration biomimétique	Type d'impacts	Effet structure	Effet volume	TOTAL
100%	Effets directs	572	556	1 127
	Effets indirects	57	142	199
	Effets induits	47	143	190
	TOTAL	676	841	1 517
75%	Effets directs	429	417	845
	Effets indirects	43	106	149
	Effets induits	35	107	143
	TOTAL	507	631	1 137
50%	Effets directs	286	278	564
	Effets indirects	29	71	100
	Effets induits	23	72	95
	TOTAL	338	420	758
25%	Effets directs	143	139	282
	Effets indirects	14	35	50
	Effets induits	12	36	48
	TOTAL	169	210	379

La création maximum d'emplois pouvant être attendue du développement de la biomimétique dans le secteur de l'océan (dans le cas d'un taux de pénétration maximum de 100 %) est environ de 1 500 emplois salariés pour la région Nouvelle-Aquitaine (tous secteurs confondus). L'interprétation des résultats est à peu près similaire à celle du PIB. Les créations d'emplois sont davantage expliquées par un effet de volume (+ 841 emplois salariés) que par un effet de structure (+ 676 emplois salariés). Les créations d'emplois sont principalement expliquées par l'effet direct (74 % du nombre de créations d'emplois).

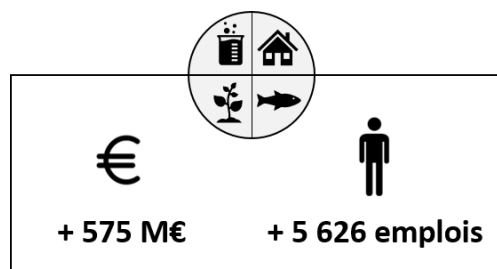
Pour un taux de pénétration de la biomimétique de 25 % dans le secteur de l'océan en Nouvelle-Aquitaine, les gains attendus sur le PIB sont de l'ordre de 32 M€ avec une création de 379 emplois salariés pour l'ensemble des secteurs de l'économie néo-aquitaine. Compte-tenu du développement actuel de la biomimétique dans le secteur, un taux de pénétration de 25% constitue un objectif à moyen terme ambitieux mais réaliste pour la région Nouvelle-Aquitaine.

3.2.5) Impacts du développement de la biomimétique sur l'ensemble de l'économie régionale



Les quatre secteurs concernés contribuent à hauteur de 4,9 % au PIB régional et représentent 3,5 % des emplois salariés en Nouvelle-Aquitaine.

Influence du développement de la biomimétique sur les quatre secteurs en Nouvelle-Aquitaine⁴³ :



Les informations recueillies lors des entretiens concernant les quatre secteurs sont résumées ci-dessous.

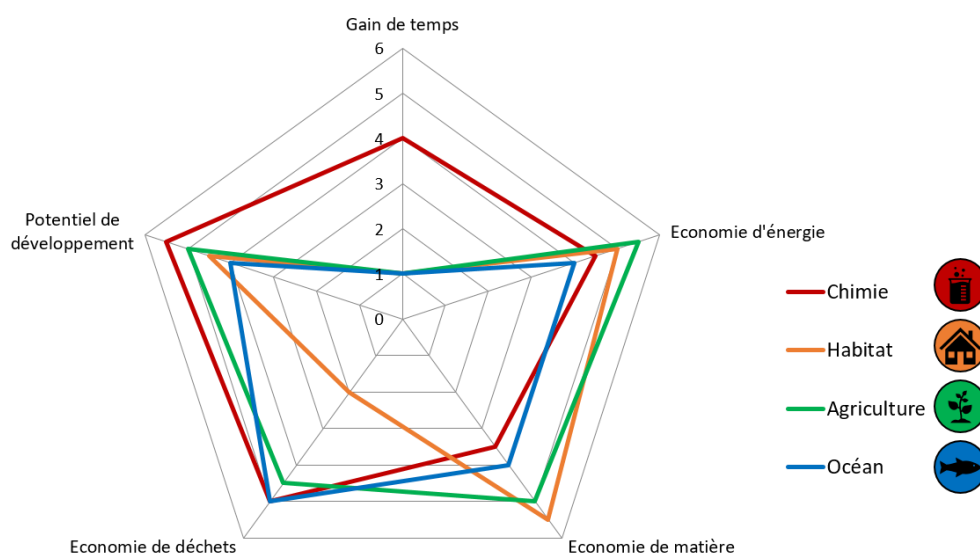


Figure 10 : Bénéfices qualitatifs d'une démarche biomimétique pour les quatre secteurs.

Le tableau ci-dessous résume les impacts socioéconomiques attendus du développement de la biomimétique en Nouvelle-Aquitaine pour un taux de pénétration de 25 %, et ce pour les quatre secteurs concernés.

⁴³ Pour un taux de pénétration de 25% et à moyen terme. Ce taux de pénétration signifie que 25% des entreprises du secteur adopte une démarche biomimétique.

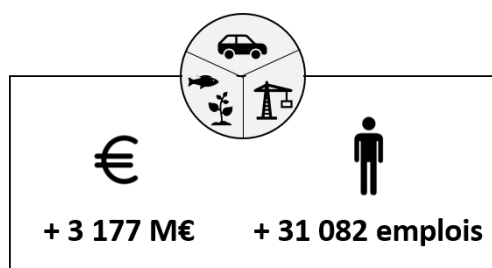
Tableau 10 : Résumé des impacts socioéconomiques (PIB et nombre d'emplois) du développement de la biomimétique en Nouvelle-Aquitaine pour les quatre secteurs concernés et pour un taux de pénétration de 25%.

Secteurs	Impacts sur le PIB (en M€)	Impacts sur l'emploi (en nombre de salariés)
Chimie	122	1 103
Habitat	161	1 873
Agriculture	260	2 271
Océan	32	379
TOTAL	575	5 626

Le développement de la biomimétique avec un taux de pénétration de 25 % dans les quatre secteurs pour l'ensemble de l'économie néo-aquitaine (tous secteurs confondus) génère une augmentation nette de PIB de 575 M€ et une création nette d'emplois de 5 626 salariés. L'agriculture est le secteur qui génère les impacts les plus importants, elle explique 40 % des impacts de l'ensemble des quatre secteurs. Cela est principalement expliqué par le poids économique de l'agriculture dans les quatre secteurs (65 % de la valeur ajoutée). Par contre, si on évalue les impacts en corrigeant le poids économique des secteurs, l'habitat est le secteur qui génère le plus d'impacts. Ces impacts plus importants dans l'habitat s'expliquent par l'importance de l'effet de structure de la consommation finale des ménages qui n'existe pas dans les trois autres secteurs.

Et si l'approche biomimétique était adoptée plus largement en Nouvelle-Aquitaine ?

Afin de se donner un ordre d'idée de ce que pourrait représenter le développement de la biomimétique à d'autres secteurs de l'économie néo-aquitaine, une extrapolation des résultats a été réalisée à l'ensemble des secteurs primaires, secondaires et de transport⁴⁴. **Les impacts du développement de la biomimétique pour l'ensemble de ces trois grands secteurs représentent un gain de PIB de 3 177 M€ et une création de 31 082 emplois salariés pour l'ensemble des secteurs de l'économie néo-aquitaine (secteurs du tertiaire inclus)⁴⁵.**



⁴⁴ Les quatre secteurs retenus pour l'étude (chimie, habitat, agriculture et océan) contribuent à hauteur de 18 % au PIB des trois grands secteurs (primaires, secondaires et transport) en Nouvelle-Aquitaine.

⁴⁵ Cette extrapolation suppose que les caractéristiques socioéconomiques pour l'ensemble des trois grands secteurs sont à peu près identiques à ceux des quatre secteurs (secteurs intensifs en matière et énergie, à contrario par exemple du secteur tertiaire non intégré à cette extrapolation). Cette extrapolation se basant sur des hypothèses importantes, elle est présentée ici uniquement afin de fournir un ordre d'idée.

3.3 Scénario 2 : Influence d’une adoption plus large des principes biomimétiques à l’ensemble de la société

« C’est par l’ajout de principes organisationnels aux Principes du Vivant que notre démarche biomimétique trouvera sa plénitude. » - Gauthier Chapelle, « Le Vivant comme modèle ».

Ce second scénario vise à dépasser le scénario 1 afin de donner à voir ce qu’une adoption plus large de la biomimétique au sein de notre société pourrait avoir comme impacts. Au-delà des deux premiers niveaux d’applications de la biomimétique (formes et procédés) étudiés dans le cadre du premier scénario, le niveau organisationnel laisse entrevoir un potentiel considérable sur lequel s’accorde déjà de nombreux acteurs. Stéphane Allée de l’ADI Nouvelle-Aquitaine illustre cette réflexion : *« Il y a un fort intérêt pour les entreprises à s’intéresser au niveau organisationnel du biomimétisme. Pour les entreprises qui sont à la recherche de nouvelles formes d’organisations, le biomimétisme peut nourrir la réflexion et être source d’inspiration. En cela le potentiel de développement est très élevé et peut impliquer une reconfiguration structurante de nos systèmes et nous pousser à explorer de nouvelles formes d’organisations, de management, d’innovation... L’incertitude est toutefois très élevée et c’est probablement un frein à lever. »*

De plus, quelques exemples d’applications de principes biomimétique à l’échelle organisationnelle ont déjà fait leurs preuves, à l’instar de l’organisation de la chaîne de production de l’entreprise Interface⁴⁶.

Si la prise de recul est complexe pour les applications biomimétiques de formes et de procédés, elle l’est encore davantage à l’échelle organisationnelle tant l’approche est récente et les cas à étudier rares. Le développement de cette dimension de la biomimétique se développe doucement et vient très souvent dans un second temps, une fois les deux premiers niveaux explorés. Aussi, contrairement au premier scénario, le scénario 2 n’a pas eu vocation à s’appuyer sur le modèle économique développé, mais vise principalement à apporter des éléments qualitatifs sur le potentiel de développement de la biomimétique à l’ensemble de la société.

L’application de principes biomimétiques organisationnels peut trouver sa place à l’échelle des entreprises mais également des territoires, et c’est sur l’analyse de ces deux niveaux que s’est portée notre réflexion présentée ci-dessous.

Le mot de : Stéphane Allée, responsable design & stratégie de développement à l’ADI Nouvelle-Aquitaine

« Le biomimétisme est une opportunité pour générer de nouveaux modèles d’innovation, il ne faudrait pas tomber dans l’écueil de l’appréhender uniquement par le volet technologique. C’est en s’intéressant à la logique des systèmes que les impacts seront les plus nombreux. L’enjeu du biomimétisme est en cela le même qu’en matière de RSE ou de développement durable : l’approche doit être structurante, systémique, sinon le risque est de rester en surface. »

⁴⁶ Cet exemple est présenté plus en détails dans les pages suivantes.

3.3.1) Le management biomimétique ou l'application de principes de fonctionnement des écosystèmes à l'échelle organisationnelle de l'entreprise

« *Qui ne rêverait pas d'une entreprise qui durerait 4 milliards d'années ?* » – Gilles Benf, *Biomim'expo 2017*

Alors que les entreprises voient leur longévité diminuer faute de réussir à s'adapter à la complexité croissante de leur environnement, que le passage à l'ère du numérique les oblige à opérer une transformation digitale pour rester dans la course et que le taux de turn-over des salariés est en constante augmentation, le management est une thématique de plus en plus centrale pour le développement des entreprises. Les grands groupes y accordent une importance croissante, conscients de l'enjeu stratégique et financier que cela représente. Au-delà de la gestion efficace des équipes et des missions permettant une productivité optimale, le management s'intéresse au bien-être des salariés afin de s'assurer de leur investissement et motivation. On voit ainsi apparaître de nouvelles typologies de postes à l'instar des *Chief Happiness Officer* qui veillent au bien-être des salariés au quotidien.

Malgré l'apparition de nouveaux modèles de management, tel que le concept d'entreprise libérée ou de management participatif, la hiérarchie reste un élément structurant des entreprises qui relève parfois plus d'un carcan que d'un canal de prise de décision. Dans la nature, la hiérarchie est utilisée pour empêcher le changement de survenir, elle est utile notamment lorsqu'elle empêche certaines cellules cancéreuses de se développer, néanmoins, elle ne constitue pas un modèle efficace pour réussir à s'adapter au changement. En effet, la hiérarchie limite la croissance de manière intrinsèque, or dans le monde de l'entreprise, le changement apparaît en permanence et il est crucial pour une entreprise d'être en mesure de s'y adapter.

Le mot de : Gauthier Chapelle, co-fondateur de Biomimicry Europa et auteur de *Le Vivant comme modèle*, édition Albin Michel.



« *La nature ne fonctionne pas de manière pyramidale avec une organisation hiérarchique. Les arbres ne font pas de conseil d'administration en cas de crise, la réaction serait trop lente. Quand l'intelligence est distribuée, locale et connectée, la réponse est plus efficace. La nature comporte des organisations pyramidales et centralisées mais à l'échelle des individus, et seulement en partie. La taille est un facteur de vulnérabilité* ».

Par ailleurs, si la compétition est souvent présentée comme une caractéristique propre à la nature et favorisant l'innovation, il est important de noter que bien que la compétition soit effectivement favorable à l'innovation, c'est justement cette innovation qui permet de sortir de la compétition. Par exemple, dans le cas de deux espèces en compétition pour une même ressource, l'espèce qui va développer un procédé d'acquisition de la ressource innovant lui permettant d'y avoir accès plus facilement disposera d'un avantage compétitif sur l'autre espèce qui lui permettra de prendre le dessus et pourra alors sortir d'un schéma de compétition.

Le troisième niveau biomimétique invite à s'inspirer des modes de fonctionnements des écosystèmes pour optimiser nos organisations et modes de communications. L'approche

biomimétique s'inscrit dans ce cadre comme une démarche d'amélioration de l'existant et vise à aborder nos modèles organisationnels sous un autre prisme, celui de la coopération plutôt que de la compétition, de la communication et transdisciplinarité plutôt que du cloisonnement en silos, etc. Il est pour cela intéressant de se pencher dans un premier temps sur les facteurs clefs de succès du management de manière générale afin d'identifier en quoi l'application de principes biomimétiques pourrait avoir une influence positive sur le management. De nombreux et divers facteurs clefs de succès du management peuvent être identifiés en fonction de la nature des projets et équipes, toutefois, on retrouve généralement les critères suivants :

- L'engagement et la motivation de l'ensemble des participants ;
- La construction d'un plan détaillé du projet avec des objectifs et un cadre clair ;
- La mise en œuvre d'une communication efficace et régulière tout au long du projet ;
- Le recours à un suivi régulier avec des contrôles et feedback efficaces ;
- La « division » du projet en petites étapes pour valoriser l'avancement et les réussites (Angela Clarke 1999; Z. Alias, E.M.A. Zawawi, K. Yusof, N.M. Aris 2014).

Les points identifiés ci-dessus sont ainsi des facteurs déterminants de la réussite d'un projet et conditionnent par conséquent le succès d'une entreprise. On note de prime abord que certains principes biomimétiques font partie de ces facteurs de succès : le principe de boucles de rétrocontrôle et la division en plusieurs entités principalement. De plus, ils concordent avec les règles biomimétiques énoncées par Janine Benyus. Elle propose cinq principes biomimétiques inspirés des modèles biologiques et applicables au management d'entreprise qui répondent notamment à la question suivante « *Et si une entreprise pouvait fonctionner comme une forêt ?* » :

- Des interactions constantes ;
- Des retours constants ;
- Des leaders multiples ;
- Un objectif partagé ;
- De la redondance et diversité ;
- La présence d'espèces clés de voute qui assurent la connexion entre acteurs ;
- Une division du travail en multitude de tâches réalisées par tout le monde à l'image des super-organismes. La construction doit être progressive jusqu'à ce que les points soient reliés et le changement enclenché (Janine Benyus 2016).

Cette source d'enseignement que constituent les écosystèmes naturels a également intéressé d'autres chercheurs tels que Martin Reeves, Simon Levin et Daichi Ueda. Ces derniers ont étudié la longévité de plus de 30 000 entreprises cotées aux Etats-Unis sur une période de cinquante ans afin d'identifier les stratégies écosystémiques applicables aux entreprises permettant d'améliorer leur robustesse. Ils sont partis du constat que entreprises et écosystèmes partagent une même caractéristique : ce sont dans les deux cas des systèmes complexes adaptatifs (SCA). Aussi, les principes sur lesquels repose la robustesse et durabilité de ces systèmes naturels sont applicables aux entreprises. Six principes qui rendent un SCA robuste peuvent alors être appliqués aux entreprises :

- Maintenir l'hétérogénéité des personnes, des idées et des comportements afin de s'adapter à un environnement changeant ;

- Soutenir la modularité à l'aide d'éléments relativement indépendants permettant d'empêcher la propagation des chocs ;
- Préserver la redondance entre les composants du système pour qu'en cas de défaillance d'un composant un autre puisse prendre le relais ;
- Accepter la surprise, mais réduire l'incertitude en décelant des signaux ou schémas de changement et imaginer les résultats possibles ;
- Créer des boucles de rétroaction et des mécanismes adaptatifs afin de garantir et améliorer l'adéquation du système ;
- Encourager la confiance et la réciprocité dans leurs écosystèmes d'affaires car les SCA requièrent une coopération pour être robustes.

Chacun de ces principes présente un coût et niveau optimal d'application en plus d'être en tension les uns par rapport aux autres. Il convient alors de réfléchir à la manière d'équilibrer ces principes collectivement au lieu de considérer l'application de chacun comme un objectif en soi (M. Reeves, S. Levin, D. Ueda 2017).

En appliquant ces différents principes biomimétiques, une entreprise peut ainsi en théorie répondre à des enjeux stratégiques de robustesse et longévité, mais également des questions quotidiennes de management non moins importantes, ayant trait à la rapidité de la prise de décision ainsi qu'à l'investissement et la motivation des salariés.

L'entreprise Interface est aujourd'hui l'un des exemples les plus avancés en termes d'application de principes biomimétiques à une entreprise. Le point de départ de la réflexion sur le sujet est né de la volonté de concevoir une moquette la plus propre possible. Ils se sont alors demandés comment la forêt créait un sol fertile. La réponse résidant dans la répartition aléatoire des feuilles et autres éléments sur le sol les a amenés à concevoir un design aléatoire qui rompt avec la moquette classique uniforme. Ce design aléatoire permet d'économiser de la matière première grâce à une économie sur les chutes lors de la pose de la moquette. En moyenne, la pose d'une moquette traditionnelle engendre 5% de chutes qui sont réduits à 1-2% pour cette moquette biomimétique. De plus, la moquette présente également des avantages en termes de maintenance car lorsqu'une dalle est abîmée, il est possible de la remplacer sans que cela paraisse (il n'est pas nécessaire de tout changer pour conserver l'esthétisme comme cela peut être le cas avec une moquette traditionnelle). Leader français de la moquette modulaire avec environ 40 % des parts de marché, 30 à 40 % de ses ventes d'Interface correspondent à des produits de design aléatoires (biomimétiques).

Le mot de : Mickaël Cornou, marketing manager Interface France et Italie.

« Notre premier produit issu du biomimétisme est sorti en 2001. A l'époque, notre chiffre d'affaire était équivalent à celui d'aujourd'hui mais on peut quand même conclure à une valeur ajoutée du biomimétisme à notre activité dans la mesure où dans un marché de la moquette est très mature, voire en déclin, notre entreprise a su rester en croissance ».

Au-delà de la conception produit, Interface a cherché et cherche toujours à diffuser la biomimétique à l'ensemble de l'entreprise. Sous l'impulsion de Ray Anderson, de nombreuses actions et expérimentations inspirées du vivant ont ainsi été mise en œuvre à l'instar du mode de gestion des opérations inspiré du principe de fonctionnement des fourmis. Cet exemple souvent mis en avant pour illustrer l'inspiration que peut constituer le vivant à l'échelle des systèmes se présente de la manière suivante : afin d'atténuer l'hyperspécialisation des salariés de la chaîne de production, les cinq personnes d'une même ligne ont été formées aux cinq postes de celle-ci, à l'image des fourmis capables d'occuper une fonction différente de la leur en cas de besoin. Ainsi, les salariés de la chaîne de production sont en capacité d'échanger leurs postes lorsque nécessaire, mais également d'alterner, ce qui permet d'éviter certains maux de production industrielle et d'assurer une meilleure performance grâce à davantage de résilience.

L'ensemble des actions mises en œuvre par Interface depuis 12 ans leur aurait ainsi permis d'économiser des tonnes de matières premières et de réaliser des économies estimées à 405 millions d'euros (Moana Lebel 2016). Cette démarche progressive est en constante évolution au sein de l'entreprise qui vise à s'inspirer toujours davantage du vivant comme le précise Mickaël Cornou : *« Dans un premier temps, le biomimétisme a ainsi été intégré dans nos conceptions produits et le fonctionnement de notre usine. Il nous semble évident que la prochaine étape sera de l'intégrer dans notre organisation. Certes, elle est déjà agile, de type matriciel avec une communication directe avec son responsable et l'existence de nombreuses synergies horizontales. Mais il nous reste un peu de chemin à parcourir pour en faire une organisation totalement tirée du vivant ».*

3.3.2) Les écosystèmes industriels ou comment appliquer les principes de fonctionnement des écosystèmes à nos entreprises et territoires

Présentation des écosystèmes industriels et territoriaux

Le principe des écosystèmes industriels consiste à chercher, à l'échelle d'un territoire, un moyen d'optimiser les échanges de matières et d'énergie au sein des entreprises et entre elles. D'un point de vue économique, il est indéniable que la proximité géographique entre activités présente de nombreux avantages stratégiques dans la mesure où, au-delà des bénéfices individuels, elle permet de générer des rendements d'échelle par les mutualisations de services. Suren Erkman le décrit ainsi dans un article du *Journal of Cleaner Production* : « la motivation réelle pour cette évolution [vers un écosystème industriel] repose manifestement sur une compétitivité accrue : l'écologie industrielle est un moyen pour les entreprises d'exploiter leurs produits et leurs ressources plus efficacement ».

C'est donc un saut conceptuel important que nous invite à faire l'approche des écosystèmes industriels et territoriaux, avec une ambition plus grande quant à la reformulation des enjeux écologiques. Alors que les sites industriels traditionnels se contentent d'une succession d'opérations linéaire, les écosystèmes industriels et territoriaux proposent une vision intégrée et circulaire, une méthode en relation avec la biosphère, que Suren Erkman qualifie dans ses travaux de « métabolisme industriel » (Delphine Gallaud et Blandine Laperche 2016). En ce sens elle est directement inspirée des principes des écosystèmes. Circularité des flux de matières et d'énergie et relocalisation de la source d'énergie, ces deux principes biologiques sont caractéristiques des formes

de collaboration qui prédominent dans la nature, à l'image de la symbiose entre les racines des arbres et les champignons, la mycorhize. Dans cette relation gagnant-gagnant, l'arbre, capable de sécréter des sucres grâce à la photosynthèse, fournit au champignon des sucres excédentaires en échange de quoi celui-ci est capable d'aller chercher plus loin l'eau et les sels minéraux dont l'arbre a besoin.

Aussi, la biomimétique incite à prendre exemple sur ce fonctionnement circulaire : il n'y a pas de déchets dans la nature, les déchets des uns sont les ressources des autres. L'Homme est en cela la seule espèce qui ne soit pas « zéro déchets ». D'où l'idée d'écosystème industriel qui a pour but de faire collaborer des industries. Certains sites pratiquent la réutilisation des flux résiduels d'un processus de production dans un autre processus, dans une logique de synergie de substitution, tandis que d'autres se concentrent sur les actions de mutualisation du recyclage des déchets. On retrouve ces deux dimensions à l'œuvre dans le cas des éco-parcs industriels, au premier rang desquels la fameuse symbiose de Kalundborg au Danemark qui a valeur de modèle pour de nombreux chercheurs, et constitue la vitrine d'exposition des principes des écosystèmes industriels. Ces derniers se sont bien diffusés en Europe puisqu'en 2014 on recensait environ 40 projets de parcs éco-industriels réalisés ou en cours de réalisation sur le territoire français (Association OREE 2016). Celui de Grande-Synthe à Dunkerque, sous l'impulsion de la firme ArcelorMittal avec la création d'un chauffage urbain, a été la première expérience française.

En Nouvelle-Aquitaine, le projet national COMETHE et le projet « Compétitivité durable des entreprises », coordonnés par l'association OREE, ont permis d'accompagner des territoires dans la mise en place de démarches similaires. A titre d'exemple, le réseau BIOTOP regroupe des entreprises sur les sites de La Rochelle et de Périgny dans une démarche d'écologie industrielle et d'économie circulaire alors que sur le bassin industriel de Lacq, un procédé de mutualisation concernant la gérance commune de la sécurité, l'environnement, les fluides, les énergies, voire le personnel technique a été mis en place par l'intermédiaire de la SOBEGI et de CHEMAIR. Bien d'autres initiatives existent, avec leurs spécificités, et la Région entend encourager le développement de bien d'autres, dans le cadre d'une stratégie de développement durable du territoire. A ce titre, le projet régional « Usine du Futur » vise à la modernisation de l'outil industriel mais aussi à l'optimisation des ressources, dans la veine de la loi sur la transition énergétique qui encourage au développement de l'écologie industrielle (Région Nouvelle-Aquitaine 2017e).

Tour d'horizon des facteurs clefs de succès de la mise en place d'un écosystème industriel et territorial

Aussi un écosystème industriel est un véritable projet territorial. Les réalisations actuelles dans la région Nouvelle-Aquitaine sont souvent soutenues par les collectivités locales concernées, même si elles requièrent une forte implication des industriels. Il existe une grande diversité de types de parcs éco-industriels et la variabilité de leurs résultats signifie que l'application du simple concept ne suffit pas à garantir la performance économique. Aussi il est possible d'identifier les principaux facteurs clefs de succès de la mise en œuvre d'un écosystème industriel :

- **La maîtrise du budget.** La mise en place d'un écosystème industriel implique un certain coût d'adaptation pour les entreprises, mais, si elle est bien menée, elle conduit nécessairement à une réduction des coûts à moyen et long terme (coûts

d'approvisionnement en matières premières, en consommation d'énergies, en stockage et traitement des déchets etc.).

- **La complémentarité et collaboration entre les entreprises.** La réussite d'un projet repose sur les interactions possibles entre les différents acteurs, et bien souvent, suppose l'existence préalable d'interactions entre les entités (Delphine Gallaud et Blandine Laperche 2016).
- **La capacité à remettre en question les processus de production.** Les acteurs de l'écosystème doivent être en mesure d'exploiter des innovations externes et de les combiner avec leurs propres capacités de création (André Torre et Jean-Benoît Zimmermann 2016). C'est également une condition au développement de la biomimétique que souligne Claude Grison pour qui « *il faut avoir le courage de remettre en cause des procédés qui fonctionnent* ».
- **La présence d'un intermédiaire.** Si l'implication des entreprises est le substrat de tout projet d'écologie industrielle, la présence d'un intermédiaire (association, entité tirée d'une collectivité territoriale) pour prendre le relais sur les entreprises pionnières peut s'avérer indispensable à un certain stade de développement du site.
- **L'anticipation des risques de dépendance entre acteurs.** Les échanges impliquent l'accroissement de l'interdépendance des acteurs et, inévitablement, les risques liés au retrait de l'un d'eux. Ces risques doivent être pris en compte et anticiper au maximum pour en minimiser l'impact.
- **L'environnement législatif et réglementaire favorable.** Déterminant majeur, la réglementation relative à l'usage des déchets, plus favorable dans les pays du Nord de l'Europe, a été identifiée comme le principal point de blocage à la mise en place de synergies de substitution en France : « *les industriels sont peu enclins à utiliser des matériaux juridiquement qualifiés de déchets* » (« CESER Aquitaine » 2017). Pour certains, la législation autour de l'utilisation des déchets - recyclage et autres stratégies de minimisation - gagnerait donc à être assouplie. Parallèlement, dans une perspective incitative, l'accroissement des règles contraignant les industriels à minimiser leurs déchets est un facteur efficace du développement de synergies industrielles. Dans cette optique, le cadre réglementaire danois impose aux entreprises de soumettre au gouvernement régional les plans détaillant les efforts de réduction de la pollution.
- **La valorisation des expériences et des réussites.** Attirer de nouveaux acteurs dans ce genre de collaborations et remporter l'adhésion des salariés passe par la valorisation des expériences et des réussites.
- **L'implantation au cœur d'une zone dynamique où se côtoient des entreprises agissant sur l'ensemble de la chaîne de valeur.** Les zones portuaires ont été identifiées comme particulièrement fertiles au développement d'écosystèmes industriels. Ces zones présentent souvent une structure industrielle où se côtoient à la fois des entreprises de transformation de matières premières, de grandes unités industrielles et des PME sous-traitantes. Les chances de trouver des sources de complémentarité y sont donc particulièrement élevées (Delphine Gallaud et Blandine Laperche 2016).
- **L'implication des collectivités.** Les parcs éco-industriels étant des projets recoupant d'importants enjeux de développement territorial, l'implication de la collectivité régionale apparaît cruciale. Elle doit prendre activement part au projet, notamment pour assurer la mise en réseau des acteurs locaux.

On retrouve dans ces facteurs clefs de succès des principes et mécanismes du vivant : la coopération entre acteurs, l'adaptation à l'environnement et ses contraintes, l'importance de la communication et de boucles de contrôle (retours d'expériences), etc. Ceci illustre l'intérêt qu'il y a à s'inspirer du vivant pour construire des écosystèmes d'entreprises plus efficaces, résilients et performants.

En matière de process industriel, Interface cherche à intégrer le principe de circularité, « zéro déchets » dont la nature est le meilleur exemple. Ils ont ainsi un programme de récupération et de recyclage des filets de pêche au Sénégal et aux Philippines qui apporte une solution de gestion des déchets tout en économisant de la matière première sur leur chaîne de fabrication. Toutefois, comme le souligne Mickaël Cornou, le gain énergétique ne semble pas évident lorsqu'on considère les kilomètres que doivent parcourir les filets pour arriver dans les usines européennes. Et pourtant, le sujet d'optimisation de l'empreinte carbone étant au cœur de la stratégie d'Interface, l'ACV des produits qui intègrent ces filets de pêche montre une empreinte carbone réduite par rapport à des produits fabriquées en fibre vierge.

En termes d'« usine du futur », Interface vise à aller plus loin encore et développe le projet *Climate Take Back* qui consiste à imiter le fonctionnement de la forêt pour l'appliquer aux usines. Mickaël Cornou le présente de la manière suivante : « *il s'agit de ne pas se contenter de réduire au maximum les émissions de GES, de limiter l'impact négatif de la production, mais également d'avoir un impact positif sur l'environnement en dotant les usines de la capacité d'absorber une partie du CO₂ pour lutter contre la pollution atmosphérique, à la façon des arbres.* ». En phase expérimentale dans certains pays tels que l'Australie, ce projet devrait se concrétiser à l'horizon 2020.

IV- Recommandations

On l'aura compris au terme de ce rapport, la biomimétique est une voie d'innovation précieuse à la disposition des chercheurs et des industriels. Néanmoins, comme pour tout processus innovant, son développement obéit à un cycle de vie qui comporte ses latences et ses contraintes. En France, la discipline apparaît comme étant encore dans une phase de gestation qui requiert à la fois des investissements et un soutien dédiés. A l'échelle régionale, où la biomimétique fait consensus entre des acteurs aussi variés que déterminés, un environnement propice à son épanouissement se met progressivement en place. Afin de poursuivre l'implantation de la biomimétique dans le processus de génération d'idées, d'intensifier les initiatives de recherche et développement et d'encourager les conversions industrielles, voici quelques pistes de recommandations qui entendent répondre aux principaux freins identifiés.

a. Favoriser la diffusion et l'appropriation de la connaissance

L'interdisciplinarité est constitutive de la biomimétique. Or on constate qu'il demeure beaucoup de problèmes de communication, voire de compréhension, entre les différentes sphères de la recherche telles que définies au sein des universités et centres de recherche. Plusieurs actions ont déjà été déployées dans le sens d'un décloisonnement des disciplines à un niveau international. Nous retrouvons dans cette boîte de solutions les démarches fondées sur la consultation de la base de données AskNature⁴⁷, l'utilisation de cartes de conception, les moteurs de recherche scrutant la littérature biologique ainsi que la méthode Biotriz⁴⁸. Mettre en œuvre des moyens pour faciliter les collaborations interdisciplinaires et intersectorielles doit également prendre pied dans le territoire régional. Pour cela on peut envisager de :

- **Faciliter la compréhension de l'approche biomimétique.** Avant toute chose, il est indispensable de présenter et expliquer ce qu'est la biomimétique le plus largement et simplement possible. La démarche n'est pas aisée à comprendre à premier abord et l'on se retrouve souvent confronté à la question du périmètre : « qu'est-ce qui rentre dedans ? ». La norme iso est une première piste de réponse qui doit être renforcée et démocratisée car, comme le souligne Christophe Magro de Aquitaine Chimie Durable « *il y a une dimension non palpable au concept de biomimétisme, il faut le rendre accessible via de la sensibilisation* ».
- **Faciliter l'accès aux connaissances.** Après la compréhension du concept vient la découverte et le partage de celui-ci. En cherchant les leviers qui permettraient aux industries de se saisir de la thématique de la biomimétique, Pierre-Emmanuel Fayemi s'est rendu compte qu'avant toute chose il s'agissait de mieux formaliser les modèles mis en œuvre. Car reposant sur la combinaison de plusieurs disciplines, la biomimétique nécessite de mettre en œuvre des moyens pour favoriser cette transdisciplinarité constitutive. Cela repose ainsi sur la formalisation de l'information ainsi que la construction d'outils de recherche et d'accès à l'information. Ceci permet de réduire le temps de recherche, un enjeu particulièrement important pour les industriels. Aussi, plus les modèles pertinents seront identifiés de manière

⁴⁷ <http://www.asknature.org>

⁴⁸ De nombreux outils et méthodologies existent à l'heure actuelle tels que la plateforme AskNature. (K Wanieck, PE Fayemi, N Maranzana, C Zollfrank and S Jacobs 2017b)

précise en amont, plus il sera facile de choisir le degré d'abstraction à opérer, degré qui dimensionne la phase de recherche fondamentale et donc le temps nécessaire avant d'initier la phase d'application. C'est ainsi qu'une start-up rennaise a mis au point une coque de téléphone inspirée du scarabée en seulement 3 mois.

- **Faciliter la transition de la recherche fondamentale vers l'industrie.** Le passage à l'échelle industrielle n'est pas évident en matière de biomimétique. Il est toutefois essentiel, ce que soutient Pierre-Emmanuel Fayemi : « *l'essor de la biomimétique ne pourra passer que par son utilisation par l'industrie* ». Il faut alors faire face à l'écart entre le niveau d'aboutissement d'une application pour les chercheurs et le point de départ de développement d'un produit pour le monde industriel. Cette difficulté pointée du doigt par Jacques Susperregui d'Aquitaine Science Transfert, correspond au passage entre les niveaux 3 et 6 sur l'échelle TRL (Technology Readiness Level)⁴⁹. Il est alors nécessaire d'accompagner et faciliter le transfert d'innovation (objet du programme SATT du PIA 1) pour que chercheurs et industriels puissent collaborer plus facilement. Pour Jacques Susperregui une des solutions pour l'évolution vers plus de biomimétique se situera à l'échelon politique, avec une décision à prendre pour faciliter la mise sur le marché d'innovations, que cette décision soit incitative (en favorisant les solutions biomimétiques) ou restrictive (en contraignant l'utilisation des techniques non biomimétiques).
- **Encourager la recherche-action à travers des partenariats conclus entre acteurs de la recherche et acteurs industriels territoriaux.** Cela implique de créer des moments de rencontre pour donner l'opportunité aux acteurs d'échanger et de faire naître des synergies. C'est un enjeu important qui répond aux contraintes financières fortes de la recherche biomimétique. Pour Colin McReynolds des Laboratoires de Biarritz il est ainsi primordial en tant qu'entreprise de pouvoir travailler avec un centre de recherche.
- **Développer des technopôles** mêlant des compétences larges et complémentaires autour de thématiques clefs dans le champ de la biomimétique. C'est notamment ce qui est en réflexion à l'initiative de la ville de Biarritz sur la communauté d'agglomération Côte Basque Adour dans le cadre du projet Ocean Start et de la possible constitution d'une antenne du CEEBIOS spécialisée sur la thématique de l'océan.

b. Mettre en lumière les bénéfices de la biomimétique

Si la discipline ne date pas d'hier et bénéficie considérablement des actions de sensibilisation et de pédagogie du CEEBIOS, elle demeure encore méconnue d'une grande majorité de personnes. Aussi la mise en valeur des bénéfices constitue un vecteur particulièrement puissant dans une logique de plaidoyer et de diffusion. D'une part, elle permet de porter les enjeux de la biomimétique jusqu'aux oreilles des décideurs et, d'autre part, elle distille de nouvelles idées dans la tête de ceux qui cherchent à innover de manière durable. Cependant, elle ne doit pas devenir une simple couverture dont il suffit de se draper pour faire preuve de responsabilité. En effet, comme le sous-tend la norme iso 18458, apposer la qualité biomimétique sur une innovation doit tenir compte de quelques critères précis afin d'éviter tout risque de greenwashing. Ainsi, Olivier Mercoli et Marion Etcheverry de Biarritz Océan appellent à la prudence quant à l'emploi non justifié du terme

⁴⁹ L'échelle TRL est un système de mesure employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie. Elle s'échelonne de 1 à 9.

« biomimétisme » qui pourrait décrédibiliser la filière s'il est utilisé de façon abusive, à l'instar de la dérive greenwashing en matière d'écologie. Une publicité prudente et calibrée de la discipline doit donc être mise en place au niveau régional et peut s'appuyer sur :

- **Donner la preuve par l'exemple que la biomimétique fonctionne.** Au-delà des quelques exemples symboliques souvent mis en avant, il s'agit de donner de la voix à des initiatives peut-être moins impressionnantes mais plus faciles à reproduire. Cela passe par le développement de démonstrateurs concrets. A ce titre les exemples industriels réussis doivent être particulièrement mis en valeur pour illustrer la réussite économique qui y est associée et encourager les entreprises à s'engager dans la voie de la biomimétique.
- **Sensibiliser le grand public** en ne perdant pas de vue que les paramètres associés aux sciences sociales, tels que l'acceptabilité de la population, est un facteur important de développement. En effet le succès commercial de la plupart des innovations biomimétiques ne dépend *in fine* que de leur adoption par le public auquel elles sont proposées. Aussi, par exemple, un changement des mentalités doit s'opérer pour que certains comportements de consommation évoluent.

c. Soutenir financièrement les initiatives

Soutenir le développement de l'approche à l'aide de financements dédiés est indispensable mais doit être perçu comme un investissement de long terme dans la mesure où les bénéfices attendus se manifestent *a priori* sous forme d'économies. En plus d'un indispensable soutien public, il s'agit donc de stimuler les investissements des entreprises. Afin que ces dernières soient prêtes à remettre en question des processus qui tournent, il faut mettre en place les conditions propices à l'expérimentation et à la conversion industrielle :

- **Soutenir la recherche biomimétique et particulièrement le passage à l'échelle.** Moment décisif pour toute innovation, le passage à l'échelle est particulièrement complexe en matière de biomimétique car les inventions font face à certaines contraintes spécifiques qui nécessitent un investissement d'autant plus conséquent. Le passage d'une échelle micro (propriété observée dans la nature) à macro (application industrielle) fait apparaître de nouvelles contraintes et certains mécanismes biologiques fonctionnent à l'échelle micro mais pas macro (propriétés adhésives du gecko par exemple). De plus, des contraintes de production et techniques sont également souvent rencontrées. Les produits issus de la fleur de Lotus par exemple sont pour l'instant loin des performances réelles de la fleur.
- **Dédier des financements publics pour soutenir la recherche, construire des réseaux d'acteurs et assurer leur animation ;** en somme financer la construction d'un écosystème favorable à l'épanouissement de la discipline. Pour cela il est possible de prendre appui sur le modèle allemand où des réseaux tels que le réseau Biokon ont été significativement encouragés et financés par le gouvernement allemand. Aussi, la Région Nouvelle-Aquitaine, dans le cadre de ses compétences, est amenée à jouer un rôle primordial. Poussant plus loin que ce qui a été établi dans le dernier SRDEII, elle pourrait inclure à sa feuille de route la structuration d'une filière d'excellence régionale dans le but de mieux coordonner les différentes initiatives régionales et d'articuler étroitement ces dernières avec les stratégies de développement économique.

d. Accompagner le changement

Accompagner les changements que la biomimétique induit sur les schémas de développement est une condition sine qua non de réussite. Isolés, sans formation spécifique, les acteurs peuvent se retrouver démunis face à l'appropriation et la mise en place de pratiques biomimétiques. Il est donc impossible de faire l'impasse sur la formation et l'accompagnement avec la mise en place des cadres techniques. Cette tâche peut en partie incomber à la Région afin de :

- **Constituer pour chaque filière ciblée des plateformes de développement de projet, qui peuvent notamment s'appuyer sur les financements générés au-travers de partenariats public-privé.** Sur le modèle de Nobatek ou Canoë, on peut ainsi imaginer des plateformes/ centres de recherche offrant un accompagnement de l'idée à la mise en route du projet en passant par la formation des acteurs
- **Former les acteurs, mais aussi dans un premier temps préparer les acteurs de la formation à délivrer les savoirs nécessaires.** Cela concerne donc toute la sphère de la formation et de l'accompagnement professionnel au sens large : acteurs institutionnels, formations académiques et professionnelles, l'ensemble de la filière de la formation et de l'accompagnement doit intégrer les principes de la biomimétique dans ses cadres.

V- Conclusion

Quels bénéfices socio-économiques de l'approche biomimétique ? Cette question fût difficile à approcher, à quantifier pour des acteurs souvent intimement convaincus de l'intérêt de l'approche mais ne disposant pas encore de chiffres pour étayer leur ressenti. La réponse à cette question se résumait jusqu'à présent bien souvent par cette observation partagée par l'une des personnes auditionnées : « *Si les grands groupes s'y intéressent et ce de plus en plus, c'est bien qu'il doit y avoir un gain économique ?* ».

Mais face aux questions récurrentes « *Combien ça me coûte ? / Combien ça me rapporte ?* » auxquelles se trouvent confrontés nombre d'acteurs convaincus des bénéfices de la biomimétique, l'enjeu de répondre à ces interrogations est de plus en plus prégnant. Cette étude a ainsi cherché à apporter une première réponse, à montrer les bénéfices potentiels du développement d'une telle approche. En cela, cette étude a suscité un réel intérêt et une attente de la part des acteurs de la biomimétique à la recherche d'arguments pour soutenir leur approche. Etape obligatoire en matière de politique publique, la question des retombées socio-économiques sur le territoire est également cruciale à la mise en œuvre d'une politique de développement de la biomimétique.

Au-delà des gains en énergie, matériaux, temps, et financiers que cette étude a pu mettre en avant, un bénéfice non moins important à souligner et sur lequel s'accordent toutes les personnes auditionnées est celui du gain personnel, le plaisir ressenti à travailler sur une thématique aussi passionnante et enrichissante que la biomimétique. A cela se joint la question du sens. Point soulevé à maintes reprises lors de cette étude, la biomimétique est intrinsèquement porteuse de sens et il faut veiller à conserver cette dimension. S'inspirer de la nature doit alors revenir à s'inspirer de tous les principes du vivant et non pas seulement de certaines propriétés ou mécanismes qui nous intéressent. C'est un changement de vision, une approche humble et éthique permettant de replacer l'homme dans le vivant car il fait partie du vivant. Le développement de la biomimétique nécessite et implique ainsi un changement de vision, de modèle de société même. C'est notre société basée sur le carbone et les énergies fossiles qu'il faut changer. Pour Olivier Bocquet de Tangram Lab, il faut ainsi aller vers un modèle de société où la biomimétique serait démocratisée. Il reconnaît que cela va prendre du temps, des dizaines d'années peut-être, mais si l'on reste sur une approche centrée sur les énergies fossiles, la biomimétique trouvera difficilement sa place, car en se basant sur le carbone, on fait une croix sur certaines innovations. C'est ce que résume Jacques Susperregui d'Aquitaine Science Transfert, à travers les freins d'« iso performance » et d'« iso prix » : « *pour qu'une nouvelle technologie arrive sur le marché, il faut qu'elle soit aussi performante que l'ancienne et sans que le prix soit plus important. L'industrie se base ainsi sur le niveau de performance et de prix des technologies fossiles pour juger les nouvelles* ». Le chemin à parcourir est encore long mais semble se dégager de plus en plus. Et face au risque de détournement, de greenwashing contre lequel mettent en garde certains acteurs, il faut veiller d'autant plus à garder le sens de la biomimétique tout en permettant une diffusion à grande échelle, indispensable à son succès, ce que plaide Olivier Bocquet et Pierre-Emmanuel Fayemi. Car pour réussir à démocratiser et développer la biomimétique « *il faut un effet boule de neige et parfois de mauvais flocons sont emportés mais c'est le jeu* ».

VI - Bibliographie

- AFNOR. 2017. « Biomimétisme - Intégration de la biomimétique dans les démarches d'éco-conception ».
- Agence Bio. 2016. « Le bio dans les territoires ». Edition.
http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/documents/4_Chiffres/Brochure CC/cc2016_territoires.pdf.
- Agreau. 2014. « Polyculture sur sol vivant - Intensification des productions pour la vie biologique du sol - Stéphane Gatti, Laplume ».
<http://www.agroforesterie.fr/AGREAU/documents/fiches-fermes/AFAF-Agroforesterie-GATTI-Fiche-ferme-Agreau-2013es-v2014-09.pdf>.
- Agritaine dossiers. 2014. « Innover, s'adapter et préparer l'agriculture de demain ». Décembre.
http://www.aquitainagri.fr/fileadmin/documents_craa/Agritaine/Agritaine_Dossier/2015/Agritaine_Dossiers_38-D%C3%A9c2014-VD-web.pdf.
- André Torre, et Jean-Benoît Zimmermann. 2016. « Des clusters aux écosystèmes industriels locaux ». *Revue d'économie industrielle*, 13-38.
- Angela Clarke. 1999. « A practical use of key success factors to improve the effectiveness of project management ». <http://sci-hub.io/http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786398000313>.
- Aquitaine Chimie Durable. 2015. « Chimie des matériaux - Etat des lieux et prospective - décembre 2015 ». *calameo.com*.
<http://www.calameo.com/read/004703290b2da6891ea24?authid=WQU0rRfVmXMq>.
- Aquitaine Export. 2014. « Région Aquitaine - portail filières - Glisse-nautisme ».
http://export.aquitaine.fr/jcms/jcms/c_5636/fr/glisse-nautisme.
- Association OREE. 2016. « Le recueil des démarches d'écologie industrielle et territoriale ».
<http://www.oree.org/ecologie-industrielle-territoriale/presentation.html>.
- CCI Nouvelle Aquitaine. 2017. « La Nouvelle-Aquitaine à l'international en 2016 ».
<http://nouvelle-aquitaine.cci.fr/var/testcciaquitaine/storage/original/application/00c16a2442364190647bfdec29110d19.pdf>.
- CESE. 2015. « Le biomimétisme : s'inspirer de la nature pour innover durablement ». Conseil économique social et environnemental. <http://www.lecese.fr/travaux-publies/le-biomim-tisme-sinspirer-de-la-nature-pour-innover-durablement>.
- « CESER Aquitaine ». 2017. Consulté le juillet 26. <http://www.ceser-aquitaine.fr/informations/avisrapports/rapports/2015/rapport-economie-circulaire/I-economie-circulaire.pdf>.
- Cohen, Yael Helfman, et Yoram Reich. 2016. *Biomimetic Design Method for Innovation and Sustainability*. Switzerland: Springer.
- Commission européenne. 2013. « Organic versus conventional farming, which performs better financially ? An overview of organic field crop and milk production in selected Member States ». *Farm Economics Brief*, novembre.
http://ec.europa.eu/agriculture/rica/pdf/FEB4_Organic_farming_final_web.pdf.
- Cultivons une terre vivante. 2017. « Présentation de la ferme ». <http://cultivonsuneterrevivante.e-monsite.com/pages/articles/presentation.html>.
- Delphine Gallaud, et Blandine Laperche. 2016. *Economie circulaire et développement durable - Ecologie industrielle et circuits courts*. ISTE. Vol. 5. Innovation, entrepreneuriat et gestion.
- Denis Lherm. 2016. « Une PME bordelaise découvre une algue qui pourrait remplacer les pesticides ». <http://www.sudouest.fr/2016/09/19/une-pme-bordelaise-decouvre-une-algue-qui-pourrait-remplacer-les-pesticides-2505955-705.php>.

- DIRM Sud-Atlantique. 2016. « La pêche maritime ». http://www.dirm.sud-atlantique.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/b1_-_peche.pdf.
- DRAAF Nouvelle-Aquitaine. 2016. « Mémento de la statistique agricole ». Edition. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R7516C03.pdf>.
- . 2017. « Bilan annuel de l'emploi agricole selon l'orientation technico-économique de l'exploitation ». Consulté le mai 24. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R7516D02.pdf>.
- DREAL Nouvelle-Aquitaine. 2016. « La construction neuve de logements ». http://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/publi_logements_janvier2016.pdf.
- Durand, Hermine. 2012. « Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France : état des lieux, potentiel, leviers ». 72. Études & documents. CGDD. <https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewjerM-UosnSAhVBuHQKHdkNDg8QFghBMAY&url=http%3A%2F%2Fwww.ddline.fr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F12%2FED72-biomim%25C3%25A9tisme.pdf&usg=AFQjCNF06xXezZYN7M2R41Jp9az52AN3A&sig2=B2f7bL5Pr-gecBQ36onFsw>.
- Ecorys. 2012. « Blue Growth: Scenarios and drivers for Sustainable Growth from the Oceans, Seas and Coasts ».
- Emmanuel Duguet. 2003. « Knowledge diffusion, technological innovation and TFP growth at the firm level: evidence from French manufacturing ». <http://eml.berkeley.edu/~bhhall/EINT/Duguet.pdf>.
- Eurostat. 2014. « Enquête communautaire sur l'innovation ».
- Fermanian Business & Economic Institute. 2010. « Global Biomimicry Efforts: An Economic Game Changer ». https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiIavMo8nSAhUJ6xQKHVZCTIQFgghMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sandiegozoo.org%2Fimages%2Fuploads%2FBiomimicryEconomicImpactStudy.pdf&usg=AFQjCNERr-pE0dwiU3BU1cV6FIVWVCZmbw&sig2=yQjMleTnpUqc7fjbWGK_Bg&cad=rja.
- FranceAgriMer. 2017. « Chiffres clés 2015/2016 Céréales - Nouvelle-Aquitaine ». janvier. http://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Plaquette_Filiere_Grandes_Cultures_Nouvelle-Aquitaine_2016_cle87688a.pdf.
- Gauthier Chapelle. 2015. *Le vivant pour modèle*.
- Gérard Leclerc. 2016. « Imitons la nature ! L'industrie française au défi du biomimétisme ». https://www.wedemain.fr/4-Imitons-la-nature--L-industrie-francaise-au-defi-du-biomimetisme_a2128.html.
- Griffon, Michel. 2013. *L'agriculture écologiquement intensive*.
- Hors-série La Vie. 2017. « La nature pour modèle ».
- Ifremer. 1987. « Evolution des teneurs en cuivre des huîtres du bassin d'Arcachon : influence de la législation sur les peintures antisalissures ». <http://archimer.ifremer.fr/doc/00155/26605/25506.pdf>.
- Immunrise. 2017. « L'extrait D : un bio-pesticide naturel marin ». □ <http://www.immunrisebiocontrol.fr/bio-pesticide/>.
- Insee. 2015. « L'économie maritime : des activités diverses et localisées ». <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1560263>.
- ISIGE. 2017. « Le cas Kalundborg ». <http://www.isige.mines-paristech.fr/expertises-et-projets/economie-circulaire/ecologie-industrielle/le-cas-de-kalundborg>.

- ISO. 2015. « Biomimétique - Terminologie, concepts et méthodologie ».
- ISO (International Organization for Standardization). 2015. « ISO 18458 : 2015 : Biomimetics - terminology, concepts and methodology ».
- Jacques Ripoché. 2012. « Lot-et-Garonne : l'agroforesterie fait école ». <http://www.sudouest.fr/2012/07/02/l-agroforesterie-fait-e-coledans-les-vergers-l-eau-coule-tout-juste-ce-qu-il-faut-759308-4720.php>.
- Janine Benyus. 2016. « Intervention lors du colloque Sustainable Brands ». <https://player.vimeo.com/video/171326507>.
- Jérôme Béalès. 2017. « La chimie en pente douce ». *Hors série La Vie - La nature pour modèle*, Sciences, , 50-51.
- Jordan Pouille. 2017. « La ville de demain sera végétale ». *Hors série La Vie - La nature pour modèle*, Sciences, , 64-71.
- K Wanieck, PE Fayemi, N Maranzana, C Zollfrank and S Jacobs. 2017a. « Biomimetics and its tools ».
- . 2017b. « Biomimetics and its tools ».
- Kalina Raskin et Estelle Cruz. 2017. « Architecture bio-inspirée : vers la conception d'habitats régénératifs | La Pierre d'Angle ». <http://anabf.org/pierredangle/magazine/europe-et-international/architecture-bio-inspiree-vers-la-conception-dhabitats-r-g-n-ratifs>.
- Laboratoires de Biarritz. 2017. « Notre recherche ». □ <https://www.laboratoires-biarritz.fr/notre-recherche/>.
- Laurent Billon. 2012. *3 minutes avec un chercheur*. <https://www.youtube.com/watch?v=jxpKsiWwkfc>.
- Littoral Aquitain. 2013. « Potentiels en énergies marines de la façade Aquitaine ». http://www.littoral-aquitain.fr/sites/default/files/upload/pdf/EMR-2-Rapport_de_consultation_EMR.pdf.
- . 2016. « Programme d'activité ». http://www.littoral-aquitain.fr/sites/default/files/programme_de_travail_2016_vf.pdf.
- M. Reeves, S. Levin, D. Ueda. 2017. « La biologie de la survie ». *Harvard Business Review*.
- M2i Life Sciences. 2017. « La mission de M2i Biocontrol ». <http://www.m2i-lifesciences.com/la-mission-de-m2i-biocontrol>.
- MIT News. 2016. « Beaver-inspired wetsuits in the works ». *MIT News*. <http://news.mit.edu/2016/beaver-inspired-wetsuits-surfers-1005>.
- Moana Lebel. 2016. *Biomimétisme - Colloque Eco-conception 2016*. <https://www.youtube.com/watch?v=HvWS7iNfmeU>.
- Morand, Pascal, et Delphine Manceau. 2009. « Pour une nouvelle vision de l'innovation ». La documentation française. https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUK EwiPqcCdr-rSAhWEOxoKHxQkCHEQFggmMAI&url=http%3A%2F%2Fc2ip.insa-toulouse.fr%2F_attachments%2FInnovation-article%2FRapport_Morand_Manceau_-_Pour_une_nouvelle_vision_de_l_innovation_-_ESCP_Europe_2009.pdf%3Fdownload%3Dtrue&usg=AFQjCNHhE738nchGKt-AseEKPD6U6Pyq5g&sig2=HHTaZgz5fB-wco865aLbxQ&bvm=bv.150120842,d.d2s&cad=rja.
- Nicolas César. 2014. « L'essor fulgurant de Fermentalg et de ses micro-algues ». □ <http://www.la-croix.com/Actualite/Economie-Entreprises/Economie/L-essor-fulgurant-de-Fermentalg-et-de-ses-micro-algues-2014-03-31-1128991>.
- Nobatek. 2015. « Focus d'activités ». http://www.nobatek.com/downloads/Nobatek_Focus2015.pdf.
- Observatoire de la Côte Aquitaine. 2017. « Chiffres clés ». <http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/Chiffres-cles-51>.

- OCDE. 2005. « Manuel d'Oslo : principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation (3ème édition) ». http://www.oecd-ilibrary.org/fr/manuel-d-oslo_5lgpbvqc4fwc.pdf?sessionId=1o9dsbcdffqib6.x-oecd-live-03?contentType=%2fns%2fBook%2c%2fns%2fOECDBook&itemId=%2fcontent%2fb0ok%2f9789264013124-fr&mimeType=application%2fpdf&containerItemId=%2fcontent%2fserial%2f19900430&accessItemIds=%2fcontent%2fserial%2f24146137%2c&site=fr&option6=imprint&value6=http%3a%2f%2foecd.metastore.ingenta.com%2fcontent%2fimprint%2foecd.
- . 2007. « Synthèses ». <http://gy.beckham.free.fr/temp/root/miage/AESE/Dossier%20innovation/gy/AESE%20Keynote/expos%C3%A9/39676363.pdf>.
- Olivier Scheffer. 2017. *Intervention d'Olivier Scheffer à Biomim'expo 2017*. <https://www.youtube.com/watch?v=eITf5qYyKwE>.
- Philippe Aghion. 2013. « L'innovation : moteur de la croissance et de la compétitivité dans l'économie de la connaissance ? » http://ihest.fr/IMG/article_PDF/article_a780.pdf.
- Région Nouvelle-Aquitaine. 2016. « Atlas régional 2016 de la Nouvelle-Aquitaine ». *issuu*. septembre. <https://issuu.com/conseilregional/docs/atlasnouvelleaquitaine2016/125>.
- . 2017a. « Economie d'énergie : vers une démarche globale de rénovation ». *Région Nouvelle-Aquitaine | Aquitaine Limousin Poitou-Charentes*. <https://www.nouvelle-aquitaine.fr/toutes-actualites/economie-energie-vers-demarche-globale-renovation.html>.
- . 2017b. « Nouvelle-Aquitaine terre agricole, terre gourmande ». <https://www.nouvelle-aquitaine.fr/toutes-actualites/nouvelle-aquitaine-terre-agricole-terre-gourmande.html>.
- . 2017c. « Rénover son habitation pour consommer moins ». *Région Nouvelle-Aquitaine | Aquitaine Limousin Poitou-Charentes*. <https://www.nouvelle-aquitaine.fr/toutes-actualites/renover-son-habitation-pour-consommer-moins.html>.
- . 2017d. « SRDEII : la Région fixe un cap ».
- . 2017e. « PME et ETI, candidatez au dispositif Usine du futur ». *Région Nouvelle-Aquitaine | Aquitaine Limousin Poitou-Charentes*. janvier 23. <https://www.nouvelle-aquitaine.fr/dispositifs-region/pme-eti-candidatez-au-dispositif-usine-futur.html>.
- Région Nouvelle-Aquitaine, et CEEBIOS. 2016. « La région Nouvelle-Aquitaine sur la voie du biomimétisme : s'inspirer de la nature pour innover durablement ».
- Serret-Itzicsohn, Ysé, et Nick Johnstone. 2011. « Consommation d'aliments biologiques : Principaux résultats de l'enquête ». OCDE.
- Z. Alias, E.M.A. Zawawi, K. Yusof, N.M. Aris. 2014. « Determining Critical Success Factors of Project Management Practice : A Conceptual Framework ». <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814054834>.

Annexe 1 – Liste des personnes auditionnées

30 personnes ont été auditionnées dans le cadre de cette étude. Nous tenons à les remercier pour leur contribution indispensable à la réalisation de l'étude. Ce sera grâce à l'implication, la passion et la pédagogie de tous que la biomimétique pourra se développer et que les retombées socio-économiques que nous pouvons espérer verrons le jour.

Ont été interrogés pour cette étude :

- Christophe Magro – Aquitaine Chimie Durable – Chef de projet innovation
- Jutta Umbhauer – Aquitaine Chimie Durable – Chargée de mission innovation
- Laurent Billon – IPREM – Enseignant-chercheur à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour
- Claude Grison – Laboratoire ChimEco – Directrice du laboratoire de Chimie bio-inspirée et d'Innovations écologiques et professeure en chimie et ingénierie écologique à l'université de Montpellier
- Laurent Bedel – Elbe Pétro – Président fondateur
- Sylvain Bourrigaud – Arkéma – Ingénieur de laboratoire
- Stéphanie Magnet – M2i Life Sciences – Directrice R&D
- Olivier Scheffer – Nobatek – Directeur général adjoint
- Iswann Ali Benali et François Dapilly – Eiffage – Chargés de mission à la direction développement durable et innovation transverse
- Estelle Cruz – Ceebios – Chargée de mission Habitat
- Mickaël Cornou – Interface – Responsable marketing France
- Guillaume Niel – Terrell Consulting – Ingénieur structure et façade, directeur d'établissement
- Olivier Bocquet – Tangram Lab – Architecte en charge de la recherche et de l'innovation
- François Léger – AgroParisTech – Enseignant-chercheur
- Pierre Gaillard – Invenio - Directeur
- Alain Canet – Association Française d'Agroforesterie – Président, directeur d'Arbres et paysages du Gers
- Colin McReynolds – Laboratoires de Biarritz – Responsable R&D
- Matthieu Lapinski – Seaboost - biologiste marin chez Seaboost (filiale du groupe Egis)
- Grégoire de Laval – Eel Energy – Directeur commercial
- Philippe Gray-Lopez – S'Wings – Cofondateur
- Christophe Seiller – Eurosima - Directeur
- Olivier Mercoli – Biarritz Océan – Directeur d'établissement
- Marion Etcheverry – Biarritz Océan – Responsable communication et marketing
- Michel Veunac – Maire de la ville de Biarritz
- Eric Röttinger – Ircan, Nice – Directeur de l'équipe de recherche "Embryogenèse, Régénération & Vieillesse"
- Jacques Rougerie – Membre de l'Institut Jacques Rougerie
- Pierre-Emmanuel Fayemi – AMI Innovation – Consultant innovation
- Jacques Susperregui – Aquitaine Science Transfert – Responsable de l'unité énergies et filières vertes
- Stéphane Allée – ADI Nouvelle-Aquitaine – Responsable design et stratégie de développement

Annexe 2 – Présentation du modèle économique

Le **modèle ImpactTer**, développé par Vertigo Lab, se base sur un modèle économique : le **modèle entrées-sorties**. Celui-ci fut développé par l'économiste Wassily Leontief, prix Nobel d'économie en 1973. Le modèle entrées-sorties s'appuie sur un des outils de la comptabilité nationale, **les tableaux entrées-sorties** (TES). Ils sont publiés annuellement par les instituts statistiques (Insee et Eurostat).

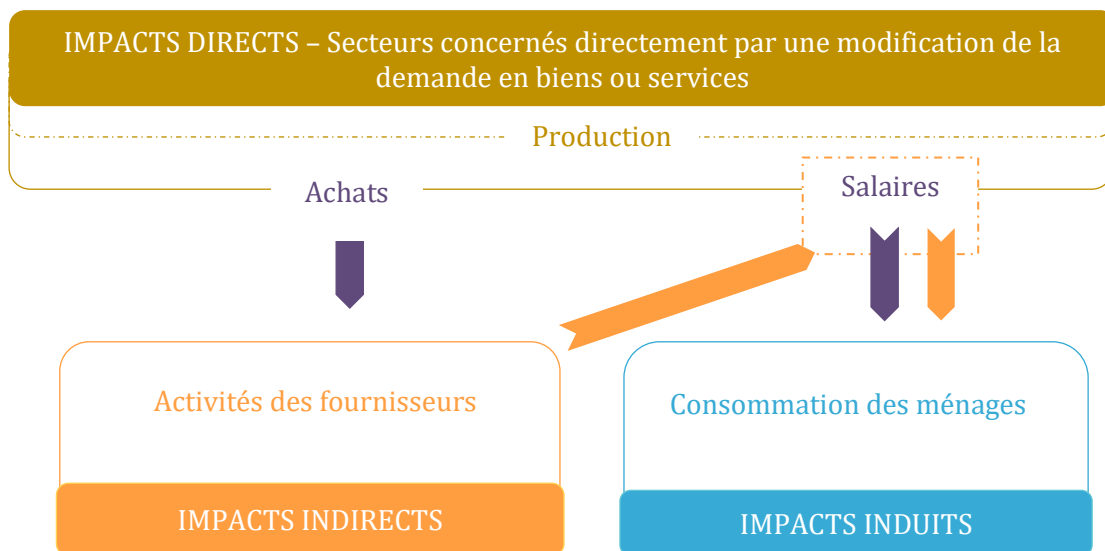
Ces tableaux enregistrent tous les **échanges inter-industriels** entre les différentes activités au sein d'une économie et avec le reste du monde, en s'intéressant à l'origine et à la destination des différents biens et services. Ils incorporent également les comptes de production et d'exploitation des branches d'activités (p.ex., la ventilation de la valeur ajoutée entre la rémunération des salariés, les impôts nets des subventions et l'excédent brut d'exploitation). Le modèle entrées-sorties est un modèle robuste et très reconnu dans le monde académique et scientifique. Il est très utilisé dans les pays anglo-saxons où il existe une forte tradition dans l'évaluation des politiques publiques. Par exemple, le bureau de l'analyse économique des Etats-Unis a développé un modèle entrées-sorties (le modèle RIMS) afin que les Etats fédéraux puissent évaluer les impacts socioéconomiques de leurs politiques publiques.

Le modèle entrées-sorties est un **modèle orienté demande**. Il part de la demande finale en biens et services (à savoir l'investissement, la consommation finale des ménages et des administrations publiques, et les exportations) et s'intéresse aux **effets d'entraînement (ou effets ricochets)** sur les secteurs se trouvant en amont de la chaîne de valeur (les fournisseurs, mais aussi les fournisseurs des fournisseurs, etc.).

A partir des algorithmes élaborés à partir du TES, le modèle calcule trois types d'impacts :

- **Les impacts directs** : concernent les impacts sur les secteurs directement concernés par une modification de la demande en biens et services.
- **Les impacts indirects** : concernent les impacts sur les secteurs qui se trouvent en amont de la chaîne de valeur (cela inclut les fournisseurs, mais aussi les fournisseurs des fournisseurs...) des secteurs directement concernés par une modification de la demande en biens et services.
- **Les impacts induits** : concernent les impacts pour les secteurs bénéficiant directement ou indirectement de la consommation des salariés travaillant dans la chaîne de valeur des secteurs impactés directement ou indirectement par une modification de demande en biens et services.

Ces différents impacts sont représentés dans le graphique ci-dessous.



Ces impacts sont calculés par le modèle à partir de **multiplicateurs**. Ces multiplicateurs indiquent les montants de production, de valeur ajoutée ou d'emplois (en intégrant les impacts directs, indirects et induits) expliqués par une modification d'un euro de demande finale. Bien entendu, les effets multiplicateurs ne sont pas les mêmes selon les biens ou services achetés. C'est ce qui fait la force du modèle entrées-sorties.

Dans notre modèle, la biomimétique est considérée comme une innovation. Compte tenu de la complexité du processus d'innovation, il est très difficile, voire impossible, de prédire les impacts sur l'innovation de l'accroissement des moyens financiers accordés à la recherche et développement. Les études empiriques dans ce domaine n'ont pas permis de décrire de corrélations (Morand et Manceau 2009). Par conséquent, **il est impossible de dire que XX % de fonds supplémentaires en faveur de R&D pour la biomimétique généreront XX % en plus d'innovation et, ainsi, XX % de chiffre d'affaires supplémentaire.**

Pour pallier à cette difficulté, **nous évaluons les impacts socioéconomiques de la biomimétique à partir du potentiel de celle-ci par rapport aux autres formes d'innovation plus conventionnelles.**

Le développement de la biomimétique génère alors des impacts socioéconomiques dans la région Nouvelle-Aquitaine à travers deux effets : **l'effet de structure** et **l'effet de volume**.

Le premier effet, **l'effet de structure**, correspond aux impacts liés **aux économies réalisées dans les achats d'énergie et de matières** grâce à l'adoption des procédés biomimétiques pour un même niveau de production. Le processus de production devient ainsi plus efficace : il est possible de produire autant pour une quantité moindre d'énergie et de matières. Ces économies monétaires servent à mieux rémunérer les facteurs de production travail (accroissement du montant total de la rémunération des salariés) et capital (augmentation des marges des entreprises) qui sont des composantes de la valeur ajoutée. L'augmentation de la valeur ajoutée finance des créations d'emplois. **Le taux de valeur ajoutée devient ainsi plus important.**

Le second effet, **l'effet de volume**, correspond aux impacts liés à **l'accroissement du chiffre d'affaires** permis par le développement de nouveaux biens et services issus de la biomimétique. En effet, comme nous l'avons mentionné, les entreprises qui ont recours aux procédés

biomimétiques sont des entreprises innovantes. Ces entreprises se distinguent ainsi plus facilement de leurs concurrents, générant davantage de chiffre d'affaires et par conséquent de retombées socioéconomiques pour le territoire. En effet, l'enquête communautaire sur l'innovation montre que les **entreprises innovantes sont plus productives** (le chiffre d'affaires par effectif est 4 % plus élevé dans les entreprises innovantes que pour l'ensemble des entreprises) et **plus compétitives** (la part du chiffre d'affaires destinées à l'exportation est 8 % plus importante dans les entreprises innovantes que pour l'ensemble des entreprises) (Eurostat 2014).

Ces deux effets sont évalués dans notre modèle en intégrant les **impacts directs** (impacts sur les secteurs directement concernés par la biomimétique), **les impacts indirects** (impacts sur les secteurs se trouvant en amont de la chaîne de valeur des secteurs concernés par la biomimétique) et **les impacts induits** (impacts provenant du revenu des travailleurs employés dans la chaîne de valeurs des secteurs concernés par la biomimétique).