

Contribuer à la réduction des émissions carbone

Concevoir des bâtiments dans une logique d'urbanisme circulaire représente également un moyen efficace de réduire l'empreinte carbone du secteur de la construction. En effet, si l'on prend en compte l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment (depuis l'extraction des matières jusqu'à la fin de vie de ce dernier), la contribution au réchauffement climatique des matériaux de construction peut s'avérer bien plus importante que celle de la consommation énergétique du bâtiment. Par exemple, des modélisations effectuées par le CSTB lors d'un projet de réaménagement urbain en Ile-de-France ont montré que dans des scénarios de réhabilitations ou démolitions/reconstruction de barres d'immeubles, l'impact climatique du cycle de vie des produits de construction (carbone émis depuis l'extraction des ressources jusqu'à leur fin de vie) pouvait représenter 65 à 75% du bilan carbone global du projet.

Enfin, l'économie circulaire ouvre aussi la voie à de nouvelles solutions de captage du CO₂. Dans le cadre du projet d'aménagement d'un écoquartier

à Châtenay-Malabry et du projet FastCarb mené en partenariat avec l'Ifsttar de l'université Gustave Eiffel, le groupe Eiffage expérimente la technique de la carbonatation du béton qui a pour double objectif de produire un béton écologique fait à partir de 100% de granulats recyclés tout en captant le CO₂ émis lors de la fabrication de ciment. Le principe de la carbonatation est d'injecter du CO₂ dans le béton composé de granulats recyclés, ce qui permet d'accélérer la réaction de carbonatation naturelle des résidus de béton recyclé, de réduire la porosité de ce béton et d'assurer des performances mécaniques comparables à celle d'un béton fait à partir de granulats naturels.

Qu'il s'agisse des enjeux de réduction de la consommation de ressources naturelles, de diminution de la production de déchets, de réduction des émissions carbone, voire de préservation de la biodiversité, l'économie circulaire recouvre différentes facettes, ouvre de nouvelles perspectives et offre aux acteurs de la construction de nouvelles opportunités pour repenser l'habitat et l'urbanisme du 21^{ème} siècle.



3

CONCEVOIR AUTREMENT



1. REPÈRES : CONCEVOIR AUTREMENT

Concevoir autrement, une nécessité

La transition écologique va engendrer une remise en cause de nos fonctionnements et notamment de nos modes de consommation. La raréfaction de certaines matières premières, un accès de plus en plus coûteux à l'énergie, la prolifération des déchets sont autant de challenges que nos sociétés devront résoudre. Le slogan bien connu « le meilleur déchet, c'est celui qu'on ne produit pas » peut ainsi se décliner : « la meilleure énergie est celle qu'on ne consomme pas » ou « la meilleure matière première provient du recyclage ». Avant même l'utilisation d'un produit ou d'un service, leur conception doit prendre en considération ces différents enjeux. Pour cela, des méthodologies comme l'analyse du cycle de vie ou l'éco-conception permettent de structurer l'innovation dans ce sens.

L'analyse du cycle de vie

Cette méthode, désormais régie par les normes ISO 14040 à 14043, est utilisée pour calculer les impacts environnementaux d'un système. Ce système peut être un produit (une voiture, une cafetière, un bâtiment...) ou un service (une collecte des déchets dans une municipalité, des trottinettes en libre-service...). Il est étudié avec comme critère la fonction rendue et permet ainsi la comparaison entre différentes solutions. La méthodologie prend en compte l'ensemble de la vie du système, « du berceau à la tombe », de l'extraction des matières premières à la gestion des déchets. L'analyse du cycle de vie est le point de départ d'une éco-conception.

L'éco-conception

L'éco-conception est une démarche visant à prendre en compte dès la conception d'un système ses impacts environnementaux sur l'ensemble de son cycle de vie. La norme ISO 14006 présente les lignes directrices de cette approche méthodique dans le cadre d'un système de management environnemental. Dès les premières étapes du design, le concepteur sera amené à se questionner sur la fonction du produit ou du service. Lors des étapes successives, les décisions liées à la conception, la fabrication, l'utilisation et le recyclage seront prises en mesurant à chaque fois l'impact environnemental. Des matières premières recyclées seront ainsi privilégiées. Les processus d'assemblage les moins énergivores seront choisis. Le produit sera facilement réparable et pourra être recyclé dans sa totalité. Autant de choix qui permettront in fine la réalisation d'un produit éco-responsable.

Le biomimétisme

S'inspirer de la nature pour concevoir de nouveaux produits n'est pas récent. Déjà au début du 16^{ème} siècle, Léonard de Vinci observait la nature afin de créer ses inventions. Plus récemment, la reproduction des crochets de certaines plantes a inspiré le Velcro. Le biomimétisme a ainsi donné naissance à la biomimétique, discipline qui est désormais structurée avec des outils méthodologiques. Son utilisation se retrouve dans de nombreux secteurs d'activité : industrie, recherche, médecine, bâtiment...

2. L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)

Définition

Apparue au début des années 90, cette méthode a progressivement montré son efficacité dans la prise en compte de l'impact environnemental d'un système. A partir de 1994, l'apparition des normes internationales ISO 14040 à 14043 a permis sa diffusion en fixant un cadre méthodologique rigoureux. L'ACV peut s'appliquer à la conception d'un produit, d'un service ou d'une activité et se concentre sur la fonction « service rendu ».

Selon la norme ISO 14040, l'analyse du cycle de vie « traite les aspects environnementaux et les impacts environnementaux tout au long du cycle de vie d'un produit » et permet de quantifier les effets du système. Le cycle de vie considère toutes les étapes nécessaires de la fabrication à l'utilisation y compris le recyclage. L'étude prend uniquement en compte les situations d'utilisation normale, hors accident et utilisation en mode dégradé. L'ACV, selon la norme ISO 14040, est une « compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels ». Les intrants (input en anglais) entrent dans la composition du système (ex. les matières premières) ; et les extrants (output en anglais) résultent des différents processus nécessaires à la fabrication, aux transports et à l'utilisation.

Objectifs

L'analyse du cycle de vie a pour but de quantifier l'impact environnemental d'un système. Ces résultats permettent alors de prendre des décisions concernant la conception du système dans une démarche d'éco-conception.

Les résultats obtenus lors d'une telle étude encouragent aussi aux institutions de communiquer sur leur performance environnementale.

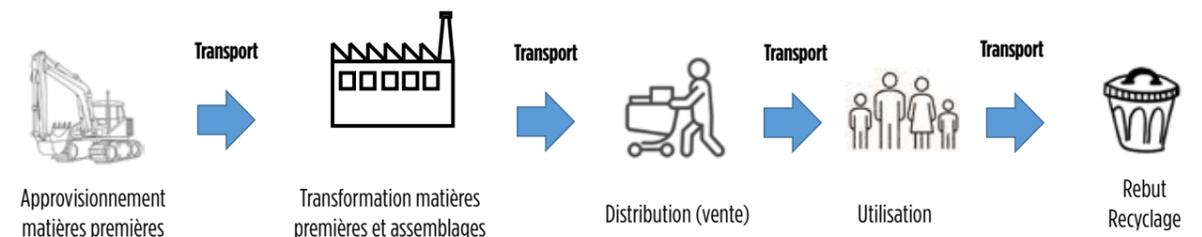
La comparaison entre différentes solutions, par exemple sur le choix d'un matériau ou d'un processus de fabrication lors de la conception est alors possible. Elle peut être utilisée dans une étude de benchmark entre différents produits afin de déterminer celui qui a le moins d'impact sur l'environnement. Appliquée à un processus, elle oriente une politique publique comme par exemple, privilégier une pratique à une autre.

Evaluer un système sur l'intégralité de son cycle de vie permet aussi d'éviter les transferts d'impact d'une étape à l'autre. Un bâtiment réalisé avec des matériaux proposant une bonne isolation thermique aura moins d'impact lors de son utilisation mais il ne faut pas que cela soit fait au détriment d'un choix de matériau dont l'impact environnemental sera plus défavorable.

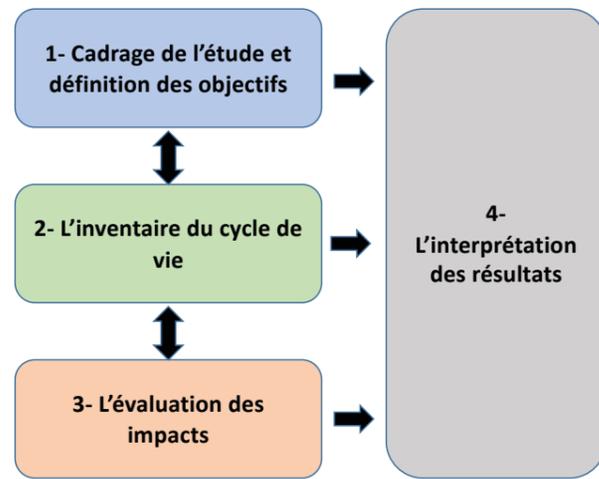
Le cycle de vie d'un système

Le cycle de vie d'un produit ou d'un service se décompose en différentes étapes. Il prend en considération l'extraction des matières premières (minérales, végétales...), les transformations et l'assemblage, les transports, l'utilisation et sa fin de vie (recyclage, rebut). A chaque étape, le produit a un impact sur l'environnement. L'extraction de matières premières peut se faire à l'aide d'engins, d'eau, de séparateurs chimiques qui vont tous avoir des conséquences. De même, les différentes étapes du transport feront appel à des équipements (train, voiture, avion, bateau...) consommateurs d'énergie à différents degrés. L'utilisation du système nécessitera des ressources comme l'électricité. Enfin, la dernière étape est le rebut ou le recyclage qui auront aussi un impact.

Les étapes du cycle de vie



Les 4 étapes de l'analyse du cycle de vie



3. L'évaluation des impacts. Il s'agit de quantifier les impacts environnementaux des flux répertoriés dans l'étape précédente. Cela va permettre de définir la performance environnementale du système étudié, recenser les améliorations possibles et de comparer plusieurs systèmes entre eux. Les impacts identifiés peuvent ensuite être agrégés dans différentes catégories afin de définir un score environnemental.

4. L'interprétation des résultats. Il est fondamental que l'analyse apporte des résultats robustes lors de chaque étape. L'interprétation des résultats a donc lieu lors des trois étapes précédentes, de manière itérative. Ceci permet une validation de ces résultats.

Afin de suivre avec rigueur cette méthodologie, de nombreux logiciels existent. Ceux-ci contiennent des bases de données d'inventaires et des méthodes d'évaluation d'impact. L'ACV amène alors des résultats concrets par rapport à un système et un périmètre d'étude définis. Cependant, la limite de cette méthode réside dans le fait qu'il est souvent difficile d'obtenir l'intégralité des flux utilisés pour un système.

Méthodologie de l'analyse

La norme ISO 14044 donne la structure méthodologique de l'analyse du cycle de vie à travers quatre étapes.

1. Cadrage de l'étude et définition des objectifs.

Cette étape permet de définir le but de l'analyse : comparaison des produits entre eux, base pour une étude d'éco-conception, collecte des données pour une déclaration environnementale. Durant cette phase, le périmètre de l'étude est défini ainsi que l'unité fonctionnelle. L'unité fonctionnelle permettra de comparer des systèmes qui peuvent avoir des caractéristiques très différentes. Par exemple, un sac en plastique et un caddie de marché répondent tous les deux à la même fonction : transporter un nombre défini de kilos de marchandises.

2. L'inventaire du cycle de vie.

Cette étape consiste à recenser les flux entrants et sortants du périmètre de l'étude. C'est une comptabilité analytique des flux qui est généralement réalisée avec l'aide d'un logiciel. Deux catégories de flux sont identifiées : les flux « économiques » tels que la consommation d'énergie et les flux élémentaires tels que la production de déchets. Ceci permettra une quantification des émissions et des extractions pour chaque processus.

POUR ALLER PLUS LOIN |

- expertises.ademe.fr
Le site de l'ADEME présente l'analyse du cycle de vie
- www.eco-conception.fr
Le site du pôle éco conception propose différentes ressources sur l'analyse du cycle de vie

3. ÉCO-CONCEPTION DE BIENS OU DE SERVICES

N. Perry, Arts et Métiers, CNRS, Université de Bordeaux, I2M Bordeaux, Talence, France
 B. Laratte, Arts et Métiers, CNRS, Université de Bordeaux, I2M Bordeaux, Talence, France
 C. Charbuillet, Arts et Métiers, CNRS, Université de Bordeaux, I2M Bordeaux, Chambéry, France
 S. Pompidou, Université de Bordeaux, CNRS, Arts et Métiers, I2M Bordeaux, Talence, France

Ce chapitre est une introduction aux grands principes de l'éco-conception de biens ou de services. Son objectif n'est évidemment pas de synthétiser l'ensemble des règles, principes et méthodes que propose la littérature sur ce sujet, mais seulement d'en définir les contours, les objectifs et l'intérêt. Nous veillerons donc à présenter simplement les étapes clés de la démarche, à définir au mieux le vocabulaire permettant de comprendre cette approche et à rappeler les textes de références (réglementations, normes, publications essentielles, etc.) permettant à chacun d'approfondir ensuite ses connaissances sur un sujet si vaste.

Introduction

L'éco-conception (ecodesign) est une démarche créative, source d'innovation et de différenciation dans le développement de biens ou de services. Elle intègre dans les choix et décisions du concepteur, l'évaluation des impacts environnementaux pour en faire un levier de création de valeur. C'est donc une approche préventive des conséquences sur l'environnement des biens et services mis sur le marché.

L'éco-conception doit permettre, à performances égales, de minimiser les impacts environnementaux des biens et services tout au long de leur cycle de vie, dans une démarche d'amélioration continue, à coût et performances maîtrisés.

Cette démarche peut s'appliquer dans tous les secteurs de l'économie (par ex. l'électronique, l'automobile, l'aéronautique, les produits d'équipement et la plupart des produits de grande consommation) et être mise en œuvre avec une variété d'outils et de données.

L'éco-conception s'inscrit dans les approches d'ingénierie du cycle de vie en intégrant les impacts environnementaux du produit ou du service à chaque étape de ce cycle (Figure 1). À cet aspect s'associe une approche multicritère caractéristique des questions d'évaluation environnementale : elle prend en effet en compte les consommations de matière et d'énergie, les rejets dans les milieux naturels, les effets sur le climat et la biodiversité, qui doivent se combiner aux performances techniques et économiques des solutions développées.

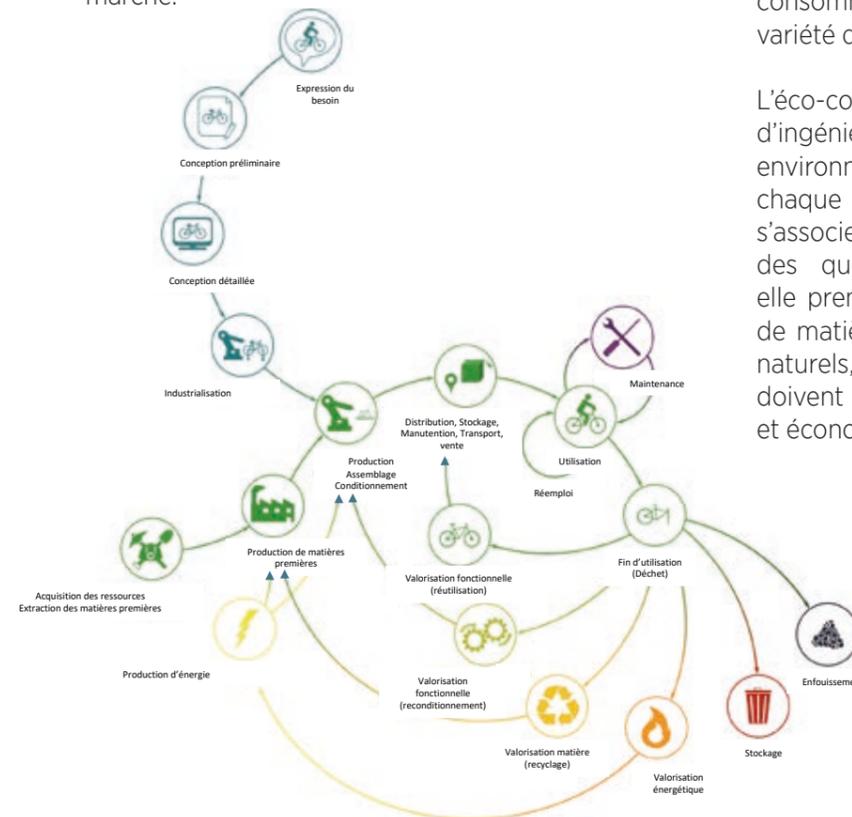


Figure 1. Représentation schématique du cycle de vie d'un produit, de sa conception à sa fin de vie, en intégrant les éventuelles « boucles » totales ou partielles. La démarche d'éco-conception doit assurer la limitation des impacts environnementaux du produit à chacune de ces étapes.

L'éco-conception : Présentation générale

Cadre

L'économie circulaire (circular economy) telle que définie par la Commission Européenne est une approche visant à conserver non seulement la valeur économique, mais aussi matérielle des produits, matériaux et ressources, tout en limitant leur consommation [1]*, [2]. La Figure 2 rappelle ses trois domaines d'action et les sept piliers associés :

- l'offre des acteurs économiques : extraction, exploitation et achats durables, éco-conception de produits et de procédés, écologie industrielle et territoriale et économie de la fonctionnalité ;
- la demande et le comportement des consommateurs : consommation responsable (achat, consommation collaborative, utilisation), allongement de la durée d'usage (réemploi, réparation, réutilisation) ;
- gestion des déchets : recyclage (matière et organique).

Ces domaines forment un cycle où chaque étape est la conséquence de la précédente.

L'ADEME (Agence de la transition écologique) encourage ainsi la démarche d'éco-conception de produits et de procédés pour améliorer l'offre des acteurs économiques. [3]

L'éco-conception est aussi promue et cadrée par la législation. Les réglementations sont en effet des leviers pour faire évoluer les produits et leurs usages, voire leur traitement en fin de vie. À titre d'exemple,

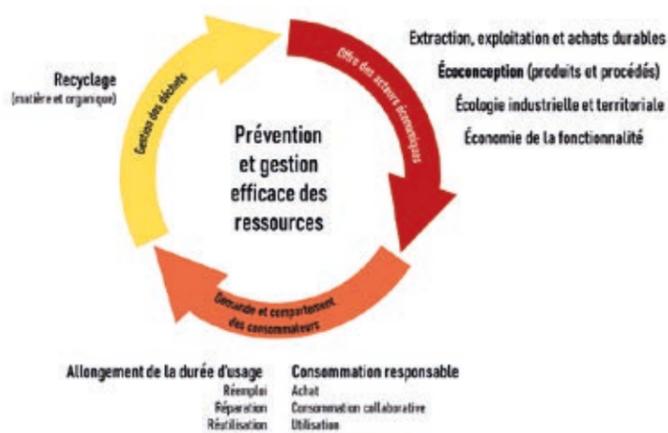


Figure 2. Les trois principaux domaines d'action de l'économie circulaire, s'appuyant sur sept piliers parmi lesquels l'éco-conception de produits et de procédés (d'après [2])

la réglementation sur l'efficacité énergétique des produits et équipements s'établit au niveau européen en application de deux directives-cadres. La première est relative à l'éco-conception des produits et permet de fixer par règlement des exigences de performances minimales pour les produits mis sur le marché, et ainsi d'interdire les produits les moins efficaces [4]. La seconde est relative à l'étiquetage énergétique des produits [5]. Des réglementations sur la responsabilité étendue des producteurs (REP) [6], ou sur les interdictions d'utilisations de substances (REACH [7] ou RoHS [8]) s'inscrivent également dans les approches d'économie circulaire.

Définition

La norme NF X30-264 définit l'éco-conception comme l'intégration systématique des aspects environnementaux tout au long du processus de conception d'un produit (c.-à-d. un bien, un service ou un système) dans l'objectif de réduire ses impacts environnementaux négatifs tout au long de son cycle de vie (Figure 1), à service rendu équivalent ou supérieur [9]. Cette approche qui vise ainsi à trouver le meilleur équilibre entre les exigences environnementales, sociales, techniques et économiques, s'inscrit naturellement dans les approches de management environnemental [10].

Mise en œuvre

L'éco-conception est guidée par un standard normatif (ISO 14062. Théorie et pratique de l'éco-conception) qui guide la mise en œuvre de la démarche [11]. Sa pratique est liée à une approche d'analyse holistique et de pensée cycle de vie, couplée à des outils de métrologie des impacts environnementaux, comme l'analyse de cycle de vie (ACV). L'évaluation environnementale dans ce cadre relève d'un standard strict (ISO 14040. Analyse du cycle de vie. Principes et cadre [12]) bien que les méthodes de calculs, les règles d'allocations ou les données élémentaires soient encore objets de questionnements scientifiques et techniques. C'est une méthode complexe qui peut être chronophage car elle modélise l'ensemble des informations liées aux systèmes étudiés (« de son berceau à sa tombe »). Cependant, cette méthode n'est pas adaptée à des études amont (autrement dit en conception ; Figure 1) faute d'informations détaillées sur le système en cours de développement, ses constituants et procédés de réalisation, sa chaîne d'approvisionnement, voire la réalité de ses usages ou de sa fin de vie. Pour autant, cette logique de cycle de vie est à reprendre pour évaluer même qualitativement les impacts en phase amont.

* voir références bibliographiques en fin d'ouvrage

Démarche

La démarche d'éco-conception se décompose en plusieurs étapes [11] :

1. L'évaluation environnementale multicritère sur le cycle de vie qui amène à définir le profil environnemental du produit (autrement dit l'ensemble des effets environnementaux d'un produit à chaque étape de son cycle de vie).
2. L'identification des principaux impacts environnementaux pour caractériser les axes pertinents d'amélioration.
3. L'identification des leviers d'action techniques et/ou organisationnels afin de (re)concevoir un produit (existant ou nouveau) à plus haute performance environnementale.
4. La mise en œuvre des solutions et une réévaluation globale pour justifier du gain environnemental effectif.

À l'issue de cette dernière étape, la démarche d'amélioration continue permet de repartir du nouveau profil environnemental pour continuer à innover et améliorer la solution, en reprenant à la première étape.

Comme déjà précisé, l'objectif est de maintenir les performances, la qualité, les fonctions, la sécurité, voire l'esthétique du produit tout en améliorant ses performances environnementales globales. Ainsi l'évaluation de la nouvelle solution est impérative pour s'affranchir des risques de transferts d'impacts lors d'un projet de reconception.

Les outils

Les outils de l'éco-conception aident non seulement à établir des évaluations environnementales, mais aussi à guider les recherches et choix de solutions. Pour mener une telle démarche, plusieurs outils peuvent être utilisés en fonction des objectifs d'analyse et de la maturité de l'utilisateur face aux approches d'évaluation environnementale. Ils sont régulièrement classés au regard d'évaluation, d'amélioration, de stratégie, de sensibilisation ou de communication, comme illustrés sur la Figure 3.

Les outils les plus utilisés sont cartographiés sur la Figure 4, selon le type d'approche (mono ou multicritère) et la nature des résultats (qualitatifs ou quantitatifs). Cette représentation permet de comparer leur intérêt dans différents cadres d'analyse.

Outils d'écoconception

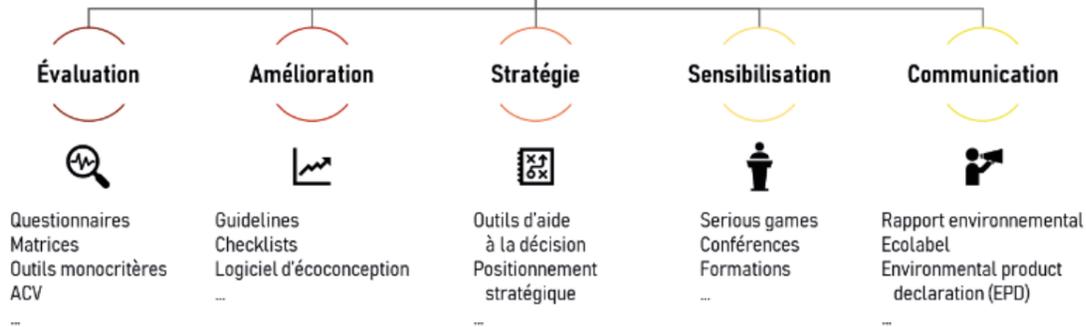


Figure 3. Classement des outils au regard des objectifs du projet d'éco-conception (liste non exhaustive)

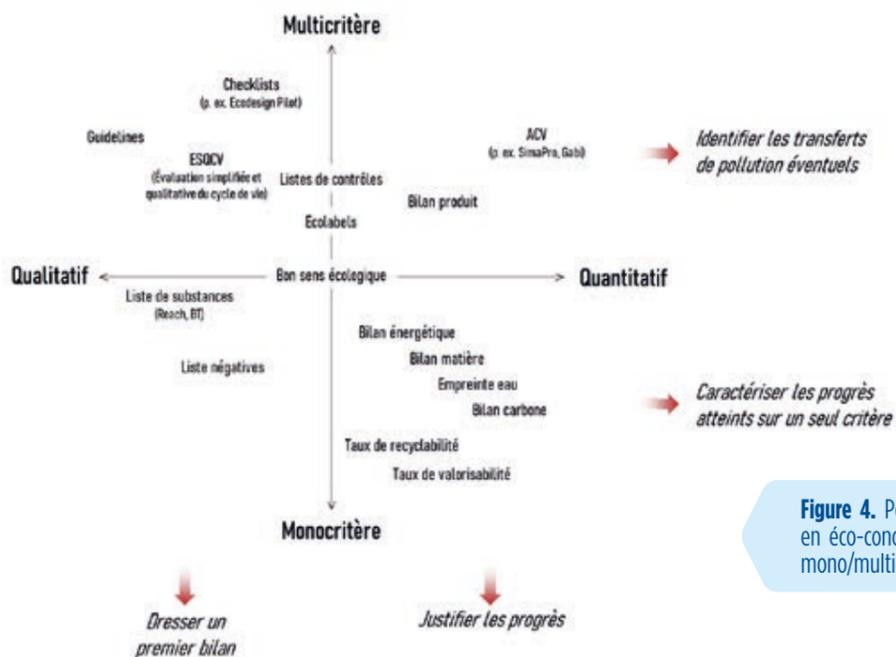


Figure 4. Positionnement des outils classiquement utilisés en éco-conception suivant les axes qualitatif/quantitatif et mono/multicritères. Intérêts comparés des approches.

L'évaluation

Voici un début d'inventaire d'outils d'évaluation que l'on peut utiliser :

- des matrices d'analyses. Par exemple, matrice MET (materials, energy, and toxicity ; Figure 5), ERPA (environmentally responsible product assessment), matrice de désassemblage ou de recyclabilité ;
- des évaluations simplifiées et qualitatives du cycle de vie (ESQCV) comme Eco Audit (Ansys CESGranta EduPack [14]) ou Solidworks sustainability [15], mais aussi EcodesignPilot (en phase d'audit [16]), etc. ;

- des modélisation et évaluations d'analyse des flux d'énergie ou des flux de matière (MFA ; STAN [17]). (Les analyses de flux sont souvent une étape préparatoire à l'ACV.) ;
- des analyses de cycle de vie (selon les normes ISO 14040 [12] et 14044 [18]). Citons par exemple l'outil de l'ADEME Base Impact [19] (version web actualisée de l'outil Bilan Produit) qui permet de réaliser facilement une ACV (les figures Figure 6.a et b illustrent un résultat d'ACV et l'étude de sensibilité associée).

Figure 5. Matrice MET (matière, énergie, toxicité)

		Matière (intrants et extrants)	Énergie (intrants et extrants)	Toxicité (extrants)
Matériaux et composants issus des fournisseurs				
	Production et autres opérations sur suite du producteur			
Utilisation	Usage			
	Maintenance			
Fin de vie	Récupération			
	Valorisation			

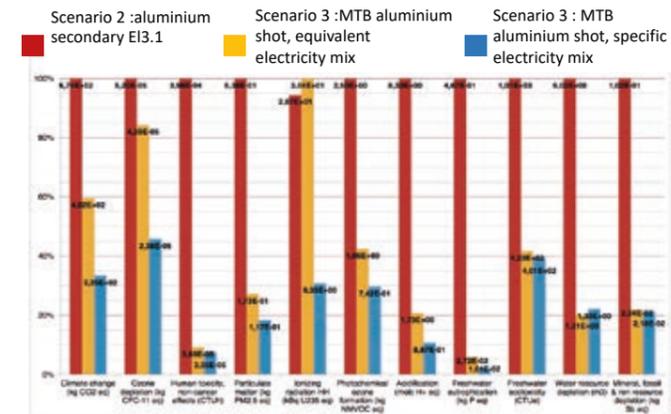
La recherche de solutions écoconçues

Pour guider la recherche et le choix de solution, les outils disponibles proposent de structurer les réflexions par différentes approches basées par exemple sur :

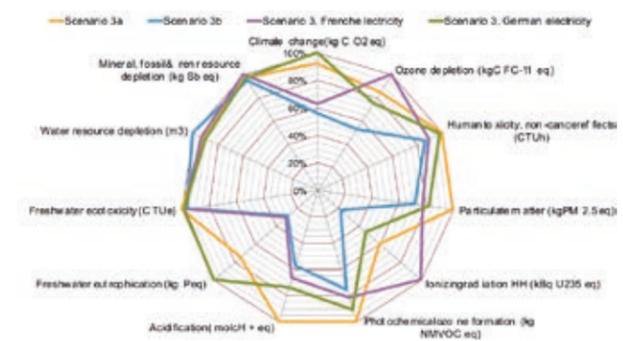
- des retours d'expériences et de bon sens, comme les lignes directrices de conception (ex. : 10 EcoDesign Golden Rules [21])
- analyses réglementaires traduites en listes de vérifications : checklists ou listes négatives ;

- le résultat de l'étape d'évaluation environnementale et du profil environnemental du système analysé :

- Roue de Brezet (ou Ecodesign wheel ou LiDS wheel [22] ; Figure 7) qui permet d'orienter des axes de recherche de solutions et de les comparer ;
- EcodesignPilot [16] : systématisé les questionnements et recherche de solution, accompagné d'une approche de notation, classement des solutions pour hiérarchiser leur mise en œuvre.



a. Comparaison de la caractérisation environnementale de deux filières de recyclage de l'aluminium selon trois scénarios [20]



b. Analyse de sensibilité sur l'influence de l'offre de mix électrique pour un scénario envisagé. [20]

Figure 6. Exemples de résultat d'analyse de cycle de vie comparant trois scénarios* pour la conception d'un procédé de recyclage de câbles [20]

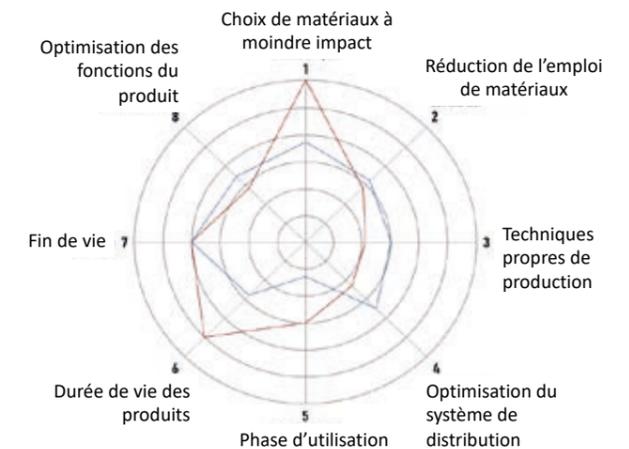


Figure 7. Positionnement de deux solutions sur la Roue de Brezet [22] et ses huit axes d'éco-innovations pour orienter les axes de recherche de solutions et de les comparer

Une exigence de rigueur

L'étape d'évaluation environnementale qui va amener à la définition du profil environnemental du système étudié (et l'identification du point chaud (hotspot) à améliorer) est cruciale, mais comporte des enjeux liés à la justification de cette étape pour avoir une analyse robuste. Il importe donc d'être particulièrement vigilant à :

- la définition du **périmètre d'analyse** de l'étude potentiellement lié :
 - aux limites des éléments et composants du système étudié ;
 - aux étapes du cycle de vie prises en compte ;
 - aux aspects spatiaux de localisations et leur dépendance aux impacts ;
 - aux aspects temporels associés à la durée des services rendus.
- la définition de l'**unité fonctionnelle** (UF). C'est la référence fonctionnelle du système étudié. Elle doit être clairement définie et quantifiée en termes d'objectifs, pour comparer les solutions écoconçues à cette UF. Elle répond aux questions : Quoi ? Combien ? Comment ? Combien de temps ? Le lien est naturel avec l'analyse fonctionnelle de système : la fonction principale étant retenue comme unité fonctionnelle, elle doit être décrite par :
 - la fonctionnalité attendue (définie par un verbe d'action pour préciser la fonction) et doit bien préciser l'élément sur quoi agit cette fonction ;
 - la durée du service rendu ;
 - la qualité ou intensité attendue (si cela est pertinent).

Nota : Ceci peut amener à identifier un coefficient d'unité fonctionnelle qui aiderait à comparer deux solutions entre elles. Par exemple dans le cas d'une batterie, si la solution A a deux fois plus de capacité que la solution B, et que le besoin fonctionnel est d'alimenter pendant X heures, il faudra deux fois plus de batterie B comparativement à la batterie A.

- la **sélection de l'approche et méthode d'évaluation** qui peut être mono ou multicritère, simplifiée ou complète au sens de l'ACV. La méthode et les indicateurs retenus doivent être justifiés au regard des objectifs d'étude, du profil environnemental et des premières analyses menées sur le système.

Nota : Les définitions du périmètre d'analyse, de l'unité fonctionnelle et de l'approche d'évaluation retenue forment un processus nécessairement itératif et interactif qui converge vers une proposition cohérente.

- **L'analyse de sensibilité des résultats** est une étape importante pour valider les résultats obtenus lors de l'évaluation environnementale. On peut alors mener des analyses de gravité, identifier les substances et/ou processus les plus contributeurs (ex. le transport), des analyses d'incertitudes avec des simulations de Monte Carlo pour assurer qu'un gain de 10% est pertinent et enfin, des analyses de sensibilité, c'est à dire faire varier une donnée afin d'identifier son influence sur les résultats finaux. Seule l'analyse de sensibilité est obligatoire, mais dans le cadre d'une analyse de cycle comparative, l'analyse d'incertitude est fortement recommandée.

Les questions à se poser

Dans le déroulement de la démarche d'éco-conception, il faut à la fois tenir compte de l'ensemble des risques et opportunités lié à la conception d'un produit sur l'ensemble de ses phases de vie, et se questionner sur la maturité vis à vis des démarches d'éco-conception, d'évaluation environnementale, de positionnement vis à vis des réglementations ou labels existants.

- Au début d'une ACV (étape qui précède la modélisation du produit dans un logiciel), il faut se demander :
- Quelles sont les raisons pour lesquelles je réalise cette ACV ? À quelles questions faut-il répondre ?

- Quel est précisément le produit étudié ? Sa fonction principale ? Ses fonctions secondaires, le cas échéant ? (Il convient alors de réaliser une analyse fonctionnelle)
- Quelles sont les étapes du cycle de vie du produit ?
- Quelle est l'unité fonctionnelle choisie ?
- Quelles sont les frontières du système ? (Bien préciser alors le système étudié et ceux exclus de l'ACV)
- Quelles sont les règles d'allocation choisies ?
- Quelles sont les exigences de qualité des données ?
- Quelles sont les hypothèses et simplifications ?
- Quels sont les publics visés ? À qui seront communiqués les résultats ?
- Comment seront cautionnés les résultats ?
- Est-ce qu'une revue critique est souhaitable ?

- Les questions au stade de l'interprétation sont ensuite :
- Quels sont les principaux contributeurs d'impact ?
 - Quelle est la sensibilité des résultats ? (Si les hypothèses changent (changement d'indicateur, changement des frontières du système), est-ce que le résultat varie ?)
 - Les systèmes modélisés sont-ils complets (ex. : sur l'ensemble du cycle de vie) ?
 - Sont-ils cohérents (ex. : entre produits comparés) ?

Dimensions complémentaires

Pour assurer la qualité de l'éco-conception en évitant le biais du greenwashing, il importe d'être rigoureux en documentant et en justifiant la démarche. L'approche aborde en effet des composantes commerciales, d'innovation, de réglementation

et de communication. Il est nécessaire de toutes les prendre en compte pour bien appréhender le projet et apporter des solutions pertinentes. Ces dimensions doivent être évaluées en début d'étude pour pointer les réglementations nécessaires. Ce sont par exemple des réglementations ciblées matériaux et substances (REACH [7], [23] ou RoHS [8], [24]), les produits consommateurs d'énergie (ErP [4], [25] et anciennement EuP [26]) ou les exigences liées aux typologies de produits liés aux filières REP (responsabilité étendue du producteur) [6] comme les batteries, véhicules hors d'usage ou produits électroniques et électroménagers. Il faut noter que ces réglementations sont évolutives dans leurs périmètres et dans leurs cibles de performance, il faut donc assurer une veille sur les réglementations actives et celles à venir (Figure 8).

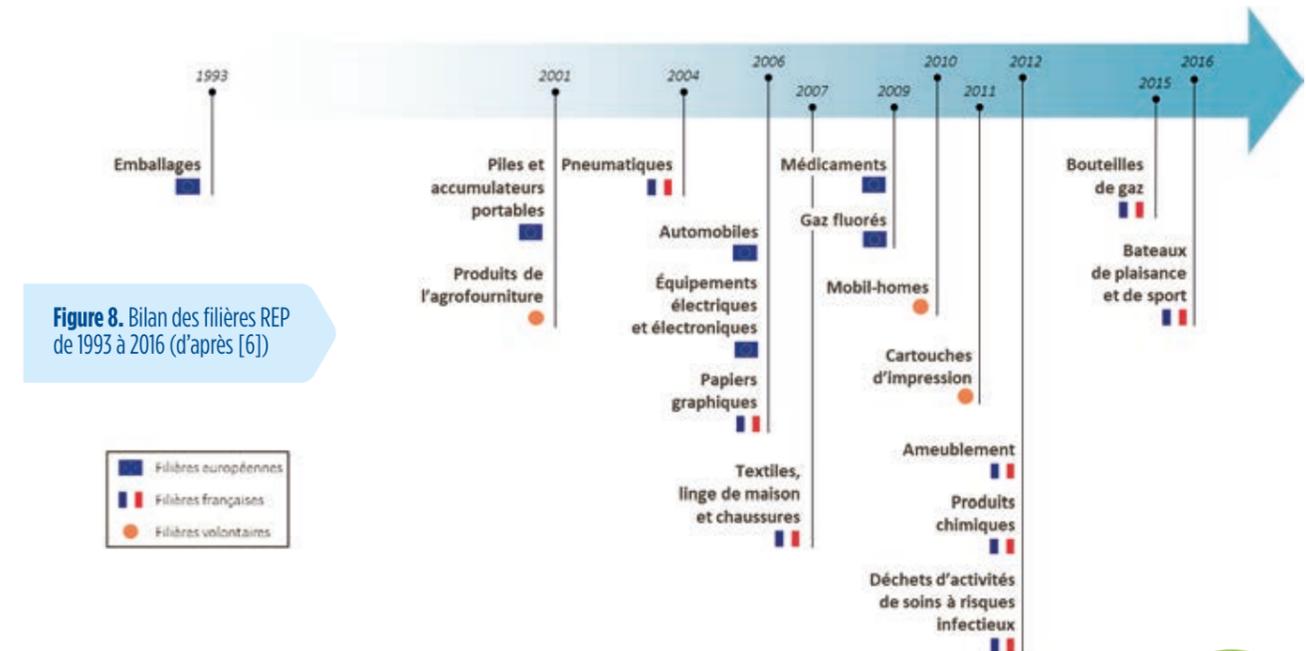
La loi AGECE (loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire [27]) vise à transformer notre économie linéaire (produire, consommer, jeter) en une économie circulaire. Cette loi va imposer des objectifs qui ne seront atteignables qu'en repensant les solutions produits et services rendus avec une démarche de circularité et des approches d'éco-conception. Elle se décline en cinq grands axes :

- sortir du plastique jetable ;
- mieux informer les consommateurs ;
- lutter contre le gaspillage et pour le réemploi solidaire ;
- agir contre l'obsolescence programmée ;
- mieux produire.



Exemples d'unités fonctionnelles de quelques produits courants

- > **Sac de caisse** Emballer 9 000 l (soit le volume de courses d'un européen moyen par an) ;
- > **Peinture au sol pour marquage routier** Couvrir 1 m² de route avec un facteur de luminance supérieur à 0,7 pour une durée de vie 5 ans ;
- > **Comparaison de stylos à bille et à plume** Écrire sur une distance de 50 km (Comparaison de 15 stylos à bille et un stylo à plume et ses 70 cartouches d'encre en phase d'utilisation).



Ainsi, l'affichage environnemental des produits et services est une démarche qui permet aux consommateurs d'obtenir une information sur les impacts environnementaux des produits et services proposés. La durée de vie des produits maîtrisée va impliquer :

- pour les fabricants d'une part, de concevoir des produits ayant le moins d'impact possible sur l'environnement par des démarches d'éco-conception, en les rendant plus robustes, plus facilement réparables, plus adaptables aux évolutions technologiques et plus faciles à entretenir; ainsi qu'en favorisant, lors de leur fabrication, l'utilisation de matières recyclées, etc. ;
- pour les consommateurs d'autre part, d'entretenir ses produits, de respecter leurs conditions normales d'utilisation, de les réparer ou les faire réparer en cas de panne, et/ou de leur donner une seconde vie en les donnant ou les revendant (Figure 1).

Ainsi l'indice de réparabilité est dorénavant obligatoire sur les EEE (équipements électriques et électroniques, dont électro-ménager et matériel de bricolage) et accolé à l'affichage environnemental des produits et des services (Figure 9). La stratégie est d'étendre cet indice au-delà des EEE, avec un indice de durabilité qui devrait être obligatoire en 2025.



(a) L'affichage environnemental des produits et des services (hors alimentaire [28] ou alimentaire [29])



(b) Indices de réparabilité [30]–[32]

Figure 9. Exemples de logos d'affichage environnemental

Sur le plan économique

Les premiers pas sont faciles et peu coûteux à mettre en œuvre. Les options de réductions environnementales et économiques coïncident en outre souvent : diminution de la masse et de la matière, réduction de l'énergie consommée, amélioration de la chaîne logistique (ex. optimisation du taux de remplissage des camions, meilleure gestion de la chaîne du froid, etc.), réduction des déchets à traiter ou valoriser, etc.

Sur le plan technologique

La veille réglementaire (notamment l'anticipation des restrictions sur les substances) rend le concepteur proactif vis à vis de la recherche de solutions de substitution et du développement de nouveaux matériaux (ex. recyclés, biosourcés) ou de nouvelles technologies (ex. moins énergivores, de maintenance plus facile, plus facile à démanteler, etc.).

La recherche de la réduction d'impacts environnementaux en phase de fabrication peut par exemple, conduire à la mutualisation de chaînes de production, à l'utilisation de broyats ou de produits recyclés, apportant ainsi des gains de productivité.

Sur le plan de la transformation de l'entreprise

L'éco-conception demande la participation de nombreux métiers au sein de l'entreprise : conception, marketing, achats, production, qualité, responsable du développement durable. Il s'inscrit comme une démarche d'entreprise impliquant toutes les acteurs depuis les réflexions stratégiques aux solutions et implication opérationnelles.

Le caractère motivant de l'éco-conception renforce la synergie entre les équipes au sein de l'entreprise et répond aux attentes et valeurs de nombreux acteurs de l'entreprise. Une collaboration étroite avec les clients, les fournisseurs et les prestataires permet de recenser les attentes, les tendances et les techniques disponibles.

Sur le plan environnemental et sociétal

L'éco-conception apporte des gains environnementaux qui peuvent concerner la préservation des ressources et de la biodiversité, la prévention des pollutions et des nuisances, l'équilibre du climat, la destination des sols.

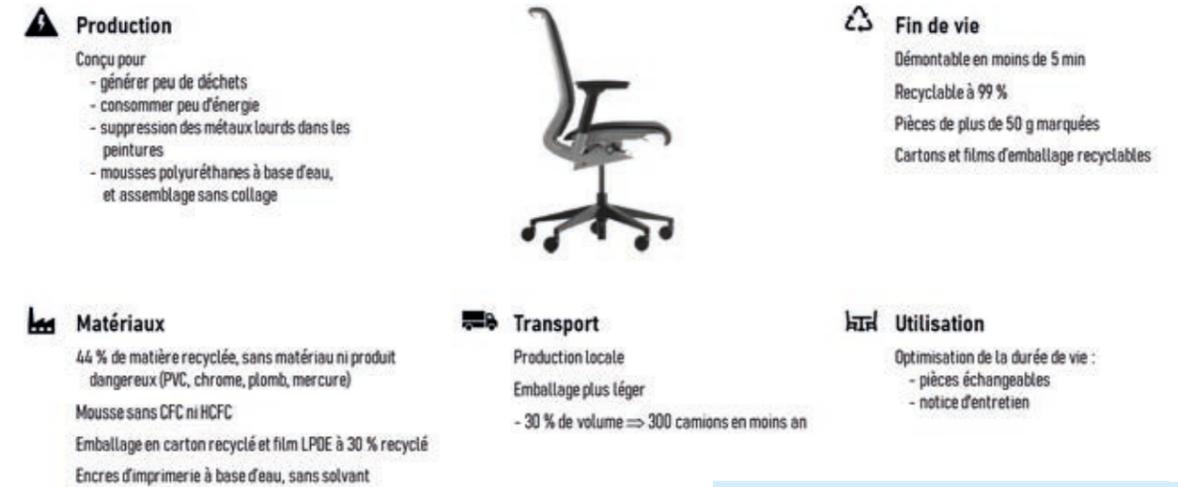


Figure 10. Exemple des points d'améliorations proposés par Steelcase® lors de la reconception d'un fauteuil de bureau [33]

L'éco-conception par l'exemple : Le cas Steelcase®

La société Steelcase® développe des solutions de mobilier pour bureau en approche B to B. [33]

Un travail de reconception d'une chaise de bureau a été mené avec une analyse de cycle de vie (Figure 10). Comme précédemment rappelé, c'est une approche globale intégrant des indicateurs multiples et l'ensemble du réseau d'acteurs de la chaîne de valeur des produits, dans une vision de capitalisation assurant de reproduire la démarche sur les produits en développement. Une analyse fine de la fin de vie (recyclage ou réusage des composants ou matériaux) a été conduite :

- une conception modulaire pour récupérer et réutiliser une partie des armatures métalliques en fin de vie ;
- un assemblage final délocalisé sur site pour réduire l'encombrement du produit emballé en sortie d'usine et donc la consommation d'emballage et le nombre de camions pour transporter ces produits ;
- la recherche de matériaux alternatifs moins impactant (mousse, emballage, encres, etc.) ;
- la révision des gammes et procédés de fabrication pour réduire les consommations d'énergies, les déchets et ne plus utiliser des colles ou peintures incluant des matériaux toxiques.

Synthèse

L'éco-conception est un levier d'innovation et de création de valeur qui offre un triple bénéfice :

- en augmentant la valeur de sa société (résultats, image) ;
- en répondant aux nouvelles attentes et en proposant des produits innovants ;
- en intégrant la notion de responsabilité sociétale de l'entreprise.

Le travail d'analyse intégrant en même temps clients et fournisseurs est générateur de sources d'innovations au service de l'économie circulaire, et porteur de nouveaux modes de collaborations et de partenariats.

L'éco-conception s'inscrit dans des démarches de réduction des consommations de matériaux et d'énergie dans la phase d'utilisation, mais aussi plus globalement dans les étapes de fabrication, dans la chaîne d'approvisionnement ou en fin de vie. Elle assure en conséquence des gains économiques directs. Elle peut donc conduire à des propositions de services ou de systèmes produits services qui modifient les organisations, les parties prenantes et les chaînes de valeurs.

L'éco-conception ouvre une voie prometteuse. Elle s'affirme comme le levier essentiel qui assurera de réduire les impacts environnementaux de tout produit ou service.

4. GOBI, UNE PME ENGAGÉE DANS L'ÉCO-CONCEPTION

Echange avec Marie Chaudy, Directrice du développement, Gobilab

Description de l'entreprise

Gobi est née en 2010, époque lointaine où les gourdes n'étaient pas à la mode ! Créée pour supprimer le jetable dans les bureaux, Gobi est devenue la première marque de l'éco-design made in France. Elle propose désormais une gamme de gourdes et de couverts.

Gobi équipe aujourd'hui plus de 10 000 organisations qu'elle accompagne au quotidien dans leur transition écologique à travers des produits personnalisables, éco-conçus et 100% fabriqués en France.

Tous ses produits sont assemblés dans un ESAT (Etablissement et Service d'Aide par le Travail) et un Ateliers Sans Frontières par des personnes en situation de handicap ou d'exclusion sociale. En tout, ce sont plus de 70 emplois locaux créés, donc 35 emplois inclusifs. L'entreprise est aussi membre du 1% pour la planète et reverse 1% de son chiffre d'affaires à des associations environnementales.

La mission de Gobi est de démontrer qu'une entreprise peut être écologiquement et socialement engagée, tout en étant économiquement viable et d'apporter une écologie joyeuse dans le quotidien à travers des produits pop et colorés.

Description de la mise en place de l'éco-conception

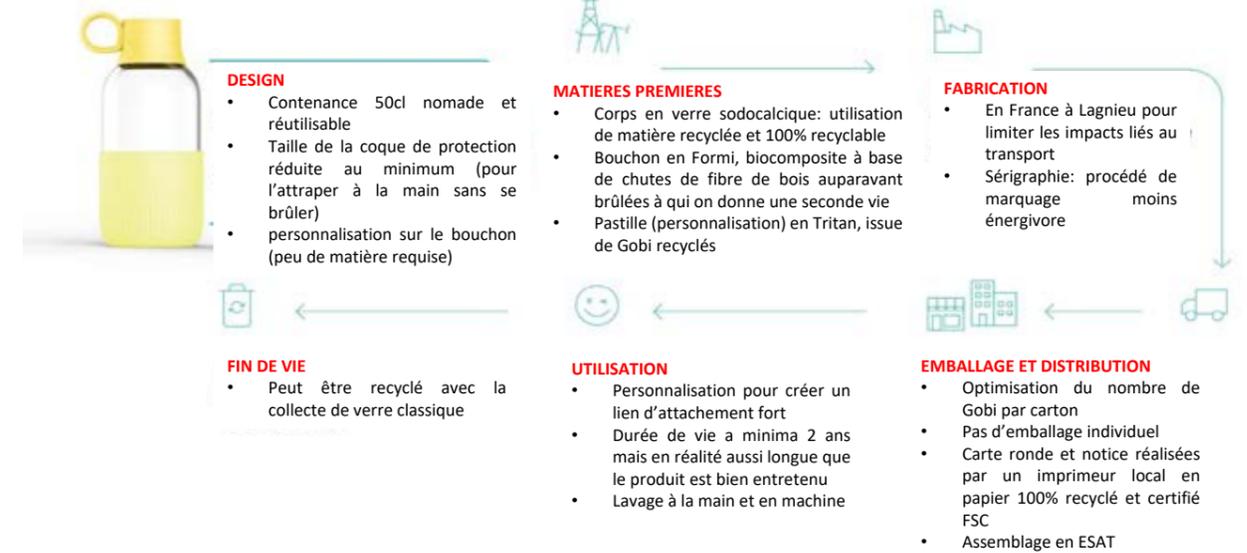
Dès sa création en 2010, Gobi a voulu réinventer les codes, casser les idées reçues et créer des produits nouveaux, uniques, pensés pour l'utilisateur : bons pour notre quotidien mais aussi respectueux pour la planète. L'entreprise a donc fait le choix de l'éco-conception préventive, pensant l'impact environnemental de ses produits avant même de les produire, pour le réduire au minimum.

Pour constater l'amélioration environnementale réalisée par l'éco-conception, il est nécessaire de mesurer une situation de référence, c'est-à-dire l'impact environnemental du système que vise à remplacer l'innovation. Pour Gobi, cette référence a été définie en prenant en compte la consommation moyenne d'eau hors foyer et hors repas. Les impacts environnementaux ont ensuite été évalués. En confrontant ces résultats à ceux du Gobi, les concepteurs ont été en mesure, dès l'amont du projet, d'en déduire ses points forts mais également ses faiblesses. Cette méthode a permis d'arbitrer les choix de conception à toutes les étapes du développement et d'encadrer la démarche d'éco-conception pour que le Gobi soit une solution profitable pour l'environnement.

Objectifs et enjeux de la mise en place de l'éco-conception dans l'entreprise

L'éco-conception est une démarche impliquant de nombreuses compétences : analyse du cycle de vie sur 15 impacts environnementaux, étude de marché sur la référence, design du produit, ingénierie... Il était donc important pour Gobi de se faire accompagner dès le départ par une structure qui possède le panel de ces profils : la coopérative Mu, agence spécialisée dans l'éco-conception a été choisie.

Les décisions



Gobi s'est fixé comme objectif d'avoir un impact tangible à travers ses produits : l'éco-conception fait donc partie de son ADN. L'entreprise se forme beaucoup en interne sur le sujet.

Un effort particulier est ensuite consacré à expliquer la démarche aux clients et aux utilisateurs par le biais de kits de communication. Ces derniers sont destinés à expliquer l'impact concret des gourdes et couverts, l'objectif étant de partager les valeurs véhiculées par l'entreprise. Gobi porte également un rôle pédagogique, faire prendre conscience au grand public les enjeux de la démarche écologique et sociale.

Les résultats obtenus

Grâce à sa méthode d'éco-conception, Gobi est capable d'assurer qu'en 1 an d'utilisation, une gourde Gobi permet d'éviter au utilisateur jusqu'à 3 kg de déchets et 7,7 kg de CO₂.

L'impact de fabrication du Gobi Original est aussi compensé en 5 mois d'utilisation, tandis que ses deux nouveaux modèles sont compensés en seulement 2 mois (pour le Street) et 3 mois (pour le Gobi Indoor, en verre).



Gobi.

Les perspectives

Gobi est en train d'élargir sa gamme en réfléchissant par exemple, à une lunch box et à une gourde 1L. Chaque démarche d'éco-conception permet d'être certain de faire les bons choix et de tout mesurer. Pour l'entreprise, cette méthode de fabrication devrait être la norme : tout produit mérite d'être pensé pour ses utilisateurs, en prenant en compte les besoins de la planète.

Gobi a également lancé en 2022 le Lab Gobi, un terrain d'exploration de l'éco-design. Ce site internet a été créé pour inventer des produits et des solutions qui répondent à des besoins validés par les utilisateurs, en visant le plus petit impact écologique et la plus grande justice sociale (www.gobilab.com/pages/co-creation).

POUR ALLER PLUS LOIN |

- [blog.gobi.eco/bye-bye-jetable-bonjour-gobi/Histoire de Gobi](http://blog.gobi.eco/bye-bye-jetable-bonjour-gobi/Histoire-de-Gobi)
- [blog.gobi.eco/pourquoi-creer-des-produits-en-eco-conception/ Pourquoi nous avons créé des produits en éco-conception préventive ?](http://blog.gobi.eco/pourquoi-creer-des-produits-en-eco-conception/)
- www.gobilab.com/pages/impact Impact de nos gourdes
- blog.gobi.eco/wp-content/uploads/2020/10/Synthese-deco-conception_GOBI-1-1.pdf Synthèse d'éco-conception transmise aux clients



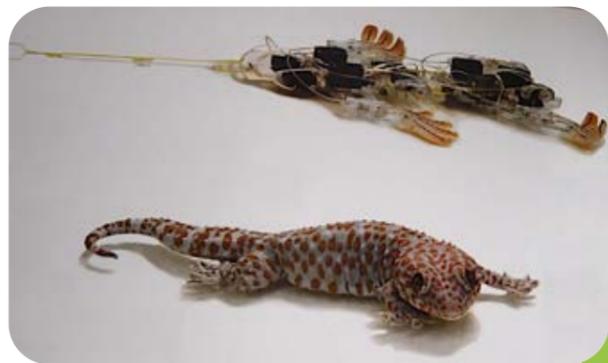
5. L'INNOVATION PAR LE BIOMIMÉTISME

Olivier Allard, Responsable unité pédagogique, CESI École d'Ingénieurs

Le biomimétisme, un état d'esprit

Le biomimétisme est un paradigme bien connu du domaine de l'innovation qui a un impact significatif sur la science, la société, l'économie et les défis de la durabilité. C'est un processus de conception, d'innovation et d'ingénierie mais il est avant tout un état d'esprit, une philosophie qui cherche à rendre le développement sociétal et économique humain compatible avec la biosphère en s'inspirant des principes de fonctionnement et de développement du vivant.

Le résultat de 3,8 milliards d'années d'évolution de la vie sur terre passé au tamis fin de la sélection naturelle offre un gisement quasiment infini de modèles éprouvés et de solutions biologiques pour la conception technique. Une des justifications de l'emploi du biomimétisme réside dans le fait que les mêmes lois physiques s'appliquent en biologie et en technologie et que les systèmes vivants sont soumis aux mêmes contraintes énergétiques, d'approvisionnement en ressources, de communication, d'habitats, etc. Les solutions trouvées par le vivant sont très souvent efficaces et originales et, par définition, écologiques.



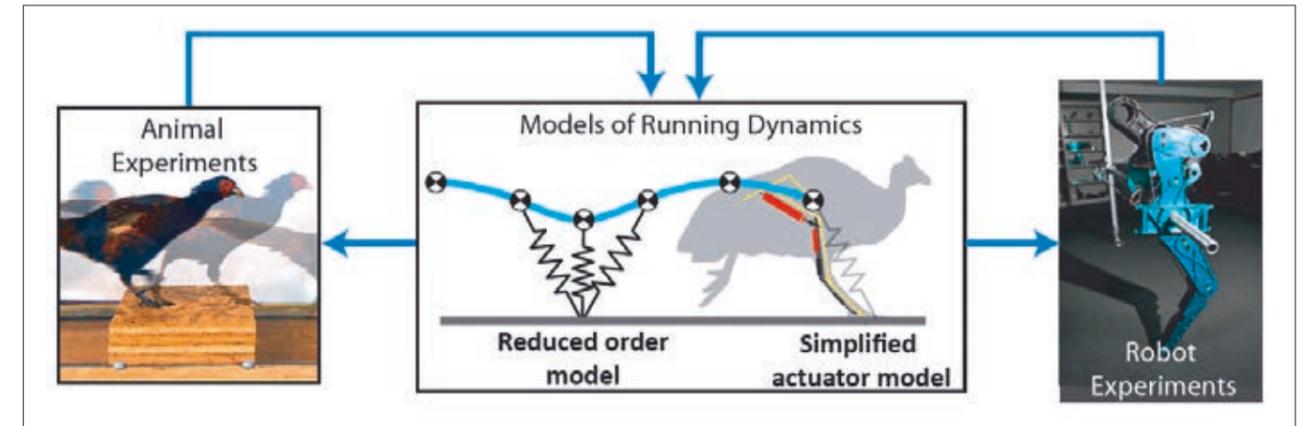
A l'Université de Carnegie-Mellon à Pittsburgh, une équipe a développé un robot-gecko dont les pattes sont recouvertes de fibres élastomères qui reproduisent la fameuse force de Van der Waals sur le robot.

Une finalité écologique

S'inspirer de la nature n'est pourtant pas nouveau, l'histoire des sciences et techniques fournit nombre d'inventions basées sur l'imitation plus ou moins fidèle d'espèces vivantes ou de systèmes biologiques. Léonard de Vinci en son temps écrivait déjà dans l'un de ces codex « va prendre tes leçons dans la nature, c'est là qu'est notre futur ». La publication du livre Biomimicry-Innovation Inspired by Nature par J. Benyus en 1998, qui pose des bases claires à cette approche transversale technico-scientifique, a suscité l'intérêt mondial du public et attiré des praticiens du design, des chercheurs universitaires et des éducateurs issus d'un large éventail de domaines. En 2015, la norme ISO 18458 fournit un cadre pour la terminologie à des fins scientifiques, industrielles et éducatives. Elle délivre la définition suivante du biomimétisme : « Philosophie et approches conceptuelles interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable (social, environnemental et économique) ». Le biomimétisme est donc un sous-domaine de la bio-inspiration en ce sens qu'il poursuit une finalité écologique.

Il est d'usage de classer les types d'inspiration du vivant en trois catégories :

- S'inspirer des formes, des structures et des fonctions biologiques ;
- S'inspirer des processus biologiques ;
- S'inspirer des stratégies, des comportements et des écosystèmes biologiques.



Des chercheurs de l'Oregon State University étudient les gallinacés pour en savoir plus sur les mécanismes de course et saut dans le but de développer des robots capables de courir facilement sur des terrains accidentés.

Innover avec le biomimétisme

Le biomimétisme en tant que démarche d'innovation est transversal par nature et d'intérêt pour presque tous les secteurs d'activités industriels. On peut citer quelques succès marquants du biomimétisme :

- les hydroliennes inspirées du mouvement ondulant des anguilles de la start-up EEL Energy ;
- la structure de la tour Taipei 101 à Taiwan inspirée de la forme tubulaire du bambou ;
- le renforcement et l'allègement de la gamme de valises Samsonite obtenus en s'inspirant de la structure ondulée des coquilles Saint-Jacques ;
- les robots automates rampant sur la coque de futurs engins spatiaux développés par l'ESA (European Space Agency) qui imitent l'adhérence des pieds des lézards geckos et pouvant fonctionner dans l'espace aussi bien que sur Terre ;
- la chaux qui compose le ciment, de l'entreprise Calera, fabriquée par captation du CO₂ en s'inspirant des processus chimiques au sein des coraux alors que l'industrie cimentière est traditionnellement très émettrice de CO₂.

Le biomimétisme offre donc des opportunités formidables d'innovation dans les domaines des matériaux, de l'information, de la robotique, de l'énergie, de la gestion de l'eau, de la chimie verte, de la ville durable et résiliente, de l'agroécologie etc. mais également pour l'économie, la structure des organisations, le management pour n'en citer que quelques-uns.



L'avant du train Shinkansen au Japon bio-inspiré du bec du martin pêcheur qui a permis la suppression des bang sonores à la sortie des tunnels et une économie d'énergie de 15%

La biomimétique

Les nombreux succès rencontrés par cette approche ont poussé à faire évoluer le biomimétisme en une discipline plus formalisée en la dotant d'outils méthodologiques pour un transfert efficace des connaissances entre les disciplines, principalement entre la biologie et la technologie. Ces méthodologies sont regroupées sous le terme : biomimétique (Norme ISO 18458). Elles ont pour but de faciliter la coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation afin de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, de leur abstraction en modèles ainsi que le transfert et l'application de ces modèles à la solution recherchée. Les processus biomimétiques suivent deux types d'approches. Soit ils sont initiés par une connaissance ou une découverte biologique, l'approche est dite « biology push », soit ils sont utilisés comme processus de résolution de problèmes et l'approche est dite « technology pull ». En raison des applications industrielles potentielles plus importantes, la deuxième approche est davantage structurée, développée et employée mais la première approche reste plus intuitive et directe.

La résolution de problème au sein de la biomimétique propose le processus itératif suivant :

Étape 1 - Analyse du problème

Étape 2 - Abstraction du problème technique

Étape 3 - Transposition à la biologie

Étape 4 - Identification des modèles biologiques potentiels

Étape 5 - Sélection du/des modèle(s) pertinent(s)

Étape 6 - Abstraction des stratégies biologiques

Étape 7 - Transposition à la technologie

Étape 8 - Implémentation et test dans le contexte initial

Le biomimétisme à travers la biomimétique a le potentiel de satisfaire au besoin d'innover des entreprises, de sortir des silos, de trouver des ruptures scientifiques et technologiques. La biomimétique intervient en complément des méthodes classiques d'idéation et de créativité.

A travers le monde, en particulier en Allemagne, au Japon, en Chine et aux Etats-Unis, la recherche et l'innovation biomimétique est très organisée et financée par des grands groupes et les états. En France, la filière biomimétisme commence seulement à se structurer. Les acteurs se regroupent, de grandes entreprises investissent, des startups émergent, et un organisme, le CEEBIOS (Centre d'études et d'expertises dédié au déploiement du biomimétisme en France), fédère l'ensemble des acteurs pour développer la filière. La Biomim'expo, événement unique au monde, qui a vu le jour en 2015, rassemble chaque année en France des experts, des entreprises et des acteurs scientifiques dans tous les secteurs d'activités du biomimétisme. Cependant, les industriels sont en attente croissante de compétences dans ce domaine. La formation autour de cette thématique repose aujourd'hui sur des initiatives isolées et, contrairement à nos voisins européens, la France dispose de peu de cursus diplômants. Ce besoin sera certainement comblé avec la pression grandissante des entreprises et l'engouement fort des étudiants.



4

VERS UNE INDUSTRIE DÉCARBONÉE