

LES OUTILS DE L'INDUSTRIE 4.0 AU SERVICE DE L'ÉCO- CONCEPTION

Clément Duquet



Comment utiliser ce livre pour répondre à une problématique de projet ?

La dimension environnementale s'impose comme un enjeu central dans les projets de conception de produits ou de systèmes car il est clair que ces derniers ont un impact non négligeable sur l'environnement qu'il convient de réduire.

Thomas Edison a évoqué l'idée suivante : « Le génie c'est 1% d'inspiration et 99% de transpiration ». Ce livre est là non seulement pour vous aider dans vos tâches en vous simplifiant le travail avec des méthodes claires mais également pour vous donner des idées de réponse à vos problématiques. Ainsi avec ce livre, nous pouvons modifier cette citation : le génie c'est 0,5% d'inspiration, 45,5% de transpiration et pour le reste l'ouvrage s'en charge.

Dans un premier temps, il est important d'être toujours organisé dans votre façon de travailler. Ainsi vous pouvez appliquer la méthode *design thinking* qui convient dans la globalité des cas.

Le *design thinking* est une méthode centrée sur l'utilisateur. Elle a pour but d'aider à résoudre les problèmes complexes et se compose de 5 étapes principales :

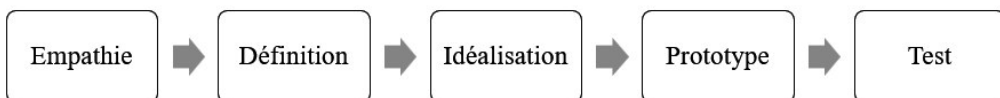


Figure 1 : 5 étapes du design thinking

Le détail de ces étapes est le suivant :

- 1^{ère} étape, l'empathie : Cette étape consiste à se plonger dans l'univers des utilisateurs pour comprendre leurs besoins. Cela implique de mener des entretiens et des discussions pour découvrir leurs attentes, et observer leur environnement pour comprendre comment ils interagissent avec les produits ou services. Cette phase peut inclure une immersion totale, où les concepteurs adoptent le point de vue des utilisateurs pour ressentir leurs problèmes de manière directe. On peut ici retenir la citation de Tim Brown, l'inventeur de cette méthode : « Pour moi en tant que designer, l'empathie n'est pas la fin mais le moyen. Je ne veux pas concevoir des choses juste pour moi. Je veux concevoir des choses pour des personnes différentes de moi. »
- 2^{ème} étape, la définition : Définir la problématique est la clé de tout projet. Cette étape implique de synthétiser les données recueillies lors de la phase précédente pour identifier les principaux besoins des utilisateurs. Il est donc crucial de définir une problématique claire en s'appuyant sur des insights pertinents. Des outils comme l'analyse SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) peuvent ici être utilisés.
- 3^{ème} étape, l'idéation : L'étape d'idéation est consacrée à la génération de nombreuses idées pour résoudre le problème défini. Beaucoup d'outils de créativité peuvent être utilisés comme : le brainstorming, les workshops, le crazy 8, les chapeaux de bono ou encore la méthode TRIZ expliqué dans le chapitre 10. *Le biomimétisme*. Le but est de sortir des sentiers battus et de produire un large éventail de solutions potentielles, sans se limiter par des considérations pratiques immédiates. À la fin de cette séance d'idéation créative, une seule idée doit idéalement émerger.
- 4^{ème} étape, le prototypage : Le prototypage consiste à concrétiser les idées en réalisant des versions qui peuvent être simplifiées ou partielles. Cela peut inclure la création de modélisations physiques, numériques ou analytiques pour visualiser et tester les concepts développés.
- 5^{ème} étape, le test : La dernière étape consiste à tester les prototypes avec les utilisateurs finaux pour recueillir des retours concrets. Les observations et les suggestions des utilisateurs sont ensuite utilisées pour affiner et améliorer le prototype. Ce processus itératif peut être répété autant de fois que nécessaire pour parvenir à une solution optimale, en mettant l'accent sur l'amélioration continue.

Les méthodes détaillées dans cet ouvrage sont là pour vous aider dans les étapes 3 à 5 du design thinking.

Vous trouverez dans les chapitres 2 à 4 le détail des méthodes à appliquer pour faire de l'éco-conception. Ces méthodes doivent être maîtrisées. Dans les chapitres suivants, vous trouverez les méthodes innovantes les plus pertinentes à suivre pour effectuer des conceptions durables et qui vous permettront de réduire l'impact environnemental de vos produits. Vous devez connaître les grands principes de chacune de ces méthodes pour savoir laquelle peut vous être utile dans le cas de votre projet. Ainsi, il n'est pas nécessaire de les maîtriser toutes parfaitement car vous pourrez vous référer au chapitre en question en cas de besoin. Par conséquent, une lecture attentive des chapitres 2 à 4 est fortement recommandé, suivi d'une lecture rapide des chapitres suivants pour que vous puissiez, lors de vos projets, vous référer au chapitre qui vous intéresse et suivre la méthode décrite.

Il faut néanmoins garder en tête qu'un projet éco-conçu ne se limite pas à un projet qui a été réalisé en appliquant à la lettre chacune des méthodes développées ici. Pour faire de l'éco-conception, il faut avant tout se mettre dans l'état d'esprit qui y correspond. C'est pourquoi de nombreux exemples illustratifs sont proposés dans chaque chapitre, afin de vous inspirer et de vous orienter vers cet état d'esprit.

Pourquoi faire de l'éco-conception ?

L'éco-conception (ou conception pour l'environnement) est défini par l'Afnor comme l'intégration systématique des aspects environnementaux dès la conception et le développement de produits (biens et services, systèmes) avec pour objectif la **réduction des impacts environnementaux négatifs** tout au long de leur cycle de vie à service rendu **équivalent ou supérieur**. Cette approche dès l'amont d'un processus de conception vise à trouver le meilleur équilibre entre les exigences environnementales, sociales, techniques et économiques dans la conception et le développement de produits. On peut alors se demander pourquoi est-ce si important de réduire cet impact environnemental ?

Vous trouverez dans la partie suivante quelques constatations pour vous convaincre de l'importance de l'éco-conception.

2.1. Constatations environnementales et l'éco-conception comme levier

Le GIEC (groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a pour objectif d'évaluer de manière objective, transparente et sans parti pris les informations scientifiques, techniques et socio-économiques pertinentes pour comprendre le changement climatique, ses impacts potentiels et les options d'adaptation et d'atténuation. Ces évaluations sont basées sur des publications scientifiques et techniques. Dans le dernier rapport du GIEC, on peut retrouver l'évolution de la température moyenne à la surface du globe relative à la période 1995-2014 telle que représentée dans la figure suivante :

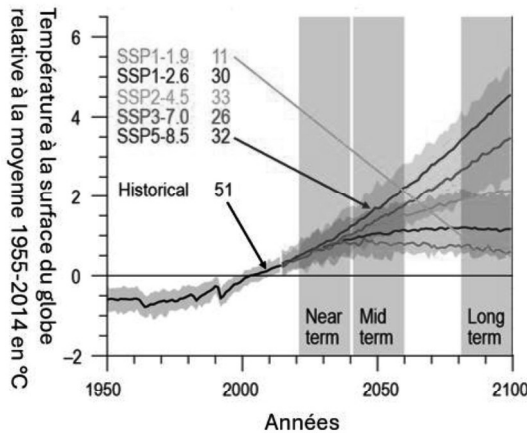


Figure 3 : évolution de la température d'après le GIEC

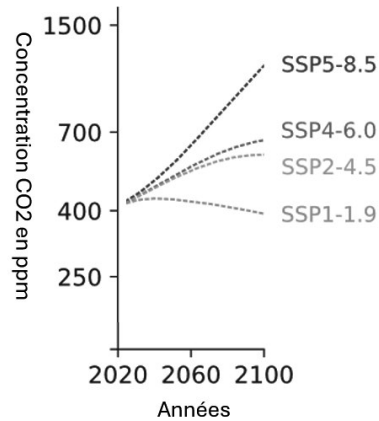


Figure 2 : estimation de l'évolution de la concentration de CO2 d'après le GIEC

Dans cette figure, on peut voir l'augmentation de la température depuis les dernières décennies, soit plus de 2°C sur les 30 dernières années. On peut également voir les estimations d'évolutions de températures pour les prochaines années. Ces estimations sont déduites de l'évolution de la concentration de CO2 dans l'atmosphère pour lesquelles on peut définir différents scénarios (figure de droite). On peut voir que dans le meilleur des cas (où on stoppe l'augmentation de la concentration de CO2 dès maintenant), la température va continuer à augmenter durant les 30 prochaines années avant de redescendre légèrement. Dans le pire des cas (on ne fait rien et la concentration de CO2 augmente toujours de la même façon), la température moyenne sera 5°C de plus dans 100 ans. 5°C, c'est aussi la différence de température entre la période glaciaire et la température actuelle. On estime aussi qu'il a fallu 100 000 ans pour voir cette augmentation de température. Il paraît donc évident qu'avec +5°C dans 100 ans, une grande partie du globe deviendra inhabitable et que sur le reste, la végétation n'aura pas eu le temps de s'adapter à cette augmentation brutale.

Face à cette constatation, il est clair qu'il faut trouver le moyen d'agir sur nos émissions de CO2. Pour cela, nous pouvons nous référer à l'équation de Kaya :

$$CO_2 = \frac{CO_2}{E} \cdot \frac{E}{PIB} \cdot \frac{PIB}{POP} \cdot POP$$

Cette équation simple en apparence illustre que nos émissions de CO₂ dépendent de 4 coefficients distincts. Ainsi pour réduire le CO₂, il faut réduire un ou plusieurs des coefficients. En tant que concepteur, vous ne jouerez pas sur la production par habitant ($\frac{PIB}{POP}$) ni sur la population mondiale (POP). En revanche, vous pourrez jouer sur les 2 autres termes :

- Vous pouvez réduire le ratio $\frac{E}{PIB}$ en améliorant l'efficacité énergétique de vos produits.
- Vous pouvez réduire le ratio $\frac{CO_2}{E}$ en concevant des produits qui n'utilisent que de l'énergie décarbonée.

L'augmentation de la température n'est pas le seul impact que nous avons sur l'environnement. On peut également évoquer notre consommation des ressources naturelles. L'ONG américaine Global Footprint Network calcule chaque année le jour à partir duquel l'humanité a consommé l'ensemble des ressources naturelles que la planète est capable de produire en un an. Ce jour, qui est appelé le *global overshoot day*, est représenté dans la figure suivante :

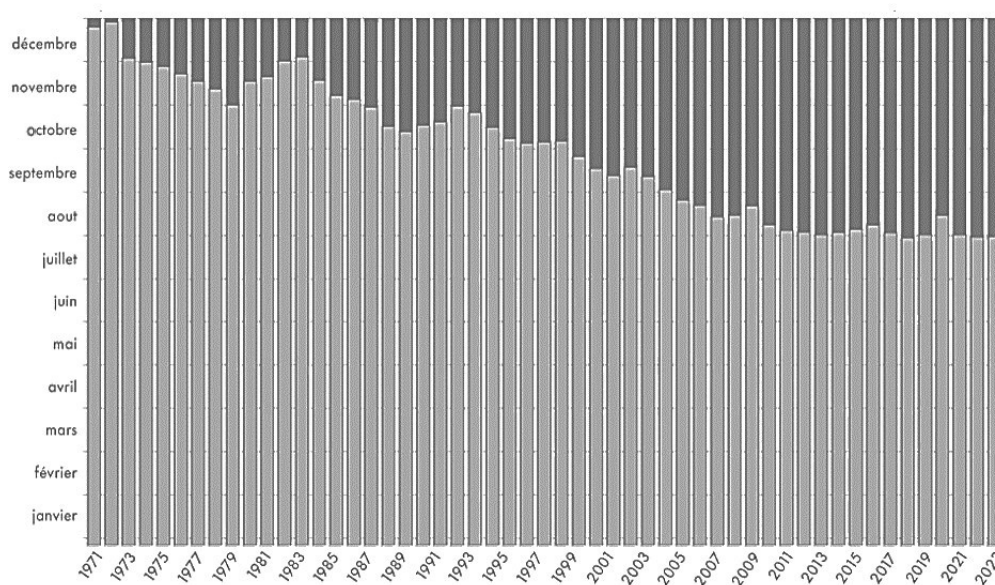


Figure 4 : global overshoot day

On peut alors constater que le *global overshoot day* est de plus en plus précoce. Il se situe début août depuis 10 ans et n'est jamais vraiment arrivé plus tard depuis (excepté en 2020, année qui a été marquée par des confinements face à l'épidémie de COVID 19). Là encore l'éco-conception va pouvoir jouer un rôle important puisqu'on veillera à réduire la consommation de matière première.

Le changement climatique va impacter la biodiversité sous différents aspects. Cela va avoir des impacts sur les dynamiques et les voies de contamination microbienne. Il faudra alors s'attendre, si la modification du climat est trop rapide et intense, à des effets sur la santé humaine avec le développement de maladies liées à la température, à la pollution de l'air, infectieuse, d'origine hybride ou alimentaire, des pénuries de nourriture et d'eau.

Face à ces constats, nous allons voir dans la suite de cet ouvrage comment réaliser des conceptions durables afin de réduire notre impact environnemental.

2.2. Normalisation et déclaration environnementale

Aujourd'hui, il existe des normes portant sur l'éco-conception. On pourra citer la norme ISO 14062 (reprise au niveau français par la norme AFNOR NF XP X 30-262) qui décrit des pratiques relatives à l'éco-conception des produits (bien ou service). Ou encore la norme ISO 14040 qui présente la démarche générale de l'ACV (analyse de cycle de vie) et ses différentes étapes. Il existe également d'autres normes qu'on retrouvera sur le site : <https://www.iso.org/>.

L'éco-conception présente donc également un avantage commercial pour les entreprises puisqu'elles peuvent communiquer sur leurs approches plus respectueuses de l'environnement à travers des labels de type I, qui sont des labels environnementaux multicritères attribués par un organisme indépendant. Par exemple, l'écolabel européen ou le label NF environnement qui certifient que les produits respectent des critères environnementaux tout au long de leur cycle de vie :



Figure 6 : label NF environnement



Figure 5 : écolabel européen

D'autres types de labels peuvent être utilisés comme les labels de type II, qui sont des affirmations faites directement par les fabricants, distributeurs ou vendeurs sans vérification par une tierce partie :



Figure 7 : label de type II

Les déclarations de type III consistent à afficher les performances d'un produit en regard de ses impacts environnementaux. Ces données peuvent être représentées sous forme de graphique et doivent être issues d'une analyse de cycle de vie (ACV).

Il est essentiel de valoriser les initiatives d'éco-conception lorsqu'elles sont mises en place, car elles reflètent un engagement réel en faveur de l'environnement. Communiquer sur ces actions permet non seulement d'informer les consommateurs, mais aussi de sensibiliser à l'importance de choisir des produits ou des services durables. Cependant, il est tout aussi important d'éviter le *greenwashing*, c'est-à-dire de prétendre être plus écoresponsable qu'on ne l'est réellement. Une communication transparente et honnête est la clé pour maintenir la confiance des consommateurs et pour que l'éco-conception soit perçue comme un véritable progrès, et non comme une simple stratégie marketing.

Les grands principes de l'éco-conception

On a vu dans le chapitre précédent l'importance de concevoir des produits durables, c'est-à-dire faire de l'éco-conception. L'éco-conception est donc une approche qui va du simple bon sens (c'est-à-dire garder en tête, lors de la conception, qu'on veut réduire l'impact environnemental de notre produit), jusqu'à la connaissance totale de l'impact environnemental de produits en comparant ces impacts avec des produits de référence dans le but de choisir le meilleur.

Nous allons donc développer dans ce chapitre les méthodes disponibles pour calculer l'impact environnemental d'un produit.

3.1. Définition de l'unité fonctionnelle

La comparaison joue un rôle essentiel dans l'éco-conception parce qu'on compare les différents produits entre eux du point de vue de l'impact environnemental pour ne choisir que le meilleur. Cependant, on ne peut comparer que des produits qui remplissent les mêmes fonctions. Pour cela, on a besoin de définir une unité fonctionnelle. (Par exemple : pour un transport, l'unité fonctionnelle peut être le transport de X passagers sur une distance Y dans certaines conditions de confort.)

Une fois que l'unité fonctionnelle est définie, la recherche d'améliorations écologiques peut commencer.

3.2. Approche globale

L'éco-conception doit se caractériser par une approche globale du projet. La démarche doit donc être :

- **Multi-étapes** : L'éco-conception doit prendre en compte l'ensemble du cycle de vie d'un produit, qui va de l'extraction de matière première à la fin de vie.
- **Multicritères** : L'éco-conception doit prendre en compte l'ensemble des impacts sur l'environnement.
- **Multi-acteurs** : L'éco-conception doit prendre en compte l'ensemble des parties prenantes et ne pas oublier les acteurs tels que les recycleurs, les réparateurs, les fournisseurs...

3.3. L'approche cycle de vie d'un produit

L'éco-conception se fonde sur le concept du cycle de vie qui exige la prise en compte au cours du processus de conception des aspects environnementaux significatifs d'un produit, au cours de toutes les phases de son cycle de vie, dont les différentes étapes sont présentées dans la figure suivante¹ :

¹ Il est à noter qu'une vision plus classique du cycle de vie fait apparaître une étape de distribution entre le lieu de fabrication et le lieu d'usage, mais cette vision est trop réductrice car en réalité des étapes de transport sont également à considérer entre l'ensemble des différentes phases de vie voir même au sein des phases.

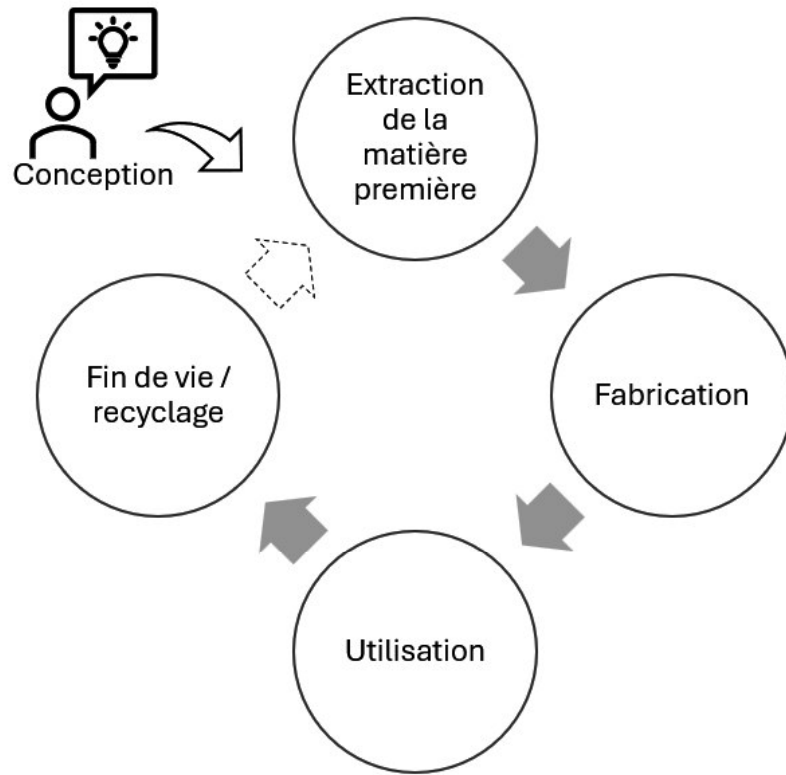


Figure 8 : cycle de vie d'un produit

La méthode de référence pour l'évaluation de l'impact environnemental d'un produit est alors l'analyse du cycle de vie (ACV) qui est détaillée dans le chapitre suivant.

3.4. L'approche multicritère

A travers chaque étape de son cycle de vie, un produit a des impacts sur l'environnement par les flux de matières et d'énergies qu'il nécessite. Ces flux de matières et d'énergies sont susceptibles de modifier l'état de l'environnement à l'échelle régionale ou planétaire.

On peut définir les 6 principaux critères sur lesquels le produit peut avoir un impact :

- **Eutrophisation** : c'est l'apport surabondant en nutriment entraînant une prolifération d'algues détériorant le milieu aquatique. L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le kilogramme d'équivalent phosphate ($kg PO_4^{3-} eq$).
- **Acidification** : c'est la modification de pH du milieu naturel (air, eau, sol) entraînant des perturbations sur des écosystèmes. L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le kilogramme d'équivalent de soufre ($kg SO_2 eq$).
- **Toxicité** : entraînement d'effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement résultant d'une exposition. L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le Comparative Toxic Unit (CTUe).
- **Changement climatique** : émission de gaz renforçant l'effet de serre contribuant ainsi au dérèglement du climat. L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le kilogramme d'équivalent dioxyde de carbone ($kg CO_2 eq$).
- **Consommation de matière première** : épuisement des ressources naturelles, entraînant des pénuries de ces matières. L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le kilogramme d'équivalent antimoine ($kg Sb eq$).
- **Consommation d'énergies non renouvelables** : épuisement des énergies limitées et de leurs sources. L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le Joule (J) ou le méga-Joule (MJ).

Certains impacts seront qualifiés d'impacts globaux car ils touchent l'ensemble de la planète : changement climatique par exemple. D'autres impacts, comme l'acidification ou l'eutrophisation, seront qualifiés de régionaux car ils ne touchent qu'une partie de la planète. Enfin, les impacts qui touchent un territoire restreint seront qualifiés d'impacts locaux : la toxicité par exemple.

Pour réaliser une étude d'éco-conception pertinente, il faut avoir une approche multicritère. C'est-à-dire qu'il faut calculer l'impact du produit sur chacun des critères définis précédemment.

Une approche globale sur tout le cycle de vie permet de maîtriser les transferts d'impacts car des améliorations environnementales à une étape du cycle de vie peuvent impliquer des effets négatifs sur une autre étape du cycle de vie, qu'elle

soit en amont ou en aval (par exemple l'utilisation de fibres de carbones dans l'automobile réduit le poids donc la consommation à l'usage mais empêche son recyclage en fin de vie). De même, une amélioration d'un critère peut engendrer la dégradation d'autres critères (par exemple le remplacement d'un traitement de surface par diffusion thermochimique par un traitement par dépôt chimique réduit la consommation d'énergie mais augmente la toxicité et l'acidification).

L'éco-conception, grâce à sa vision multicritère et multi-étapes, permet d'éviter les transferts d'impacts, ou tout du moins, les identifier lors de l'annonce de résultats comparatifs.

Calculs et étude d'ACV (Analyse du cycle de vie)

Une ACV consiste à déterminer tous les échanges (flux élémentaires de matières ou d'énergies) entre le produit (technosphère) et l'environnement (écosphère) et à calculer les impacts environnementaux associés à ces flux élémentaires pour l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit.

L'analyse du cycle de vie (ACV), a été introduite en France dans les années 1990. Elle fait aujourd'hui l'objet de 2 normes : la norme ISO 14 040, qui présente la démarche générale de l'ACV et ses différentes étapes, ainsi que la norme ISO 14 044, qui se focalise sur l'étape de l'évaluation et de la hiérarchisation des impacts.

Le but de cette méthode est de déterminer les impacts environnementaux d'un produit. Cela se fait en 4 étapes qui peuvent être itérées le nombre de fois nécessaire, tant que le résultat n'est pas satisfaisant :

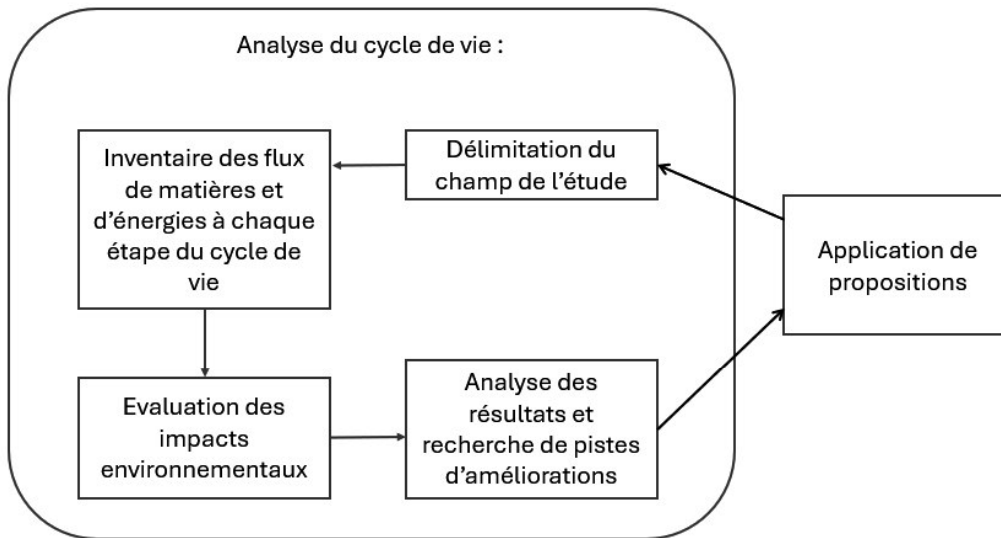


Figure 9 : étapes de l'ACV

L'ACV ne doit pas se résumer à un inventaire du cycle de vie du produit (ICV) qui consiste à faire un bilan des impacts du produit à chaque étape de son cycle de vie. Il doit également intégrer une analyse de l'ICV et en tirer les conclusions pour améliorer l'impact environnemental du produit, jusqu'à parvenir à un bilan environnemental satisfaisant, c'est-à-dire conforme aux objectifs définis initialement.

L'ACV a l'avantage d'être une méthode standardisée qui peut permettre de comparer différents produits et d'aider à la prise de décision avec une vision d'ensemble du problème. Cependant, les résultats de l'ACV sont dépendants de la zone géographique d'où proviennent les données et des conclusions obtenues, en France par exemple ils ne peuvent pas être extrapolés dans d'autres régions du monde. De plus l'ACV requiert d'avoir un grand nombre de données et de ressources qui sont parfois difficilement accessibles, pour n'aboutir finalement qu'à un impact théorique dont le degré d'incertitudes dépend de la précision des données.

4.1. Méthodologie et outils d'ACV

L'analyse du cycle de vie (ACV) est réalisée en suivant une série d'étapes structurées qui permettent d'assurer une évaluation complète et rigoureuse des impacts environnementaux d'un produit ou d'un service. Voici les principales étapes :

- Définition de l'objectif et du champ d'étude
 - **Définition des objectifs spécifiques** : cette étape initiale consiste à définir clairement pourquoi l'ACV est réalisée et quelles sont les questions auxquelles elle doit répondre. Les objectifs peuvent varier selon l'application et le public ciblé. Cela peut servir à :
 - Informer le client, l'utilisateur ou autre de l'impact environnemental du produit.
 - Evaluer si un produit satisfait ou non à des exigences environnementales.
 - Développer un nouveau produit avec des performances supérieures à un produit initial.
 - Elaborer une stratégie politique, par exemple pour bénéficier d'un bonus écologique.
 - **Détermination des frontières du système** : lors d'une étude comparative, il est indispensable de baser l'étude sur une fonction commune. Pour cela, on utilise l'unité fonctionnelle qui a été définie dans le chapitre précédent. Il faut donc définir les limites du système étudié, c'est-à-dire quelles étapes du cycle de vie seront incluses (par exemple, de l'extraction des matières premières à la fin de vie du produit) et la fonctionnalité du produit qu'on souhaite analyser. La précision dans la définition des frontières est essentielle pour garantir la cohérence et la comparabilité des résultats.
- Analyse de l'inventaire des flux élémentaires du cycle de vie
 - **Collecte des données et modélisation des flux de matières et d'énergies** : cette étape implique la collecte de toutes les données pertinentes sur les flux de matériaux associés aux différentes étapes du cycle de vie du produit. On peut pour cela, établir un arbre de processus. C'est un diagramme des flux échangés dans le système. Il schématise chaque processus

unitaire et décrit les flux reliant les modules entre eux. Lorsque de multiples processus unitaires sont impliqués dans un procédé de fabrication, ce diagramme permet d'avoir une vision claire de l'ensemble des processus et de leurs liens. L'arbre des processus permet également de visualiser les différents scénarios considérés dans l'ACV. Un exemple d'arbre de processus est donné dans la partie suivante.

Dans cette étape, on doit quantifier l'impact des flux de références dû aux émissions et extractions définies dans l'arbre de processus.

- **Calcul de l'inventaire total** : on calcule les émissions et extractions indirectes en multipliant l'inventaire de production par les facteurs d'émission. Il convient ensuite de sommer ces émissions et extractions indirectes avec les émissions et extractions directes.
- **Évaluation des impacts environnementaux**
 - **Catégorie d'impacts environnementaux** : les différents impacts ont été définis dans le chapitre précédent lors de la définition de l'approche multicritère. On peut catégoriser ces impacts selon 2 niveaux :
 - Niveau intermédiaire où on s'intéresse aux effets primaires du problème.
 - Niveau dommage où on s'intéresse aux effets secondaires.
 - **Évaluation des impacts en 4 étapes** :
 - On dresse une liste pertinente des impacts et des catégories d'impact à prendre en compte.
 - On convertit toutes les données d'inventaire en un indicateur numérique d'impact environnemental. Pour caractériser les dommages dans chaque catégorie.
 - (Facultatif) On obtient des valeurs normées qui pourront être comparées à d'autres valeurs du même domaine.
 - (Facultatif) On pondère les données pour les agréger dans un score unique qui permet au grand public de comparer facilement les produits mais qui fait cependant disparaître des informations, ce qu'il convient alors de préciser lors de la présentation du score.
- **Interprétation des résultats et communication**
 - **Analyse des résultats** : les résultats de l'évaluation des impacts doivent être analysés pour identifier les étapes, les processus ou

les flux ayant les impacts environnementaux les plus significatifs en comparant les contributions de chaque étape du cycle de vie, en examinant les contributions de chaque constituant du système et en identifiant les classes, les émissions et les extractions qui génèrent le plus d'impacts (c'est l'étude de sensibilité des critères).

- **Contrôle des résultats** : avant de communiquer les résultats de l'étude, on s'assure que toutes les données sont disponibles et complètes. On s'assure également de la cohérence des résultats en gardant bien en tête les hypothèses qui auraient été émises et les limites en termes de fiabilité et d'incertitude que cela implique.
- **Communication des résultats** : les résultats alors obtenus doivent être synthétisés afin d'être communiqués à des personnes non initiées à l'ACV. Cette restitution doit néanmoins rendre compte de la problématique et des objectifs du projet, des différents produits sélectionnés pour la comparaison, et des résultats de l'évaluation environnementale sur le cycle de vie du produit ainsi que des éventuelles marges de progrès.

Chercher des données fiables et clairement décrites n'est pas aisé. Des bases de données ont été mis en place à partir des années 1980 pour faciliter ce travail. La Suisse a joué un rôle majeur dans le développement de bases avec des données de meilleure qualité et plus complètes avec l'EPF de Lausanne et de Zurich. Ces recherches ont permis la création de la base de données Ecoinvent, devenue l'une des références internationales dans le domaine des données d'écobilan. Cette base contient plusieurs milliers de données dans les domaines de l'énergie, du transport, de la construction, de l'emballage, du travail des métaux, de l'électronique ou encore du traitement des déchets. Cette base de données a servi à alimenter en grande partie la plupart des logiciels ou applications d'aide au calcul d'ACV. Vous pouvez donc vous aider de ces dernier pour l'étape de calcul des impacts environnementaux. Voici une liste des plus pertinents :

- **SolidWorks sustainability** : SolidWorks Sustainability est un module complémentaire de SolidWorks. Ce module est conçu pour aider les concepteurs à évaluer et à améliorer l'impact environnemental sur tout le cycle de vie de leurs produits, dès la conception, en se basant sur le modèle CAO du produit. Une fois toutes les informations renseignées,

les résultats sont disponibles sous forme de rapport. Ce logiciel est assez accessible pour tous les concepteurs et permet d'obtenir des résultats plutôt fiables.

- **Simapro** : Simapro est un logiciel entièrement destiné à l'ACV. Ce logiciel professionnel est reconnu pour sa rigueur et sa conformité avec les normes ISO de l'ACV. C'est un logiciel complet et fiable qui intègre également les calculs d'incertitude.
- **Base Empreinte de l'ADEME** : la base empreinte est une base de données destinée aux calculs d'impacts environnementaux. Elle sert de support à l'application gratuite **Bilan Produit** accessible depuis le site de l'ADEME qui permet de faire des ACV simplifiées et d'évaluer rapidement des empreintes environnementales.
- **Méthode Eco-indicator 99** : Eco-indicator 99 est une méthode d'évaluation des impacts environnementaux utilisée dans l'ACV. Développée à la fin des années 1990 par PRE Sustainability. Elle est donc disponible depuis leur site web. Cette méthode permet de quantifier les impacts environnementaux de produits ou de services tout au long de leur cycle de vie avec un système de points. Cette méthode peut être efficace pour les cas simples mais peut devenir très longue pour des cas complexes puisque tous les calculs se font à la main.

4.2. Mise en œuvre pratique d'une étude d'ACV

Nous allons ici présenter une démarche d'ACV avec un exemple dans lequel on se met dans la peau d'un fabricant de brosses à dents qui souhaiterait lancer une nouvelle gamme avec un impact environnemental faible. Nous souhaiterions pour cela savoir où concentrer les efforts afin d'investir sur les critères qui permettent de réduire drastiquement l'impact environnemental final. On se propose pour cela de comparer 3 types de brosses à dents avec les scénarios suivants :

- Scénario 1 : Une brosse à dents classique avec un manche en polypropylène (PP), avec les poils en nylon, destinée à être jetée sans recyclage après sa phase d'utilisation.