

Analyse du Cycle de Vie

Tom Bauer (ENSAM) et Yacine Baouch (UTC)

Projet ET-LIOS

CC 4.0 BY NC SA¹ + licence commerciale ET-LIOS²



¹ <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.fr>

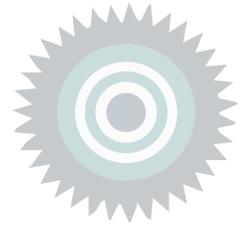
² <https://et-lios.s-mart.fr/licencecommerciale/>

Table des matières

Objectifs	4
Introduction	5
I - Définition de l'ACV	6
1. Définition.....	6
2. 4 étapes à suivre	6
2.1. Etape 1 : Définitions des objectifs et champ de l'étude.....	6
2.2. Etape 2 : Inventaire de cycle de vie.....	6
2.3. Etape 3 : Évaluation des impacts	6
2.4. Etape 4 : Interprétation	6
3. Textes de référence	7
4. Histoire	7
II - Objectifs et champs de l'étude	8
1. Quels sont les objectifs de l'ACV ?	8
1.1. Secteur public	8
1.2. Secteur privé	9
2. Quelles sont les frontières de l'étude ? Quels sont les cycles de vie étudiés ?.....	9
3. Quels sont les indicateurs environnementaux pris en compte ?.....	10
4. Quels sont les produits ou services étudiés ?.....	10
4.1. À quoi servent l'unité fonctionnelle et le flux de référence ?	10
III - Brosse à dents manuelle ou électrique ?	12
IV - Unité Fonctionnelle et Flux de Référence	14
1. Définition de l'unité fonctionnelle (UF)	14
2. Exemples d'unités fonctionnelles (UF)	14
3. Définition du Flux de Référence (FR).....	15
4. Exemples de flux de Référence (FR)	15
V - Objectifs et champs de l'étude des brosses à dents	16
1. Unité fonctionnelle	16
1.1. Qualité de service	16
1.2. Durée de service	16
2. Hypothèse de brossage	16
3. Flux de référence.....	17
3.1. Brosse à dents manuelle.....	17
3.2. Brosse à dents électrique.....	17

VI - L'Inventaire du Cycle de Vie	18
1. La récolte d'informations en ACV.....	18
2. Les données pour l'ACV	19
3. Le recueil des données	19
VII - Inventaire des brosses à dents	21
1. Brosse à dents manuelle	21
2. Brosse à dents électrique	22
2.1. Utilisation	24
VIII - Évaluation des impacts	25
1. Passage de la substance à l'impact.....	25
1.1. Notions d'éco-toxicologie	25
1.2. En pratique	26
2. Les résultats d'une analyse du cycle de vie	26
2.1. Caractérisation	26
2.2. Normalisation.....	27
2.3. Score unique.....	27
IX - Interprétation	28
1. En quoi consiste l'interprétation ?	28
2. Mener une démarche d'interprétation	28
2.1. Principe.....	28
2.2. Analyses de sensibilité	28
2.3. Les transferts d'impact	29
2.4. Les incertitudes	29
3. Revue critique	30
X - Résultats de l'ACV des brosses à dents	31
1. Caractérisation.....	31
2. Normalisation	32
3. Score unique	33
XI - Interprétation des résultats pour la brosse à dents	34
1. Réponse à l'objectif principal.....	34
2. Investigation de la source des impacts.....	34
Conclusion	36

Objectifs



Appréhender le cadre méthodologique de l'analyse du cycle de vie
Illustrer la réalisation d'une analyse du cycle de vie à travers un exemple

Introduction



L'analyse du cycle de vie, ou ACV, est une méthode permettant d'évaluer les impacts environnementaux d'un système selon différents indicateurs environnementaux tout au long de son cycle de vie.

Comprendre la pensée cycle de vie [cf. watch]

Lien vidéo¹

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=iHq0LioDFwg>

Définition de l'ACV



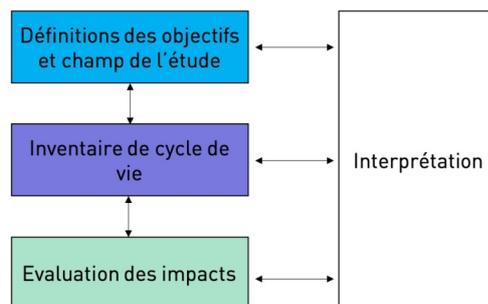
1. Définition



L'analyse du cycle de vie est définie comme une « *compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie* » ISO 14040-44:2006.

2. 4 étapes à suivre

La démarche d'une analyse du cycle de vie doit suivre 4 étapes.



2.1. Etape 1 : Définitions des objectifs et champ de l'étude

Cette étape est fondamentale car elle permet d'**explicitier les hypothèses** prises. Ceci permettra l'interprétation des résultats et renforcera leurs crédibilités ainsi que leurs sincérités.

Il s'agit de répondre à un certain nombre de questions : Quels sont les objectifs de l'ACV ? Quels sont les produits étudiés ? Quels sont les indicateurs environnementaux pris en compte ? Etc...

2.2. Etape 2 : Inventaire de cycle de vie

Cette étape vise à quantifier l'ensemble des flux de matière et d'énergie entrants et sortants du système analysé.

2.3. Etape 3 : Évaluation des impacts

Cette étape consiste à traduire les flux élémentaires, précédemment inventoriés, en impacts environnementaux quantifiables.

2.4. Etape 4 : Interprétation

Il s'agit, d'une part, d'interpréter les résultats de l'analyse du cycle de vie selon ses objectifs et selon les hypothèses de l'étude. Et d'autre part, d'interpréter chaque étape selon les résultats de l'ACV.

3. Textes de référence

L'analyse du cycle de vie est une méthode normée par une série de normes ISO de 14040 à 14044.

L'ACV peut aussi être encadrée par des textes comme le « *ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment* » éditée par l'Union européenne. Ils donnent un cadre méthodologique pour leurs réalisations : règles de coupures, prise en compte des aspects de co-produits etc...

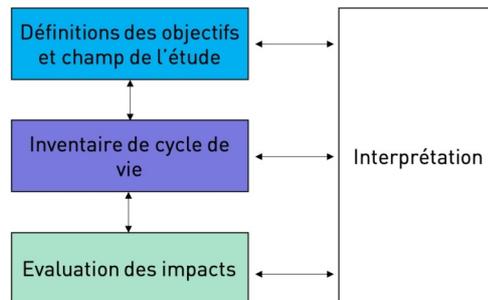
4. Histoire

Bien que les premières évaluations environnementales remontent aux années 70, la reconnaissance scientifique de l'ACV date des années 90 et la dernière norme ISO de 2006.

Objectifs et champs de l'étude



Cette première étape de l'ACV est fondamentale car elle permet d'**expliciter les hypothèses prises**. Ceci permettra l'interprétation des résultats et renforcera leurs crédibilités ainsi que leurs sincérités.



1. Quels sont les objectifs de l'ACV ?

L'analyse de cycle de vie peut servir à plusieurs objectifs. Et il est important de les définir avant sa réalisation.

Nous pouvons différencier plusieurs secteurs d'activités :

- public, qui regroupe les ACV commanditées par des organismes publiques comme l'ADEME ;
- privé, qui est constitué principalement des ACV demandées par des entreprises dont les résultats seront utilisés en interne ou en externe.

1.1. Secteur public

Une ACV peut aider à prendre une décision ou être à visée éducative.

Une association étudiante peut utiliser les résultats d'une ACV comparative entre un gobelet jetable et un réutilisable pour l'organisation d'un festival de musique. Elle pourra ainsi choisir la solution avec l'impact environnemental le plus faible.

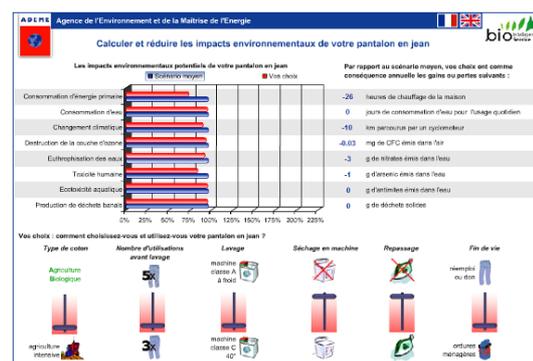
Les résultats d'une ACV peuvent également servir à induire un changement de comportement (voir l'exemple du pantalon en jean).

Analyse du Cycle de Vie d'un pantalon en jean



L'ADEME a confié à l'entreprise BIO Intelligence Service la réalisation d'une ACV d'un pantalon en jean. Le rapport précise que « *L'objectif de l'étude est de réaliser une étude de cas pédagogique illustrant les conséquences de nos choix de consommation* ». Les résultats permettent, par exemple, d'appréhender l'impact environnemental du repassage du pantalon par rapport à son cycle de vie.

Le rapport complet est *disponible ici* [cf. [ACV_jeans_ADEME.pdf](#)].



1.2. Secteur privé

Usage externe

L'usage externe des analyses de cycle de vie est principalement de communiquer. L'industriel va tout particulièrement utiliser les résultats pour les traduire sous forme de publicité. Il peut aussi les utiliser pour construire des déclarations environnementales de Type III (ISO 14025:2006).

Usage interne

Lorsqu'un industriel réalise une analyse du cycle de vie en interne, il peut viser plusieurs objectifs : connaître ses produits, orienter des choix de conception, etc..

Une ACV permet de mieux connaître, d'un point de vue environnemental mais pas que, ses produits ou services et ses outils de production. En effet, réaliser une ACV oblige à collecter un certain nombre de données qui ne sont pas toujours connues ou du moins regroupées. Un industriel peut aussi réaliser des ACV pour comparer ses produits à ceux des concurrents afin d'identifier des avantages concurrentiels.

L'ACV permet également d'orienter des choix de conception. L'industriel dispose ainsi d'un point de vue environnemental lors du processus de conception. Il peut comparer des matériaux, des procédés de fabrication, des organisations logistiques, etc. L'ACV est un outil qui peut être utilisé dans une démarche d'écoconception.

2. Quelles sont les frontières de l'étude ? Quels sont les cycles de vie étudiés ?

Frontières de l'étude

Dans cette première étape de l'ACV, il faut s'interroger sur les frontières de l'étude, c'est-à-dire définir le périmètre d'étude et le niveau de détail utilisé.

Doit-on prendre en compte la construction de l'usine qui permet de produire ? L'impact des voitures des salariés de l'usine ? Etc.

Il est possible d'appliquer des critères d'exclusion. Ils peuvent être massique ou énergétique. Par exemple, les éléments représentant moins de 1% de la masse totale du produit ne sont pas pris en compte, etc.

Ces règles d'exclusion proviennent du secteur d'activité, de la typologie du produit ou bien de l'expertise de la personne réalisant l'ACV.



Une faible quantité d'une substance peut avoir des impacts environnementaux importants. Il est donc important de vérifier ces critères selon les résultats de l'ACV.

Une somme de négligences n'est pas forcément négligeable !

Cycles de vie étudiés

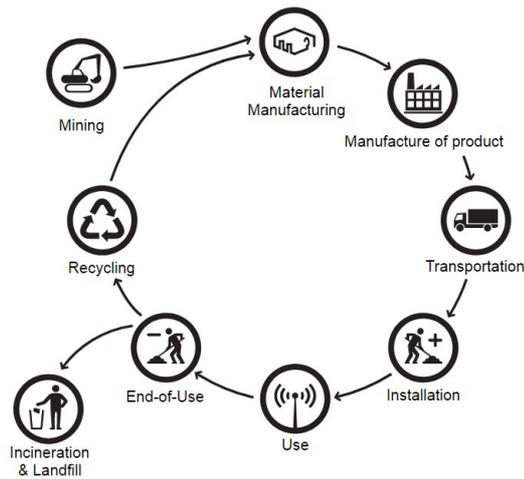
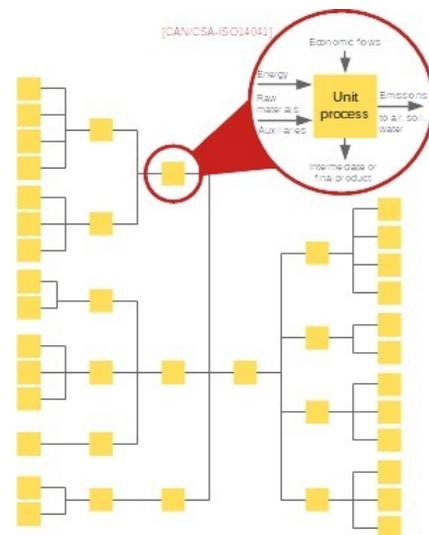


Image 1

Il s'agit de modéliser le cycle de vie du produit ou service étudié. La représentation des éléments considérés, leur quantité, etc., peut se faire jusqu'à la représentation des étapes élémentaires.



Arbre du cycle de vie

3. Quels sont les indicateurs environnementaux pris en compte ?

Le choix des indicateurs environnementaux est à effectuer au début de l'étude. Dans la pratique, il s'agit de décider quelle méthode d'évaluation sera utilisée dans l'ACV.

4. Quels sont les produits ou services étudiés ?

Dans une analyse du cycle de vie, les produits ne sont jamais comparés directement entre eux. La comparaison a lieu sous couvert d'une unité fonctionnelle unique entre les flux de référence nécessaires pour l'atteindre.

4.1. À quoi servent l'unité fonctionnelle et le flux de référence ?

Unité fonctionnelle

La norme ISO 14040 définit l'unité fonctionnelle comme une « performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie ».

L'unité fonctionnelle (UF) traduit ainsi le service rendu par le produit ou le service étudié.

Flux de référence

La norme ISO 14040 définit le flux de référence comme la « *mesure des extrants des processus, (...), nécessaire pour remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle.* »

Le flux de référence (FR) est donc ce qui me permet d'atteindre l'unité fonctionnelle.

? Exemple

Si je cherche à comparer l'impact environnemental entre un rasoir jetable et un rasoir électrique alors :

- L'unité fonctionnelle peut être « *assurer un rasage standard chaque matin pendant 1 mois* »
- Le flux de référence
 - du rasoir jetable sera « *un nombre de rasoirs* » mais aussi « *une quantité de mousse à raser et d'eau* » nécessaire au rinçage.
 - du rasoir électrique sera une « *fraction de l'appareil et une quantité d'électricité* » nécessaire pour assurer l'unité fonctionnelle

Brosse à dents manuelle ou électrique ?



Que choisir ?

Vous êtes dans un magasin prêt à choisir une brosse à dents. Vous hésitez entre deux modèles : une brosse à dents manuelle ou une électrique. Vous considérez que les deux brossent aussi bien les dents



Vous aimeriez acheter celle qui a l'impact environnemental le plus faible des deux.

Brosse à dents manuelle

Il s'agit d'une brosse à dents assez « classique », elle est constituée d'un manche en plastique et de poils en fibre de nylon. Elle est vendue dans un emballage composé de carton et d'une coque en plastique (aussi appelée blister). Sa durée de vie est de 3 mois.



Brosse à dents électrique

La brosse à dents électrique a aussi un corps majoritairement en plastique. Mais elle possède en plus un moteur avec une batterie pour mettre en rotation la tête de brossage. Les poils sont aussi en fibre de nylon. Une fois qu'une tête est usagée, il est possible d'en racheter une autre tout en gardant le même corps. Elle est vendue dans un emballage similaire. La durée de vie de la brosse est de 8 ans mais seulement de 3 mois pour la tête.



L'ACV à la rescousse !

D'un point de vue environnemental, la réponse n'est pas facile. D'un côté, la brosse à dents manuelle ne consomme pas d'électricité. Mais de l'autre, la brosse à dents électrique dure plus longtemps et il est possible de changer seulement la tête.

L'Analyse de Cycle de Vie s'avère donc être l'outil approprié pour tenter d'élucider cette question.

Unité Fonctionnelle et Flux de Référence



1. Définition de l'unité fonctionnelle (UF)



L'unité fonctionnelle permet de quantifier la fonction rendue par des produits ou des services étudiés par l'ACV (on parle de service rendu).

Elle dépend des objectifs de l'ACV, définis précédemment et sert de référence.

Définition ISO



L'UF correspond à la « *performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse de cycle de vie* »

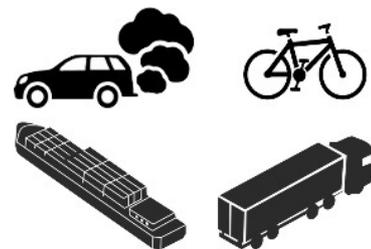
Norme ISO 14040-44:2006

2. Exemples d'unités fonctionnelles (UF)

Transport



Si on cherche à comparer différents modes de transports, par exemple la voiture et un bus, nous pouvons utiliser l'unité fonctionnelle : « *déplacer une personne sur 10km* ». Il est aussi possible d'ajouter des éléments liés aux conditions de confort, une durée maximale de voyage, etc.



transport_pixabay_libre

Séchage de mains



Si on souhaite comparer plusieurs méthodes de séchage de mains, l'unité fonctionnelle peut tout simplement être « *sécher une paire de mains* ».

3. Définition du Flux de Référence (FR)



Fondamental

Le flux de référence correspond aux moyens permettant d'assurer l'unité fonctionnelle retenue pour l'ACV. Cela peut être une fraction d'un produit, une quantité d'électricité, d'eau, etc.

Définition ISO



Texte légal

Le FR correspond à la « mesure des extrants des processus, dans un système de produits donné, nécessaire pour remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle ».

Norme ISO 14040-44:2006

4. Exemples de flux de Référence (FR)

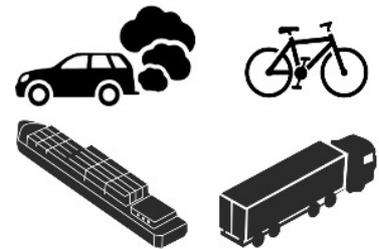
Transport



Exemple

Avec l'unité fonctionnelle « Déplacer une personne sur 10km », si on étudie le cas de la voiture, le flux de référence peut être composé des deux éléments suivants :

- Une fraction de voiture, par exemple $10/200'000$ si on considère une durée de vie de 200'000 km.
- Le volume d'essence nécessaire pour parcourir 10km



transport_pixabay_libre

Séchage de mains



Exemple

Avec l'unité fonctionnelle « Sécher une paire de mains », le flux de référence dépendra du moyen utilisé.

Pour la serviette en papier, on utilise le flux de référence suivant : « $x \text{ cm}^2$ ». Avec x , la surface nécessaire pour sécher une paire de mains avec cette serviette en papier.

Pour le sèche-mains électrique, le flux peut être : « y une fraction du sèche-mains et z une consommation électrique ». Avec y calculé à partir de la durée de vie de l'appareil et du temps nécessaire pour atteindre l'unité fonctionnelle et z la consommation électrique pour atteindre cette même unité fonctionnelle.

Fraction de produit



Remarque

La fraction du produit s'entend comme la fraction du cycle de vie du produit. C'est-à-dire que l'on évalue le cycle de vie du produit complet (matières premières, fabrication, transport, utilisation et fin de vie), mais qu'on n'affecte qu'une fraction des résultats à l'unité fonctionnelle.

Objectifs et champs de l'étude des brosses à dents



Pour réaliser une ACV, il est impératif de définir une unité fonctionnelle. Elle servira de référence et permettra de calculer les flux de référence.

1. Unité fonctionnelle

Se brosser les dents est un geste anodin mais qui a besoin d'être défini pour construire l'unité fonctionnelle.

1.1. Qualité de service

L'assurance maladie a émis une liste de recommandations pour « bien se brosser les dents ¹».

Parmi elles, nous retenons :

- qu'il est conseillé de se brosser deux fois par jour les dents pendant deux minutes ;
- qu'il faut utiliser un dentifrice fluoré ;
- que la brosse à dents doit avoir des poils souples.

Les recommandations permettent de considérer que le niveau de performance est identique entre une brosse manuelle et électrique.

1.2. Durée de service

La durée de service correspond à celle du besoin.

Dans le cas du brossage des dents, le besoin commence dès l'apparition des premières dents jusqu'à leur disparition. Il serait alors cohérent d'utiliser une durée de service très longue de plusieurs décennies. Néanmoins, pour faciliter les calculs des flux de référence, une durée plus courte, d'un an, a été retenue. Compte tenu des produits étudiés, les deux brosses sont similaires, ce choix n'aura pas d'influence sur leur comparaison.



Ainsi, l'unité fonctionnelle retenue est :

"Assurer le brossage des dents tel que préconisé par l'assurance maladie deux fois par jour pendant un an".

2. Hypothèse de brossage

Des hypothèses simplificatrices peuvent être utilisées selon les cas de figure.

Pour les brosses à dents, les quantités d'eau et de dentifrice sont exclues de notre étude.

¹Comment bien se brosser les dents ?

Les préconisations de l'assurance maladie impliquent d'utiliser du dentifrice pour le brossage et donc une consommation d'eau pour le rinçage.

Ces deux éléments devraient donc être présents dans les flux de référence.

Une hypothèse simplificatrice est utilisée en considérant que l'utilisation d'une brosse à dents manuelle et électrique induit la même consommation de dentifrice et d'eau.

L'objectif final étant la comparaison des deux types de brosses, la quantité d'eau et de dentifrice peut être exclue de l'étude.

Peu importe la valeur, si elle est identique, celle-ci ne modifiera pas la comparaison.

3. Flux de référence

Le calcul des flux de référence est réalisé pour chacune des méthodes de brossage :

- manuelle ;
- électrique.

3.1. Brosse à dents manuelle

La durée de vie de la brosse à dents manuelle est de trois mois.

Le flux de référence associé à ce brossage est donc de quatre brosses à dents pour assurer l'unité fonctionnelle.

3.2. Brosse à dents électrique

La durée de vie de la brosse à dents électrique est de huit ans et celle de la tête de brosse de trois mois.

Pour assurer l'unité fonctionnelle, il est nécessaire d'utiliser 1/8e de brosse, quatre têtes de brosse, mais aussi une quantité d'électricité. Ceci constitue le flux de référence.

L'Inventaire du Cycle de Vie



1. La récolte d'informations en ACV



La récolte d'informations est une étape clef en ACV car elle impose un travail rigoureux d'identification et de description de tous les éléments liés au produit, système ou service concerné sur l'ensemble du cycle de vie. On l'appelle inventaire du cycle de vie (ICV).

Définition issue de la norme ISO 14040-44:2006



L'ICV est la « phase de l'analyse du cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des intrants et des extrants, pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie ».

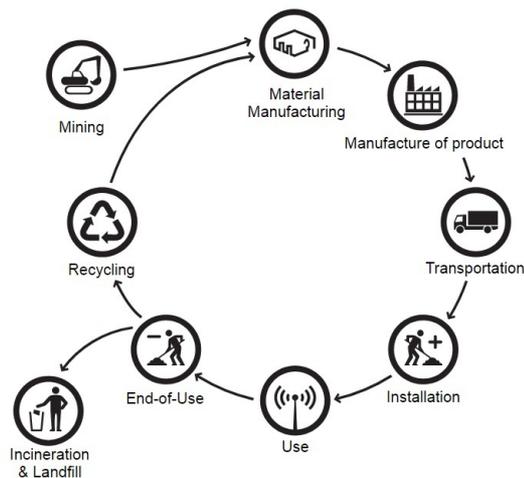
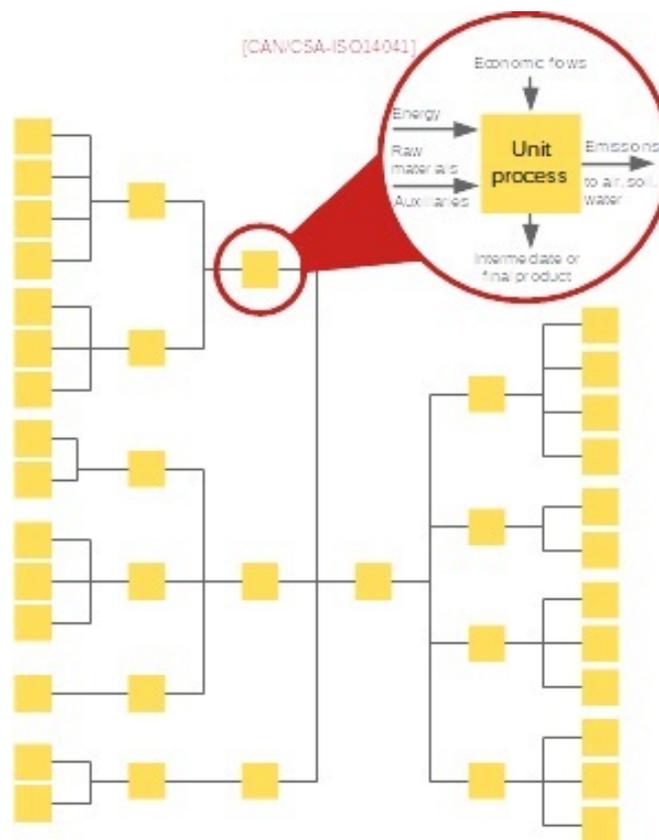


Image 2

2. Les données pour l'ACV

L'ICV permet de construire le modèle lié au produit, système ou service étudié, c'est l'arbre du cycle de vie



Arbre du cycle de vie

Chaque boîte représente un processus qui forme une partie du cycle de vie. Chacune possède des entrées et sorties : ce sont les flux élémentaires de matières (ou de composés) et d'énergie et les émissions (dans l'air, l'eau, le sol, etc.) qui y sont associées. Ces flux peuvent s'exprimer en kilogramme, en joule, en kg éq. CO₂, etc.

3. Le recueil des données

Il existe une variété de sources et types de données :

- données primaires (données terrain) ou secondaires (données génériques issues de bases de données) ;
- données mesurées, calculées ou estimées.

Où trouver les données ?

- Mesures directes (consomètre, pesage, modèle 3D, etc.)
- Évaluation des composés chimiques (chromatographie, MEB, spectroscopie infrarouge, ATG, etc.)
- Transport (openstreetmap.org¹, searates.com, distancede.com²)

¹openstreetmap.org

²distancede.com

- Identification de matériaux et composés chimiques (echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals¹, [csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/repertoire-toxicologique.aspx](http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/repertoire-toxicologique.aspx)², scifinder-n.cas.org³)
- Bases de données d'ICV (Agri-footprint, LCA Food, Ecoinvent, ELCD, INIES, ecosystem WEEE LCI, etc.)

Selon les objectifs et la nature du produit à évaluer, il peut être préférable de choisir une base plutôt qu'une autre (e.g. la base BUWAL est dédiée aux données sur le packaging).

Jusqu'où récolter les données ?

Il est parfois impossible et/ou inutile de modéliser l'ensemble du système, pour diverses raisons (poids très faible par rapport au reste du système, temps de modélisation exagérément long, impacts non significatifs, etc.)

Plusieurs règles, dites 'de coupures' ont été mises en place en ce sens.

La norme NF P 01-010 précise que des critères d'inclusion ou d'exclusion peuvent être définis en fonction (1) de la part massique ; (2) d'un pourcentage du coût ; ou (3) de la part de contribution aux aspects environnementaux.

Le référentiel de bonnes pratiques BP X 30-323-0 propose de ne pas exclure d'éléments au-delà de 5% en masse, énergie ou impact sur l'environnement.

¹ <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals>

² <http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/repertoire-toxicologique.aspx>

³ <https://scifinder-n.cas.org>

Inventaire des brosses à dents



Le cycle de vie pris en considération est composé des étapes :

- d'extraction des matières premières ;
- de fabrication ;
- du transport entre l'usine et le lieu de vente ;
- de l'utilisation en France ;
- de la fin de vie. ;

Le transport du client lors de l'achat n'a pas été considéré.

Deux brosses à dents ont été démontées pour identifier leurs composants. Il a aussi été possible d'en déterminer les matériaux et les procédés d'obtention. Les données propres au cycle de vie (distance de transport) ont aussi été calculées.

Chacun de ces éléments doit être précisément détaillé lors de l'étude.

1. Brosse à dents manuelle

La brosse à dents manuelle se compose d'un corps et d'un emballage.

La brosse à dents est fabriquée en Irlande. Elle est transportée en France par bateau sur 740km. Une fois débarquée, un camion la livre sur son lieu de vente situé à 400km.

Au bout de 3 mois, l'utilisateur la jette et elle subit un scénario de déchets de type ordures ménagères.

Composant	Masse	Matériaux/procédés	Commentaire
Corps	15 g	Polypropylène (PP)/injection plastique	
	4 g	Caoutchouc / injection plastique	correspond au grip sur le manche
	2 g	Nylon	correspond aux poils de la tête de brossage
Emballage	4 g	Polyéthylène téréphtalate (PET) / thermoformage	correspond au blister
	2 g	Carton rigide	



2. Brosse à dents électrique

La brosse à dents électrique se compose d'un corps, d'un moteur et d'une batterie. Il faut inclure le chargeur, la tête de brosse et l'emballage.

Composant	Masse	Matériaux/procédés	Commentaire
Corps	38 g	Polypropylène (PP)/injection plastique	
	7 g	Silicone/injection plastique	correspond au grip
	3 g	Acier	correspond au mécanisme interne
Moteur	9 g	Cuivre	
	9 g	Acier	
Batterie	20 g	Batterie NiMH	
	3 g	Composants électroniques	
Chargeur	11 g	cuivre	correspond au câble
	27 g	PVC	correspond au câble
	15 g	Polypropylène (PP)/injection plastique	
	40 g	Caoutchouc	
	10 g	Composants électroniques	
Tête de brosse	1 g	Nylon	correspond aux poils de la tête de brossage
	2 g	Acier	
	3 g	Polypropylène (PP)/injection plastique	



Emballage	35 g	Polyéthylène téréphtalate / thermoformage	
	33 g	Carton	
	25 g	Papier imprimé	correspond à la notice

La brosse à dents électrique est fabriquée en Allemagne. Elle est transportée en France par camion pendant 900km. La durée de vie de la brosse à dents est bornée par celle de la batterie. Elle a été estimée à 8 ans.

Au bout de 3 mois, l'utilisateur jette la tête de brosse qui subit un scénarios de déchets de type ordures ménagères.

2.1. Utilisation

Après des essais, il a été mesuré qu'un chargement complet dure 15h et permet d'assurer 14 brossages. La puissance du chargeur est de 0.6W en charge et 0.2W en veille.

Il a été considéré qu'il reste tout le temps branché (même hors chargement).

Ainsi, la consommation d'une semaine d'utilisation est donc de 39.6 Wh ($0,6W \cdot 15heures + 0,2W \cdot (24 \cdot 7 - 15)$)

Évaluation des impacts



L'évaluation des impacts consiste à traduire les flux élémentaires en impacts environnementaux quantifiés.

Impact environnemental



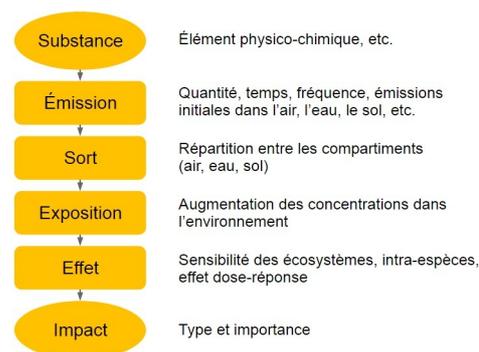
Un impact environnemental est défini comme « toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique résultant totalement ou partiellement des aspects environnementaux d'un organisme ». ISO 14001:2015

1. Passage de la substance à l'impact

1.1. Notions d'éco-toxicologie

Plusieurs facteurs conditionnent un impact environnemental.

À l'origine, lorsqu'une substance est émise dans l'environnement, l'impact environnemental variera en fonction de la quantité émise, du temps pendant lequel cette substance est émise, du milieu initial dans lequel elle est émise, etc. Celle-ci va ensuite se répartir dans un ou plusieurs compartiment(s) (aussi appelé sort). Selon le temps d'exposition à une concentration donnée et en fonction de la sensibilité propre à l'écosystème, des effets dose-réponse, dose-effet, etc., l'impact environnemental sera différent. *Plus d'infos* Lapointe, Gilles, 2005. *Notions de toxicologie [recherche et rédaction [...], Montréal, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, Direction de la prévention-inspection, Service du répertoire toxicologique, 2005, 1 ressource en ligne, Collections de BANQ.*



delemissionlimpact

Changement climatique



Le changement climatique est l'impact environnemental le plus connu et reconnu. C'est un impact dit global car il a une influence à l'échelle planétaire, bien que ses conséquences soient diverses en fonction des régions.

De multiples substances contribuent au changement climatique (CO₂, CH₄, NO₂, CF₄, etc.), avec chacune un pouvoir de réchauffement et des durées de vie différents. Pour pouvoir comparer leur effets sur une période donnée (généralement 100 ans), les impacts liés à ces substances sont exprimés dans la même unité : en kg éq. CO₂.

Ainsi, si on connaît la nature et la quantité de substances émises dans l'air par une activité, nous sommes capables de déterminer son impact environnemental en kg éq. CO₂.

1.2. En pratique



L'association de bases de données environnementales (matériaux, procédés, etc.) à une méthode d'évaluation permet de calculer automatiquement les indicateurs environnementaux.



Le choix de la méthode, et donc des indicateurs d'impacts potentiels, fait partie des éléments à définir lors de la première étape de l'ACV.

2. Les résultats d'une analyse du cycle de vie

Il existe trois manières principales de représenter les impacts environnementaux :

- la caractérisation ;
- la normalisation ;
- le score unique.

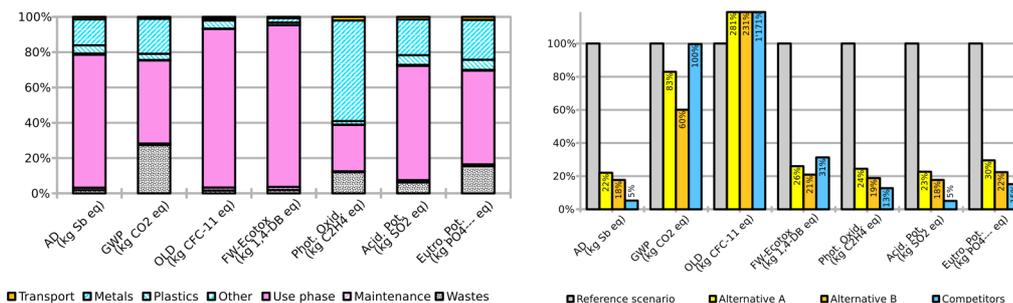
2.1. Caractérisation

D'après l'*ILCD Handbook* ^{European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010} (ouvrage de référence en ACV, détaillant la norme ISO 14040-ISO 14040:2006+A1:2020 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre + Amendement 1 ISO 14040:2006+A1:2020 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre + Amendement 1 ⁴⁴:2006+A1-A2:2020 ISO 14044:2006+A2:2020 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices + Amendement 2), la caractérisation est la seule représentation obligatoire des résultats en ACV. Elle permet d'associer les flux de substances à des impacts potentiels en se basant sur des facteurs de caractérisation, tels que vu précédemment.



Lors de l'ACV d'un produit, service ou système, les résultats sont généralement exprimés sous forme de diagramme en barres. Chaque impact environnemental est généralement représenté par une barre allant de 0 à 100% (graphe de gauche). Les contributions des sous-systèmes sont proportionnellement représentées pour chacun. Dans le graphe de gauche, la phase d'usage a globalement le plus d'impact sur les différentes catégories, suivie des métaux utilisés dans la phase de fabrication.

Lorsque l'on compare les résultats entre plusieurs systèmes, celui ayant les plus grands impacts prend généralement la valeur de 100%, les autres sont représentés de manière relative. Il est également possible de considérer que l'un des systèmes est la référence (graphe de gauche).



2.2. Normalisation

Elle consiste à diviser la valeur d'un flux ou d'un impact par la valeur de ce même flux ou impact à l'échelle d'un territoire donné.

Les résultats sont donc dits normalisés par rapport à ce référentiel spécifique.

La normalisation est une étape optionnelle de l'ACV.

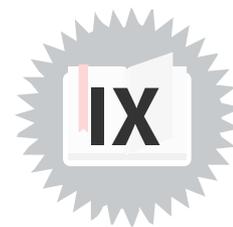
2.3. Score unique

Le score unique consiste à agréger différents indicateurs environnementaux en un indicateur unique.

Il rend la lecture des résultats plus facile mais renvoie une image partielle des impacts et peut masquer des informations importantes.

C'est une étape optionnelle de l'ACV à manipuler avec **précaution**.

Interprétation



L'interprétation est une phase transverse à mener tout au long de l'ACV, de la définition du champ de l'étude et des objectifs jusqu'à l'évaluation des impacts.

Elle permet d'objectiver les études en confrontant les hypothèses émises tout au long de l'ACV ou encore les données manipulées avec les résultats qui découlent de l'étude.

1. En quoi consiste l'interprétation ?



L'ISO 14044 définit la phase d'interprétation comme

"la phase de l'analyse du cycle de vie au cours de laquelle les résultats de l'analyse de l'inventaire ou de l'évaluation de l'impact, ou des deux, sont évalués en relation avec les objectifs et le champ définis pour l'étude afin de dégager des conclusions et des recommandations".

L'étape d'interprétation permet notamment de répondre aux objectifs fixés lors de la première étape.

Mais il sera également possible de vérifier les hypothèses prises et d'identifier, si nécessaire, des besoins de collecte de données complémentaires.

2. Mener une démarche d'interprétation

2.1. Principe

Le principe consiste à étudier les résultats de façon progressive, dans un premier temps pour tout le cycle de vie puis pour chaque phase de vie.

Ceci notamment pour déterminer les éventuels transferts d'impacts.

Il convient aussi d'identifier les composants les plus contributifs et de vérifier la robustesse de leurs résultats en analysant les incertitudes et leurs sensibilités.



Si les données utilisées pour modéliser un composant (masse, distance de transport, mix énergétique,...) possèdent de fortes incertitudes et que leur impact est déterminant dans les résultats globaux, il conviendra de mener des études complémentaires pour les améliorer.

2.2. Analyses de sensibilité



Les analyses de sensibilité permettent d'évaluer la fiabilité des résultats et des conclusions au regard des hypothèses et des choix pris tout au long de l'ACV.

Elles consistent à faire varier une donnée et d'étudier comment cela se répercute sur les résultats finaux.

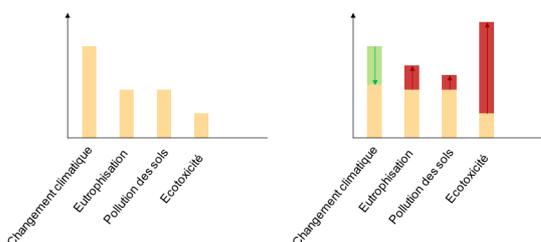
2.3. Les transferts d'impact



Lors de la comparaison de deux produits, systèmes ou services, ou entre deux versions d'étude, l'ACViste doit s'assurer que les bénéfices réalisés d'une part ne l'ont pas été au détriment d'autres éléments.

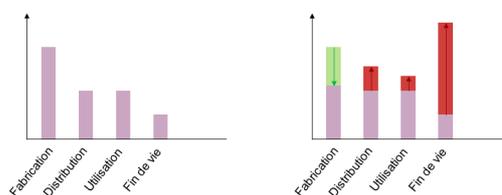
Le transfert d'impact peut être entre des indicateurs environnementaux ou des phases de vie.

D'une catégorie d'impact à une autre



Dans l'exemple ci-contre, entre les deux versions d'un même produit, la modification d'un des matériaux et d'un processus de fabrication peut entraîner une diminution des impacts sur le changement climatique mais augmenter ceux liés à l'eutrophisation, à la pollution des sols et à l'écotoxicité.

D'une phase de cycle de vie à l'autre



Les transferts d'impacts peuvent également avoir lieu entre les différentes phases du cycle de vie. En fonction des frontières de l'étude il est important de s'assurer que des améliorations apportées sur l'une des phases (e.g. la fabrication) n'entraîne pas une augmentation d'impact sur les autres.

2.4. Les incertitudes

Il existe différents types d'incertitude au niveau :

- des données
- des méthodes d'évaluation
- des modèles

Des données

Au niveau des données, plusieurs causes d'incertitude peuvent exister.

Elles peuvent par exemple ne pas être représentatives par rapport à la situation étudiée (e.g. choix d'un mix énergétique européen alors que le produit est utilisé en France), ou l'incertitude peut porter directement sur la donnée en elle-même (e.g. la valeur d'une masse sera toujours dépendante de la précision et de la justesse de l'outil de mesure utilisé).

Des méthodes d'évaluation

Les incertitudes liées aux méthodes d'évaluation portent sur deux éléments principaux. D'une part il y a le choix des catégories d'impacts, au sein de la méthode ou sélectionnées par l'ACViste. D'autre part, pour une même catégorie, la définition des facteurs de caractérisation peut être sujette à des incertitudes.

Par exemple, le guide d'utilisateur·trice de la méthode IMPACT 2002+ précise qu'une différence de moins de 10% ne peut être considérée comme significative pour l'indicateur lié aux changements climatiques. Cette valeur s'élève à 30% pour les indicateurs d'acidification et d'eutrophisation.

Des modèles

Les incertitudes se retrouvent également au niveau du modèle de l'ACV, notamment en ce qui concerne les diverses hypothèses prises sur le cycle de vie, les allocations, les procédés choisis, etc.

3. Revue critique

La norme régissant la conduite des ACV autorise des variations selon la personne en charge. Il peut s'agir de la modélisation du cycle de vie, des indicateurs pris en compte, etc.

C'est pourquoi la norme impose qu'une revue critique soit menée pour pouvoir publier les résultats d'une ACV. Cela consiste à demander à un (panel d')expert(es) extérieur, n'ayant pas de conflit d'intérêts, d'analyser puis de rédiger un avis sur l'étude. Il lui appartient ainsi de justifier certaines hypothèses ou d'indiquer les manques ou points de vigilance par rapport à l'étude.

L'ACV sera publiée avec l'avis de cet (ces) expert(es).

Résultats de l'ACV des brosses à dents

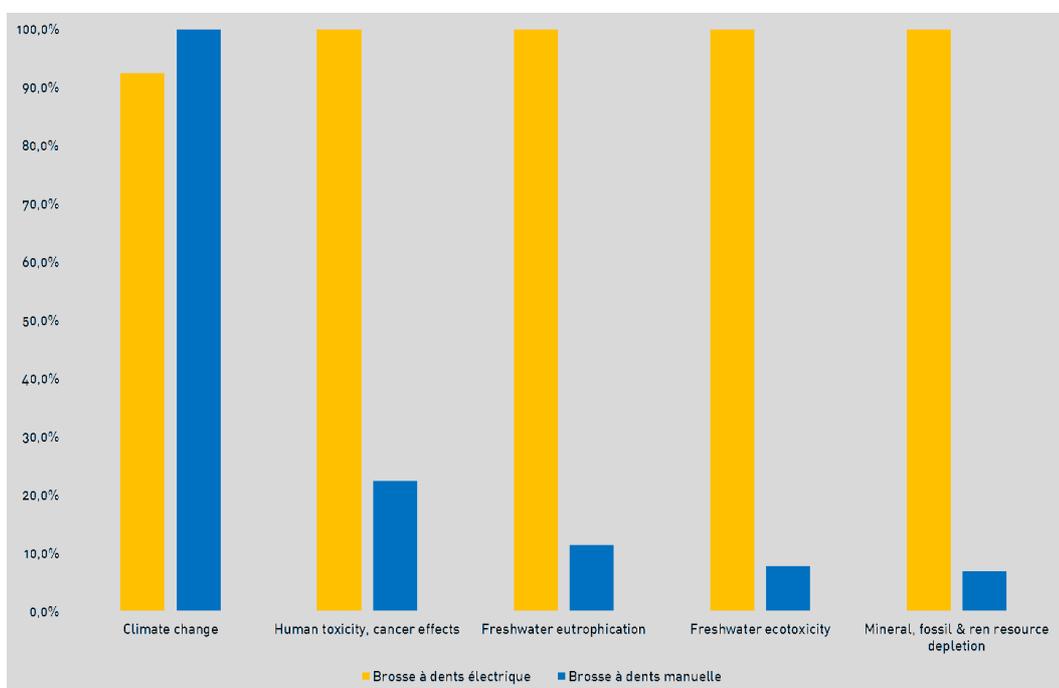


L'ACV a été réalisée avec la base de données ecoinvent 3.4, selon cinq indicateurs issus de la méthode d'évaluation ILCD et le logiciel SimaPro 8.5.2.

Les intitulés « Brosse à dents électrique/manuelle » s'entendent comme les flux de références permettant de réaliser l'unité fonctionnelle :

« Assurer le brossage des dents tel que préconisé par l'assurance maladie deux fois par jour pendant un an ».

1. Caractérisation



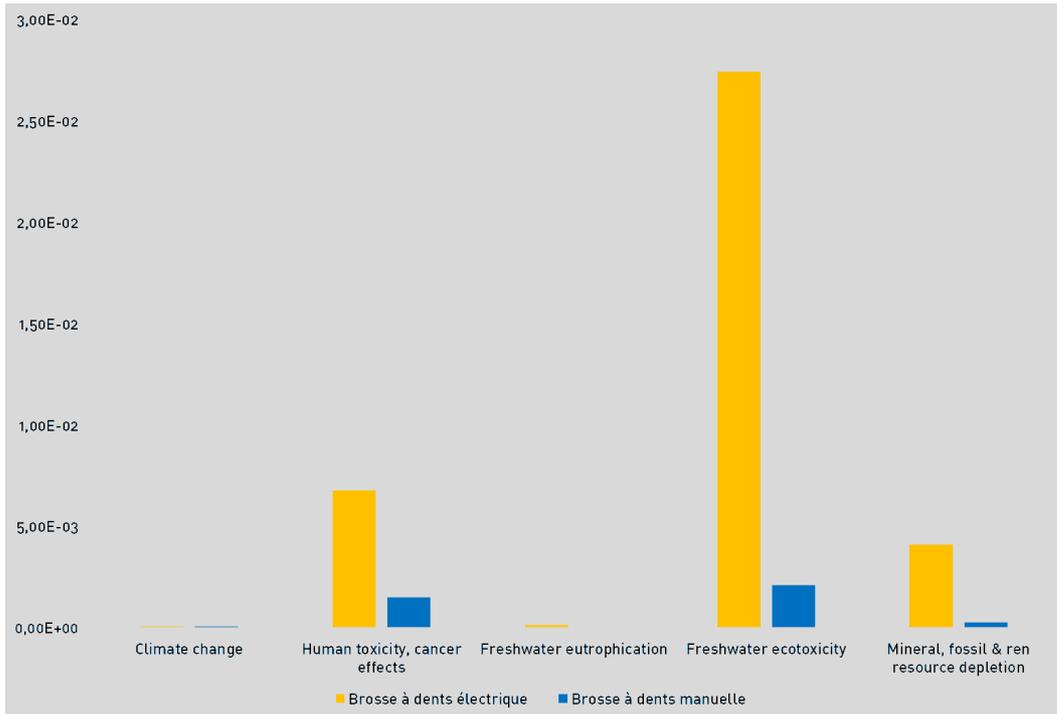
Indicateurs (%)	Brosse à dents électrique	Brosse à dents manuelle
Climate change	92,4%	100%
Human toxicity, cancer effects	100%	22,4%
Freshwater eutrophication	100%	11,4%
Freshwater ecotoxicity	100%	7,7%
Mineral, fossil & ren resource depletion	100%	6,8%

La caractérisation est obligatoire en ACV. Elle est réalisée ici par rapport à des indicateurs mid-points et sur l'ensemble du cycle de vie.

Les résultats rendent compte d'un impact bien plus important de la brosse à dents électrique par rapport à la brosse à dents manuelle sur quatre catégories d'impacts (toxicité humaine, eutrophisation en eaux douces, écotoxicité en eaux douces, épuisement des ressources minérales fossiles et renouvelables). Ils varient de +78% à 93%.

Concernant la catégorie de changement climatique, l'écart est de moins de 8% entre les deux modèles de brosses à dents. Il n'est donc pas possible de conclure sur l'avantage de l'un par rapport à l'autre au vu des incertitudes.

2. Normalisation



Indicateurs (mPt)	Brosse à dents électrique	Brosse à dents manuelle
Climate change	7,08E-05	7,66E-05
Human toxicity, cancer effects	0,00678976	0,00152279
Freshwater eutrophication	0,00012824	1,46E-05
Freshwater ecotoxicity	0,02743214	0,00211641
Mineral, fossil & resource depletion	0,00411749	0,00028108

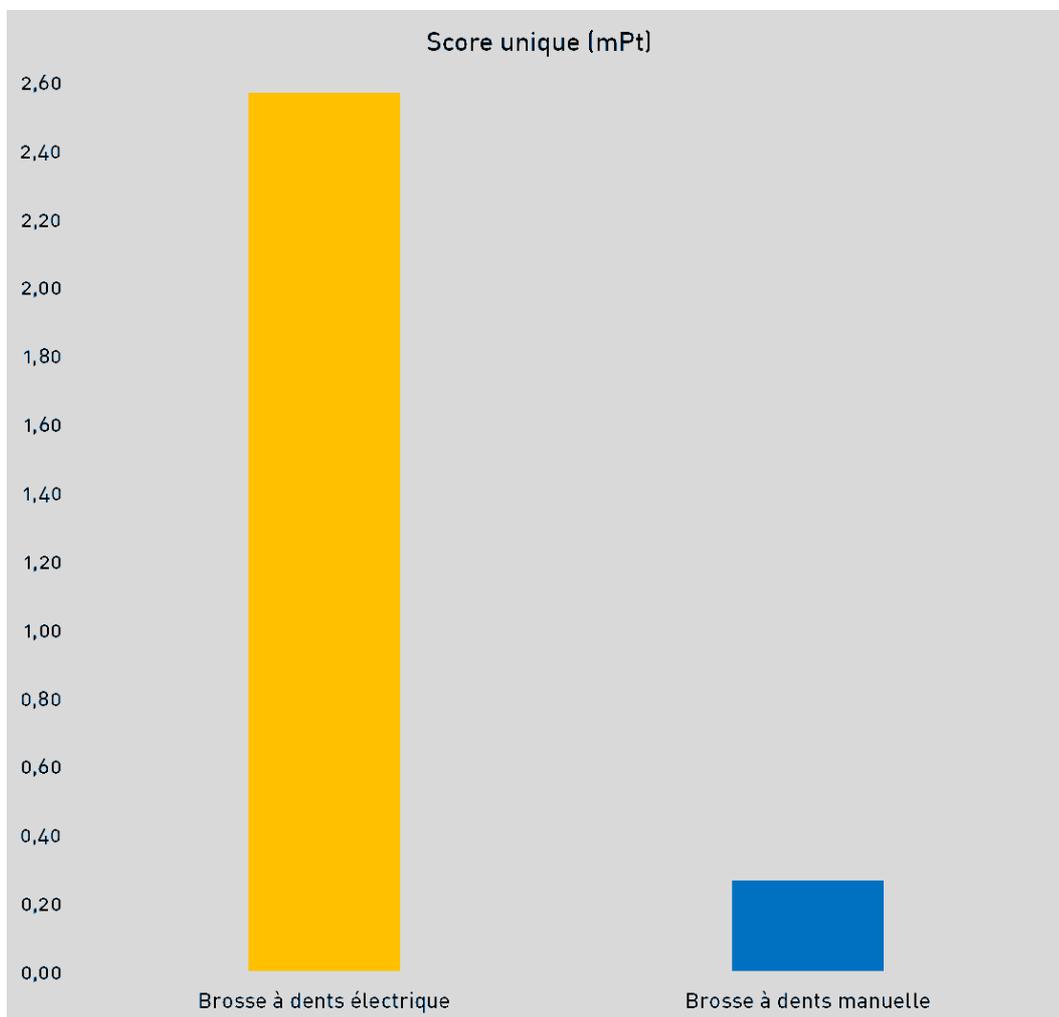
La normalisation est optionnelle en ACV. Elle est réalisée ici par rapport au même jeu d'indicateurs que précédemment.

La normalisation fait ressortir, par rapport au référentiel d'un européen moyen, les indicateurs qui ont le plus d'influence.

L'écotoxicité en eaux douces est la principale catégorie qui ressort. La toxicité humaine et l'épuisement des ressources minérales fossiles et renouvelables ont également un impact significatif d'après la normalisation effectuée. Les deux autres catégories ne sont pas significatives.

La brosse à dents électrique ressort comme ayant le plus d'impacts par rapport à cette représentation.

3. Score unique



	Brosse à dents électrique	Brosse à dents manuelle
Score unique (mPt)	2,57	0,27

Le score unique est optionnel en ACV. Il permet d'agrèger les différentes catégories d'impacts en un indicateur unique.

La brosse à dents électrique apparaît ici comme la plus impactante. Cela fait sens au regard des résultats précédents qui sont en faveur de la brosse à dents manuelle pour chaque catégorie d'impacts (ou équivalente pour le changement climatique).

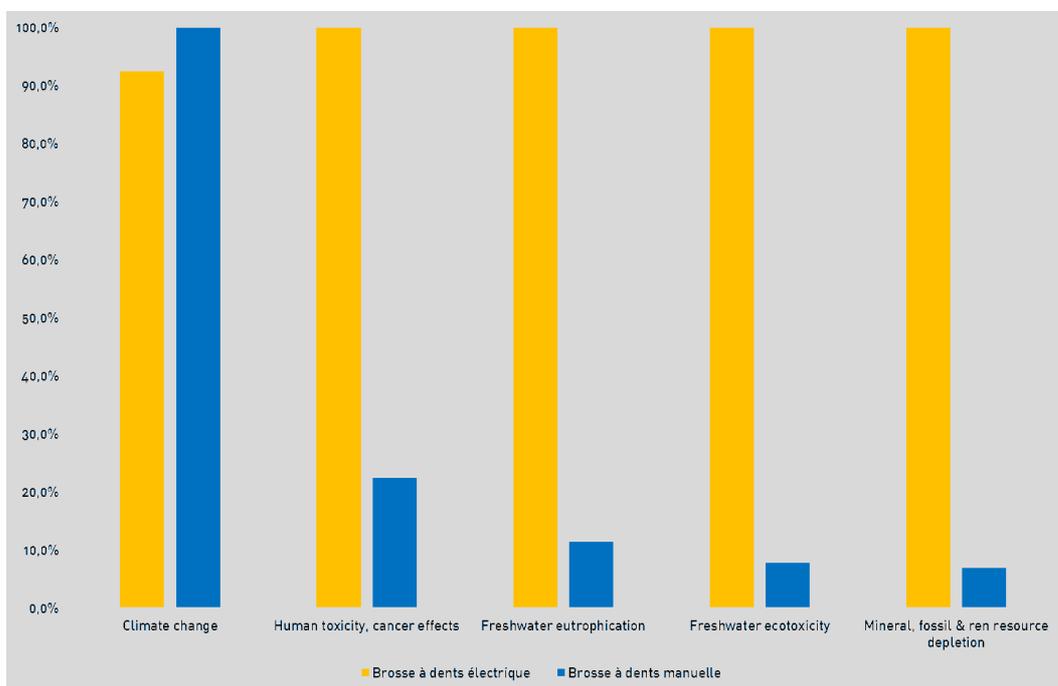
Interprétation des résultats pour la brosse à dents



Nous ne considérons ici que deux points dans la démarche d'interprétation : la réponse à l'objectif principal et une première investigation quant aux impacts environnementaux.

1. Réponse à l'objectif principal

Objectif initial de l'étude : évaluer quelle brosse à dents à le moins d'impacts sur l'environnement.



D'après les résultats précédents, la brosse à dents manuelle est moins impactante pour quatre des cinq catégories évaluées. En ce qui concerne le changement climatique, la différence est trop faible pour permettre une conclusion.

2. Investigation de la source des impacts

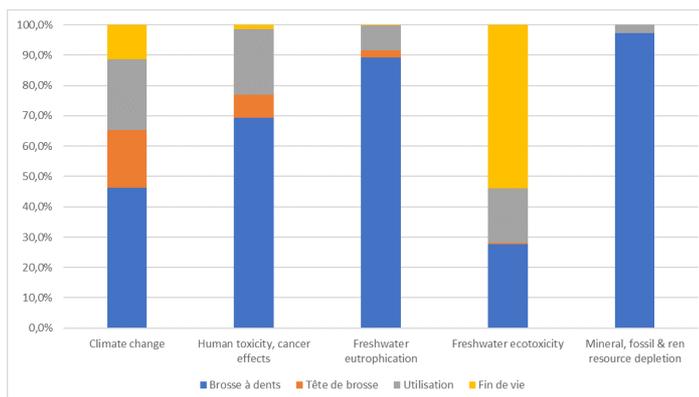
Démarche itérative étape par étape

Le graphe ci-dessous détaille les étapes d'une démarche itérative pour investiguer les sources des impacts



Impacts sur le cycle de vie d'une brosse à dents électrique

Le graphe ci-dessous détaille, pour la brosse à dents électrique, quels sont les principaux contributeurs.



Les catégories « Brosse à dents » et « Tête de brosse » regroupe les matériaux, procédés de fabrication et transport nécessaire à chacune.

On remarque que la fabrication de la brosse est significative sur la totalité des catégories d'impacts. Elle est même la principale source de contribution sur quatre des cinq catégories (sauf écotoxicité en eaux douces) : entre 46 et 98%.

La fin de vie est une contribution significative (54%) à la catégorie écotoxicité en eaux douces.

La phase d'usage, bien que moins impactante, est également significative pour trois des cinq catégories d'impacts (autour de 20-30%).

Sensibilité et évaluation de la qualité des données

La phase d'interprétation permet de confronter les hypothèses prises tout au long de l'ACV.

Il est nécessaire d'évaluer la qualité du jeu de données utilisé ainsi que la robustesse de ces hypothèses à travers, notamment, d'analyses de sensibilités.

Conclusion



Les objectifs du module étaient :

- Appréhender le cadre méthodologique de l'analyse du cycle de vie
- Illustrer la réalisation d'une analyse du cycle de vie à travers l'exemple des brosses à dents