

L'analyse du cycle de vie d'un produit

GUILLAUME JOUANNE, ARNAUD ROQUESALANE⁽¹⁾

L'écoconception est une démarche visant à diminuer l'impact environnemental d'un produit tout au long de son cycle de vie. Il s'agit donc de sortir de l'habituelle vision de l'entreprise, qui ne prend en compte l'environnement que sur son site de production (certification ISO 14001 par exemple), pour envisager les impacts environnementaux d'un produit de l'extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie.

Voici donc comment évaluer un cycle de vie et valider la cohérence d'une solution en termes de développement durable à l'aide du logiciel SimaPro.

Le contexte et les principes méthodologiques de l'écoconception

Comme le rappelle la «Life Cycle Initiative» du PNUE (projet «Cycle de vie» du programme des Nations Unies pour l'environnement), la plupart des impacts environnementaux d'un produit sont déterminés lors de la conception. L'objectif de l'écoconception est de prendre en compte les impacts environnementaux potentiels du produit lors de la phase de conception ou d'amélioration de ce produit (bien ou service). Il s'agit donc d'intégrer l'environnement comme un des critères de la conception, au même titre que la demande client, la qualité ou encore les coûts **1**.

La pratique de l'écoconception se développe de plus en plus, mais reste toutefois une approche volontaire de la part des acteurs économiques. Plusieurs réglementations prennent cependant en compte le cycle de vie des produits, telle la réglementation DEEE (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques) qui impose au fabricant de se préoccuper de la fin de vie de ses produits (séparabilité des composants réglementés, mise en place de filière...) et qui se traduit pour le consommateur par l'écoparticipation appliquée depuis peu sur ces produits. La même démarche est en cours pour les véhicules hors d'usages (VHU). On peut également citer la directive EuP (*Energy using Products*) qui imposera à terme des

mots-clés
écoconception, lycée technologique, postbac

exigences minimales d'écoconception pour les produits consommateurs d'énergie.

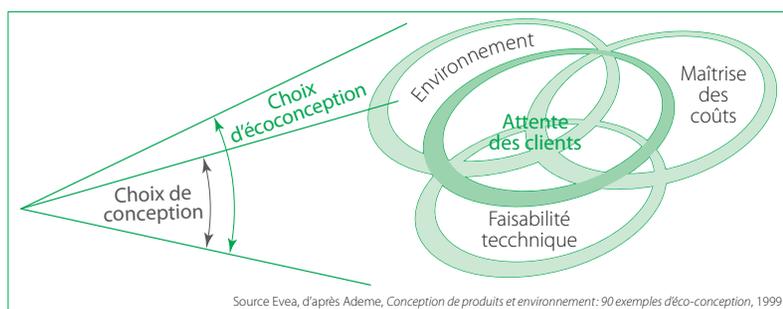
Hormis ce cadre réglementaire en évolution, la démarche d'écoconception est normalisée au niveau ISO (ISO 14062) et est promue en France par l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, www.ademe.fr/eco-conception). Au niveau des entreprises, la plupart des grands groupes travaillent sur le sujet, ainsi qu'un nombre croissant de PME. Il s'agit donc bien d'une approche en pleine croissance.

Autre exigence méthodologique, l'écoconception implique de pouvoir quantifier les impacts environnementaux d'un produit pendant son cycle de vie, selon plusieurs critères d'évaluation complémentaires et représentatifs des impacts réels du produit. Cela afin d'éviter de réaliser des choix de conception qui «déplaceraient» les pollutions d'une étape à l'autre, ou d'un indicateur sur l'autre, plutôt que de limiter les impacts **2**.

Cette démarche d'évaluation environnementale d'un produit, en considérant l'ensemble de son cycle de vie et selon plusieurs indicateurs (évaluation multicritère), a été formalisée sous le vocable «analyse de cycle de vie», ou ACV, et explicitée à travers les normes internationales ISO 14040 et 14044 notamment.

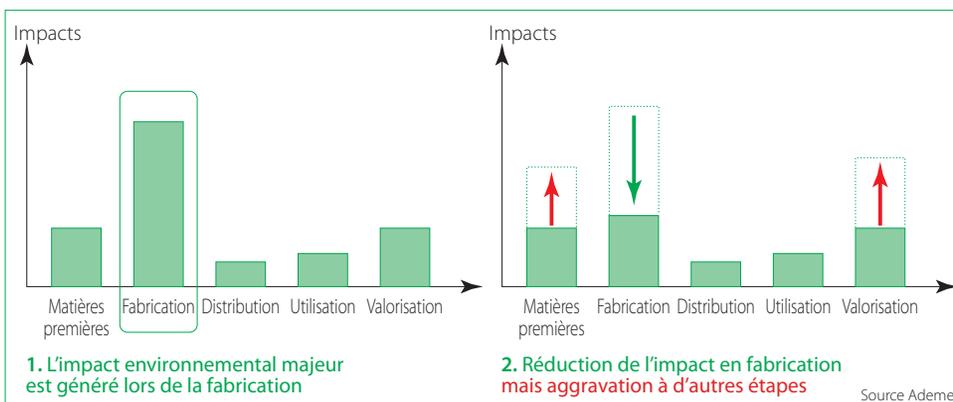
Les logiciels d'analyse du cycle de vie

Pour faciliter la prise en compte des exigences méthodologiques, il existe des logiciels qui permettent de modéliser un produit en partant de la nomenclature matière, puis d'y ajouter les différentes étapes de son cycle de vie (transport, usage, valorisation fin de vie...). Il est donc nécessaire, en pre-



Source Eeva, d'après Ademe, Conception de produits et environnement: 90 exemples d'éco-conception, 1999

1 L'intégration de l'environnement en conception



2 Les transferts de pollution

mier lieu, de connaître la composition de son produit (matériaux, traitements de surface, etc.) et les procédés de fabrication (gamme de fabrication, schéma des procédés).

Ces logiciels proposent à l'utilisateur des bases de données de matériaux ou de procédés (transformation, énergie, transport...) dont les consommations et les rejets dans l'environnement sont connus. Ils permettent ainsi de modéliser un produit, puis de calculer ses impacts environnementaux tout au long de son cycle de vie,

qui seront exprimés sur un certain nombre d'indicateurs qui peuvent être proposés de façon prédéfinie ou être adaptés selon les objectifs spécifiques de l'étude.

Le tableau 3 donne quelques-uns des principaux indicateurs utilisés. Le plus souvent, ils sont exprimés en une substance équivalente afin de pouvoir additionner tous les impacts d'un produit sur un même indicateur. Par exemple, le changement climatique est exprimé en CO₂ équivalent, ce qui veut dire que toutes les émissions de

gaz à effet de serre sont ramenées à leur « pouvoir de changement climatique » comparativement à celui du CO₂. Ainsi, 1 gramme de méthane correspond à 21 grammes de CO₂.

Cette évaluation environnementale d'un produit permet de mettre en évidence les phases ou parties du produit les plus impactantes lors de son cycle de vie, afin de pouvoir ensuite proposer des améliorations. Ces améliorations pourront, elles aussi, être modélisées, afin de visualiser les différences qu'elles apportent par rapport à l'existant.

SimaPro

Parmi les logiciels d'analyse du cycle de vie, SimaPro est le plus utilisé dans le monde. En France, de nombreuses écoles et universités l'ont adopté comme outil pédagogique (BTS, licences pro, formation d'ingénieur, masters...) et de recherche (thèses, postdoctorats) : l'université

[1] Respectivement ingénieur conseil en écoconception et consultant, société Evea (Évaluation et accompagnement). Site : www.evea-conseil.com

Indicateur		Unité	Impact
<i>Abiotic depletion</i>	Épuisement des ressources naturelles abiotiques	Kg Sb eq	Épuisement de ressources naturelles abiotiques. Concerne les ressources énergétiques et non énergétiques (ex. : la consommation de minerais et d'énergie fossile)
<i>Global warming</i>	Contribution au réchauffement climatique	Kg CO ₂ eq	Réchauffement climatique. Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre (CO ₂ , méthane...)
<i>Ozone layer depletion</i>	Destruction de la couche d'ozone	Kg CFC 11 eq	Prise en compte de toutes les substances participant à l'aggravation du trou dans la couche d'ozone et plus largement à la destruction de la couche d'ozone stratosphérique
<i>Human toxicity</i>	Toxicité humaine	Kg 1,4 DB eq	Impact sur l'homme des substances
<i>Photochemical oxidation</i>	Oxidation photochimique	Kg C ₃ H ₄ eq	Formation d'oxydants photochimiques au niveau la troposphère (ex. : création d'ozone troposphérique, le « mauvais ozone », le <i>smog</i> de pollution au-dessus des villes), ayant des impacts sur le monde du vivant les cultures, l'homme... Les substances à l'origine de cet impact sont le plus souvent les COV, CO et NO _x
<i>Eutrophication</i>	Eutrophisation de l'eau	Kg PO ₄ eq	Eutrophisation de l'eau. Introduction de nutriment dans les milieux aquatiques qui conduit par exemple à la prolifération d'algues
<i>Acidification</i>	Acidification de l'air	Kg SO ₂ eq	Prise en compte des substances acidifiant l'air qui conduit par exemple au phénomène des pluies acides

3 Quelques indicateurs utilisés

À vous d'essayer

Une version de démonstration est disponible sur le site internet de l'éditeur du logiciel :

www.simapro.com

Pour les lycées, un pack spécifique est édité au prix de 1 500 € HT (20 licences étudiant et une licence enseignant), sans la base de données additionnelle Ecoinvent, vendue 1 800 € HT. À ce prix, il convient d'ajouter éventuellement un contrat de service (mise à jour des bases de données et du logiciel...) de 400 € HT par an. (Informations non contractuelles)

Pour plus d'informations, vous pouvez prendre contact avec Evea, qui fournit conseil, études et formation en éco-conception et analyse du cycle de vie, et par ailleurs distributeur français du logiciel Simapro.

Contact

Arnaud Roquesalane
a.roquesalane@evea-conseil.com
0963 48 50 16

de technologie de Troyes, l'Isma, l'Ensam, Supméca, l'université de Bretagne-Sud, l'Insa Strasbourg... On trouve aussi parmi les utilisateurs des organismes à forte vocation de recherche, tels l'Inra et le Cemagref, ainsi que de nombreuses entre-prises : GDF, France Télécom, LVMH (Louis-Vuitton Moët Hennessy), La Poste, Steelcase...

Un exemple d'étude

Afin d'illustrer la méthodologie de l'ACV et sa mise en œuvre avec un logiciel dédié, nous proposons de faire l'étude d'un sèche-mains électrique sur l'ensemble de son cycle de vie. Il est constitué de différents matériaux : métaux ferreux et non ferreux, plastiques et quelques composants électroniques.

La modélisation du produit suit trois étapes :

- **Fabrication** : établissement de la nomenclature, description des procédés de fabrication
- **Utilisation**, comprenant les hypothèses de consommation et éventuellement d'entretien du produit pendant cette phase
- **Fin de vie**

Les étapes de transport ne sont pas prises en compte dans cet exemple.

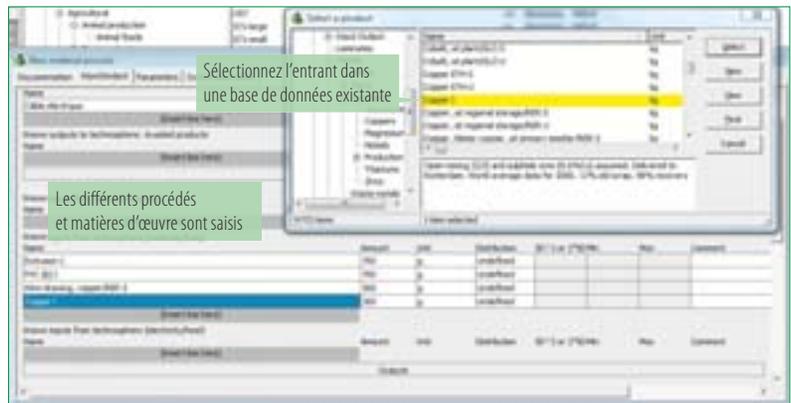
La récolte de données et l'émission d'hypothèses

- **La nomenclature**

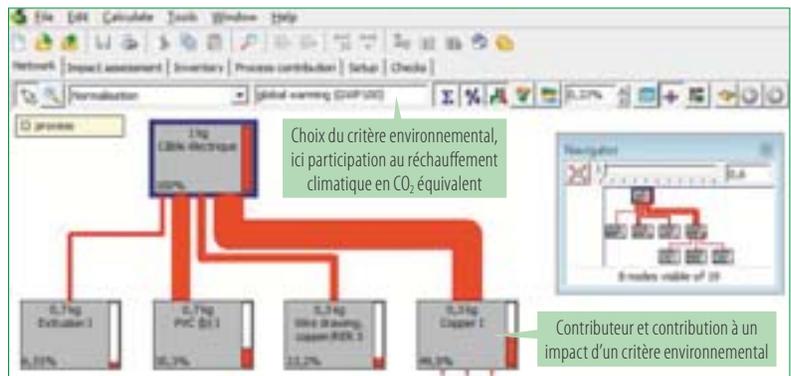
Avant de commencer, nous avons besoin de quelques données concernant le produit. Celles du tableau 4 sont extraites de la nomenclature et des processus nécessaires pour réaliser les différentes pièces.

Pièce	Matériau	Masse (g)
Capot 1	ABS	482
Capot 2	PA66-GF30	99
Armature	ABS	243
	PC	243
Visserie	AlCuMg1	20
Moteur	Cuivre (bobine)	93
	Acier (armature)	475
	Résine époxy	2
	Zinc (entretoise)	8
	Élastomère	9
	Fibre de verre	8
Domino	Polyamide	4
	Cuivre	2
Électronique	Carte électronique	5
	Résistance (50 % céramique + 50 % acier)	2

4 Quelques données concernant le produit



5 La création d'un composant « complexe », le câble électrique



6 La contribution du câble au réchauffement climatique

Les hypothèses d'utilisation

Le sèche-mains sera utilisé 1 heure par jour pendant 2 ans. Sa puissance est de 1 500 W. Il est raccordé au réseau EDF (les caractéristiques environnementales de la production d'électricité en France sont définies

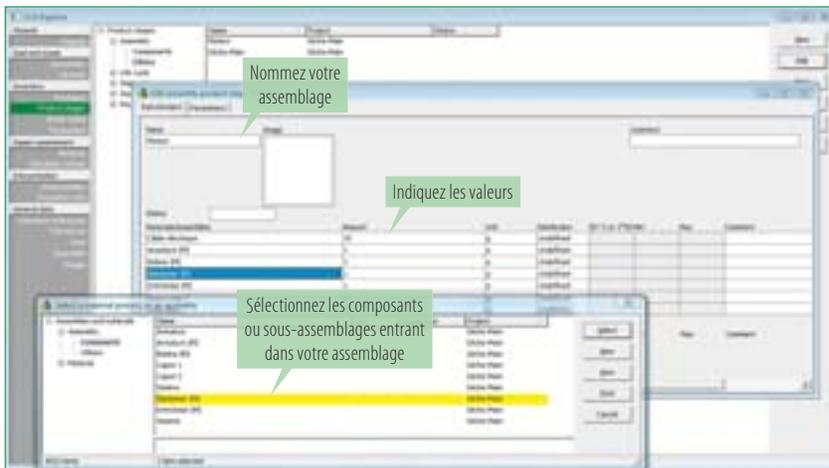
dans les bases de données en tenant compte du mix énergétique : pourcentage de nucléaire, de renouvelable...).

- **Les hypothèses sur la fin de vie**
Plusieurs hypothèses de fin de vie peuvent être émises. Par exemple, nous pouvons définir que le produit sera jeté aux ordures ménagères, ou alors qu'il sera en partie récupéré pour être recyclé.

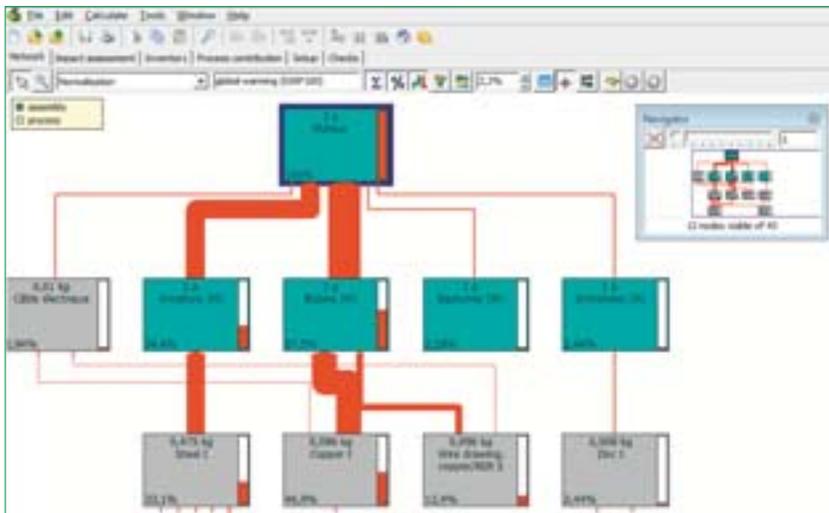
Dans ce dernier cas, le produit sera démonté, et le moteur réutilisé dans 80 % des cas. Les autres composants du sèche-mains iront dans 50 % des cas en GET (centres d'enfouissement technique) et dans les 50 % restants en incinération.

La modélisation du produit La création de composants

Une fois les données collectées, il faut les modéliser. Il s'agit tout d'abord de « créer » les composants « complexes » utilisés (composés de plusieurs matières).



7 La création de l'assemblage moteur



8 La contribution du moteur au réchauffement climatique



9 Les impacts de l'ensemble des matériaux et process constitutifs du sèche-mains

Par exemple, il est utile de modéliser les câbles électriques, qui entrent dans la construction du moteur du sèche-mains. Nous ferons l'hypothèse qu'ils sont constitués à 30 % (en masse) de cuivre et à 70 % de PVC. Il convient d'intégrer les caractéristiques environnementales du cuivre et du PVC lors de leur fabrication. Extraites des bases de données, elles ont été définies par des études sur l'analyse de l'extraction, de la transformation, du transport... À ces matières premières, on affectera les procédés de l'entreprise, ici extrusion du PVC et tréfilage du câble **5**.

Nous avons donc construit une donnée correspondant au câble électrique, qui pourra être analysée directement pour connaître les impacts environnementaux du câble ou bien ajoutée à d'autres pour créer un assemblage. Il est alors possible de visualiser les différents contributeurs du câble électrique sur un indicateur environnemental. Cette approche, qui permet de remonter à leur source, est utilisée pour comprendre l'origine des impacts environnementaux principaux.

Pour notre exemple, nous analysons les impacts sur le changement climatique, calculé en CO₂ équivalent **6**. On voit que les deux matériaux, et essentiellement le cuivre, contribuent pour 80 % à l'impact sur le changement climatique.

La création d'assemblages

Une fois les différents composants du sèche-mains modélisés séparément, il est nécessaire de créer des assemblages et des sous-assemblages (additions de plusieurs éléments suivant leur fonction technique) – par exemple, le sous-assemblage « Moteur », constitué d'une bobine de cuivre, d'une armature en acier, d'une entretoise en zinc, d'une résine époxy, d'élastomère, de fibre de verre et de câbles électriques **7**.

Encore une fois, il est possible de visualiser l'impact des différents éléments de l'assemblage sur un critère environnemental **8**, ou celui du pro-

TÉMOIGNAGES

« Des plaques électriques économes en énergie »

Erwann Abgral, responsable du BE de Moderna, une PME vendéenne de fabrication de cuisinettes intégrées :

« Nous avons réalisé une analyse du cycle de vie (ACV) comparative des deux types de cuisinettes, l'une en métal et l'autre en bois. Les portes en bois présentent moins d'impacts environnementaux en première approche, mais elles doivent être changées deux fois plus souvent que celles en métal. Dans ce cas, quel matériau privilégier ?

L'ACV a montré que le matériau utilisé n'était pas le facteur déterminant, le plus important étant la consommation des plaques électriques lors de l'usage. Proposer des plaques électriques économes en énergie permettrait de diminuer globalement les impacts de 20 %. En définitive, nous allons travailler à l'écoconception des deux types de portes, en bois et en métal ! »

« Évaluer l'impact global de nos produits »

Sébastien Zinck, expert en développement durable chez Steelcase International :

« Chez Steelcase, nous utilisons SimaPro depuis quelques années pour réaliser nos analyses de cycle de vie, inhérentes à notre démarche d'écoconception. Ces analyses sont utilisées aussi bien en amont – pour conseiller, par exemple, nos équipes R&D lors de la conception de composants – qu'en aval – afin d'évaluer l'impact global de nos produits (sièges, bureaux...). Nos résultats d'ACV, validés par une tierce partie, sont finalement communiqués officiellement à nos clients via des déclarations environnementales de produit (ISO 14025). »

duit sur l'ensemble des indicateurs utilisés lors de l'étude 9.

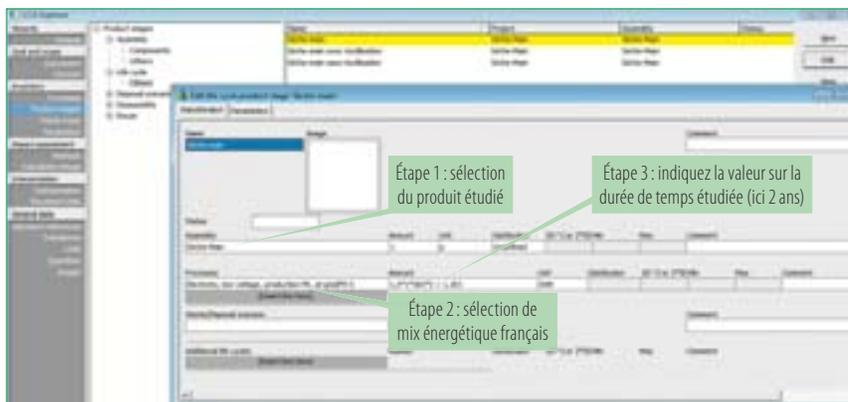
L'étude de l'utilisation du produit

Nous avons préalablement émis l'hypothèse que le sèche-mains, d'une puissance de 1 500 W, sera raccordé au réseau EDF 1 heure par jour pendant 2 ans. Il convient maintenant d'intégrer cette information dans la modélisation du cycle de vie du produit 10.

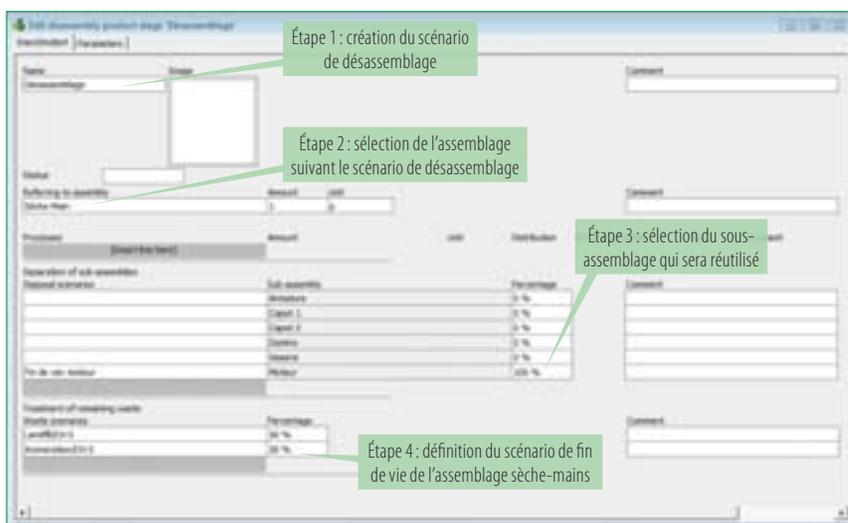
L'étude de la fin de vie du produit

● Désassemblage

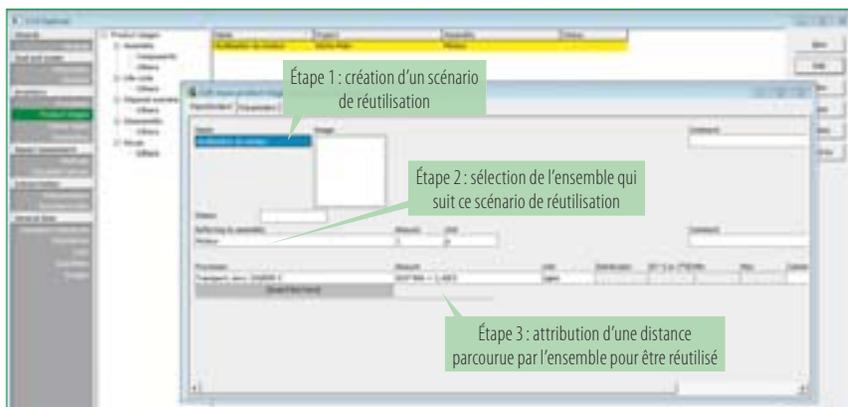
Pour que le moteur puisse suivre la filière de réutilisation, il faut le séparer du reste du sèche-mains. Nous allons, dans cette étape, désassembler le moteur du sèche-mains 11.



10 La création du scénario d'utilisation



11 La création du module de désassemblage du moteur



12 Les scénarios de réutilisation

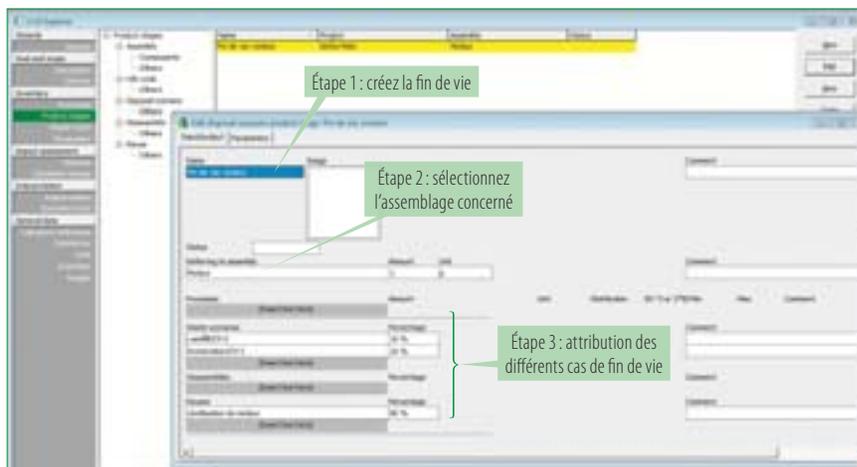
● Réutilisation

Dans cette étape, nous définissons le sous-assemblage qui sera réutilisé, et nous lui attribuons une distance de transport de 400 km pour aller du site de démontage au site

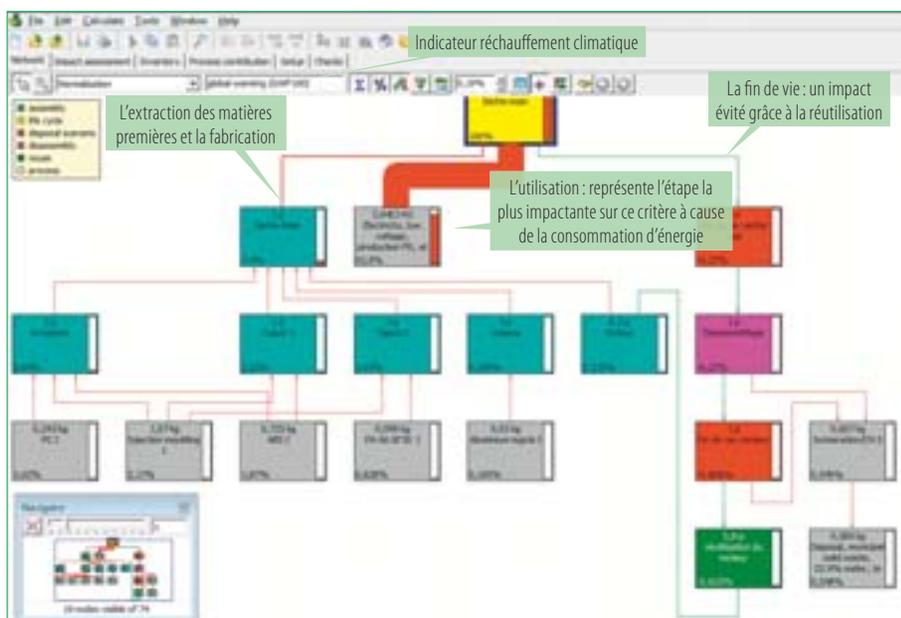
de réassemblage dans un nouveau sèche-mains, par exemple 12.

● Fin de vie du moteur

Dans cette étape, nous définissons ce que devient le moteur en fin de vie :



13 Les scénarios de fin de vie



14 La contribution du produit au réchauffement climatique

Deux cas d'étude

1

CHEZ UN FABRICANT D'EMBALLAGES ALIMENTAIRES,

une ACV comparative a été réalisée entre le couple matière-process existant et celui en cours de développement. L'étude a validé l'intérêt environnemental de la solution en développement. Cependant, elle nécessite un investissement important que l'entreprise ne peut réaliser dans l'immédiat ; l'ACV a donc également mis en évidence des pistes d'amélioration du process existant qui sont applicables dès aujourd'hui.

2

UN FABRICANT DE TOILE À BASE DE FIBRES SYNTHÉTIQUES

a réalisé une ACV de ses produits. L'étude a entre autres permis de comparer l'impact des différents colorants pour un même produit. Le fabricant a cherché des pistes innovantes pour remplacer le colorant ayant été identifié comme le plus impactant. En parallèle, il a utilisé ce classement pour conseiller ses clients soucieux de l'environnement sur les couleurs à privilégier.

il part dans 80 % des cas en réutilisation et dans 20 % des cas en incinération ou en CET 13.

La visualisation de l'ensemble du cycle de vie

Une fois que l'ensemble du cycle de vie est modélisé, nous pouvons visualiser son arborescence. Par exemple, pour l'indicateur réchauffement climatique, nous obtenons le schéma 14.

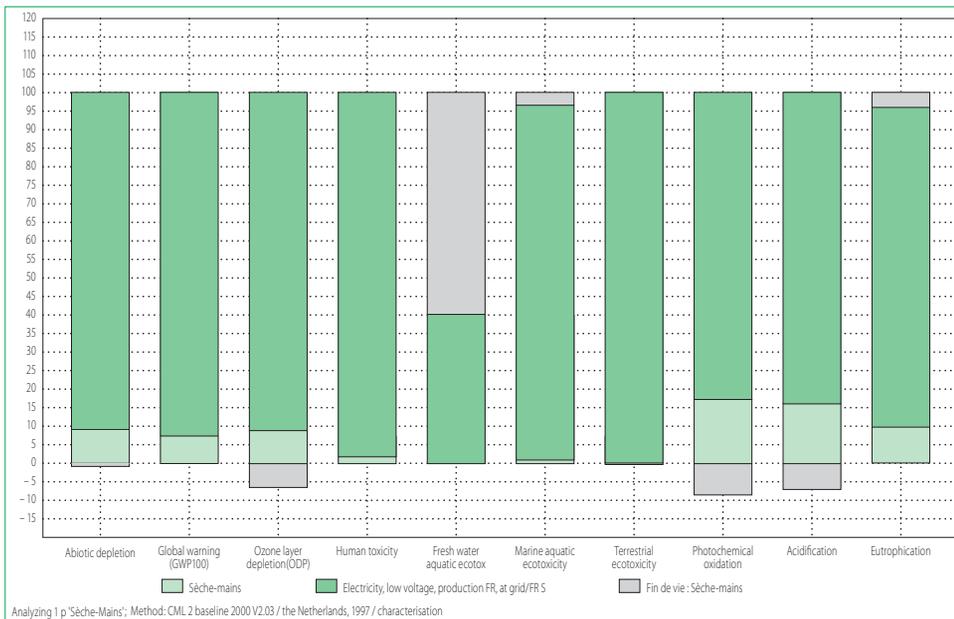
Il est également possible d'avoir une vue globale, pour le cycle de vie, des différents impacts du produit sur les différents indicateurs 15. Nous pouvons observer que c'est l'utilisation qui est l'étape la plus impactante sur l'ensemble des critères sauf un (toxicité aquatique : 60 % pour la fin de vie).

La fin de vie avec réutilisation limite les impacts sur trois indicateurs : disparition de la couche d'ozone, oxydation photochimique et acidification. La comparaison de ce scénario avec celui sans réutilisation (50 % du produit en enfouissement, 50 % du produit en incinération) permet de le valider 16.

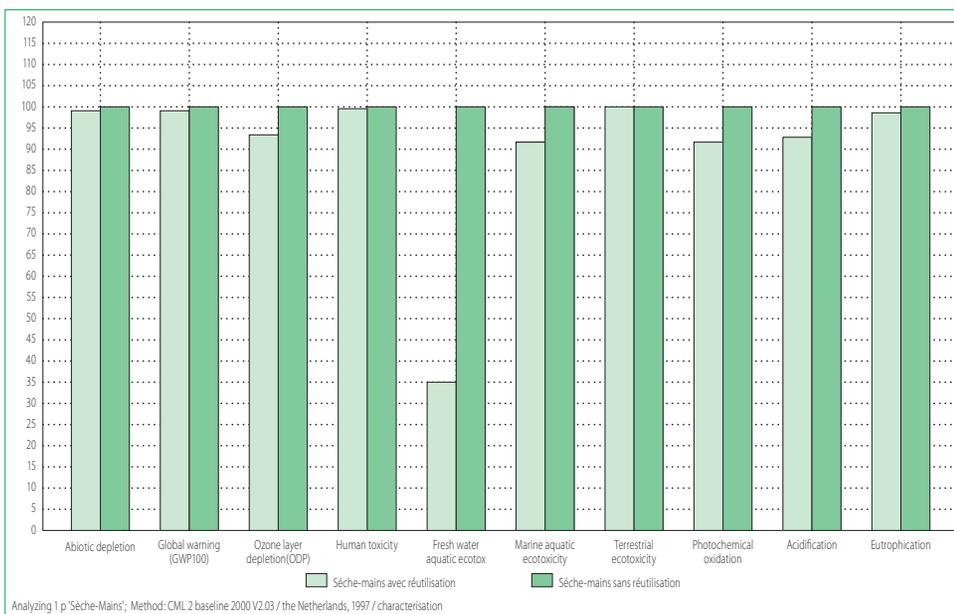
Et ensuite...

Notre analyse l'a mis en évidence, c'est la phase d'utilisation qui est la plus impactante ; il est donc nécessaire de s'en préoccuper en priorité, et de se poser la question de la fonction du produit et des moyens mis en œuvre pour atteindre cette fonction. On le voit, l'écoconception fait appel aux techniques habituelles de conception et de reconception telles que l'analyse fonctionnelle. Il peut être opportun de réfléchir à la quantité d'énergie nécessaire pour sécher des mains et sur les moyens de l'optimiser (ratio chaleur/vent à optimiser, temps de chauffage de l'air...).

Le produit peut également être amélioré sur les autres phases du cycle de vie, même si les progrès seront moins significatifs. Ainsi, on peut envisager la facilitation de la réutilisation du moteur lors de la conception du produit (assemblage démontable par exemple). Cette amélioration sera pertinente si la faisabilité technique de la réutilisation du



15 Les impacts du produit sur les différents indicateurs



16 Les impacts comparés du produit selon les scénarios modélisés

moteur est prouvée (le moteur est-il un élément de défaillance du produit? quel est l'état du moteur lors de la fin de vie réelle du produit?)

Encore plus de possibilités

Le logiciel SimaPro permet de faire d'autres choses :

● **Comparaison entre différentes solutions**

On peut comparer le sèche-mains avec d'autres solutions existantes (papier jetable, torchon lavable...) pour déterminer la solution la moins impactante sur l'environnement.

● **Analyses de sensibilité**

Il est possible de faire varier certains paramètres (matériaux, poids...) et de comparer rapidement les avantages environnementaux de chacune des solutions.

● **Intégrer des bases de données** (Ecoinvent, IdeMat, MEEUP...)

Plus de matériaux et de process sont définis dans ces bases de données, ce qui augmente les possibilités de modélisation. De plus, ces bases sont en constante croissance : ainsi, Ecoinvent est passée de 2 500 à plus de 5 000 modules en décembre 2007. ■