

Cours	CT 4	TSI 1 Période 1
	Ecoconception	0h30
	Cycle 1 : Communication Technique	4 semaines

Analyser

Modéliser

Résoudre

Expérimenter

Réaliser

Concevoir

Communiquer

ANALYSER

Définir les domaines d'application et les critères technico-économiques et environnementaux.

Évaluer l'impact environnemental et sociétal.

Intégrer les contraintes d'écoconception dans les architectures proposées.

CONCEVOIR





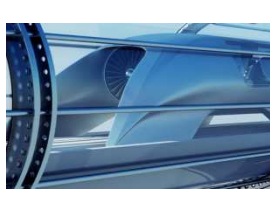
Écoconcevoir une pièce en optimisant le triptyque produit-procédés-matériaux.

1 Motivations et problématique

1.1 Enjeux et contexte

9 milliards d'hommes et de femmes vivront en 2050, dont 75% dans les villes.

Les grands enjeux du 21^{ème} siècle seront :

<i>Accès à la santé</i>	<i>Accès à l'énergie</i>	<i>Accès à la communication</i>	<i>Accès à l'eau et à la nourriture</i>	<i>Accès aux transports</i>
				
<i>Robot Davinci</i>	<i>Hydrolienne</i>	<i>Projet Starlink</i>	<i>Projet Agricool</i>	<i>Projet Hyperloop</i>

1.2 Toute production ou transformation nécessite de l'énergie

- Les objets qui modifient la température : ils servent soit à réchauffer, soit à refroidir. Ils utilisent ou éventuellement restituent de l'énergie ;
- Les objets qui modifient la vitesse : tous les moyens de transport en font partie ;
- Les objets qui modifient la forme : enlèvement de matière, ajout de matière, modification de la géométrie... ;
- Les objets qui modifient la composition chimique ou atomique ;
- Les objets qui modifient la position dans un champ (magnétique, électrique, gravitationnel) ;



Quantification de l'énergie (unités et ordre de grandeur)

- Unité SI :le joule. Un français utilise en moyenne par an (directement ou indirectement) : 170 GJ ;
- L'unité utilisé en électricité : le kWh (1 kWh = 3,6 MJ). Un français utilise par an 50 000 kWh ;
- La tonne équivalent pétrole (tep) et ses multiples (1 tep = 41,8 GJ = 11600 kWh).

Comparaison de la densité énergétique de différentes sources primaires d'énergie :

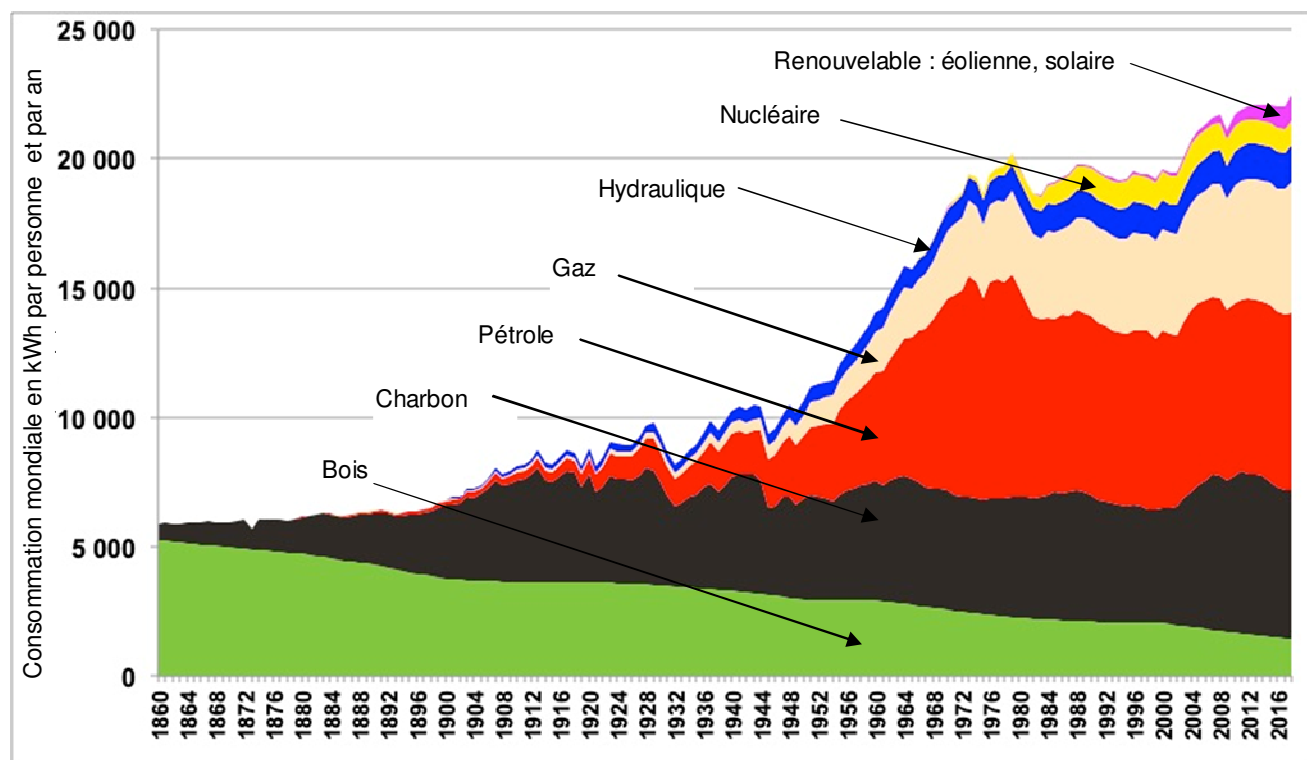
1 tep de bois	1 tep de charbon	1 tep de pétrole	1 tep de fission nucléaire	1 tep de fusion nucléaire
				
3,1 tonnes	1,4 tonnes	955 kg	240 mg	24 mg

Ordre de grandeur de la puissance :

- véhicule léger motorisé : 100 000W.
- cycliste sur le plat à 25km/h : 100W

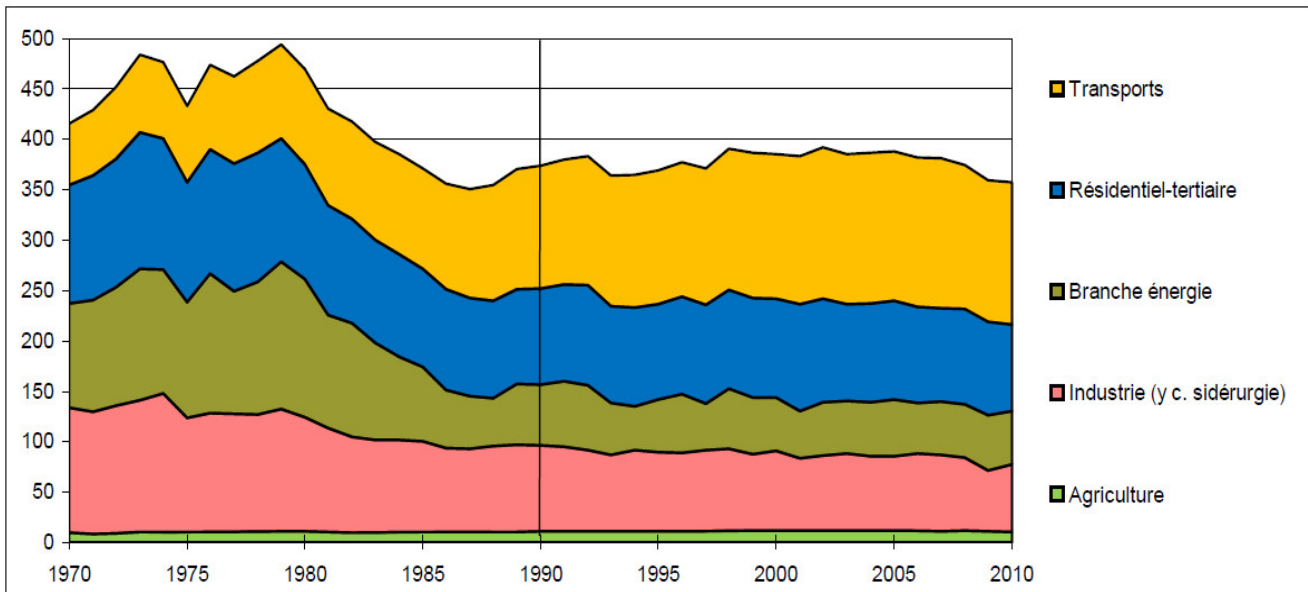
La mécanisation permet à l'utilisateur de contrôler 1000 fois plus de puissance.

Cela a conduit à augmenter la consommation d'énergie et notamment d'énergie fossile (Pétrole, gaz et charbon) émettrice de gaz à effet de serre (GES) et principalement de CO₂.



Émissions de CO₂ par secteur

Données corrigées des variations climatiques, en Mt CO₂



Source : SOeS, bilan de l'énergie 2010

Figure 1 : Emissions de CO₂ en France.

On en déduit que pour réduire l'impact énergétique d'un produit, il faut prendre en compte l'intégralité de son cycle de vie.

1.3 Cycle de vie

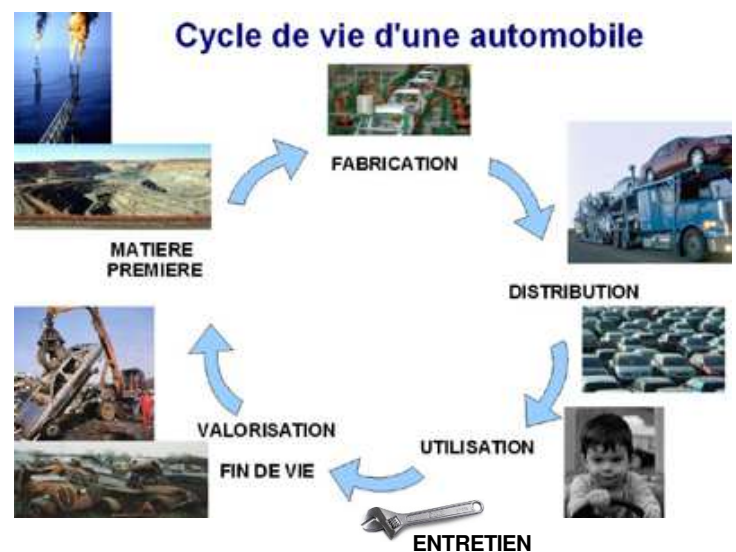
Typiquement, pour une automobile, on retrouve toutes les activités du cycle de vie d'un produit :

- Extraction des matières premières ;
- Production, fabrication ;
- Transport et distribution ;
- Utilisation ;
- Entretien ;
- Réutilisation ou recyclage ;
- Élimination finale.

La phase de fin de vie

Plusieurs scénarios possibles pour la fin de vie des produits :

- Recyclage
- Enfouissement
- Incinération
- Compostage



Impact du recyclage en fonction des matériaux :

- Pour les matériaux non-renouvelables (plastique, verre, métal) le recyclage présente moins d'impacts (GES et consommation énergétique) que l'enfouissement et l'incinération.
- Pour les matériaux renouvelables (papier, carton) le recyclage a :
 - Plus d'impacts que l'incinération si l'énergie produite par l'incinérateur remplace les carburants fossiles,
 - Moins d'impacts que l'incinération si l'énergie produite par l'incinérateur remplace des biocarburants,
 - Généralement moins d'impacts que l'enfouissement.

2 Impacts et caractérisation pour l'éco-conception

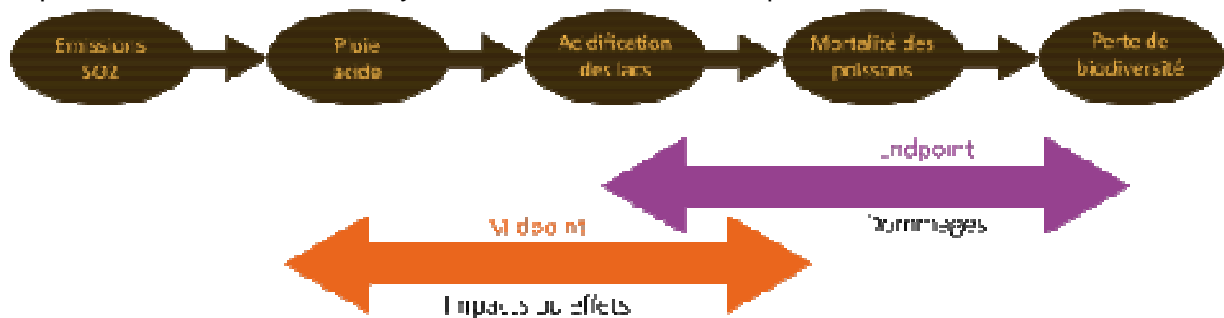
Lors d'une étude de cycle de vie (ECV), il convient de réaliser l'inventaire du cycle de vie (ICV) en faisant le bilan des flux entrants et sortants. Dans un deuxième temps, des bases de données permettent de quantifier les effets environnementaux de ces flux.

2.1 Méthodes d'analyse d'impact et catégories d'impact

Les méthodes d'analyse d'impact ont été introduites afin de relier les données d'un inventaire (exemple : substances) aux dommages environnementaux dont elles sont à l'origine :

- méthodes orientées problèmes, dites « mid-point » qui associent aux flux de substances les impacts sur l'environnement.
- Les méthodes orientées dommages, dites « end-point » qui estiment les dommages potentiels finaux notamment sur les espèces vivantes.

Exemple : émission de SO₂, dioxyde de soufre, dans l'atmosphère



Pour quantifier les conséquences de divers polluants, on utilise une **substance de référence**. (méthode CML).

Dommages	Problèmes	Substance et valeur annuel pour un européen [unité de référence]
Prélèvements	Epuisement des énergies non renouvelables	Energie 420 [MJ]
	Epuisement des matières premières non renouvelables	Antimoine (Sb) 0,01 [kg éq. Sb]
	Consommation de ressources naturelles non renouvelables	Antimoine (Sb) 0,01 [kg éq. Sb]
	Artificialisation des sols	Surface d'utilisation des terres sur une année 0,05 [m ² .an]
Rejets (Pollutions)	Gaz à Effet de Serre (GES) ou Global Warming Potential (PRG)	Dioxyde de carbone 28 [kg éq. CO ₂] étudié PRG100
	Acidification liée aux pluies acides	Dioxyde de soufre 0,1 [kg éq. SO ₂]
	Eutrophisation : enrichissement excessif des milieux aquatiques en sels nutritifs	Composé phosphaté (PO ₄) 0,1 [kg éq. PO ₄]
	Dégradation de la couche d'ozone	Chlorofluorocarbone 0,01 [kg éq. CFC ₁₁] (Fréon 11)
	Ecotoxicité : excès d'émission dans air, eau, sols menaçant la viabilité des écosystèmes	Dichlorobenzène 2,8 [kg éq. 1,4 DCB]
	Toxicité humaine : toxicité d'une substance directement sur l'être humaine	Dichlorobenzène 56 [kg éq. 1,4 DCB]
Nuisances	Acoustiques : bruit	
	Visuelles : aspect visuel	
	Olfactives : odeur	
	Vibrations	
Altération des écosystèmes	Désertification	
	Déforestation	
	Perte de biodiversité	

2.2 Exemple de calcul d'impact lié aux gaz à effet de serre (GES)

Le potentiel de réchauffement climatique global (PRG) ou Global Warming Potential (GWP) est utilisé pour calculer le facteur de caractérisation de l'effet de serre.

Le PRG d'une substance quantifie l'augmentation de l'échange d'énergie par rayonnement (forçage radiatif) généré par ce gaz en comparaison avec la même quantité initiale de CO₂ dans l'atmosphère.

Gaz	Formule	PRG relatif / CO ₂ (à 100 ans)
Gaz carbonique	CO ₂	1
Méthane	CH ₄	28
Protoxyde d'azote	N ₂ O	265
Perfluorocarbures	C _n F _{2n+2}	7400 à 12200
Hydrofluorocarbures	C _n H _m F _p	120 à 14800
Hexafluorure de soufre	SF ₆	22800

Valeurs conventionnelles de GES en « équivalent CO₂ » (©Connaissance des Énergies, d'après 5e rapport du GIEC)

Pour chaque gaz à effet de serre k : $PRG = \frac{\int_0^T a_k c_k(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt}$

où : PRG : potentiel de réchauffement climatique pour le gaz k ;

a_k : absorption de la radiation thermique suite à une augmentation de la concentration du gaz k ;

$c_k(t)$: concentration du gaz k restant au temps t après son émission ;

a_{CO_2} : absorption de la radiation thermique suite à une augmentation de la concentration de CO₂ ;

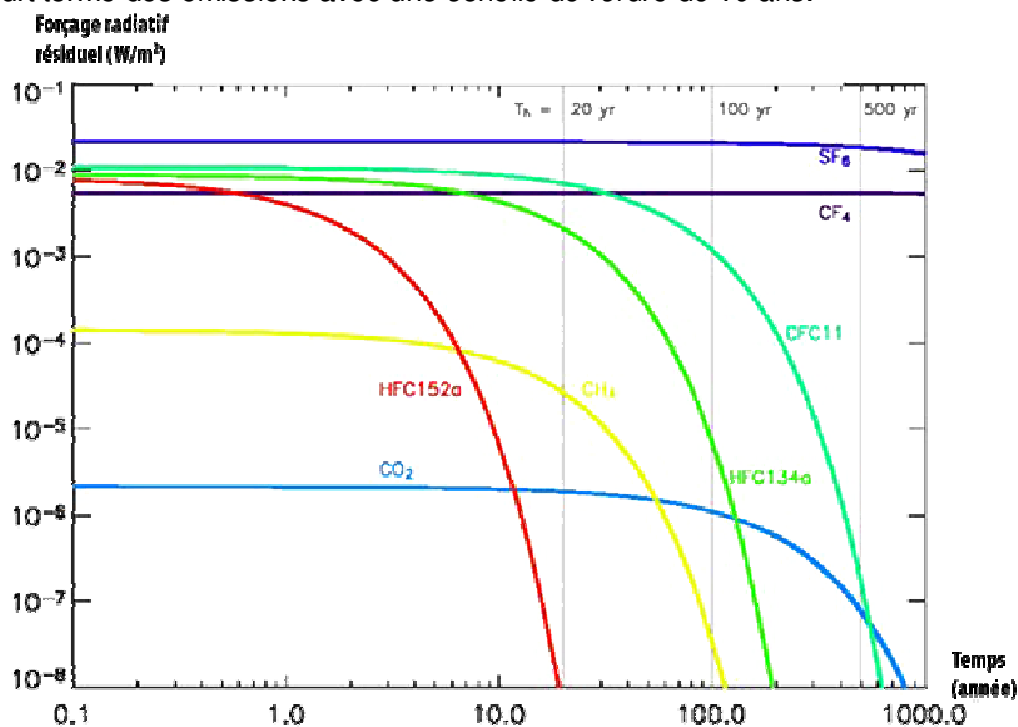
$c_{CO_2}(t)$: concentration de CO₂ restant au temps t après son émission ;

L'intensification de l'effet est évaluée suivant l'équation :

$$\text{Effet de serre [kg éq. CO}_2\text{]} = \sum_k (PRG \times \text{masse de la substance } k \text{ émise [kg]})$$

Le PRG dépend de la durée de l'échelle de temps choisie :

- effets à long terme, l'échelle des temps de l'ordre de 100 ans lorsqu'il s'agit d'effets cumulatifs,
- effets à court terme des émissions avec une échelle de l'ordre de 10 ans.



Forçage radiatif résiduel, au cours du temps (en W/m²), provenant 10⁹kg de gaz émis à l'instant 0.

Exemple : émission d'éq. CO₂ pour la production de matériaux

<i>Matériau</i>	<i>Émissions équivalentes de CO₂ en kg pour 1kg produit</i>
<i>Verre bouteille</i>	<i>0,1</i>
<i>Ciment</i>	<i>0,25</i>
<i>Acier</i>	<i>0,3 à 0,85 selon le pourcentage de ferrailles</i>
<i>Verre plat</i>	<i>0,4</i>
<i>Papier-carton</i>	<i>0,3 à 0,5</i>
<i>Plastiques (*) (PE, PS, PCV, PET, ABS...)</i>	<i>0,5 à 1,6</i>
<i>Aluminium</i>	<i>0,6 à 3 selon le pourcentage de déchets d'aluminium</i>

(*) PE : Polyéthylène ; PS : Polystyrène ; PVC : Polychlorure de vinyle ; PET : Polytétraphthalate d'éthylène ; ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrene

Exemple : émission d'éq. CO₂ pour la production d'énergie

<i>Énergie</i>	<i>Émissions équivalentes de CO₂ en g/kWh électrique</i>
<i>Éolienne</i>	<i>3 à 22</i>
<i>Hydraulique</i>	<i>4</i>
<i>Nucléaire</i>	<i>6</i>
<i>Photovoltaïque</i>	<i>60 à 150</i>
<i>Cycle combiné à gaz</i>	<i>430</i>
<i>Charbon</i>	<i>800 à 1050 suivant la technologie</i>
<i>Biomasse bois</i>	<i>1500 sans replantation</i>

2.3 Bilan

En conclusion, l'**Analyse du Cycle de Vie** réalise un **bilan détaillé et quantitatif** des entrées et des sorties mesurées aux frontières d'un produit.

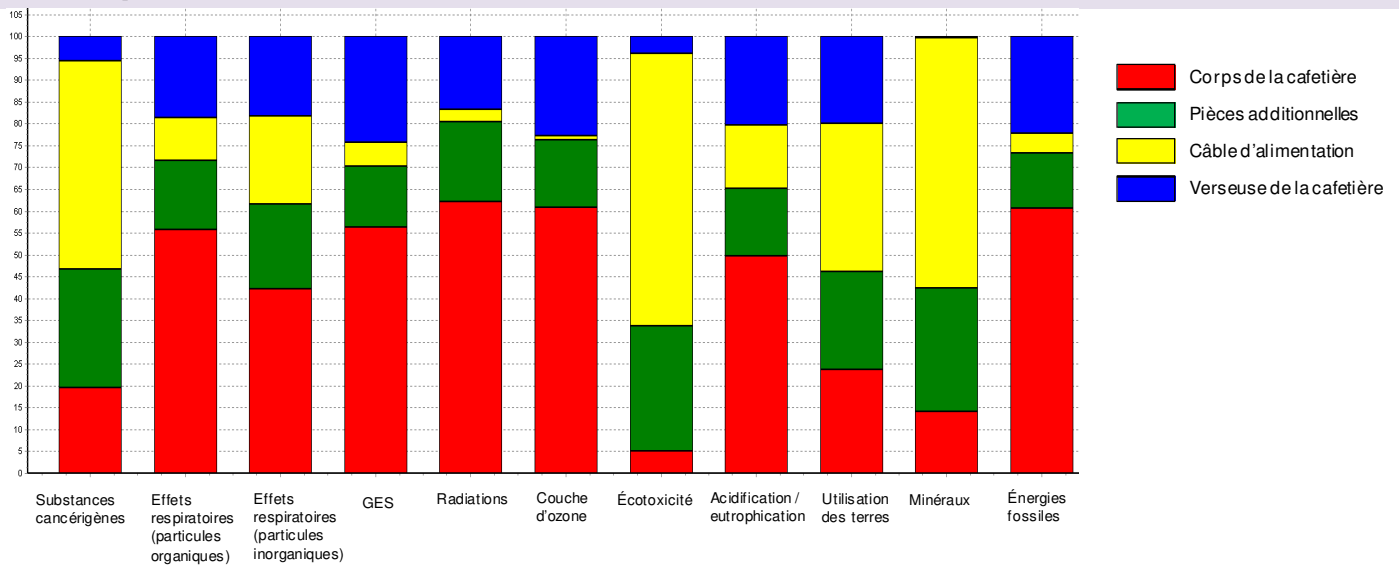
Cette analyse peut prendre en compte différents critères ou impact et les différentes étapes du cycle de vie mais afin de prendre en compte la notion de transfert d'impact, l'**analyse multicritère / multi-étape** est la plus pertinente.

Ainsi, pour chacune des étapes du cycle de vie d'un produit, il faut recenser les flux de matières et d'énergie. Les impacts environnementaux sont ensuite quantifiés sur l'ensemble du cycle de vie.

Enfin il est nécessaire de prévoir une étape de normalisation pour faciliter l'interprétation (voire l'étude de cas suivante). Ainsi, l'unité d'un facteur intermédiaire ou dommage normalisé est le nombre équivalent de personnes affectées pendant une année par unité d'émission de la substance de référence considérée.

3 Cas d'étude : Analyse du Cycle de Vie (ACV) d'une cafetière

3.1 Impacts environnementaux d'une cafetière



Toutes les catégories d'impacts sont à 100 % car il s'agit de la participation des différents composants aux effets environnementaux du produit.

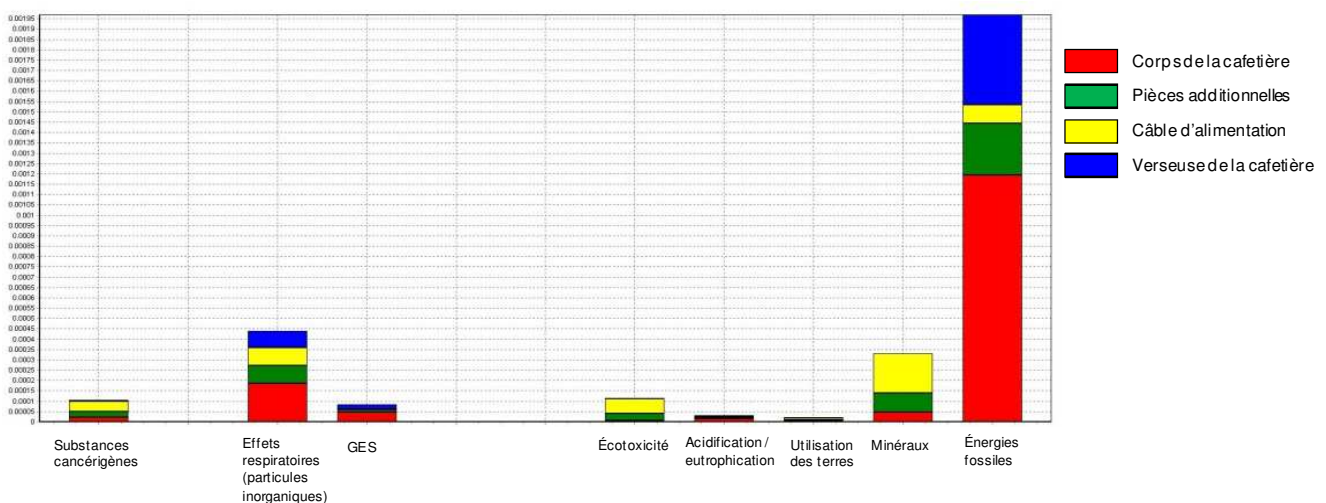
Il peut être utile à ce stade de regrouper les différents impacts à l'aide des quantifications de substances références équivalentes.

3.2 Etape de normalisation

Afin de faciliter l'interprétation des résultats, il convient d'analyser l'importance des impacts en termes de contribution par rapport aux contributions globales.

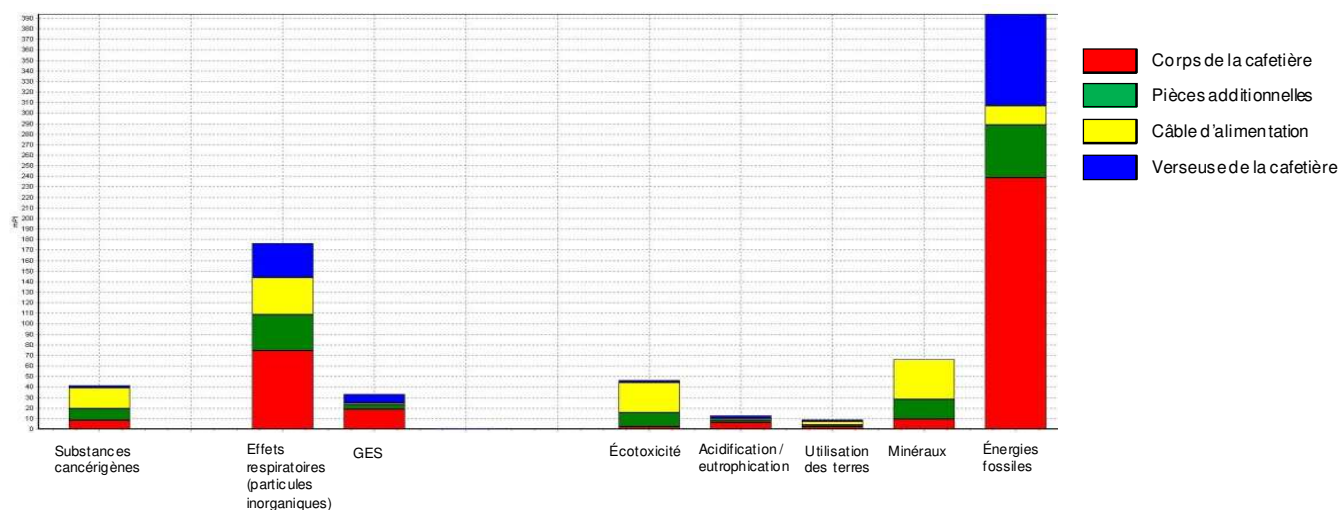
Par exemple, les émissions qui contribuent à l'acidification dans l'ACV sont-elles significatives par rapport aux émissions globales qui contribuent à l'acidification ?

La **normalisation** consiste à rapporter les effets des différentes familles d'impacts du produit étudié aux effets environnementaux causés par un habitant sur une année (l'exemple est normalisé avec les statistiques d'un habitant européen).



3.3 Etape de pondération

C'est l'étape la plus hasardeuse car il s'agit de déterminer le poids à affecter à chaque problème environnemental : l'effet de serre est-il plus néfaste que l'épuisement des ressources ?

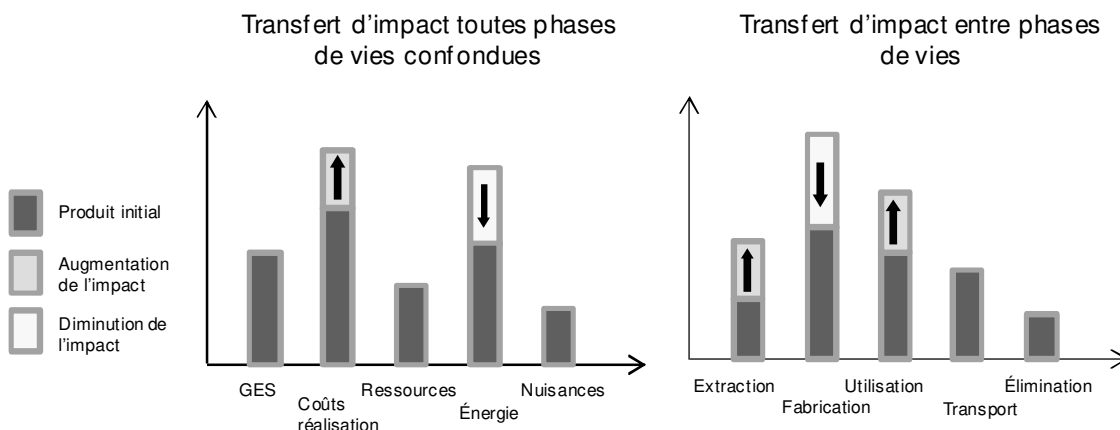


Sur cet exemple, on constate la nécessité de réduire avant tout le recours aux énergies fossiles et d'étudier la possibilité de réduire l'émission de particules inorganiques.

4 Notion de transfert d'impact pour l'éco-conception

La société Bic communique sur la réduction de l'émission de CO₂ de son nouveau produit, mais qu'en est-il de l'augmentation de l'acidification et de l'écotoxicité ?

Ainsi, lors de l'évolution d'un produit dans le cadre d'une écoconception, il s'agit d'éviter ou d'arbitrer, les **transferts d'impact** correspondant à un déplacement d'un impact à l'autre ou d'une phase de vie à l'autre.



Transferts d'impact dans le cadre de l'évolution d'un produit

Sur la figure précédente, l'évolution du produit a engendré un transfert d'impact de la consommation d'énergie au coût de réalisation.

L'évolution de ce produit a également engendré un transfert d'impact de la fabrication vers l'extraction et l'utilisation.

Références :

- Université Virtuelle Environnement et Développement Durable: <https://www.uved.fr>
- Logiciel gratuit Bilan Produit® et sa base de données Base Impacts® de l'Ademe : <https://www.base-impacts.ademe.fr>
- Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles : <https://www.upsti.fr>