



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Cycle de Vie

Sommaire

1	Les étapes du cycle de vie	2
1.1	<i>Vue globale</i>	2
1.2	<i>La phase de fin de vie</i>	3
2	Les impacts et leur caractérisation	4
2.1	<i>Les différents impacts :</i>	4
2.2	<i>Calcul du score d'impact suivant la méthode CML 2000:</i>	6
2.3	<i>« Effet de serre » ou changement climatique.....</i>	8
2.3.1	<i>Principe :</i>	8
2.3.2	<i>Les gaz à effet de serre :</i>	9
2.3.3	<i>Le calcul du facteur d'impact (caractérisation).....</i>	10
2.4	<i>Destruction de la couche d'ozone stratosphérique.....</i>	14
2.4.1	<i>Principe :</i>	14
2.4.2	<i>Le calcul du facteur d'impact : (caractérisation).....</i>	15
2.5	<i>Acidification :</i>	16
2.5.1	<i>Principe :</i>	16
2.5.2	<i>Le calcul du facteur d'impact : (caractérisation).....</i>	17
2.6	<i>Eutrophisation.....</i>	18
2.6.1	<i>Principe :</i>	18
2.6.2	<i>Le calcul du facteur d'impact : (caractérisation).....</i>	19
2.7	<i>Epuisement des ressources naturelles.....</i>	20
2.7.1	<i>Principe :</i>	20
2.7.2	<i>Le calcul du facteur d'impact : (caractérisation).....</i>	21
2.8	<i>Toxicité humaine ou impacts toxicologiques.....</i>	22
2.8.1	<i>Principe :</i>	22
2.8.2	<i>Le calcul du facteur d'impact : (caractérisation).....</i>	22
2.9	<i>Ecotoxicité ou impacts sur les écosystèmes.....</i>	24
2.9.1	<i>Principe :</i>	24
2.9.2	<i>Le calcul du facteur d'impact (caractérisation).....</i>	24
3	Analyse du cycle de vie et transfert d'impacts	25
3.1	<i>Unité fonctionnelle</i>	27
3.2	<i>Démarche de la norme ISO 14044</i>	27
3.2.1	<i>Objectif de l'étude.....</i>	28
3.2.2	<i>Inventaire</i>	28
3.2.3	<i>Calculs des impacts</i>	28
3.2.4	<i>Interprétations</i>	28
4	Typologie de produit	29



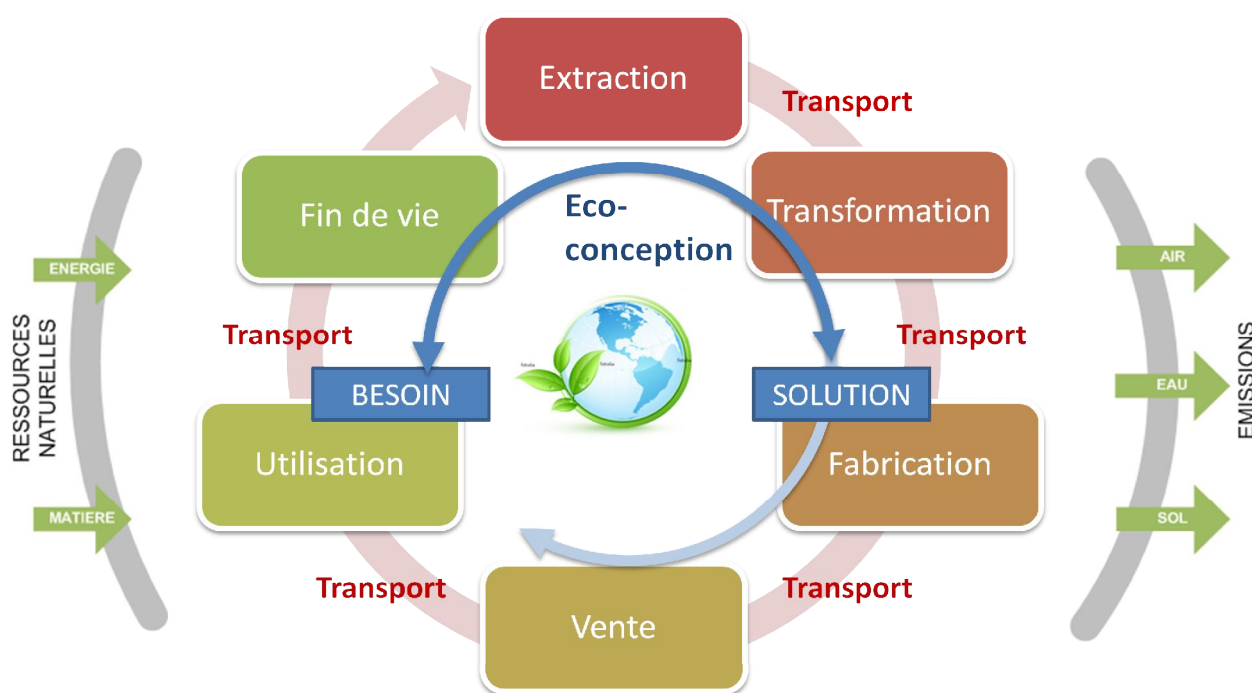
Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

1 Les étapes du cycle de vie

1.1 Vue globale

Le cycle de vie commence à l'extraction des matières premières jusqu'à son élimination (fin de vie ou recyclage). Il est nécessaire de prendre en considération toutes les étapes afin d'éviter un déplacement des problèmes (impacts écologiques, conditions sociales).

La démarche d'éco-conception ou d'éco-construction s'inscrit totalement dans ce cycle.



A chaque étape :

- Un produit consomme de l'énergie et des matières premières non renouvelables ;
- Un produit crée des impacts sur l'air, l'eau, le sol.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

1.2 La phase de fin de vie

Plusieurs scénarios possibles pour la fin de vie des produits :

- Recyclage
- Enfouissement
- Incinération
- Compostage

Le recyclage a évidemment un coût environnemental et énergétique mais celui-ci est généralement compensé par les impacts «évités» de la production de matière vierge.

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 des 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



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2 Les impacts et leur caractérisation

2.1 Les différents impacts :

Le SETAC propose les catégories d'impacts suivantes :

Catégories d'impacts relatives aux flux entrants

- épuisement des ressources non renouvelables
- épuisement des ressources renouvelables
- l'occupation des sols (de l'espace)

Catégories d'impacts relatives aux flux sortants

- réchauffement climatique
- toxicité
- écotoxicité
- destruction de la couche d'ozone stratosphérique
- acidification
- eutrophisation
- radiation radioactive
- formation de photo oxydant
- nuisances

Suivant la méthode de calcul utilisée, les impacts calculés peuvent être différents :



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

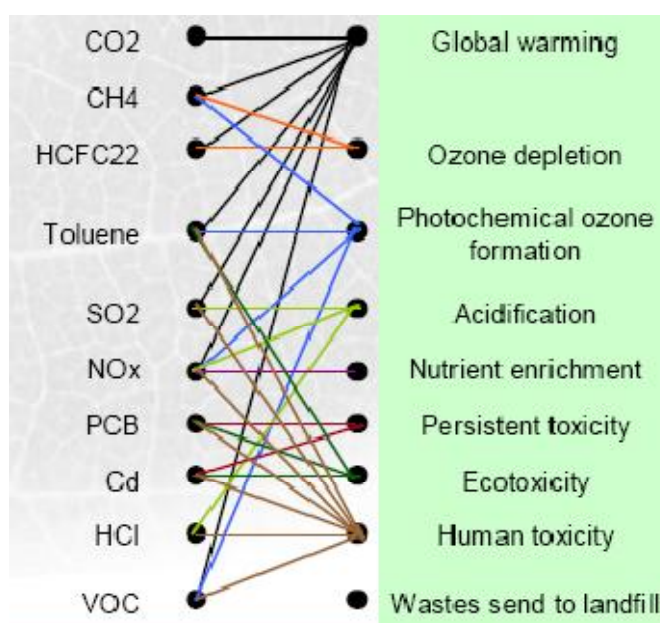
METHODES	CML 1992	CML 2000	Eco-indicator 95	Eco-indicator 99	Ecopoints 97	EDIP 96	EPS 2000
NOMBRE D'IMPACTS	9	10	11	11	30	16	13
IMPACTS	Acidification Ecotoxicity Energy resources Eutrophication Greenhouse Human toxicity Ozone layer Solid waste Summer smog	Abiotic depletion Acidification Aquatic ecotoxicity (fresh water) Aquatic ecotoxicity (marine) Eutrophication Global warming Human toxicity Ozone layer depletion Photochemical oxidation Terrestrial ecotoxicity	Acidification Carcinogens Energy resources Eutrophication Greenhouse Heavy metals Ozone layer Pesticides Solid waste Summer smog Winter smog	Acidification/ Eutrophication Carcinogens Climate change Ecotoxicity Fossil fuels Land use Minerals Ozone layer Radiation Respiratory inorganics Respiratory organics	Cd (air) Cd (water) CO2 COD Cr (water) Cu (water) Dust Energy Hg (air) Hg (water) High radiation Low/medium radiation Metals (soil) N NH3 Ni (water) Nitrate (soil) NMVOC NOx Ozone layer P Pb (air) Pb (water) Pesticide (soil) SOx Waste Waste special Zn (air) Zn (water)	Acidification Bulk waste Ecotoxicity water acute Ecotoxicity soil chronic Ecotoxicity water chronic Eutrophication Global warming Hazardous waste Human toxicity air Human toxicity soil Human toxicity water Ozone depletion Photochemical smog Radioactive waste Resources Slags/ ashes	Crop growth capacity Depletion of reserves Fish and meat production Life expectancy Morbidity Nuisance Production capacity of drinking water Production capacity of irrigation water Severe morbidity Severe nuisance Soil acidification Species extinction Wood growth capacity



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.2 Calcul du score d'Impact suivant la méthode CML 2000:

Toutes les substances, ont un effet plus ou moins important sur les catégories d'impacts. Il faut donc calculer pour chaque catégorie un score en fonction de chaque substance émise ou extraite.



Pour chaque impact, le score d'impact est calculé de la manière suivante :

$$S_i = \sum_s FC_{s,i} \times M_s$$

S_i : score pour l'impact i

$FC_{s,i}$: facteur de caractérisation de la substance pour l'impact i

M_s : masse de la substance s

Le facteur de caractérisation d'une substance est défini par un organisme référent dans le domaine



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

	Facteur de caractérisation	Substance de référence	unité	Organisme référent
Réchauffement climatique	GWP	Dioxyde de carbone CO ₂	Kg éq CO ₂	SETAC (IPCC) ou GIEC
Destruction de la couche d'ozone	ODP	Le fréon 11 CFC-11	Kg éq CFC-11	SETAC (IPCC) ou GIEC et WMO
Acidification	AP	Dioxyde de soufre SO ₂	kg éq SO ₂	SETAC
Eutrophisation	NP	phosphate PO ₄ ³⁻	Kg éq PO ₄	SETAC
Emission de photo oxydant	POCP	Ethylène C ₂ H ₄	Kg éq C ₂ H ₄	SETAC et AQG
Toxicité humaine	HTP	Di chlorobenzène 1,4 DB	Kg éq 1.4 DB	RIVM USES 2.0
Ecotoxicité de l'écosystème marin	AETP Et SETP	Di chlorobenzène 1,4 DCB	Kg éq 1.4 DB	RIVM USES 2.0
Ecotoxicité de l'écosystème terrestre	TETP	Di chlorobenzène 1,4 DCB	Kg éq 1.4 DB	RIVM USES 2.0
Ecotoxicité de l'écosystème d'eau douce	AETP Et SETP	Di chlorobenzène 1,4 DCB	Kg éq 1.4 DB	RIVM USES 2.0
Epuisement des ressources fossiles	ADF	Antimoine Sb	Kg éq Sb	CML



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.3 « Effet de serre » ou changement climatique

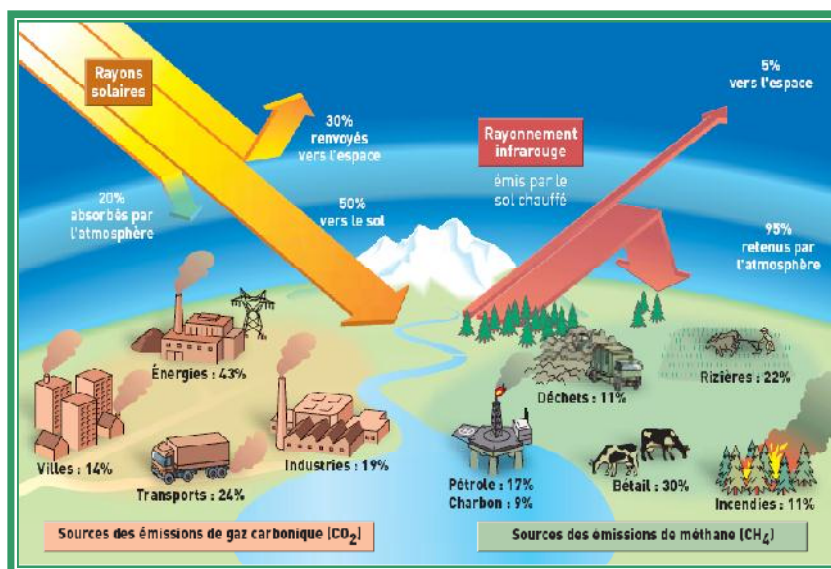
2.3.1 Principe :

Il existe au sein de notre atmosphère des gaz (les "gaz à effet de serre"), présents en petite quantité, qui jouent pour notre planète exactement le même rôle que la vitre d'une serre. Ces gaz n'empêchent pas la lumière du soleil d'arriver jusqu'à nous (ils sont très transparents au rayonnement solaire), mais empêchent le rayonnement infrarouge émis par le sol de repartir vers l'espace. Ils font ainsi office de "couvercle" en retenant prisonnière, en quelque sorte, l'énergie. donc nous avons une température relativement élevée - près du sol.

Si le chauffage supplémentaire du sol lié à cet effet de serre n'existait pas, la surface terrestre aurait une température moyenne de -18°C plutôt que de $+15^{\circ}\text{C}$, rendant notre planète tout à fait

inhospitalière pour les bipèdes que

nous sommes. L'effet de serre de notre atmosphère est donc un **phénomène bénéfique**. Le danger qui est désigné par le terme "effet de serre" correspond à un abus de langage. Il faut lui préférer le terme de "**réchauffement climatique**", ou mieux encore de "**changement climatique**". **Ce qui est dangereux n'est pas le phénomène lui-même, parfaitement naturel et essentiel à notre existence, mais sa modification rapide du fait de l'homme**, modification qui elle est porteuse de graves dangers potentiels. Cette modification ne se résume pas au seul changement de température.





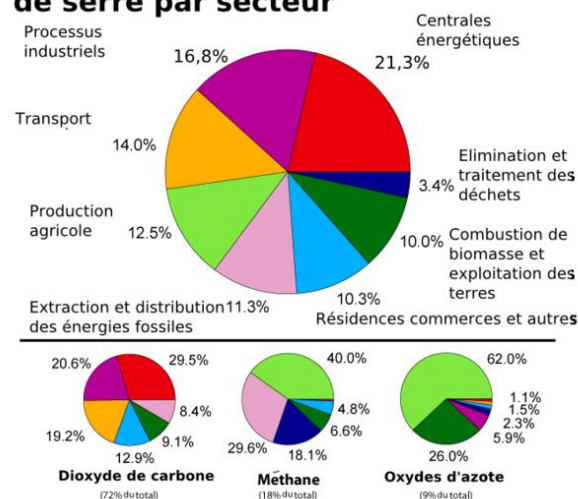
Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.3.2 Les gaz à effet de serre :

La vapeur d'eau est à l'origine de 55% de l'effet de serre. Le [gaz carbonique](#) additionnel libéré par les activités humaines est responsable de 55% de l'accroissement de l'effet de serre.

Les principaux gaz à effet de serre non-artificiels sont : la vapeur d' eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O) et l' ozone (O_3).	Les gaz à effet de serre industriels incluent des gaz fluorés comme : les chlorofluorocarbures (CFC) et HCFC-22 comme le fréon , le perfluorométhane (CF_4) l' hexafluorure de soufre (SF_6).
--	---

Emissions annuelles de gaz à effet de serre par secteur





Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.3.3 Le calcul du facteur d'impact (caractérisation).

Substance de référence : CO₂

Le GWP (Global Warming Potential ou potentiel de réchauffement climatique (PRG)) est utilisé pour calculer le facteur de caractérisation de l'effet de serre. Le GWP d'une substance est défini comme étant l'intégration, sur un laps de temps donné, du "forçage radiatif" (i.e. augmentation ou diminution de l'échange d'énergie par rayonnement) généré par un kg de ce gaz, injecté instantanément dans l'atmosphère. Le GWP est rapporté au CO₂ et il se calcule pour chaque gaz à effet de serre de la manière suivante :

$$GWP_i = \frac{\int_0^T a_i c_i(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt}$$

Avec :

a_i : absorption de la radiation thermique suite à une augmentation de la concentration du gaz i

$c_i(t)$: concentration du gaz i restant au temps t après son émission

T : nombre d'années sur lesquelles l'intégration a été effectuée.

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

$$\text{Effet de serre (kg)} = \sum_i GWP_i * Q_{té_i} \text{ de la substance émise (kg)}$$

Le GWP est dépendant de la durée de l'échelle de temps choisie. Pour les effets à long terme, l'échelle 100 à 500 ans est souhaitable quand il s'agit d'effets cumulatifs, alors que les échelles, allant de 20 à 50 ans, donnent une meilleure indication sur les effets à court terme des émissions. En général, dans les ACV on utilise 100 ans.

gaz à effet de serre	Appellation commerciale ou utilisation	formule	durée de séjour	PRG ou GWP à
----------------------	--	-------------------------	-----------------	--



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

			(ans)	100 ans
vapeur d'eau		H ₂ O	< 1	s.o.
dioxyde de carbone		CO ₂	200 (variable)	1
méthane	Issu de la fermentation organique, gaz naturel	CH ₄	12 ± 3	23
protoxyde d'azote	Gaz propulseur pour la crème chantilly Code européen E942	N ₂ O	120	310
dichlorodifluorométhane (CFC-12)	Fréon-12 n'est plus utilisé suite à réglementation remplacée par IdSCEON® 39TC ou deepcool	CCl ₂ F ₂	102	6 200 - 7 100
chlorodifluorométhane (HCFC-22)	Fréon -22 Agent réfrigérant interdit à partir de 01/2015. Interdit à la production depuis 01/2008	CHClF ₂	12,1	1 300 - 1 400
tétrafluorure de carbone 6	Fréon 14 Halon 14	CF ₄	50 000	6 500
hexafluorure de soufre	Production d'aluminium et de semi-conducteur	SF ₆	3 200	23 900

Gaz	Durée de vie (ans)	PRG ou GWP Échelle considérée		
		20 ans	100 ans	500 ans
<u>Méthane</u>	12	62	23	7
<u>Oxyde nitreux</u>	114	275	296	156
<u>HFC-134a</u> (hydrofluorocarbone)	13,8	3300	1300	400
<u>HFC-23</u> (hydrofluorocarbone)	260	9400	12000	10000
<u>Hexafluorure de soufre</u>	3200	15100	22200	32400

Comparison of 100-Year GWP Estimates from the



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

IPCC's Second (1996) and Third (2001) Assessment Reports		
Gaz	1996 IPCC GWP	2001 IPCC GWP
Dioxyde de carbone	1	1
Methane	21	23
Oxyde nitreux	310	296
HFC-23	11,700	12,000
HFC-125	2,800	3,400
HFC-134a	1,300	1,300
HFC-143a	3,800	4,300
HFC-152a	140	120
HFC-227ea	2,900	3,500
HFC-236fa	6,300	9,400
Perfluoromethane (CF ₄)	6,500	5,700
Perfluoroethane (C ₂ F ₆)	9,200	11,900
Sulfur Hexafluoride (SF ₆)	23,900	22,200



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Pour l'équivalent carbone, on part du fait qu'un kg de CO₂ contient 0,2727 kg de carbone.
L'émission d'un kg de CO₂ vaut donc 0,2727 kg d'équivalent carbone. Pour les autres gaz, l'équivalent carbone vaut :

Équivalent carbone = PRG x 0,2727

Remarques

Des incertitudes sont inévitablement liées au choix de l'échelle de temps, car chaque gaz à effet de serre à une durée de vie différente dans l'atmosphère.

les effets indirects ne sont pas pris en compte, par exemple les gaz comme les NO_x peuvent contribuer à l'effet de serre.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tient périodiquement des meetings et élabore des rapports sur le sujet (1990, 1992). Dans ces rapports, on identifie les sources anthropogéniques et naturelles, on décrit les incertitudes sur l'effet de serre et les gaz à effet de serre, et enfin on intègre tous les nouveaux progrès dans le modèle GWP.

Trouver le GWP à jour : http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/248.htm



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.4 Destruction de la couche d'ozone stratosphérique

2.4.1 Principe :

L'ozone se trouve naturellement dans l'air à des concentrations plus ou moins importantes en fonction de l'altitude. Sa concentration est maximale entre 20 et 25 km d'altitude environ, et c'est cela que l'on appelle la couche d'ozone.

A quoi sert la couche d'ozone ?

Le soleil nous envoie de l'énergie sous forme de particules contenant chacune des niveaux différents d'énergie : les plus connues sont les photons, qui constituent la lumière visible, les infrarouges, que nous ressentons sous forme de chaleur, et les ultraviolets, dont nous devons nous protéger lorsque nous nous exposons au soleil sous peine d'attraper des coups de soleil, voire des cancers de la peau, mais qui nous permettent aussi de bronzer et de synthétiser la vitamine D.

Lorsqu'un rayon ultraviolet rencontre une molécule d'ozone, il la casse en deux : une molécule de dioxygène (O_2) et un atome d'oxygène qui va vite aller se recombinaison avec un autre atome d'oxygène car il ne peut pas rester tout seul bien longtemps comme ça. Lors de cette réaction chimique, le rayon ultraviolet est absorbé par la molécule d'ozone. En d'autres termes, la molécule d'ozone utilise la quantité d'énergie contenue dans le rayon ultraviolet pour se diviser en deux : si on ne lui apporte pas cette quantité d'énergie, elle restera sous forme d'ozone. C'est par ce phénomène que la couche d'ozone nous protège des rayons ultraviolets, en utilisant leur énergie, c'est-à-dire en les absorbant. Sans ce phénomène, qui empêche 99% des rayons UV d'arriver jusqu'à nous, la vie sur Terre ne serait pas possible car nous serions tous brûlés. Voilà pourquoi il est important de préserver la couche d'ozone. Maintenant, voyons ce qui est dangereux pour la couche d'ozone : ce sont en particulier les CFC et les HCFC, ainsi que les halons. Ces trois noms barbares désignent des familles de substances contenant des atomes de chlore. Elles sont toutes les 3 visées par le protocole de Montréal.

Le Protocole de Montréal est un accord international qui a été passé en 1987 et qui engage les pays qui l'ont signé à préserver la couche d'ozone en interdisant ou réduisant l'usage des produits chimiques qui la menacent.

Les CFC (chloro-fluoro-carbones) sont, comme leur nom l'indique, des molécules qui contiennent du chlore, du fluor et du carbone. Ce sont des gaz utilisés dans les réfrigérateurs, les groupes froids et les climatiseurs. Les plus connus sont le R11 et le R12. Leur usage est interdit depuis 2000.

Les HCFC (hydro-chloro-fluoro-carbones) contiennent en plus de l'hydrogène. Ils sont utilisés dans les mêmes applications que les CFC, mais également comme solvants et aérosols. Le plus connu est le R22. Leur usage est interdit dans les appareils neufs depuis 2004. On peut continuer à recharger les appareils existants jusqu'en 2015. Les halons sont utilisés comme agents d'extinction incendie. Leur usage est interdit depuis 2003.

Comment ces substances détruisent-elles la couche d'ozone ?

Leur point commun est qu'elles contiennent du chlore et sont très stables. Leur stabilité leur permet de rester très longtemps dans la stratosphère, et de gagner la couche d'ozone, où elles sont cassées par les rayons ultraviolets et libèrent leur atome de chlore. Cet atome de chlore va alors réagir avec les



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

molécules d'ozone et les casser en 2, tout comme le font les rayons ultraviolets. La différence, c'est qu'un rayon UV est **absorbé par cette réaction**, il ne peut donc la produire qu'une seule fois, tandis qu'un atome de chlore peut casser plusieurs milliers de molécules d'ozone.

2.4.2 Le calcul du facteur d'impact : (caractérisation)

Substance de référence : CFC-11 (fréon 11)

Comme pour l'effet de serre, un indice relatif a été aussi défini pour exprimer la contribution d'une substance à la destruction de la couche d'ozone : ODP (Ozone Depletion Potential). L'ODP est défini comme étant le rapport entre la dissociation d'ozone dans son état d'équilibre causée par des émissions annuelles (flux en kg/an) de la quantité d'une substance émise et la dissociation d'ozone dans son état d'équilibre causée par la même quantité de CFC-11. Cette définition mène à l'équation suivante :

$$ODP_i = \frac{\partial[O_3]_i}{\partial[O_3]_{CFC-11}}$$

$\partial[O_3]_i$: Dissociation de l'ozone dans son état d'équilibre causée par des émissions annuelles (flux en kg/an) de la quantité d'une substance émise.

La destruction de la couche d'ozone stratosphérique est évaluée suivant l'équation suivante:

$$\text{Destruction de l'ozone (kg)} = \sum_i ODP_i * Q_{té}_i \text{ de la substance émise (kg)}$$

Remarque :

Les ODP sont ajustés régulièrement par le WMO (World Meteorological Organization).

Aspect temps :

Dans le calcul de l'ODP, le facteur temps n'est pas défini de manière explicite. Toutefois quand on parle de dissociation, cela suppose vitesse, et quand on parle de vitesse, le temps intervient.

Type de méthode

Cette approche est, comme pour le réchauffement global, de type 4, car elle inclut :

- une analyse sur le devenir des substances ;
- une analyse des effets.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.5 Acidification :

2.5.1 Principe :

C'est une augmentation de l'acidité d'un sol, d'un cours d'eau ou de l'air en raison des activités humaines. Ce phénomène peut modifier les équilibres chimiques et biologiques et affecter gravement les écosystèmes. L'augmentation de l'acidité de l'air est principalement due aux émissions de SO_2 , NO_x et HCl , lesquels, par oxydation, donnent les acides HNO_3 et H_2SO_4 . Les pluies acides qui en résultent ont un pH voisin de 4 à 4,5 (pluie normale pH 5,6). Ces gaz sont essentiellement dus à la combustion de matière fossile par l'homme, mais également aux éruptions volcaniques, à la foudre, à la décomposition biologique, aux océans, aux feux de forêts.

En ce qui concerne, l'action humaine sur notre environnement, les usines, le chauffage et la circulation automobile sont les causes principales.



Les pluies acides constituent le phénomène résultant de la pollution de l'air par les oxydes de soufre (SO_2) produits par l'usage de combustibles fossiles riches en soufre ainsi que des oxydes d'azote (NO_x) qui se forment lors de toute combustion de l'atmosphère. D'autres produits tel que le dioxyde de carbone (CO_2) et les acides fluorhydrique agissent mais beaucoup moins sur la formation des pluies acides.
(http://fr.wikipedia.org/wiki/Pluie_acide)



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.5.2 Le calcul du facteur d'impact : (caractérisation)

Substance de référence : SO₂ (dioxyde de soufre)

Comme Vermeire et Al. (1992) l'ont suggéré, un AP (Acidification Potential) a été développé. L'AP est défini comme le rapport entre le nombre des équivalents du potentiel H⁺ (v_i) par l'unité de poids de la substance i (M_i) et le nombre des équivalents du potentiel H⁺ par l'unité de poids d'une substance de référence. On prend le dioxyde de soufre (SO₂) comme référence ce qui donne l'équation suivante pour l'indice.

$$AP_i = \frac{v_i / M_i}{v_{SO_2} / M_{SO_2}}$$

AP_i : facteur d'acidification potentiel pour la substance i

M_i : masse en kg par mole de la substance i

V_i : nombre des équivalents du potentiel H⁺

On obtient la contribution d'un produit à cet effet en multipliant pour toutes les substances l'AP avec la quantité émise (m) puis en additionnant sur toutes les substances :

$$Acidification(kg) = \sum_i AP_i \times m_i$$

Remarque :

Seul 5 substances sont référencées comme étant générateur d'acidification



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.6 Eutrophisation

2.6.1 Principe :

Naturelle ou accidentelle, l'eutrophisation est un enrichissement excessif des milieux aquatiques en sels nutritifs, surtout le phosphore et l'azote. Ces derniers sont un engrais pour les plantes, algues ou bactéries, qui se développent alors de manière excessive. Leur décomposition provoque une chute de la quantité d'oxygène réduisant ainsi le nombre d'espèces animales et végétales aquatiques. L'eutrophisation peut atteindre les eaux douces, salées, le milieu marin comme les milieux continentaux, les eaux profondes comme les eaux superficielles. Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la [biodiversité](#) et de la qualité de l'eau en tant que ressource. Elle a des effets négatifs sur le tourisme (avec souvent comme conséquences visibles la perte de transparence, développement d'odeurs et envasement).



La méthode utilisée par le CML est appelée "approche phosphate équivalent (Phosphate-equivalents approach)". La contribution d'une substance à l'eutrophisation est exprimée par l'indice NP (Nitrification Potential).

Chaîne cause-effet

- Émission des substances eutrophisantes (intervention) ;
- Perturbation de l'équilibre des nutriments (effet de 1^{er} ordre) ;
- Nitrification (effet de 2^{ème} ordre) ;
- Diminution de la biodiversité (effet de 3^{ème} ordre) ;
- etc.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.6.2 Le calcul du facteur d'Impact : (caractérisation)

Substance de référence : PO_4^{3-} (composé phosphaté)

Ce thème exprime l'effet d'une consommation accrue de l'oxygène dans les milieux aquatiques et terrestres suite à une émission des composés azotés et phosphorés. La contribution d'une substance est exprimée par l'indice NP (Nitrification Potential). Le NP est calculé en se basant sur la composition moyenne des algues comme référence (Eijsackers et al. 1985) car elle est considérée comme représentative de la composition moyenne de la biomasse. Il est défini comme le rapport entre le potentiel de biomasse en équivalents d'azote par la quantité émise d'une substance i (M_i) et le potentiel de biomasse en équivalents d'azote par la quantité émise d'une substance de référence (M_{ref}) comme PO_4^{3-} ce qui donne l'équation :

$$NP_i = \frac{V_i / M_i}{V_{\text{PO}_4^{3-}} / M_{\text{PO}_4^{3-}}}$$

NP_i : facteur de eutrophisation potentiel pour la substance i

M_i : masse en kg par mole de la substance i

V_i : potentiel de biomasse en équivalent d'azote.

$$\text{Eutrophisation}(kg) = \sum_i NP_i \times m_i$$

Remarque :

Dans le NP, l'aspect temps n'est pas pris en compte.

A travers le modèle utilisé, il apparaît que tout nutriment peut avoir un effet eutrophisant, alors que le processus d'eutrophisation ne se déclenche qu'à partir d'un certain seuil.

L'eutrophisation est maximale pour les concentrations moyennes et minimales pour les faibles et fortes concentrations, l'évolution de la courbe dose/réponse est sigmoïdale, alors que dans le modèle CML elle est supposée linéaire.

La caractérisation est limitée aux composés azotés, phosphorés et carbonés. D'autres nutriments ayant des capacités eutrophisantes ne sont pas caractérisés.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.7 Épuisement des ressources naturelles

2.7.1 Principe :

Épuisement des ressources naturelles non renouvelables (abiotique) :

Une ressource naturelle est considérée comme non renouvelable si elle ne se régénère pas dans des délais qui lui permette d'être exploitée continuellement. Par exemple, bien que les combustibles fossiles (charbon, pétrole) soient continuellement en formation, le taux de transformation de la matière organique est tellement long (millions d'années) que cette ressource est considérée non renouvelable. Il est donc de notre devoir de regarder vers le futur face à l'épuisement prévisible des ressources non renouvelables. Un grave problème est que nos sociétés sont largement dépendantes des énergies fossiles, une source d'énergie qui est appelée à disparaître.

Chaîne cause-effet

- Extraction des matières premières abiotiques (intervention) ;
- Décroissance du stock des réserves (effet de 1^{er} ordre) ;
- Épuisement des ressources abiotiques (effet de 2^{ème} ordre) ;
- Manque des ressources abiotiques (effet de 3^{ème} ordre) ;
- etc.

Épuisement des ressources naturelles renouvelables (biotique) :

L'épuisement des ressources naturelles renouvelables survient quand leur taux d'extraction ou d'utilisation est supérieur à leur taux de régénération. Les exemples sont nombreux : pêches, forêts, sols arables, etc. Afin d'éviter des situations comme celle de l'extinction presque totale de la morue dans l'atlantiques à cause de la surpêche abusive.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.7.2 Le calcul du facteur d'impact : (caractérisation)

Substance de référence : Sb (Antimoine)

Les chercheurs du CML proposent d'introduire, dans le calcul du facteur d'épuisement des ressources naturelles, la notion de réserve extractible prouvée et de quantité extraite par an. Ceci pour toutes ressources dont les réserves sont supposés disparaître dans une centaine d'année.

$$ADP_i = \frac{DR_i}{R_i^2} \times \frac{R_{Réf}^2}{DR_{Réf}}$$

ADP_i : facteur d'épuisement de la ressource i

R_i : réserve de base prouvée de la ressource i (kg)

$R_{Réf}$: réserve de base de l'antimoine (substance de référence) (kg)

DR_i : indice de quantité extraite (dés accumulation) de la réserve de la ressource i (kg.an⁻¹)

$DR_{Réf}$: indice de quantité extraite (dés accumulation) de la réserve de la ressource i (kg.an⁻¹)

L'épuisement de la substance se détermine de la manière suivante :

$$Epuisement(kg) = \sum_i ADP_i \times m_i$$

Remarque :

La procédure d'évaluation proposée par le CML suscite les remarques suivantes :

L'agrégation des données ne laisse pas apparaître les matières prioritaires.

La taille des réserves n'est pas une donnée précise car elle dépend de conditions du marché comme le prix de la matière première, des efforts d'exploration et des techniques d'extraction disponibles.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.8 Toxicité humaine ou impacts toxicologiques

2.8.1 Principe :

On entend par toxicité humaine ou impacts toxicologiques, l'évaluation de la toxicité d'un produit ou d'une substance sur l'être humain. En d'autre terme il s'agit d'évaluer les risques pour la santé humaine d'une substance. Le terme toxicité est réservé à l'action des polluants sur l'être humain. La toxicité varie en fonction de la voie d'exposition à l'agent toxique, de sa formulation, de sa concentration, du temps d'exposition de l'individu.

Chaîne cause . effet

- Émission des substances toxiques (intervention) ;
- Absorption des substances toxiques par l'homme (effet de 1^{er} ordre) ;
- Dommage sur la santé humaine (effet de 2^{ème} ordre) ;
- Maladie ou mort de l'homme (effet de 3^{ème} ordre) ;
- etc.
-

2.8.2 Le calcul du facteur d'Impact : (caractérisation)

Substance de référence : 1,4 DCB (1,4 dichlorobenzène)

On ne parle plus de facteur d'impact mais de facteur de risque. Celui-ci est défini de la même manière que les autres impacts en prenant comme substance de référence, le 1,4 dichlorobenzène (1,4 DCB).

Le potentiel de toxicité humaine (HTP) prend en compte la voie d'exposition (cutanée, inhalation, absorption), le compartiment d'origine de la substance (eau, air, sol) et l'échelle géographique.

On peut présenter de façon simplifiée le calcul du facteur :

$$FR = \frac{\text{niveau d'exposition estimé après émission de la substance}}{\text{niveau sans effet de la substance}}$$

De façon plus complexe :

$$HTP_{i,s,c} = \sum_{r=1}^{r=n} \frac{PDI_{r,i,s,c}}{HLV_{r,i}} \times \frac{HLV_{r,Réf}}{PDI_{r,réf,s,c}}$$



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

$HTP_{i,s,c}$: Potentiel de toxicité humaine de la substance i à l'échelle géographique s après l'émission dans le compartiment c .

$PDI_{r,i,s,c}$: Dose journalière d'absorption prédite via la voie d'exposition r de la substance i à une échelle géographique s dans le compartiment c ($\text{kg.kgcorporel}^{-1}.\text{j}^{-1}$).

$HLV_{r,i}$: Valeur limite pour l'homme par la voie d'exposition r de la substance i ($\text{kg.kgcorporel}^{-1}.\text{j}^{-1}$).

$HLV_{r,Réf}$: Dose journalière d'absorption prédite via la voie d'exposition r de la substance de référence à une échelle géographique s dans le compartiment c ($\text{kg.kgcorporel}^{-1}.\text{j}^{-1}$).

$PDI_{r,réf,s,c}$: Valeur limite pour l'homme par la voie d'exposition r de la substance de référence ($\text{kg.kgcorporel}^{-1}.\text{j}^{-1}$).

Le calcul de l'impact se calcule de la manière suivante :

$$\text{Impacts toxicologiques (kg éq 1,4 DCB)} = \sum_{c=1}^m \sum_i^n HTP_{i,c} \times m_{i,c}$$



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.9 Ecotoxicité ou impacts sur les écosystèmes

2.9.1 Principe :

On entend par écotoxicité, l'évaluation de la toxicité d'un produit ou d'une substance sur tous organismes vivants l'homme étant exclu. En d'autre terme il s'agit d'évaluer les risques pour l'écosystème (plantes, animaux, micro-organismes qui interagissent entre eux et avec le milieu dans lequel ils vivent) d'une substance. Le terme écotoxicité est réservé à l'action des polluants sur tout organisme vivant. L'écotoxicité varie en fonction de la voie d'exposition à l'agent toxique, de sa formulation, de sa concentration et du temps d'exposition de l'organisme.

Chaîne cause . effet

- Émission des substances toxiques (intervention) ;
- Absorption des substances toxiques par l'organisme (effet de 1^{er} ordre) ;
- Modification de la biodiversité (effet de 2^{ème} ordre) ;
- Dommage sur l'écosystème disparition d'espèce (effet de 3^{ème} ordre) ;
- etc.

2.9.2 Le calcul du facteur d'Impact (caractérisation).

Substance de référence : 1,4 DCB (1,4 dichlorobenzène)

On ne parle plus de facteur d'impact mais de facteur de risque. Celui-ci est défini de la même manière que les autres impacts en prenant comme substance de référence, le 1,4 dichlorobenzène (1,4 DCB).

5 potentiels d'écotoxicité ont été défini à partir de 4 compartiments de référence (eau douce, milieu marin, terrestre et sédiment) :

- Potentiel d'écotoxicité aquatique d'eau douce (AETP_{douce}) ;
- Potentiel d'écotoxicité aquatique d'eau salée (AETP_{marin}) ;
- Potentiel d'écotoxicité des sédiments d'eau douce (SETP_{douce}) ;
- Potentiel d'écotoxicité des sédiments d'eau salée (SETP_{marin}) ;
- Potentiel d'écotoxicité terrestre (TETP).

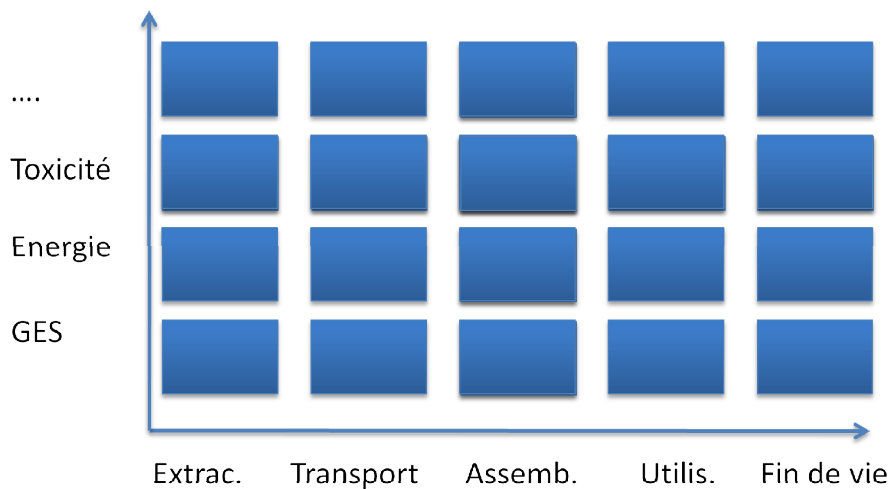
Le calcul de l'impact écotoxique se fait en multipliant les potentiels par les résultats d'inventaire en tenant compte des compartiments d'émission.

Chaque impact est ensuite sommé par substance pour obtenir une valeur pour l'impact sur les écosystèmes.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

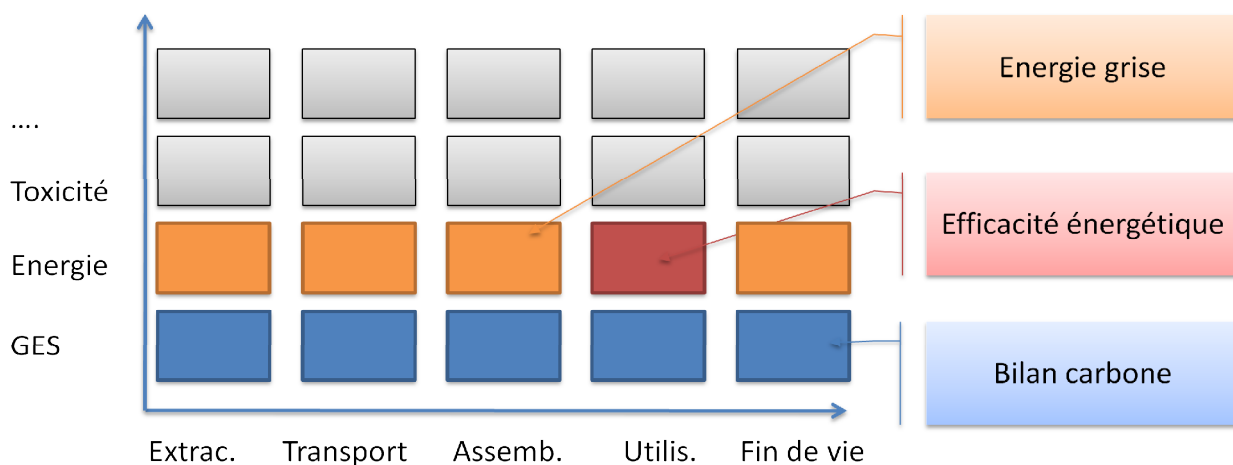
3 Analyse du cycle de vie et transfert d'Impacts



L'approche du cycle de vie peut se faire :

Multi-étapes : prise en compte de toutes les étapes du cycle de vie du produit (depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie du produit, en passant par la fabrication, la distribution, l'utilisation).

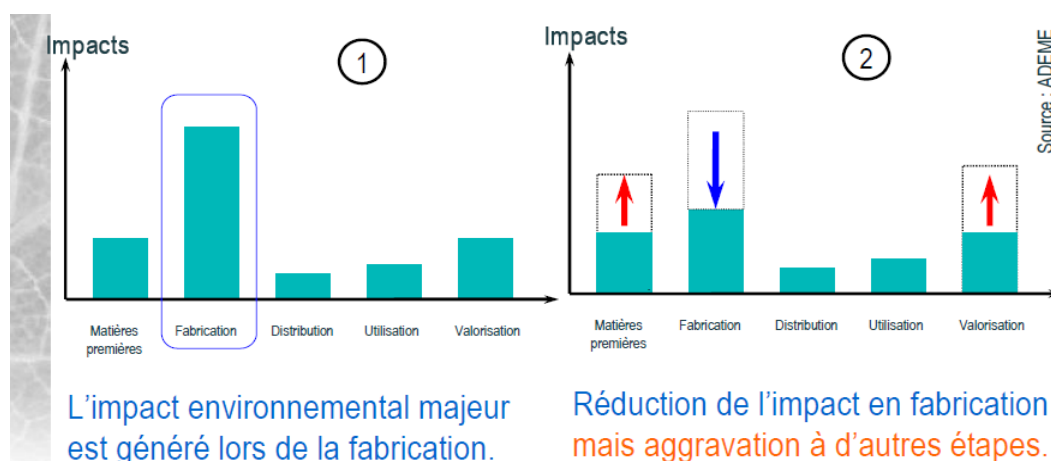
Multicritères : prise en compte de l'ensemble des impacts environnementaux générés (matières premières, énergie, préservation de la biodiversité, pollution de l'eau, de l'air, des sols, déchets, bruit).





Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

L'analyse multicritères et multi étapes évite tout transfert d'un impact à un autre. Il est donc nécessaire d'inventorier un maximum de paramètres (quantité de matière et d'énergie utilisés, procédés de fabrication, type de transport, etc.) afin de mener l'analyse la plus exhaustive possible.



Cette Analyse de Cycle de Vie (ACV) est contenue dans la série de norme ISO 14040. Plusieurs objectifs peuvent justifier la mise en œuvre de ces analyses :

- Publier une information produit ;
- Concevoir ou reconcevoir ;
- Respecter le cadre réglementaire.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

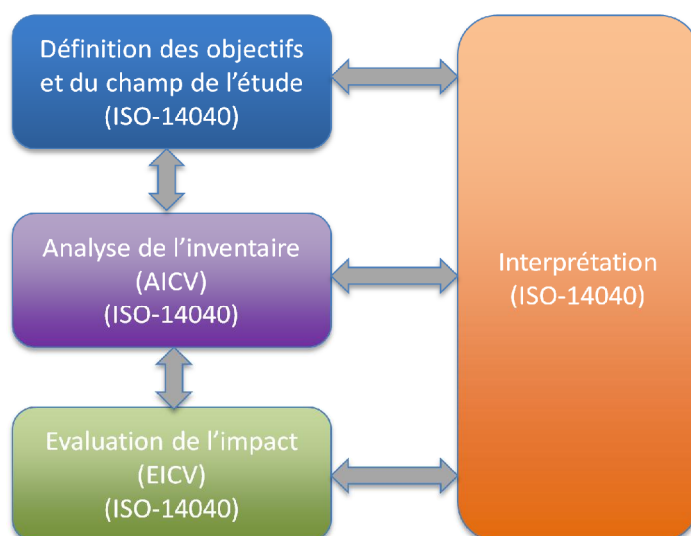
3.1 Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle (UF) est la grandeur quantifiant la fonction principale du système.

L'UF sert de base pour permettre la comparaison de différents scénarios.

Produit	Le service offert	Durée du service offert	Unité fonctionnelle
Sac de caisse 	Transporter 20l de marchandises 2 fois par semaine	1 an	Transporter 20l de marchandises 2 fois par semaine pendant 1 an
	Transporter 10 l de marchandise 3 fois par semaine	1 an	Transporter 10 l de marchandise 3 fois par semaine pendant 1 an

3.2 Démarche de la norme ISO 14044





Sciences et technologies

de l'Industrie et du développement durable

3.2.1 Objectif de l'étude

3.2.2 Inventaire

3.2.3 Calculs des impacts

3.2.4 Interprétations



Sciences et technologies

de l'Industrie et du développement durable

4 Typologie de produit