

**INSA**

INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
LYON



# Etude des Machines Spéciales

## Impact environnemental - Ecoconception

*Équipe pédagogique IPEMS*

## Objectif du cours

Approfondir et améliorer la connaissance des impacts environnementaux les plus significatifs notamment pour les machines spéciales



Connaître les principaux textes définissant et réglementant l'écoconception : directives EuP 2005/32/CE, RoHS, DEEE

Appréhender une démarche d'écoconception basée sur l'analyse du cycle de vie (ACV)

Connaitre et appliquer des mesures d'amélioration environnementale facilitant l'écoconception des machines

## Préambule

Jean-Baptiste Say (1828) : « *les richesses naturelles sont inépuisables* [...] ne pouvant être multipliées ni épuisées, elles ne sont pas l'objet des sciences économiques ». De nombreux dirigeants d'entreprises ont donc considéré les efforts en faveur de l'environnement comme des dépenses au lieu d'opportunités.

A l'heure actuelle, une conception prenant en compte la durabilité et le respect de l'environnement peut *maximiser le chiffre d'affaires*, réduire considérablement les coûts et devenir un formidable catalyseur pour l'innovation et *la croissance de l'entreprise*, ce qui est in fine l'objectif ultime, quoique pas toujours explicite. Dans un contexte de hausse des coûts de l'énergie, d'épuisement des ressources naturelles, *cette éco-conception est donc bénéfique pour la réputation, l'image et la réussite des entreprises.*

Voici pour la fable.

Les faits maintenant : *les richesses naturelles sont en grande partie épuisables et en voie d'épuisement.* Et intégrer les impacts environnementaux ne veut pas dire les supprimer, loin de là. D'un point de vue environnemental, *le produit le moins polluant est encore celui qui n'existe pas.* Il appartient donc au concepteur mécanique d'appliquer des méthodes de conception permettant *d'interroger le besoin, de quantifier les inévitables impacts*

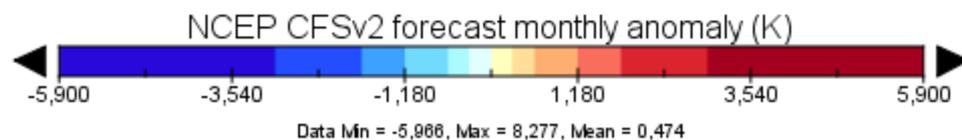
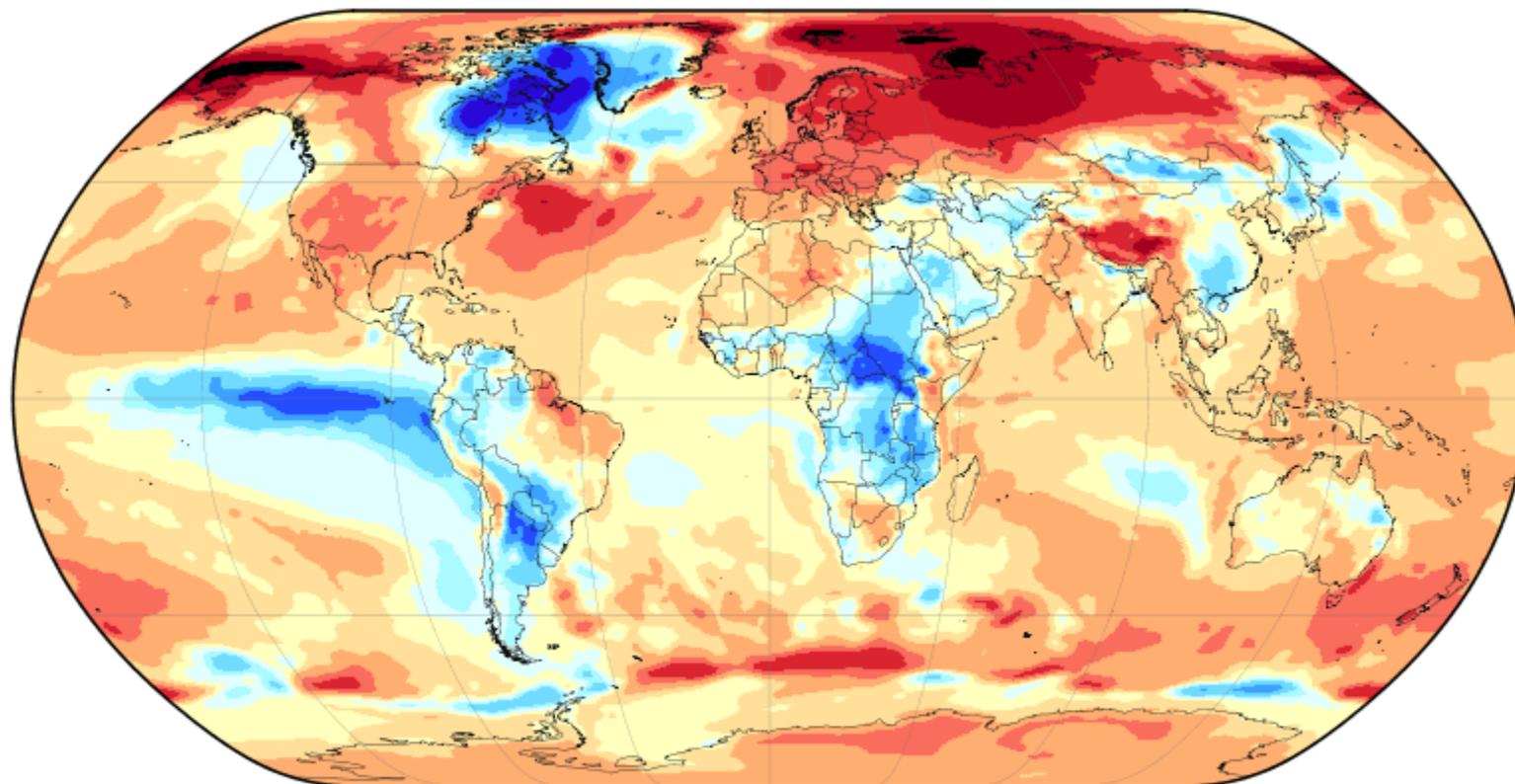
*environnementaux et de les justifier au regard du réel besoin du produit.*

# Impacts environnementaux

Des produits en général, des machines en particulier

# Contexte environnemental actuel

NCEP CFSv2 forecast monthly anomaly



## Contexte environnemental actuel



La moitié des forêts de la planète a été détruite au cours du xxe siècle.

# Un impact global et important de l'activité humaine

- Depuis 120 ans, l'espèce humaine a commencé à transformer le carbone fossile en  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère, relarguant en quelques années ce qu'il avait fallu plusieurs centaines de millions d'années à stocker.
- Les métaux, neutralisés sous forme de minerai notamment par l'activité micro-organique, ont été extrait et concentrés à des doses dangereuses pour l'environnement.
- Des molécules toxiques, inexistantes auparavant et qui ne se dégradent pas dans la nature, ont été synthétisées.

## Choisir son voyage



$\text{CO}_2$

100 Km en Avion : **106 Kg** équivalent carbone



$\text{CO}_2$

100 Km en voiture : **70 Kg** équivalent carbone



$\text{CO}_2$

100 Km en moto : **40 Kg** équivalent carbone



$\text{CO}_2$

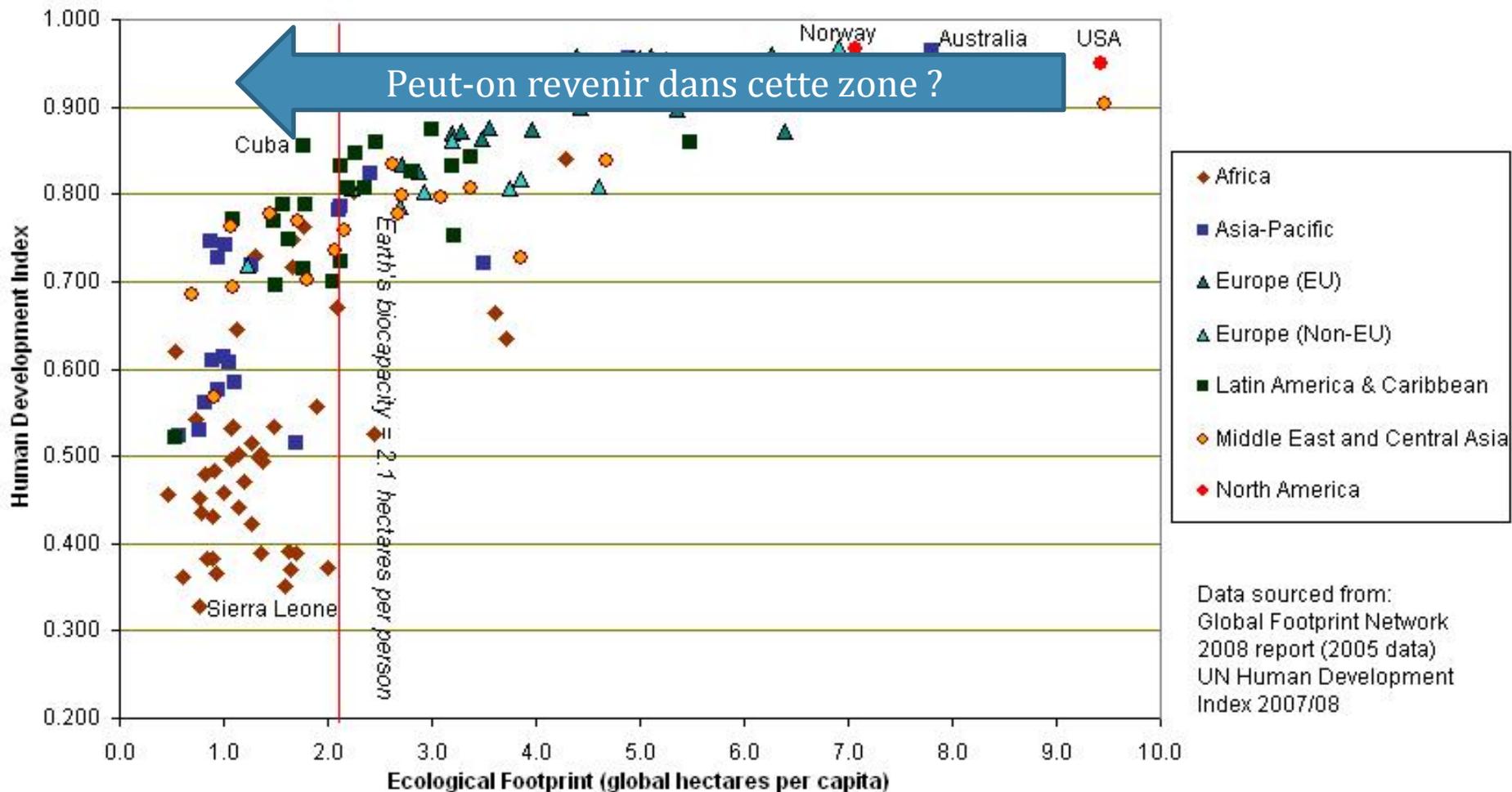
100 Km en train : **10 Kg** équivalent carbone



chiffres-carbone.fr

# Un impact global et important de l'activité humaine

## Human Welfare and Ecological Footprints compared

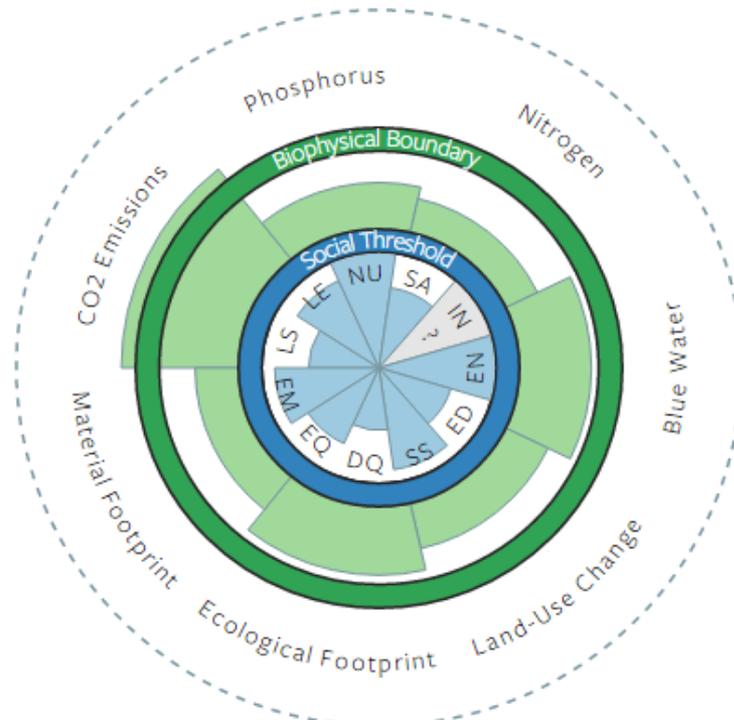
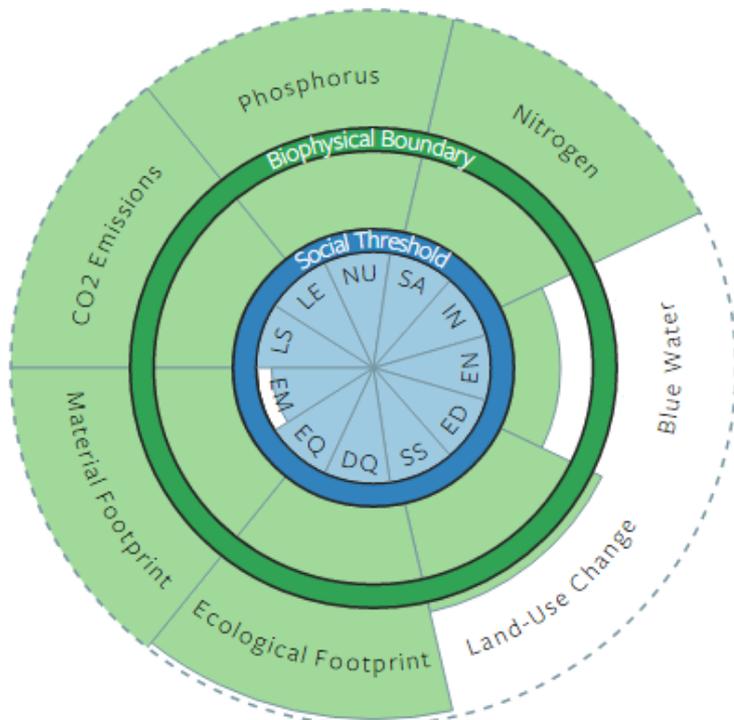


# Un impact global et important de l'activité humaine

France



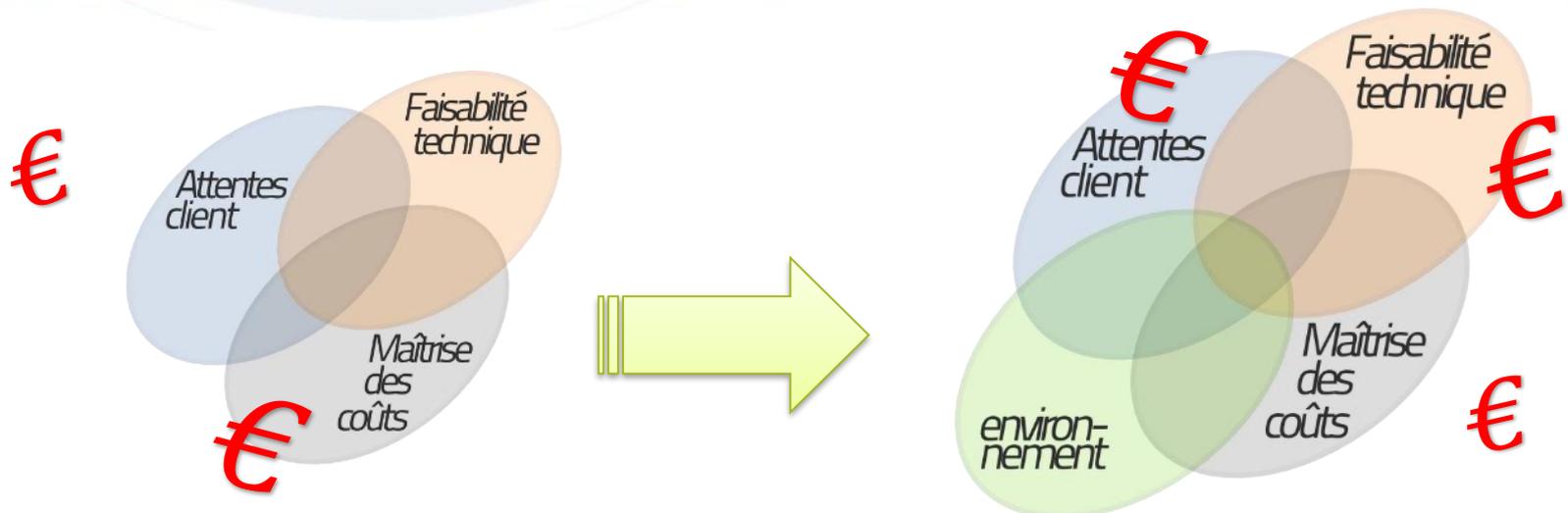
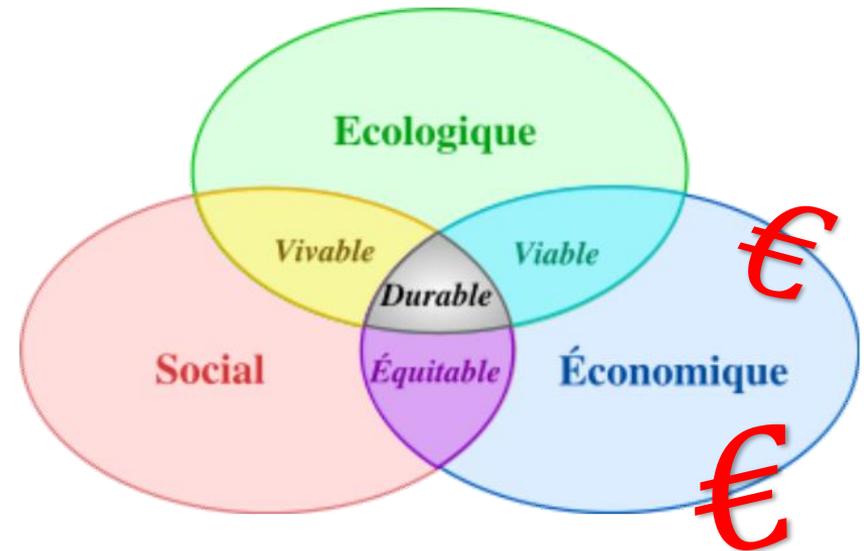
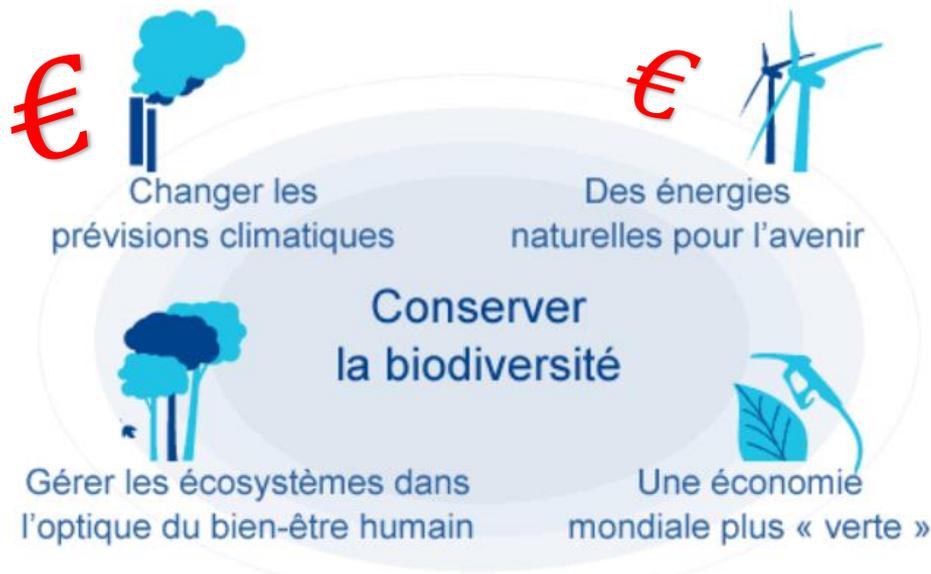
Morocco



- |                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| LS - Life Satisfaction    | ED - Education          |
| LE - Healthy Life Expect. | SS - Social Support     |
| NU - Nutrition            | DQ - Democratic Quality |
| SA - Sanitation           | EQ - Equality           |
| IN - Income               | EM - Employment         |
| EN - Access to Energy     |                         |

Ecological Footprint (global hectares per capita)

# Un paradigme de pensée figée : la croissance économique avant tout...



.... Qui entraîne la croissance des impacts environnementaux.

## Alors qu'on peut proposer autre chose...

Aspiration  
citoyenne

Basse  
technologie

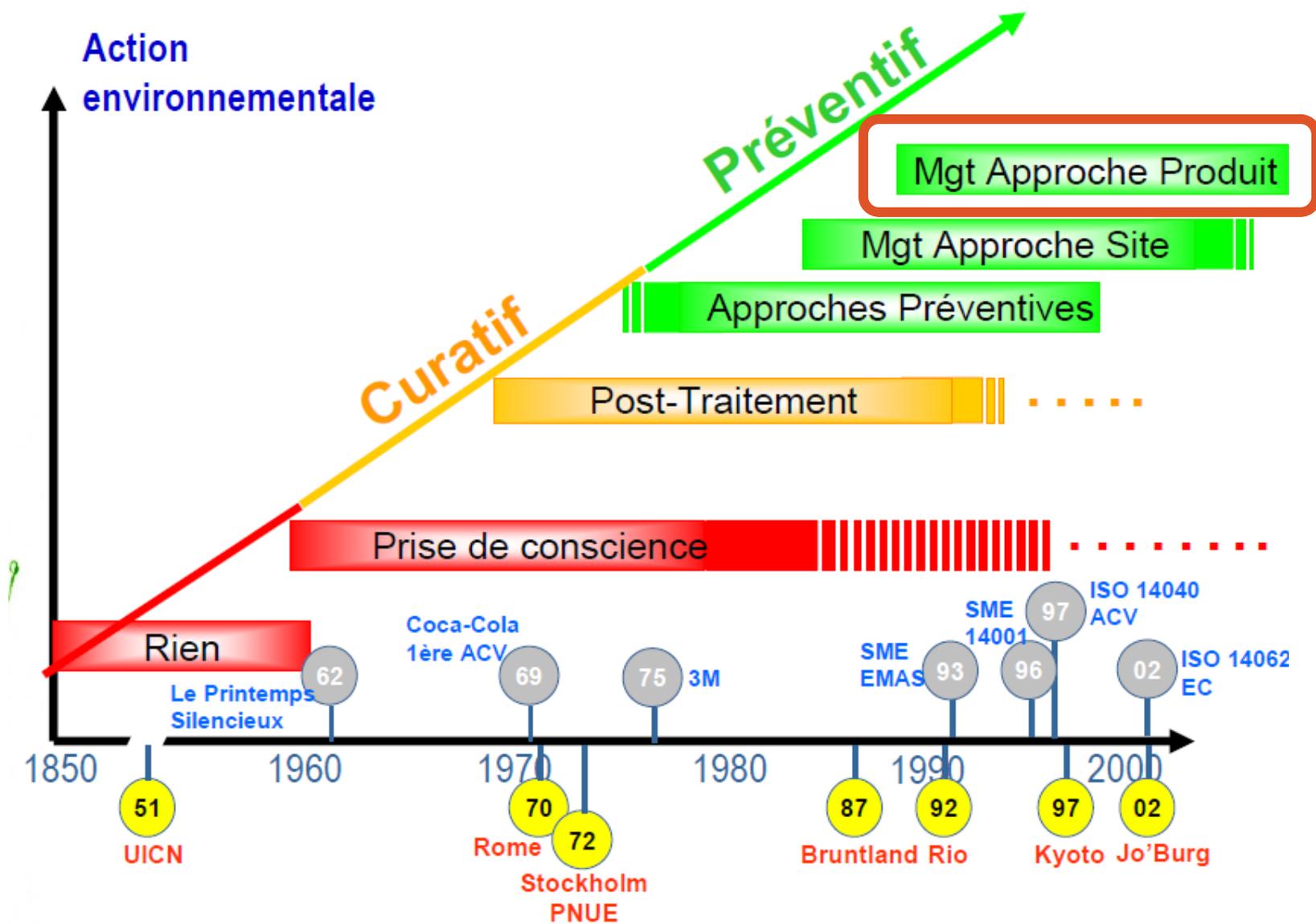
Si nos valeurs sont *justes*,  
tout le reste (prix,  
production, distribution,  
pollution...) est *juste* \*

Juste là où  
on habite...

Mutualisation des  
coûts financier,  
Réduction des coûts  
environnementaux

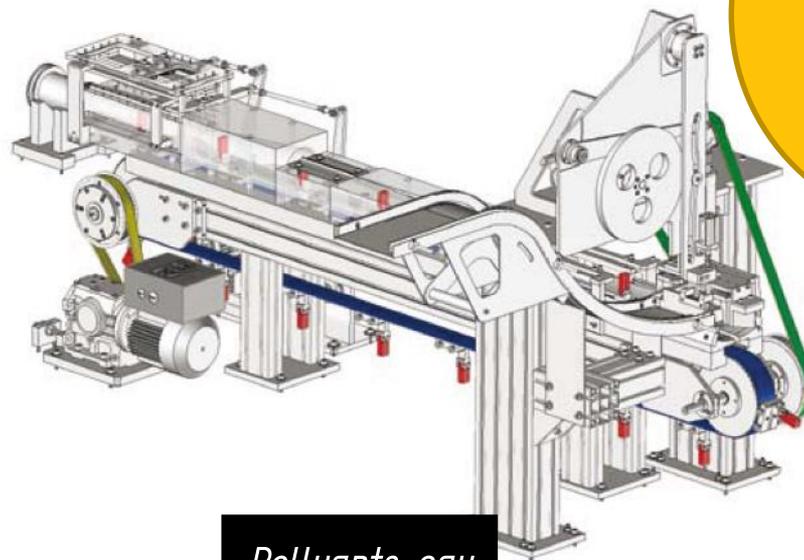
\*Nicolas Georscu-Roegen

# Une très (trop ?) lente évolution des actions



# L'approche produit : modélisation des impacts environnementaux

Matières premières  
eau, produits  
chimiques, produits  
manufacturés...



Produit

Co-produits

Énergies, transports,  
infrastructures,  
outillages...

Polluants, eau  
salie, air vicié,  
sol pollué,  
déchets...

Comment caractériser  
l'impact environnemental  
de ce processus ?

## Consommation énergie non renouvelable en MJ

Cet indicateur exprime la quantité totale d'énergie fossile consommée sur tout le cycle de vie du produit. Le calcul de cet indicateur prend donc en compte les énergies (feedstock) des ressources non renouvelables



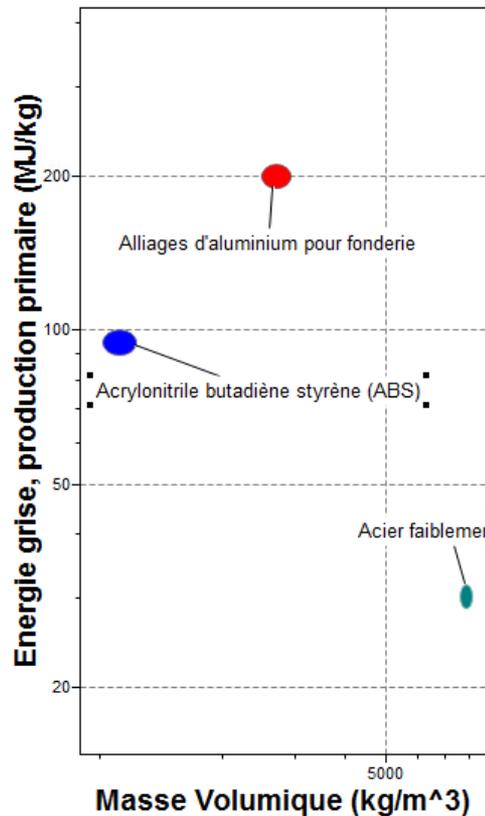
Exemple :

- Aluminium (mix européen) 112 MJ/kg
- Acier courant : 22,5 MJ/kg
- ABS : 98,9 MJ/kg
- Écran LCD : 831 MJ/kg
- Batterie Li/ion : 100 MJ/kg ...



# Énergie grise en MJ

Cet indicateur est la somme de toutes les énergies (renouvelables ou non) nécessaire à la production d'un produit.



**UNE PILE NON RECHARGEABLE CONSOMME 50 FOIS PLUS D'ÉNERGIE QU'ELLE N'EN CONTIENT**



**UNE BOUTEILLE D'EAU NÉCESSITE 1000 FOIS PLUS D'ÉNERGIE QUE LA MÊME QUANTITÉ D'EAU SORTANT DU ROBINET.**



**SI LE NUCLÉAIRE EST CONCURRENTIEL, C'EST QU'ON A JUSTE SORTI DE LA COMPTABILITÉ TOUT CE QUI COÛTE CHER**  
retraitement des déchets nucléaires et le démantage quasi impossible des anciennes centrales.

# Énergie grise en MJ

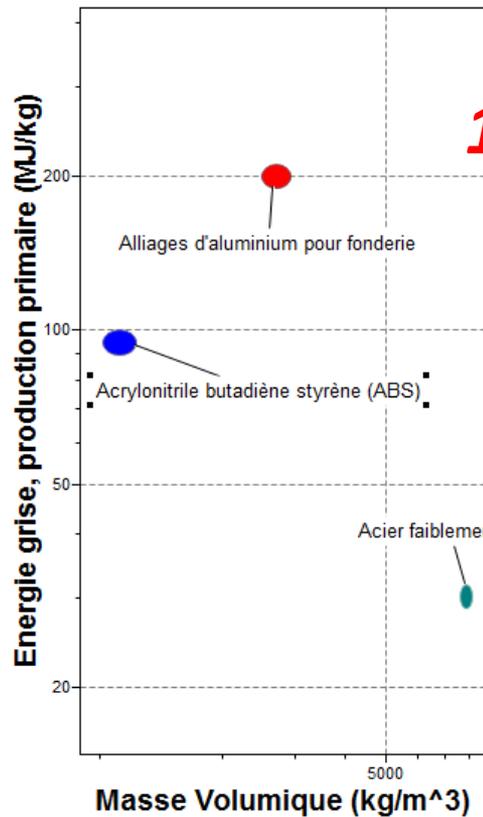
Les produits « virtuels » et les services peuvent être particulièrement gourmands en énergie !!



Voiture hybride 45900 kWh



Voiture électrique 34700 kWh



**1 h de streaming : 2,2kWh**

**1 h de DVD : 3,5 kWh**



Voiture thermique 20800 kWh



Ordinateur : 3000 kWh

# Énergie grise en MJ



# Sac à dos écologique : consommation de ressources en kg



Le sac à dos écologique ou mips (material intensity per unity of service) est une notion complémentaire à l'énergie grise : il quantifie la quantité de matériaux, en masse, qui a été nécessaire pour produire, utiliser, jeter un bien ou un service.

Ce concept permet de « rematérialiser » nombres d'usage faussement ou abusivement réputés écologiques car « virtuel », « numérique » ou « dématérialisé ».



40 kg



300T/g  
pour le palladium



5g par  
destinataire

20 T



\*notamment moins de 0,1 % d'antimoine, d'or et de béryllium

Sources : Convention de Bâle, 2006, Linkholm (rapport Nokia), 2003  
© Cécile Marin, 2006, traduction : atsetic.fr

# Exploitation minière : la réalité du sac à dos écologique...

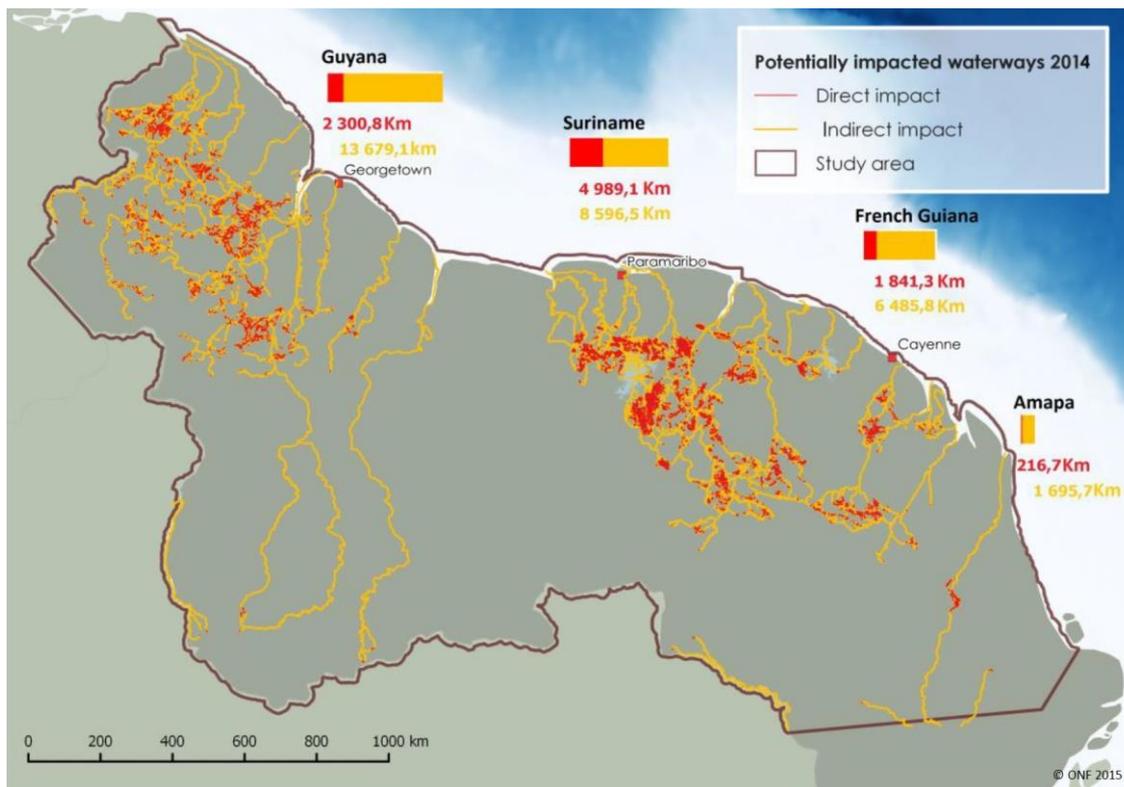


# Exploitation minière : la réalité du sac à dos écologique...

Suivi des impacts des activités aurifères sur le Plateau des Guyanes forte augmentation globale depuis 2008

[article impacts or](#)

L'extraction aurifère industrielle nécessite par ailleurs des quantités d'eau astronomiques. En moyenne, 140 000 litres d'eau par heure. 1 000 kilos de déchets toxiques et de déblais sont produits pour obtenir seulement 0,24 gramme d'or. Une bague en or produit à elle seule 20 tonnes de déchets hautement toxiques.

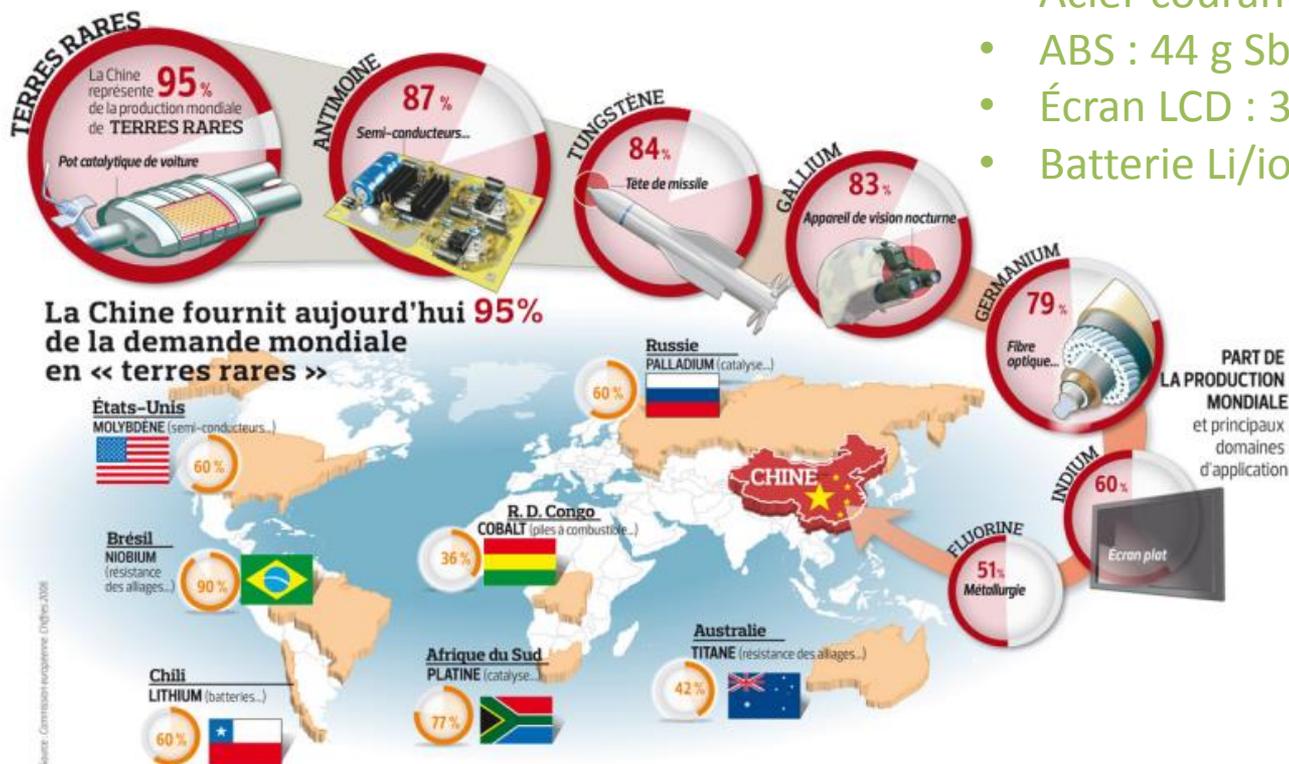


# Consommation de ressources rares en kg d'équivalent Antimoine Sb

Aussi appelé épuisement des ressources abiotiques, cet indicateur exprime la quantité de matières « rares » consommée sur tout le cycle de vie du produit. Le seuil de « raréfaction » a été fixé juste au-dessus du niveau des ressources énergétiques fossiles (qui sont donc exclues du calcul).

Exemple :

- Aluminium (mix européen) 49 g Sb/kg
- Acier courant : 12 g Sb/kg
- ABS : 44 g Sb/kg
- Écran LCD : 375 g Sb/kg
- Batterie Li/ion : 46 g Sb/kg ...

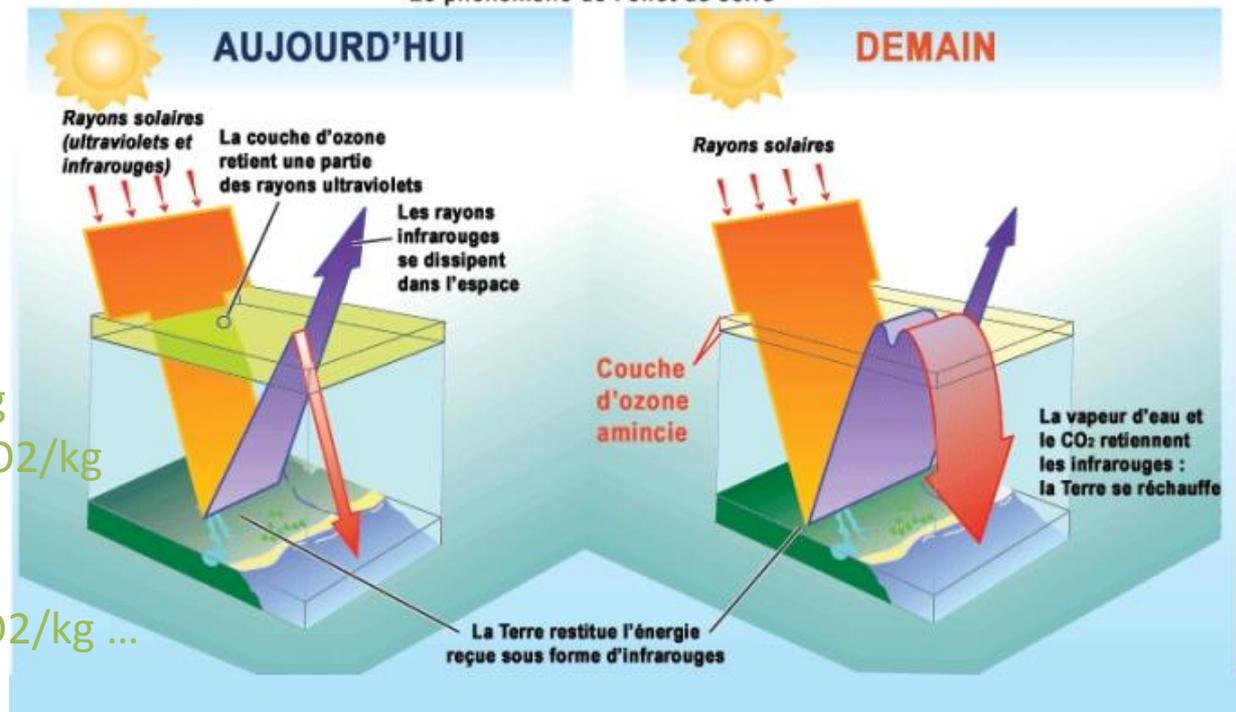


# Contribution à l'effet de serre en kg équivalent de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>

Cet indicateur de changement climatique exprime le potentiel d'effet de serre additionnel qu'engendre le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. L'effet de serre additionnel est impliqué dans les problématiques de changement climatique d'origine anthropique qui commence à affecter la planète. On peut citer l'élévation du niveau moyen des océans, la hausse des températures moyennes



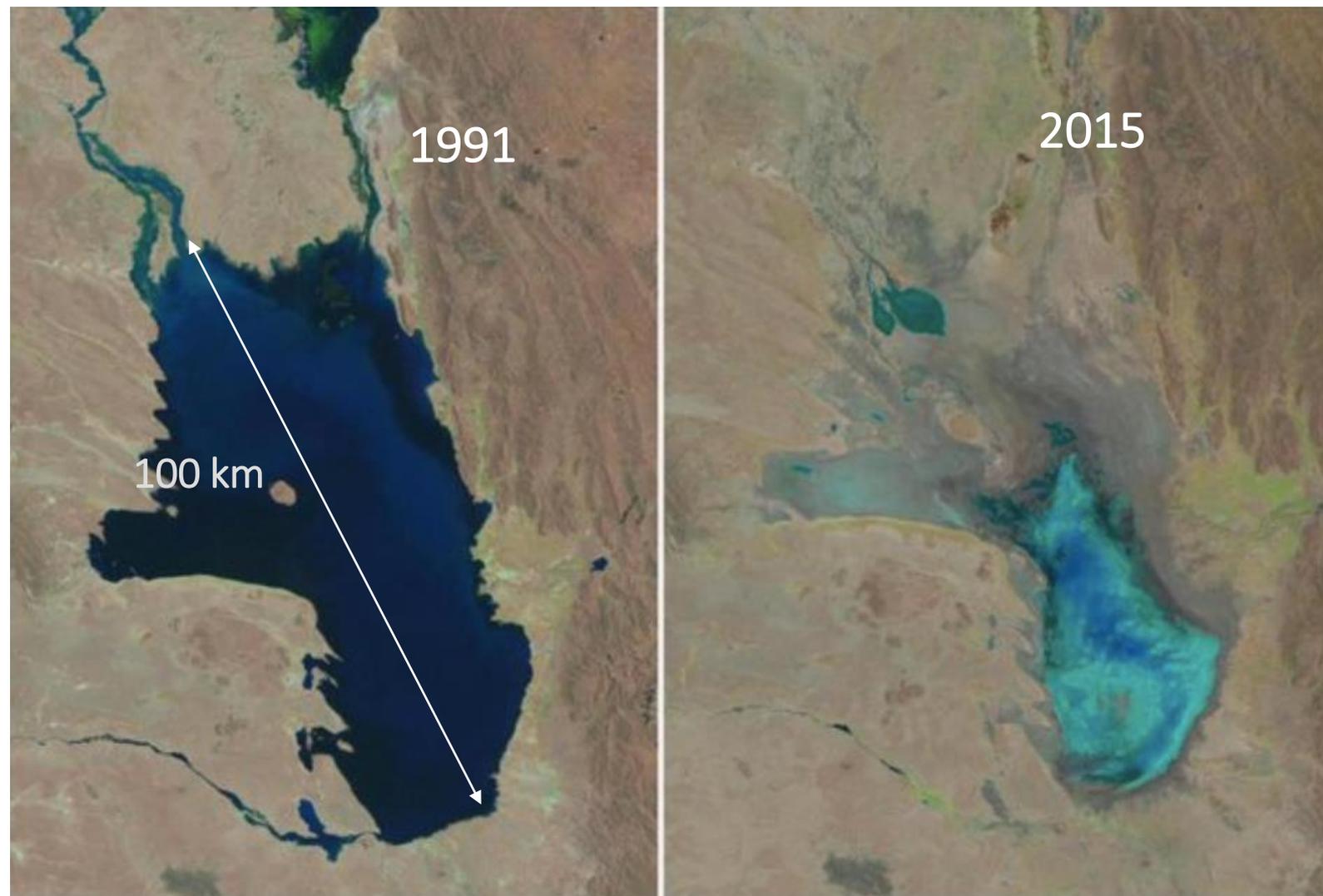
Le phénomène de l'effet de serre



Exemple :

- Aluminium 8,5 kg CO<sub>2</sub>/kg
- Acier courant : 1,47 kg CO<sub>2</sub>/kg
- ABS : 4,34 kg CO<sub>2</sub>/kg
- Écran LCD : 59 kg CO<sub>2</sub>/kg
- Batterie Li/ion : 5,8 kg CO<sub>2</sub>/kg ...

## Impact du réchauffement climatique : lac Poopo, 99% d'assèchement en 25 ans

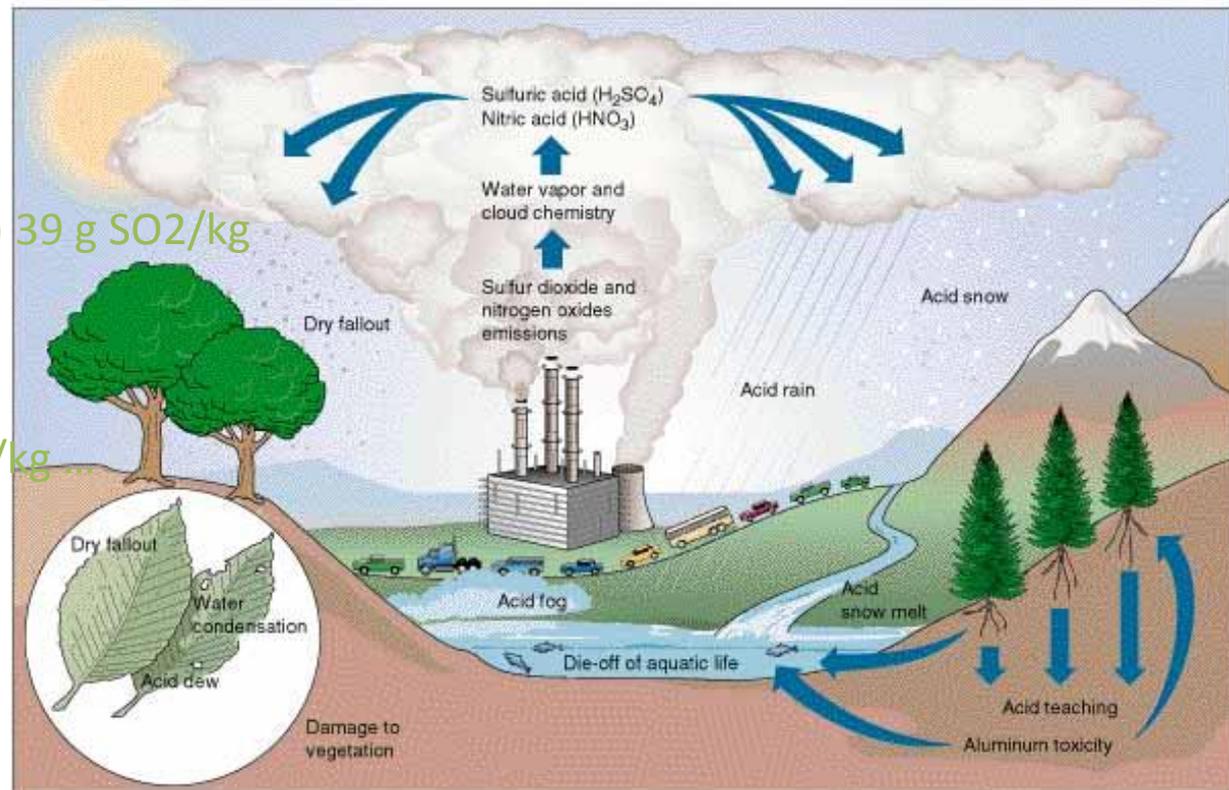


# Contribution à l'acidification des pluies en kg éq. de dioxyde de soufre SO<sub>2</sub>

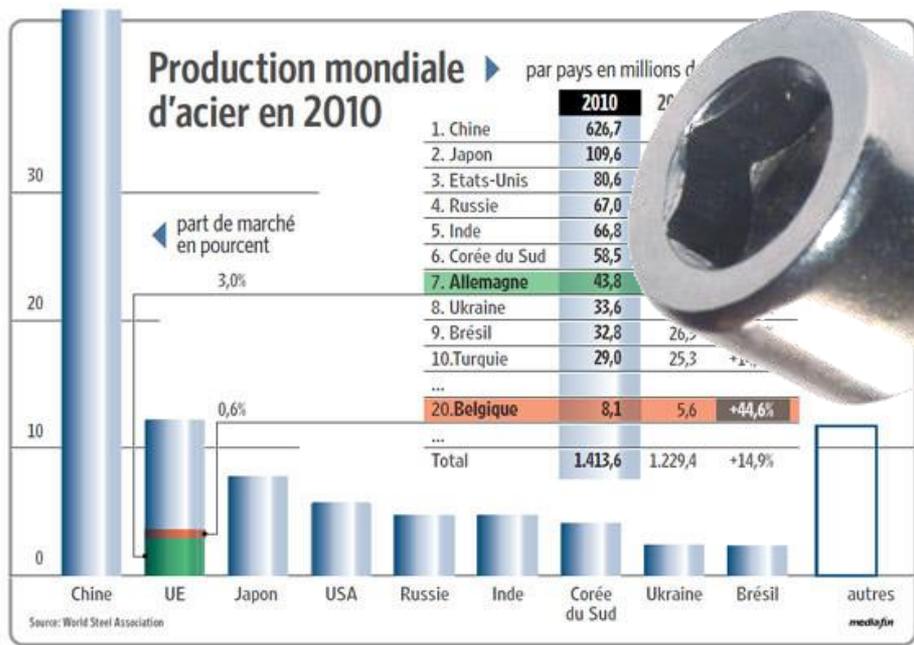
Cet indicateur exprime le potentiel d'acidification qu'engendre le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. L'acidification recouvre le problème des « pluies acides » qui modifient à la baisse la productivité des écosystèmes naturels (forêts...) ou artificiels (cultures...). Les infrastructures humaines (bâtiments, véhicules...) sont aussi affaiblies.

Exemple :

- Aluminium (mix européen) 39 g SO<sub>2</sub>/kg
- Acier courant : 5 g SO<sub>2</sub>/kg
- ABS : 13 g SO<sub>2</sub>/kg
- Écran LCD : 353 g SO<sub>2</sub>/kg
- Batterie Li/ion : 623 g SO<sub>2</sub>/kg ...

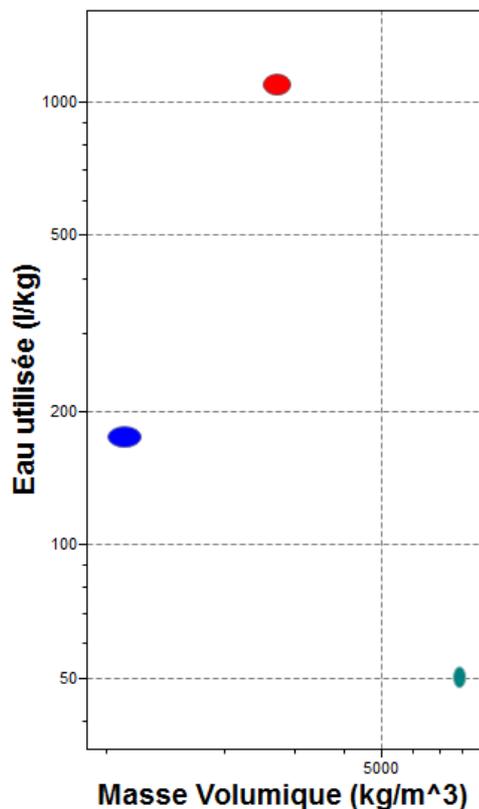


# Prise en compte des impacts des traitements de surface dans la conception



## Eau utilisée en litres ou Empreinte H<sub>2</sub>O

L'empreinte eau (on parle également d'empreinte sur l'eau) est le volume total **d'eau virtuelle** utilisée pour produire un produit ou un service **en comptant tous les stades de production**. On peut distinguer **l'eau bleue** (eau douce de surface ou souterraine), **l'eau verte** (eau de pluie) et **l'eau grise** (eau polluée puis diluée pour être disponible pour un autre usage)



En matière d'économies d'eau l'industrie est un secteur prioritaire



1 voiture d'1,5t : 400000 L



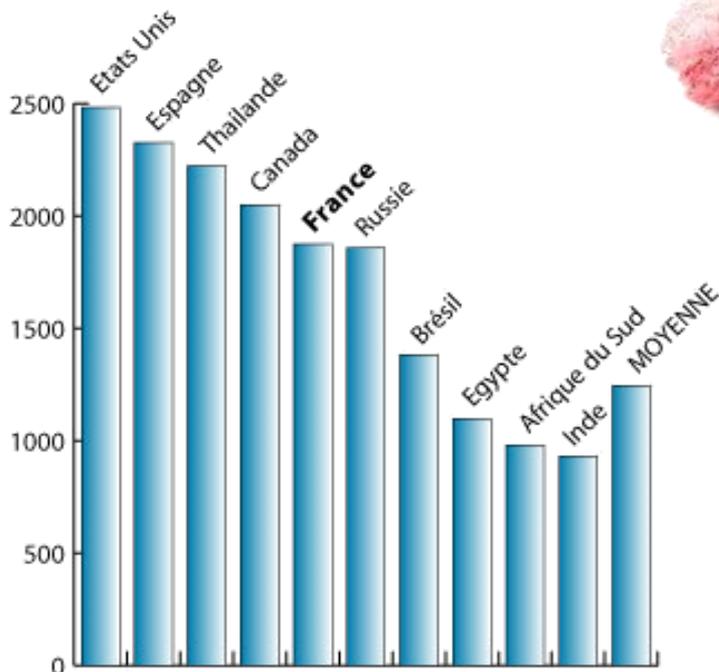
Ordinateur : 20000 L



1L de jus d'orange : 22L (au Brésil), 1000L aux USA !

## Eau utilisée en litres ou Empreinte H<sub>2</sub>O

L'empreinte eau (on parle également d'empreinte sur l'eau) est le volume total **d'eau virtuelle** utilisée pour produire un produit ou un service **en comptant tous les stades de production**. On peut distinguer **l'eau bleue** (eau douce de surface ou souterraine), **l'eau verte** (eau de pluie) et **l'eau grise** (eau polluée puis diluée pour être disponible pour un autre usage)



Empreinte sur l'eau de quelques pays en m<sup>3</sup>/personne/an (période 1997 - 2001)



1kg de bœuf : 15000 L  
(90% en eau verte)



Jean en coton : 11000 L

L'empreinte en eau des Français est en moyenne de 1875 m<sup>3</sup>/an.  
Calculez la vôtre sur : <http://www.empreinteh2o.com/>

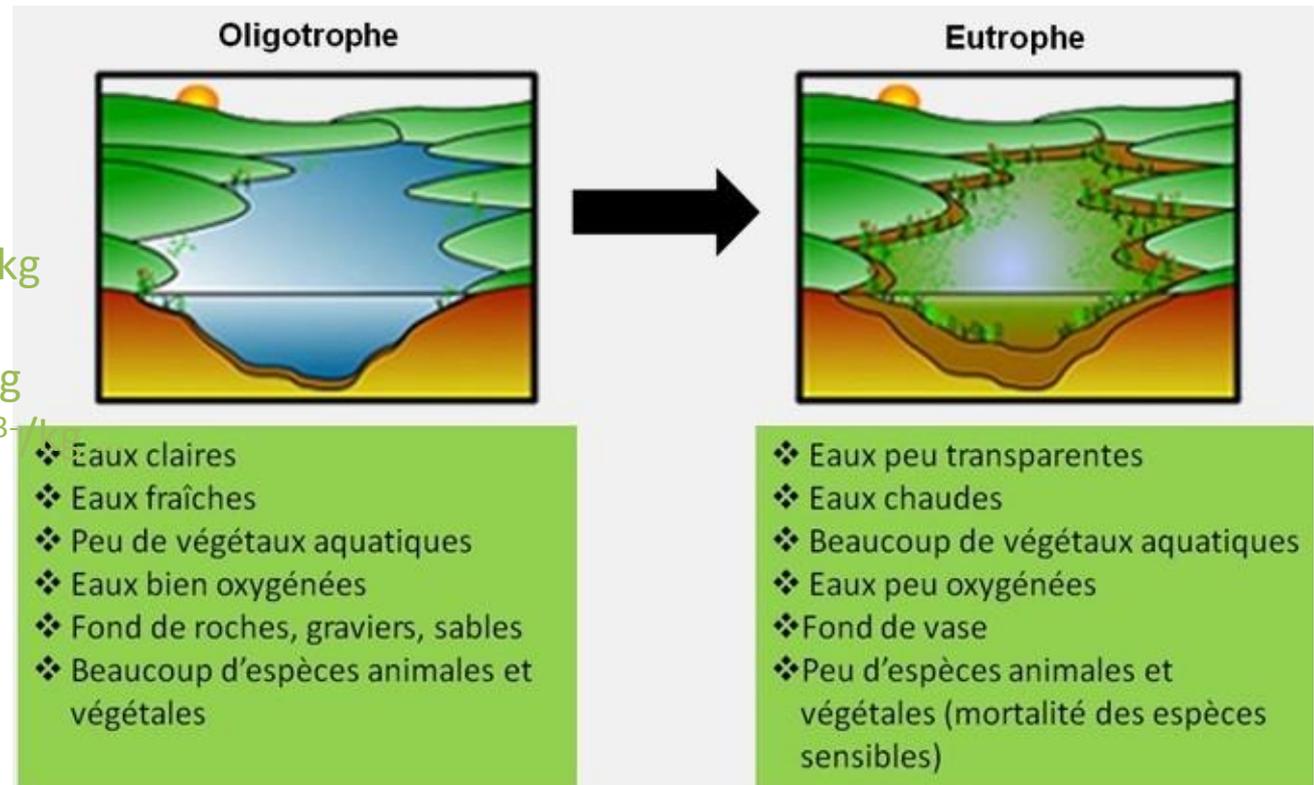
# Contribution à l'eutrophisation en kg équivalent de phosphate $\text{PO}_4^{3-}$

Cet indicateur exprime le potentiel d'enrichissement des eaux en nutriments qu'engendre le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. L'excès de nutriments provoque une diminution de la diversité biologique des zones humiques, une baisse de la qualité de l'eau et un engorgement des lacs.



Exemple :

- Aluminium 14 g  $\text{PO}_4^{3-}$ /kg
- Acier courant : 3 g  $\text{PO}_4^{3-}$ /kg
- ABS : 2 g  $\text{PO}_4^{3-}$ /kg
- Écran LCD : 366 g  $\text{PO}_4^{3-}$ /kg
- Batterie Li/ion : 50 g  $\text{PO}_4^{3-}$ /kg

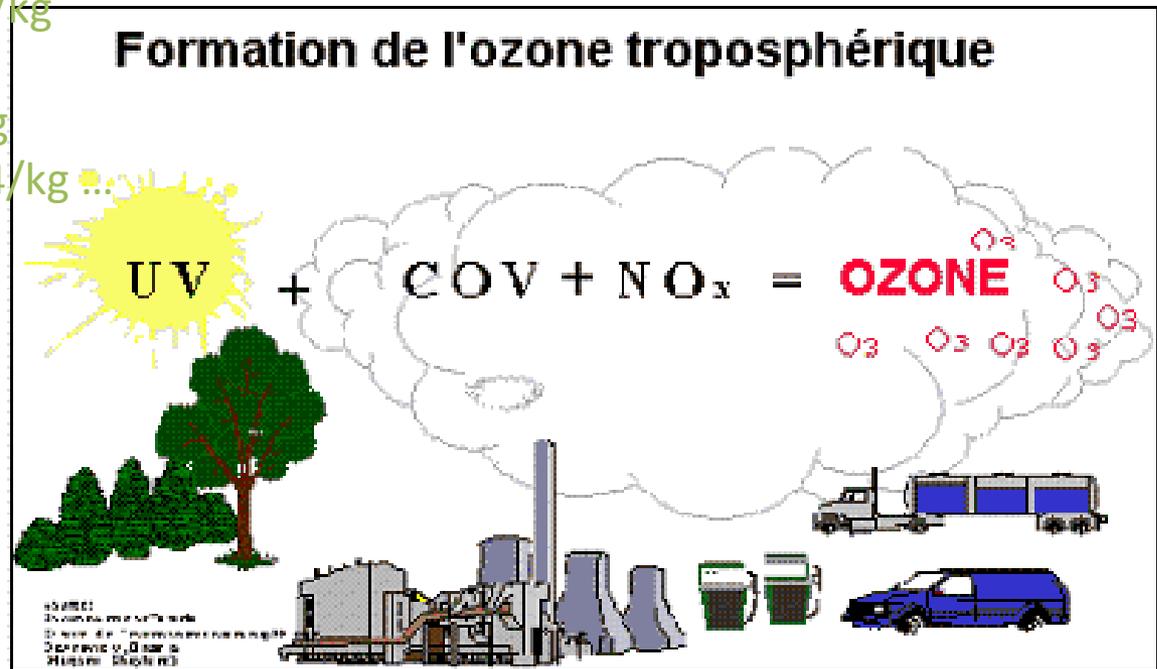


## Contribution à la production d'ozone troposphérique en kg éq. d'acétylène C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

Cet indicateur exprime le potentiel de formation d'ozone troposphérique qu'engendre le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. La production d'ozone troposphérique (= au niveau du sol) engendre des problèmes sur la santé humaine notamment des difficultés respiratoires.

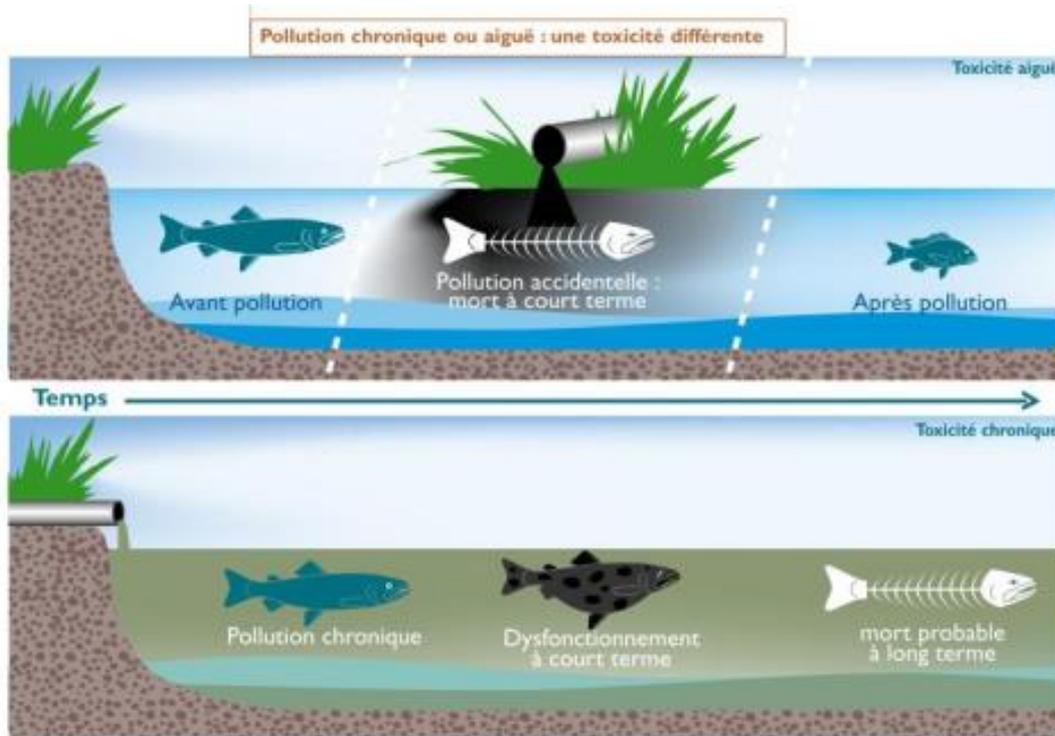
Exemple :

- Aluminium 3 g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/kg
- Acier courant : 1 g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/kg
- ABS : 0,7 g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/kg
- Écran LCD : 14 g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/kg
- Batterie Li/ion : 3 g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/kg



# Ecotoxicité aquatique en kg équivalent de dichlorobenzène DCB

Cet indicateur exprime le potentiel d'écotoxicité dans l'eau douce que génère le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. L'horizon de temps choisi est de 100 ans pour ne pas considérer les migrations des métaux lourds au travers des couches techniques des centres de stockage (qui ne résisteraient pas sur plusieurs centaines de millénaires...)



# Du sac à dos écologique à l'écotoxicité...

## Danger du cyanure



2015 Tianjin à 150 km de Pékin: Explosion d'une usine contenant 2 400 tonnes de produits toxiques dont 700 tonnes de **cyanure de sodium**.

Un autre point important dans la gestion des résidus liquides cyanurés (sans recyclage et/ou destruction) concerne le risque de mortalité pour les oiseaux et les chauves-souris et les animaux en général. Ceci est particulièrement vrai dans les pays où les étendues d'eau alternatives n'existent pas. Pour assurer la protection des espèces aviaires sensibles il est considéré que la concentration en cyanure WAD dans le surnageant du parc à résidus doit être inférieure à 1 mg/l. En effet toutes les mesures pour effrayer les oiseaux ne sont pas efficaces sur le long terme et ne peuvent concerner que des petites surfaces de parcs à résidus. Rappelons d'autre part que la valeur limite de cyanure de rejets d'effluents liquides dans le milieu naturel est de 0.1 mg/l (Arrêté du 19 avril 2010). Les faibles concentrations dans les résidus sont également requises lorsque les milieux aquatiques à l'aval sont sensibles (cas de la Guyane).

Dans le cas de la cyanuration en tas le risque est plus élevé car l'arrosage des tas se fait avec des solutions riches en cyanure. Il est donc nécessaire de mettre des mesures en place pour éloigner la faune du site minier.

# Toxicité humaine en kg équivalent de dichlorobenzène DCB

Cet indicateur exprime le potentiel de toxicité humaine que génère le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie.

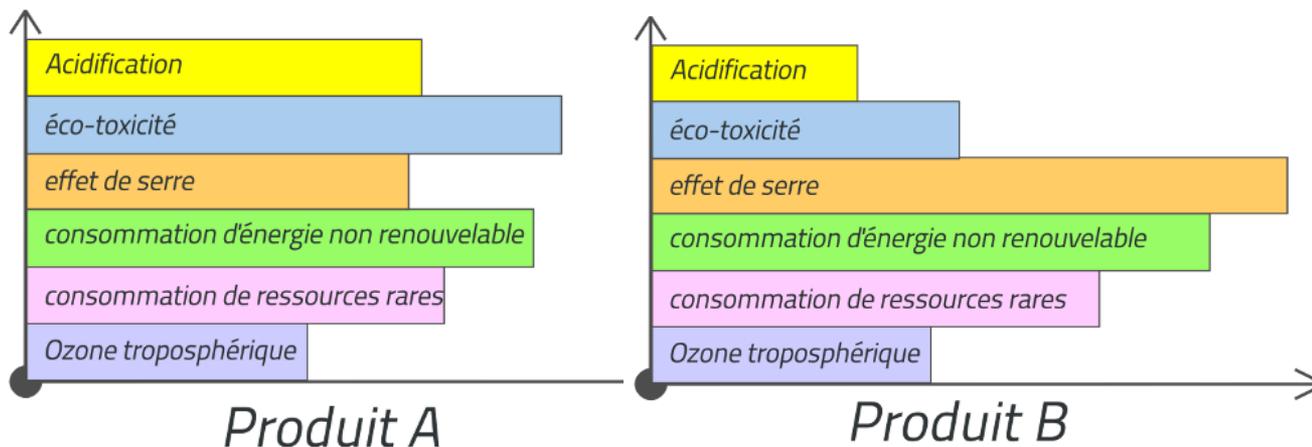


Exemple :

- Aluminium (mix européen) 40 kg 1,4-DB/kg
- Acier courant : 0,89 kg 1,4-DB/kg
- ABS : 0,34 kg 1,4-DB/kg
- Écran LCD : 160 kg 1,4-DB/kg
- Batterie Li/ion : 41 kg 1,4-DB/kg ...



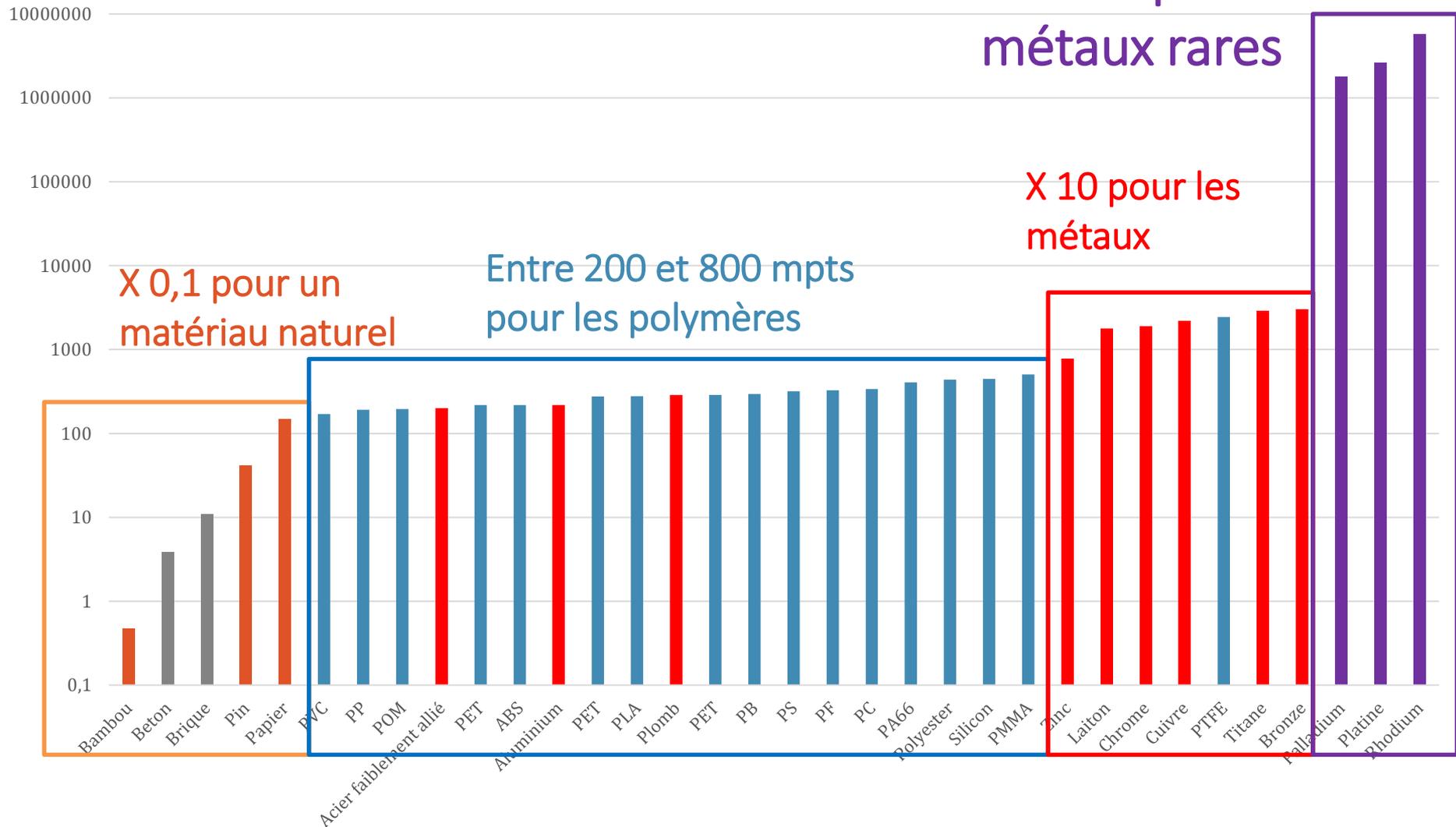
# Eco Indicateur 99



# Eco Indicateur 99

eco99

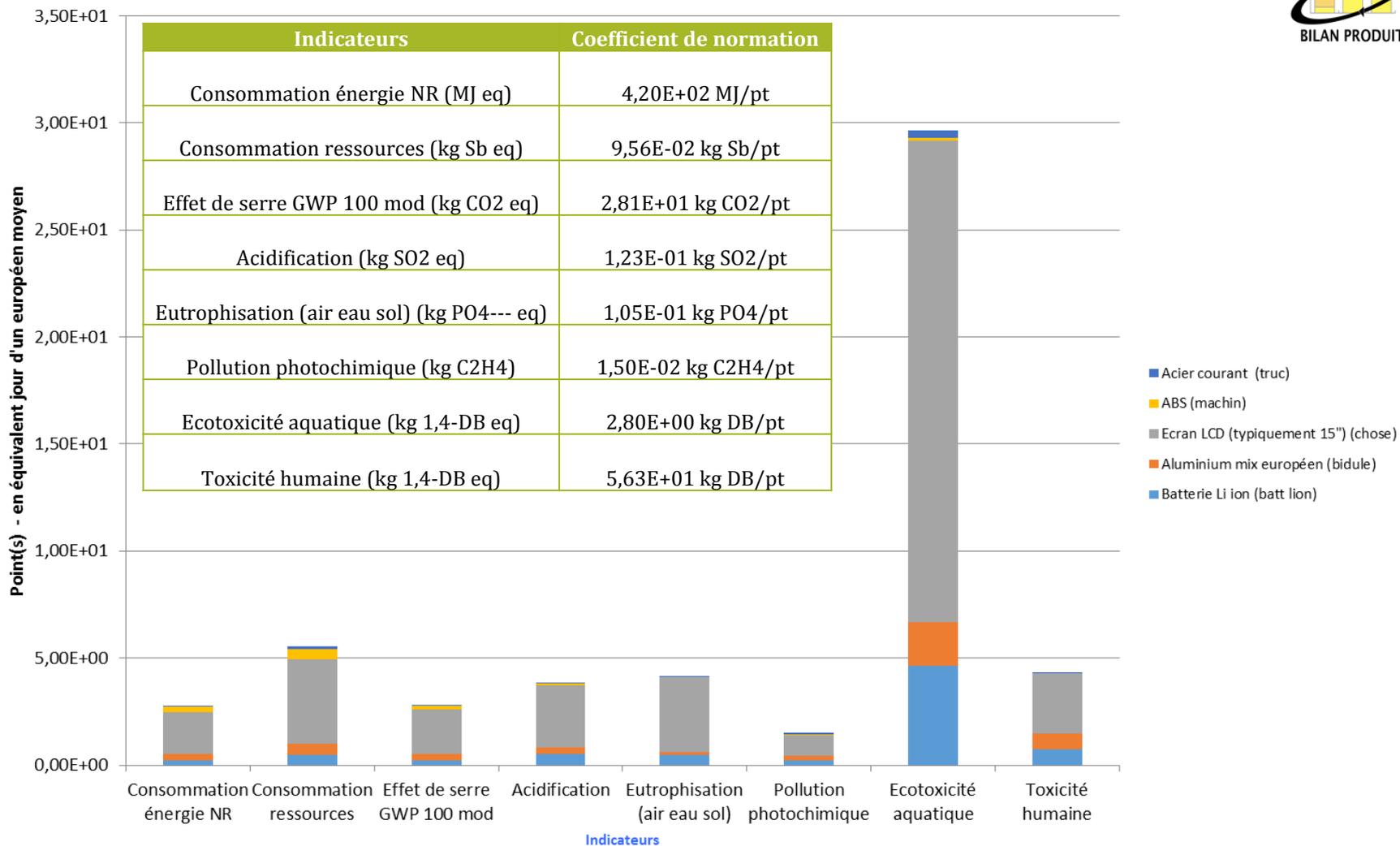
X 1000 pour les métaux rares



# Comparaison des impacts

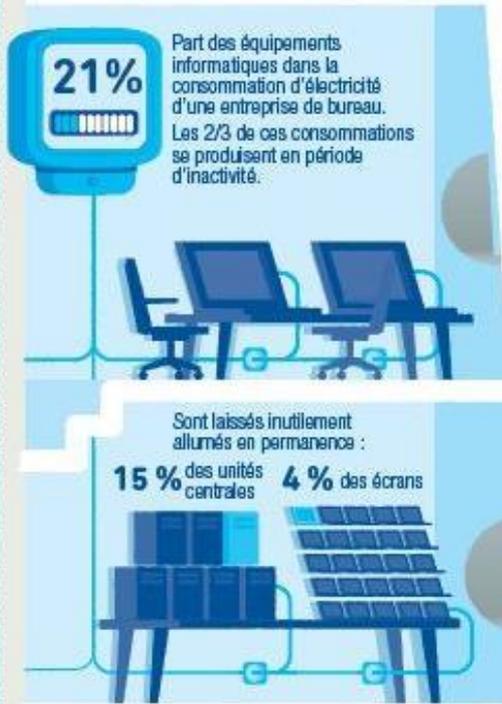


Impacts par Sous-ensemble : Phase de Production



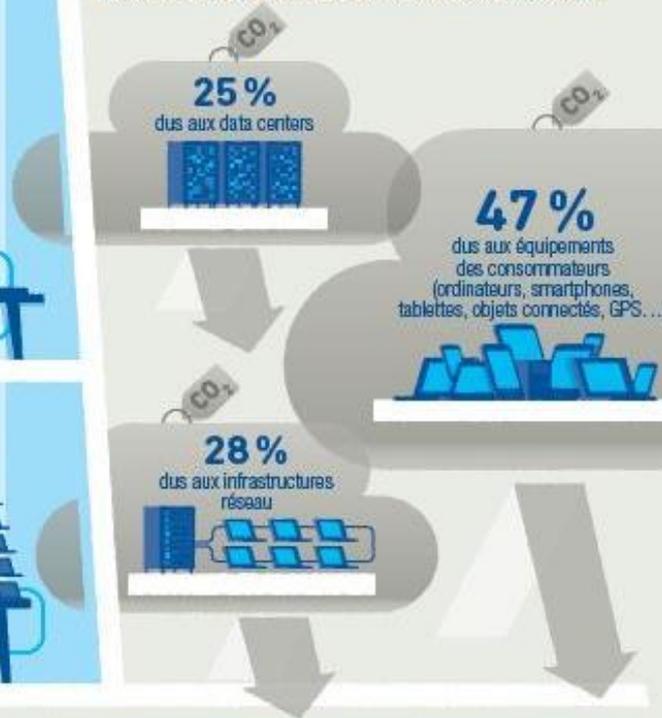
# LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU NUMÉRIQUE

## DES ÉQUIPEMENTS ÉNERGIVORES



## DES ÉQUIPEMENTS ÉMETTEURS DE CO<sub>2</sub>

Émissions de gaz à effet de serre liées au numérique :



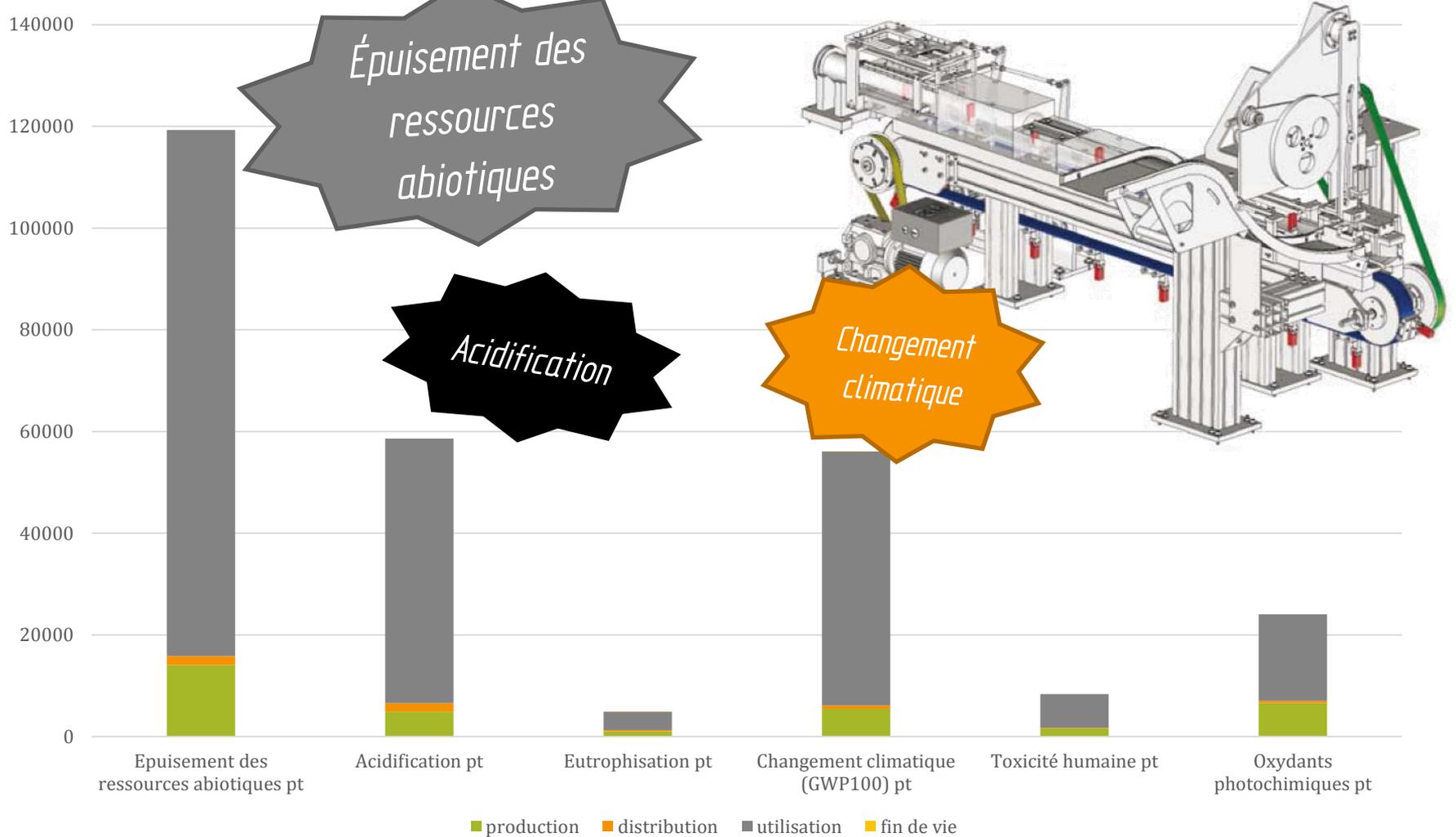
## DES ÉQUIPEMENTS NOMBREUX



© Antoine Dogan

# Impacts environnementaux majeurs des machines

Contribution normées des phases de vie aux différents impacts pour une machine générique



# Directives d'écoconception EuP, ErP, RoHS et DEEE

# Focus sur les normes d'éco-conception

DEEE  
2002

**Outils d'Eco-conception Directive DEEE**

La directive DEEE (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques) a pour objectif principal de réduire la quantité de déchets électriques et électroniques, et de développer la réutilisation et le recyclage. Elle contraint tout le secteur électrique et électronique à organiser et financer la collecte et la revalorisation de ses équipements en fin de vie. Au-delà du rôle « pollueur payeur », il s'agit d'améliorer la performance économique et environnementale des produits depuis leur conception grâce à l'éco-conception et la valorisation via la mise en place de filiales dédiées et la recherche de débouchés à nos « vieilleries ».

Le cycle de vie est illustré par un diagramme circulaire : ENREG. DECLARATION → VENTE → COLLECTE INDIV. OU COLL. → REUTILISATION → TRAITEMENT ET DEPOLLUTION → REUTILISATION.

Des barres à gauche indiquent des objectifs : 100% pour la collecte, 25% pour la réutilisation, 75% pour le recyclage, et 85% pour la valorisation des composants et des déchets.

Logos de GM et INSA LYON sont présents.

EuP et  
ErP

**Outils d'Eco-conception RoHS**

Directive 2002/95/CE

La directive « Restriction of Hazardous Substances » a pour objet de limiter l'utilisation de substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques et de contribuer à la protection de la santé humaine, à la valorisation et à l'élimination des déchets d'équipements électriques et électroniques.

Les substances visées par la directive RoHS sont certains métaux lourds, les retardateurs de flamme bromés (à l'exception de ceux dont la concentration ne doit pas dépasser 1000 ppm par partie homogène), le plomb, le cadmium, le chrome hexavalent, les polybromodiphénylènes (PBB), les polybromodiphényléthers (PBDE).

Le produit est conforme à la directive RoHS si :

- C1: Le produit est un EEE
- C2: Le produit appartient à l'une des catégories d'EEE
- C3: Le produit ne contient pas de substances dangereuses interdites

Le produit est conforme à la directive RoHS si :

- C4: Le produit ne contient pas de substances dangereuses interdites

Logos de GM et INSA LYON sont présents.

RoHS  
2002

# Directive 2002/96/CE DEEE (ou WEEE)

Directive 2002/96/CE du parlement européen et du conseil du 27 janvier 2003 dite WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equipments), modifié par la Directive 2003/108/CE



Produits gris



Produits bruns



Consommateur et entreprises



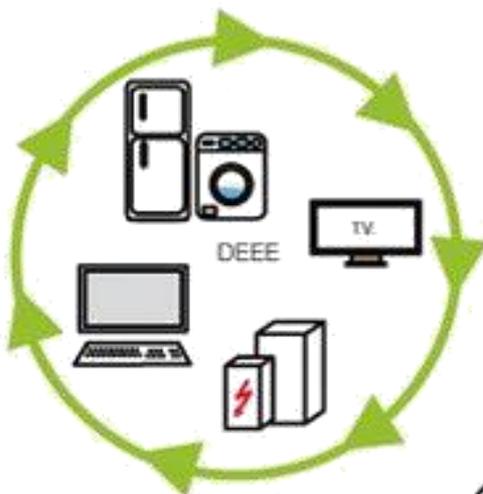
Produits blancs



Produits industriels



Industrialisation



DEEE



Stockage provisoire dans conteneurs spécifiques



Enlèvement et transport vers centres de traitement



Produits toxiques



Matières plastiques



Matériaux ferreux

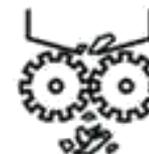


Matériaux non ferreux



Mousse polyuréthane

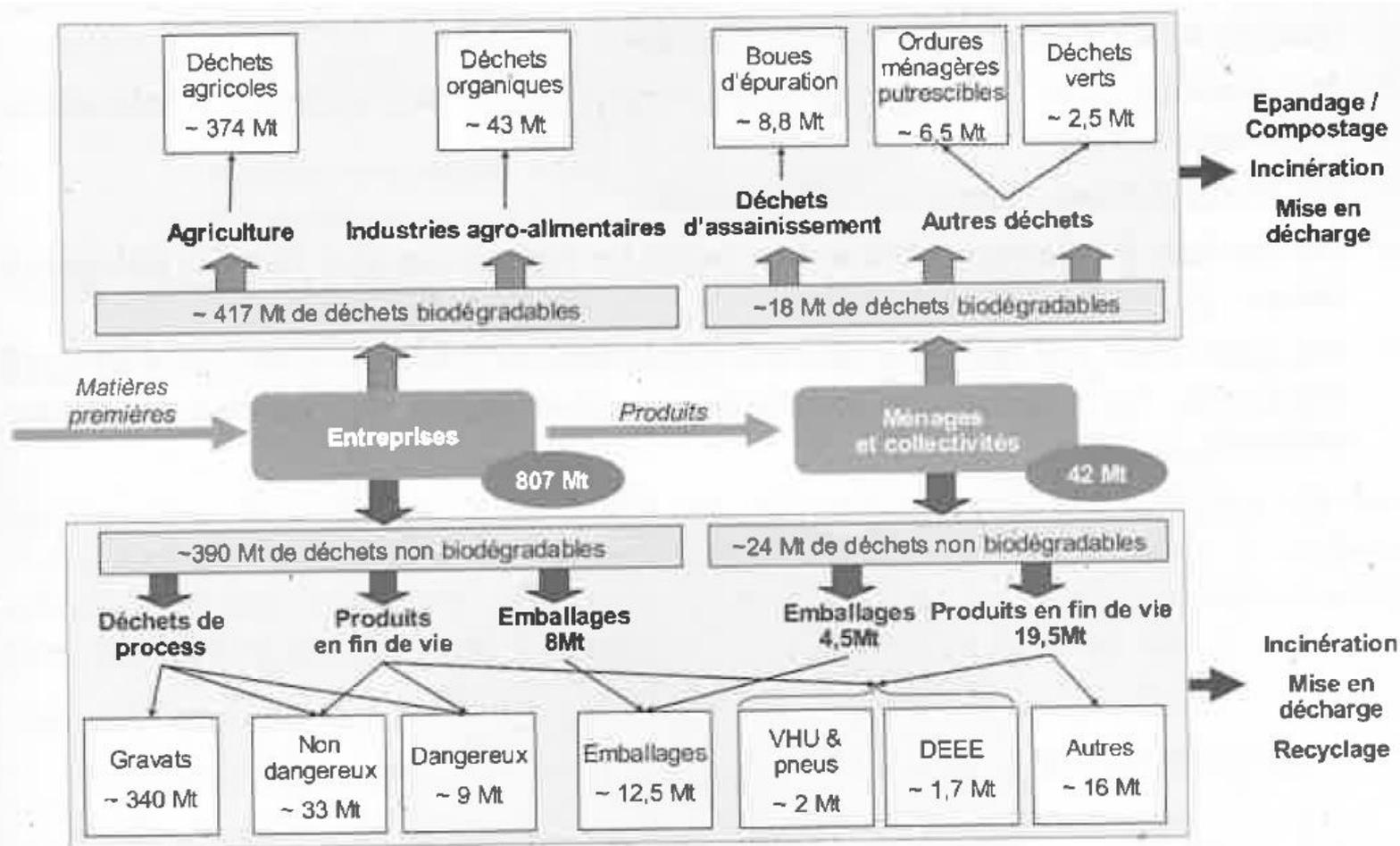
Tri des matériaux



Pré-traitement manuel ou traitement automatisé

<http://eco3e.eu/reglementations/deee-2/>

# Directive 2002/96/CE DEEE (ou WEEE)



Source: ADEME (les déchets en chiffres 2007, « À chaque déchet sa solution »), IFEN

## Directive 2002/96/CE DEEE (ou WEEE)



## Directive 2002/96/CE DEEE (ou WEEE)

**Principe du pollueur payeur :** Le code de l'environnement prévoit que « toute personne qui produit ou détient des déchets... est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination ». Le producteur est maintenant responsable de l'organisation et du financement de la fin de vie des produits. Il peut néanmoins en confier l'exécution au prestataire de son choix.

### Informations aux utilisateurs :

- Marquage des produits informant de l'existence d'une filière de fin de vie par l'intermédiaire du symbole de la « poubelle barrée »
- Marquage permettant d'identifier le producteur
- Marquage de la date de mise sur le marché



**Déclarations légales, le producteur doit s'inscrire au registre national des producteurs d'EEE tenu par l'ADEME, déclarer les quantités massiques d'EEE mises sur le marché et leurs modalités d'élimination et tenir à disposition des exploitants chargés du traitement des DEEE les informations nécessaires à cette opération**

### Détails de la catégorie 6 :

- Foreuses, scies,
- Équipements pour le tournage, le fraisage, le ponçage, le meulage, le sciage, la coupe, le cisaillement, le perçage, la perforation de trous, le poinçonnage, le repliage, le cintrage ou d'autres transformations du bois, du métal et d'autres matériaux,
- Outils pour river, clouer ou visser ou retirer des rivets, des clous, des vis ou pour des utilisations similaires,
- Outils pour souder, braser ou pour des utilisations similaires
- Équipements pour la pulvérisation, l'étendage, la dispersion ou d'autres traitements de substances liquides ou gazeuses par d'autres moyens
- Outils pour tondre ou pour d'autres activités de jardinage

*De nombreuses catégories se réfèrent à des machines...*

## Directive 2002/95/CE RoHS

Directive 2002/95/CE du parlement européen et du conseil du 27 janvier 2003 (relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques)

**Champ d'application** : La directive a pour objet de rapprocher les dispositions législatives des Etats membres relatives à **la limitation de l'utilisation de substances dangereuses** dans les équipements électriques et électroniques et de contribuer à la protection de la santé humaine, à la valorisation et à l'élimination des déchets d'équipements électriques et électroniques.

**Substances visées Article 4 §1 :**

- **Limités à 0,1%** en masse des matériaux homogènes : le plomb (Pb), le chrome hexavalent (Cr6), le mercure (Hg), les polybromobiphényles (PBB), les polybromodiphényléthers (PBDE)
- **Limité à 0,01%** en masse des matériaux homogènes : le cadmium (Cd)

Où trouve-t-on ces substances ?

## Cadmium (Cd)

Domaine d'application	Application concernée	Valeur limite
Matières plastiques	Pigments Exemption: coloration de sécurité	0.01 % de la masse totale
Matières plastiques	Stabilisateur pour PVC	0,01 % de la masse totale
Peintures	Pigments	0.1 % de la masse totale
Métaux et alliages	Traitement de surface de pièces métalliques Exemption: contacts électriques pour raison de sécurité	0.01 % de la masse totale
Métaux et alliages	Toutes les applications visées par la directive WEEE Pigments	<b>INTERDIT</b>
Emballages		100 ppm
Batteries et accumulateurs	Utilisable si extractible	0.025 % de la masse totale

# Les dangers de ces produits : cadmium

État pulvérulent :



Danger

H250, H330, H341, H350, H361fd, H372, H410, P210, P260, P273, P281, P391, P308+P313, P405, P501,

**H250** : S'enflamme spontanément au contact de l'air [-]

**H330** : Mortel par inhalation

**H341** : Susceptible d'induire des anomalies génétiques (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

**H350** : Peut provoquer le cancer (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

**H361fd** : Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus.

**H372** : Risque avéré d'effets graves pour les organes (indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

**H410** : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme

**P210** : Tenir à l'écart de la chaleur/des étincelles/des flammes nues/des surfaces chaudes. — Ne pas fumer.

**P260** : Ne pas respirer les poussières/fumées/gaz/brouillards/vapeurs/aérosols.

**P273** : Éviter le rejet dans l'environnement.

**P281** : Utiliser l'équipement de protection individuel requis.

**P391** : Recueillir le produit répandu.

**P308+P313** : En cas d'exposition prouvée ou suspectée : consulter un médecin.

**P405** : Garder sous clef.

**P501** : Éliminer le contenu/réceptif dans ...



Où trouve-t-on ces substances ?

## Chrome hexavalent (Cr 6)

Métaux et alliages	Traitement de surface anti-corrosion	INTERDIT
Emballages		100 ppm

## Mercure (Hg)

Batteries et accumulateurs	Exemption: "piles bouton"	5 ppm
Electronique	Toutes les applications visées par la directive WEEE	INTERDIT
Emballage		100 ppm

## Les dangers de ces produits : chrome hexavalent (dans le trioxyde de chrome)



Danger

H271, H301, H311, H314, H317, H330, H334,  
H340, H350, H361f, H372, H410, [-]

**H271** : Peut provoquer un incendie ou une explosion ; comburant puissant [-]

**H301** : Toxique en cas d'ingestion

**H311** : Toxique par contact cutané

**H314** : Provoque de graves brûlures de la peau et des lésions oculaires

**H317** : Peut provoquer une allergie cutanée

**H330** : Mortel par inhalation

**H334** : Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation

**H340** : Peut induire des anomalies génétiques (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

**H350** : Peut provoquer le cancer (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

**H361f** : Susceptible de nuire à la fertilité.

**H372** : Risque avéré d'effets graves pour les organes (indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

**H410** : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme



Erin Brockovich

Malgré un manque de formation en droit, elle réussit à se faire embaucher dans un petit cabinet d'avocats et, intriguée par des dossiers d'indemnisations immobilières croisés avec des requêtes en soins médicaux sur les mêmes personnes, elle enquête, découvre des causes probables de pollution par le **chrome hexavalent** dans les eaux potables, instruit le dossier des centaines de victimes et leur fait obtenir un dédommagement élevé (333 millions \$US) auprès de la société **Pacific Gas and Electric Company** (PG&E) de Californie en 1993.

# Les dangers de ces produits : mercure



Danger

H330, H360D, H372, H410, P201, P273, P304+P340,

H330 : Mortel par inhalation [-]

H360D : Peut nuire au fœtus.

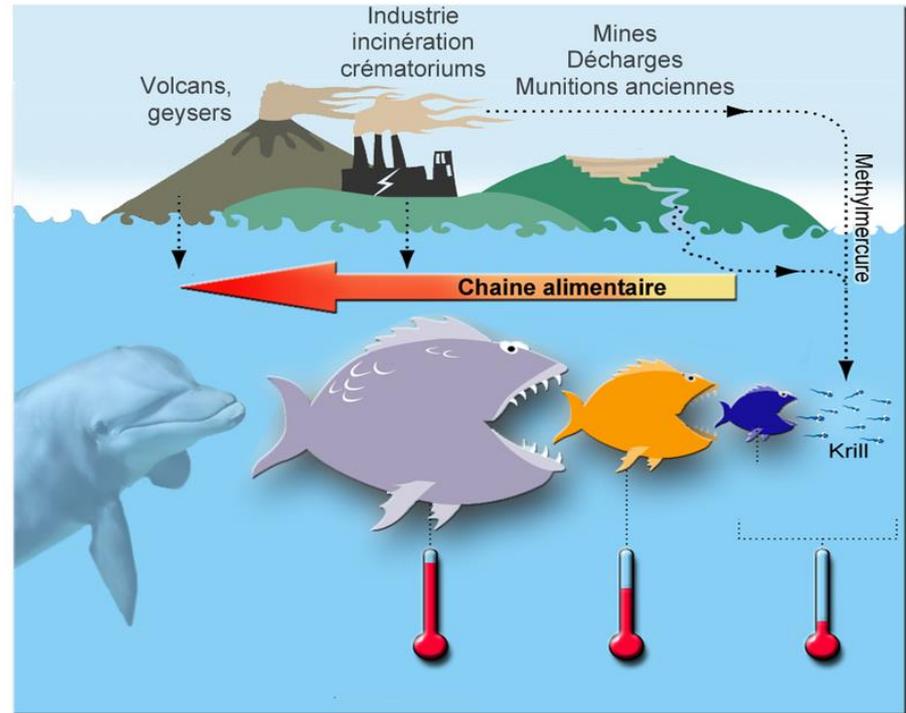
H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes (indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme

P201 : Se procurer les instructions avant utilisation.

P273 : Éviter le rejet dans l'environnement.

P304+P340 : En cas d'inhalation : transporter la victime à l'extérieur et la maintenir au repos dans une position où elle peut confortablement respirer.



## Où trouve-t-on ces substances ?

### Plomb (Pb)

Electronique	Toutes les applications visées par la directive WEEE Exemptions: composants électroniques, pièces en céramique	INTERDIT
Métaux et alliages	Toutes les applications visées par la directive WEEE Exemptions: élément d'alliage dans l'acier (0.35 %), l'aluminium (0.4 %), le cuivre (4 %).	INTERDIT
Matières plastiques	Stabilisateur pour PVC si dans une application visée par la directive WEEE	INTERDIT
Matières plastiques	Pigments	
Peintures	Pb CO <sub>3</sub> : carbonate de plomb anhydre 2 PbCO <sub>3</sub> Pb(OH) <sub>2</sub> : hydrocarbonate de plomb PbSO <sub>4</sub> : sulfate de plomb	INTERDIT
Emballages		100 ppm
Batteries et accumulateurs	Utilisable si extractible	0.4 % de la masse totale

### PBB et PBDE

Matières plastiques	Toutes les applications visées par la directive WEEE	INTERDIT
---------------------	--	----------

# Les dangers de ces produits : plomb

État pulvérulent :



Danger

H360FD, H362, H373, H410, P201, P273, P308, P314,

H360FD : Peut nuire à la fertilité. Peut nuire au fœtus. [-]

H362 : Peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel

H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes (indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme

P201 : Se procurer les instructions avant utilisation.

P273 : Éviter le rejet dans l'environnement.

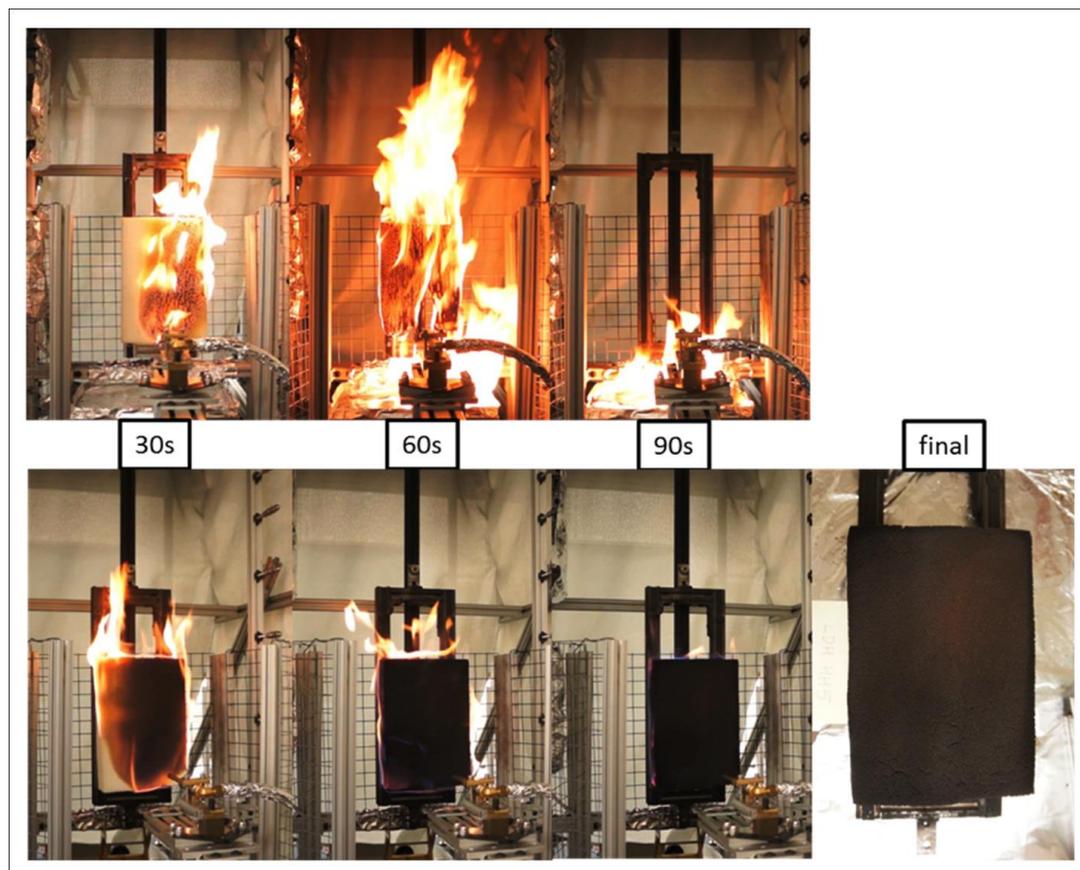
P308 : En cas d'exposition prouvée ou suspectée :

P314 : Consulter un médecin en cas de malaise.

Le plomb compte avec le mercure et le cadmium parmi les trois contaminants les plus toxiques et fréquents de notre environnement. Le plomb n'est ni dégradé ni biodégradable. En tant que contaminant du sol, il est très stable : sa **demi-vie** géochimique, c'est-à-dire le temps au bout duquel la moitié de ce plomb s'est dispersée dans l'environnement, serait d'environ 7 siècles. Il est plus mobile et **écotoxique** dans les milieux naturellement acides ou touchés par l'**acidification anthropique**.



## Retardateurs de flamme bromés RFB



Exposition :

- alimentation
- contacts cutanés
- inhalation de poussières

Les concentrations moyennes de RFB dans les tissus humains doublent environ tous les 5 ans.  
la présence de RFB a été identifiée en Arctique dans l'air et des animaux marins,

## Législation/ application????

En plus de la directive RoHS, depuis juillet 2006 tous les nouveaux équipements électriques et électroniques ne peuvent plus contenir de PBB ou de PBDE, quelle que soit la concentration.

# Et pourtant...

Jouet :  
50 000 ppm  
50 fois le seuil



Clé USB :  
50 000 ppm  
50 fois le seuil

Chargeur perceuse :  
100 000 ppm  
100 fois le seuil



## Un choix de conception sans prise en compte des impacts...

Juin 2018: Une étude britannique affirme «Les gaz asphyxiants générés par les matériaux présents dans les objets (les retardateurs de flammes : polymères à base de composés bromés, halogènes...) sont supposés réduire les risques d'incendie mais ils augmentent les risques de mort:

L'exposition à la chaleur des retardateurs de flammes provoquerait d'avantage de feux couvants. Des foyers où des fumées extrêmement toxiques (monoxyde de carbone et de cyanure d'hydrogène) et très fumigènes se dégagent. Or, ce sont la fumée et les gaz de combustion qui tuent, pas les flammes.



## Directive 2005/32/CE Ecoconception Energy using Product

Directive 2005/32/CE du parlement et du conseil du 6 juillet 2005 (établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie)

### Champ d'application :

- Art1 §1 : la directive concerne les produits consommateurs d'énergie
- Art1 §3: la directive ne s'applique pas aux moyens de transport de personnes ou de marchandises

**Définie l'écoconception** : Article 2 §23 intégration des caractéristiques environnementales dans la conception du produit en vue d'améliorer la performance

### Marquage et déclaration de conformité :

Art 5 §2 : Le marquage de conformité est constitué des lettres « CE » (décrit à l'annexe III)

Art 5 §3 : La déclaration de conformité contient les éléments spécifiés à l'annexe VI, qui sont :

- nom et adresse du fabricant ou de son mandataire
- description du modèle permettant une identification sans équivoque
- références des normes harmonisées appliquées, le cas échéant
- le cas échéant, autres normes et spécifications techniques utilisées
- le cas échéant, référence à d'autres textes communautaires relatifs au marquage CE
- identification et signature de la personne habilitée à agir au nom du fabricant ou mandataire

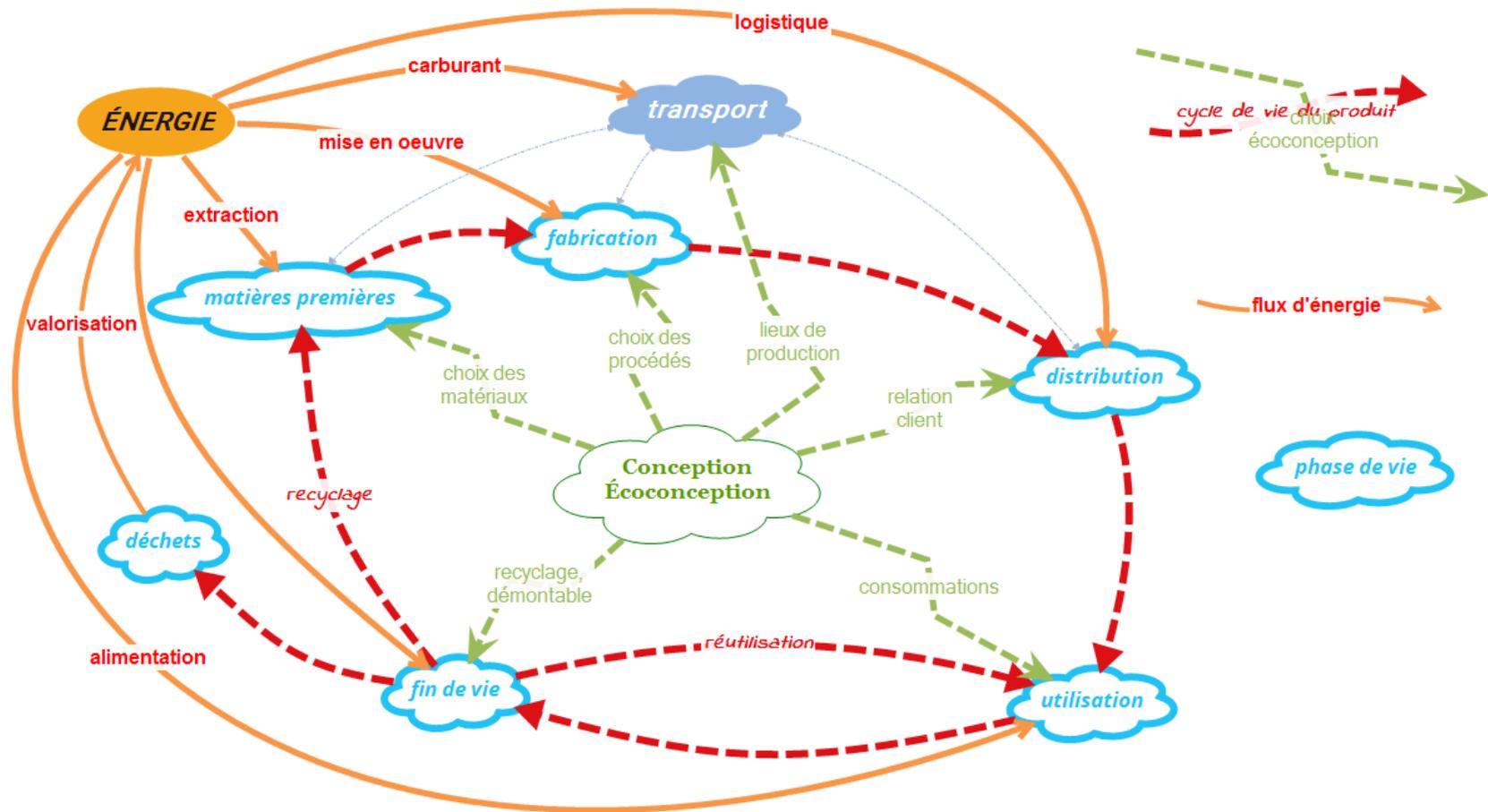
### Mesures d'exécution :

Art 15 §6 : Les mesures d'exécution établissent des exigences d'écoconception conformément à l'annexe I et/ou à l'annexe II. L'annexe I se divise en 3 parties qui décrivent :

- Partie 1. Les paramètres d'écoconception des produits consommateurs d'énergie
- Partie 2. Les exigences concernant la fourniture d'informations
- Partie 3. Les exigences vis à vis du fabricant

L'annexe II précise la méthode de fixation des exigences d'écoconception spécifique

# Concevoir en intégrant les impacts environnementaux



## Cycle de vie d'un produit

Une « bonne » conception nécessite d'avoir une vision globale du cycle de vie du produit. L'écoconception rend cette approche multi-étapes encore plus inévitable et pertinente.

La prise en compte globale des impacts environnementaux du cycle de vie se fait par une approche multi-critères : le choix de ces critères relève de la formation de l'écodesigner

L'analyse du cycle de vie demande une approche multi-composants : il faut connaître tous les éléments composant physiquement le produit, mais aussi des emballages et des produits associés (consommables, etc...).

# Cycle de vie d'un produit

Caféier, irrigation, betterave sucrière, *What else?*

Approvisionnement, maintenance

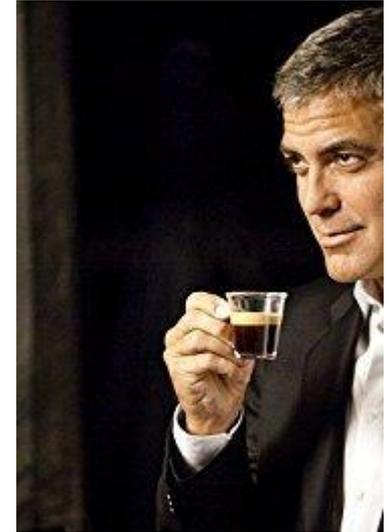
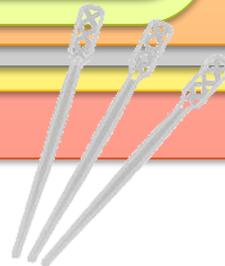
Machine à café

Emballages du café, des touillette, du sucre...

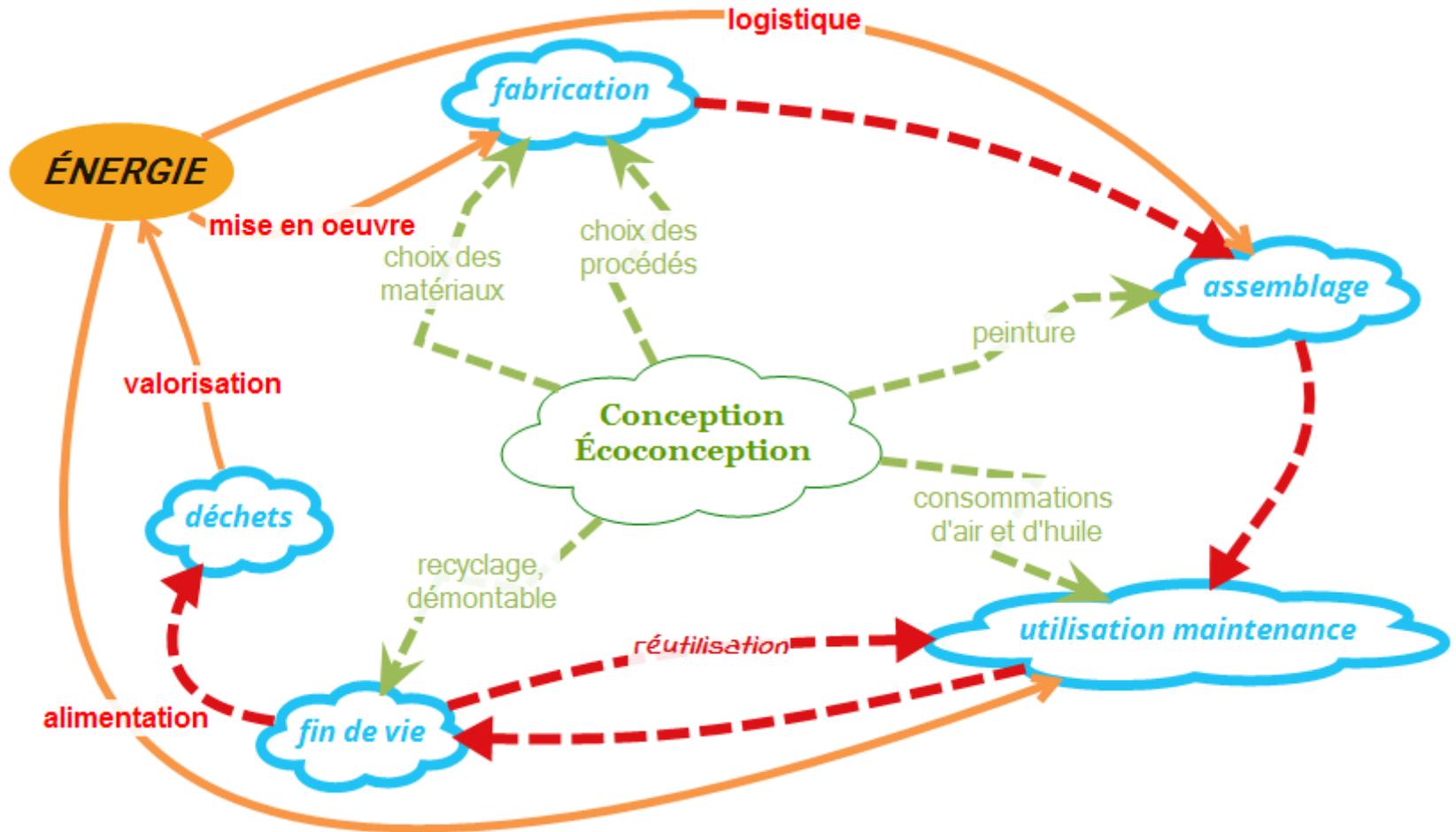
Eau, café, touillette, sucre

Emballage du gobelet

1 café à la machine

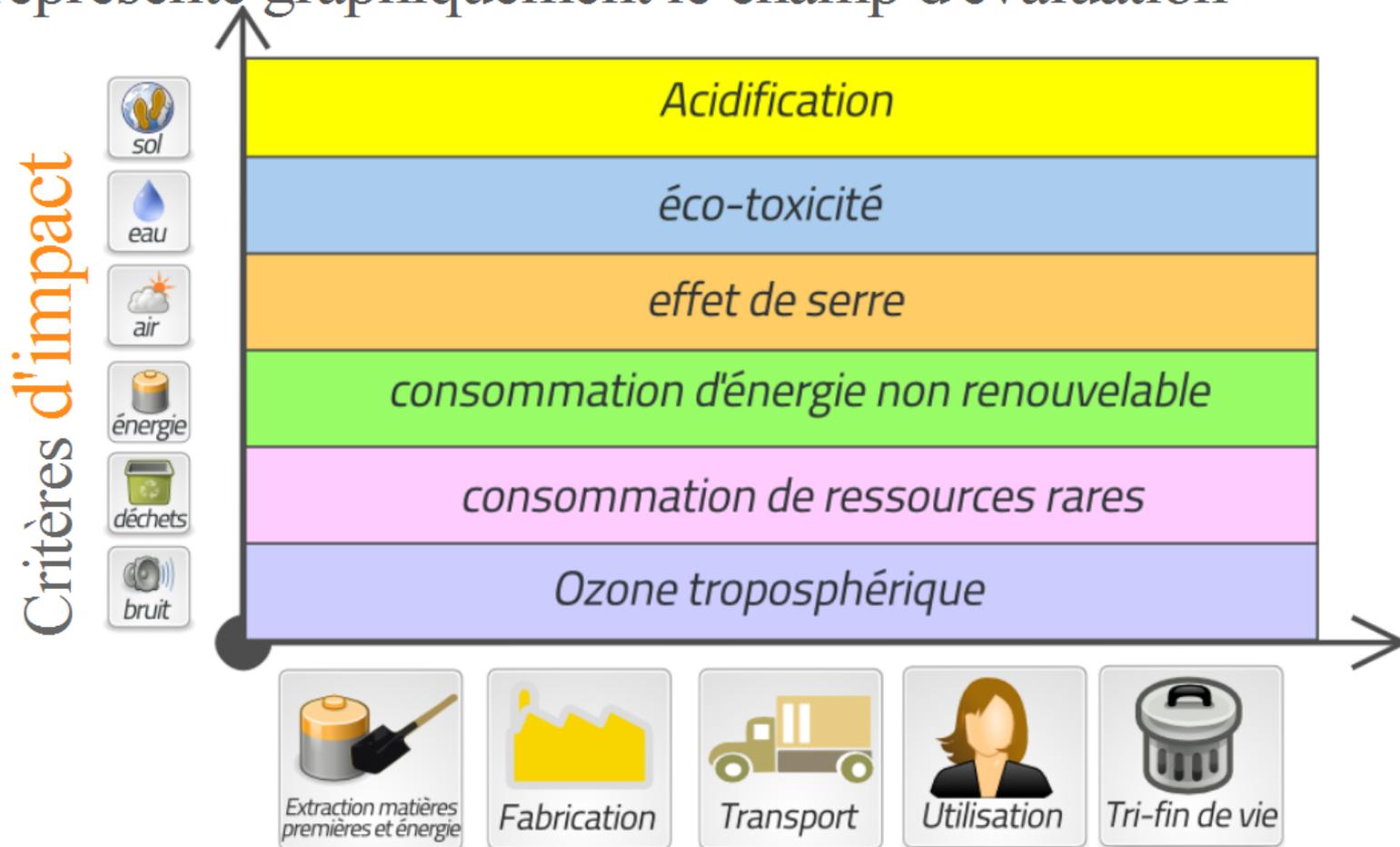


# Cycle de vie d'une machine : étapes critiques



# Approche graphique en histogramme de l'ACV

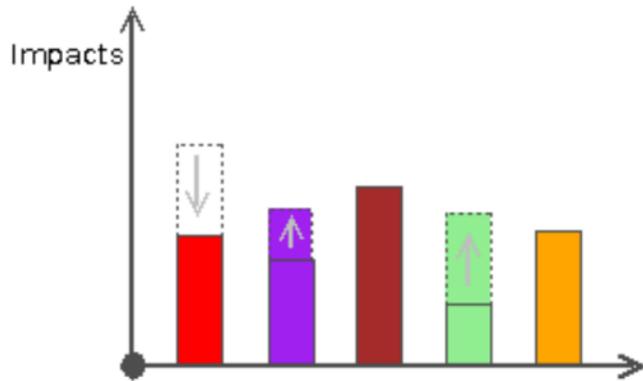
La combinaison multi-étapes et multi-critères représente graphiquement le champ d'évaluation



S.Gounelle (cc) BY-NC-SA

Étapes du cycle de vie

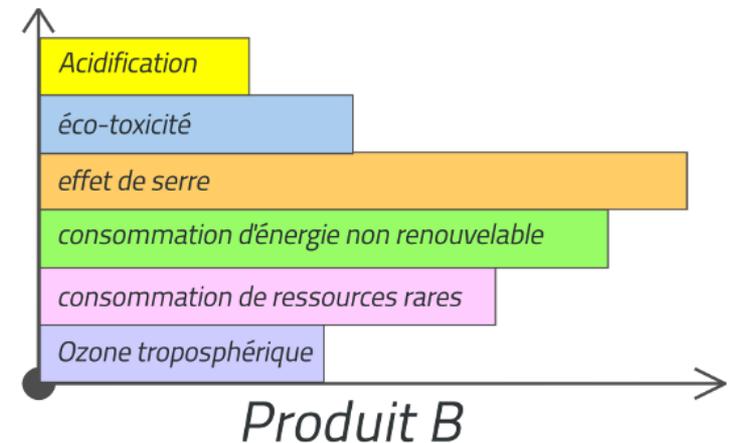
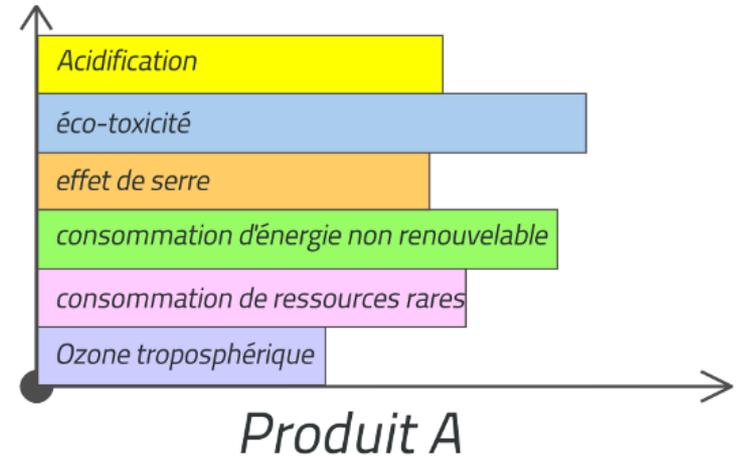
# Approche graphique en histogramme de l'ACV



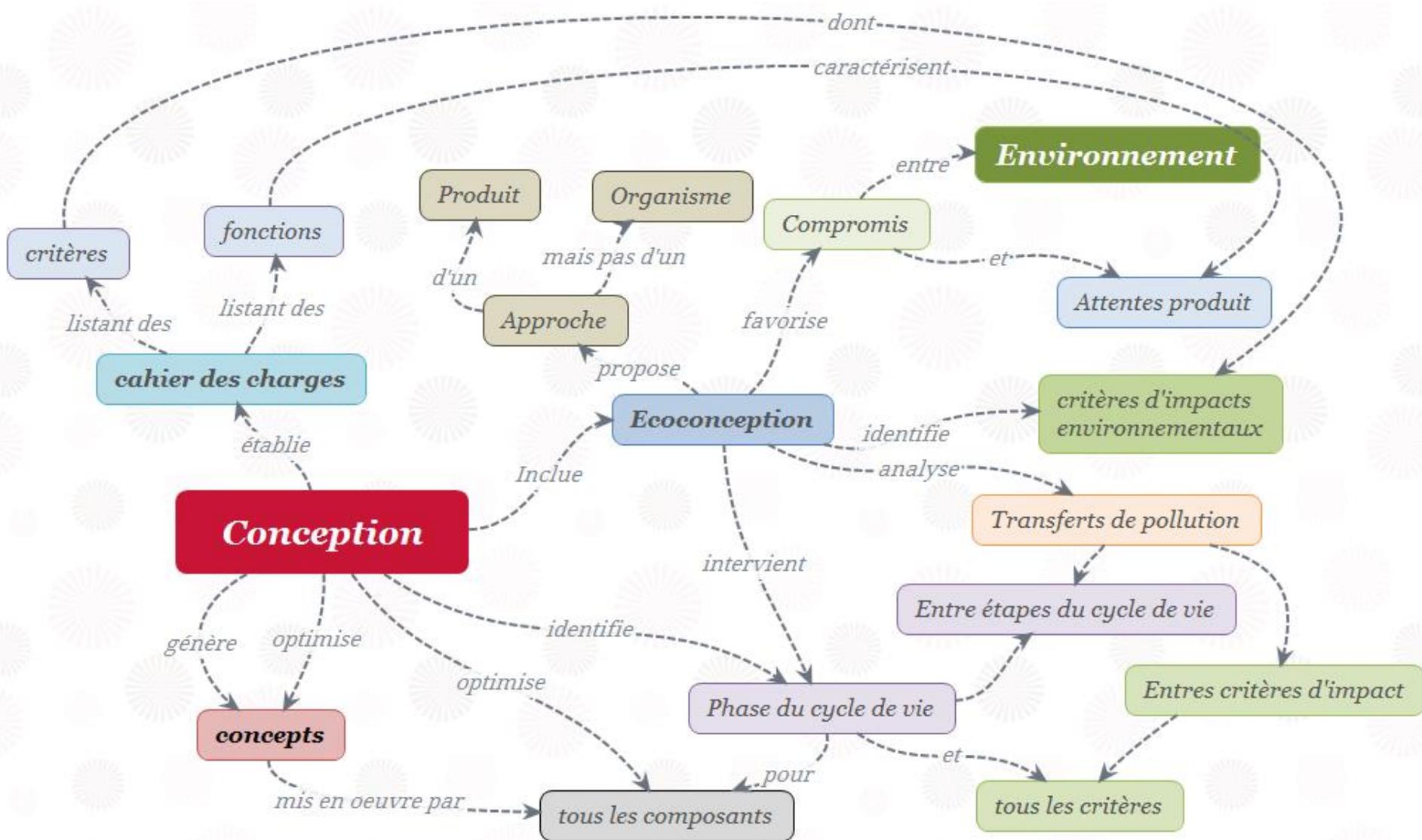
La démarche d'écoconception se caractérise souvent par des transferts de pollution d'un critère à un autre ou d'une phase de vie à une autre.

La recherche de solution est guidée par :

- Un compromis acceptable (écoconception)
- Une optimisation fine (diminution des masses globale sans création d'impacts)
- Une innovation de rupture (écoTRIZ)

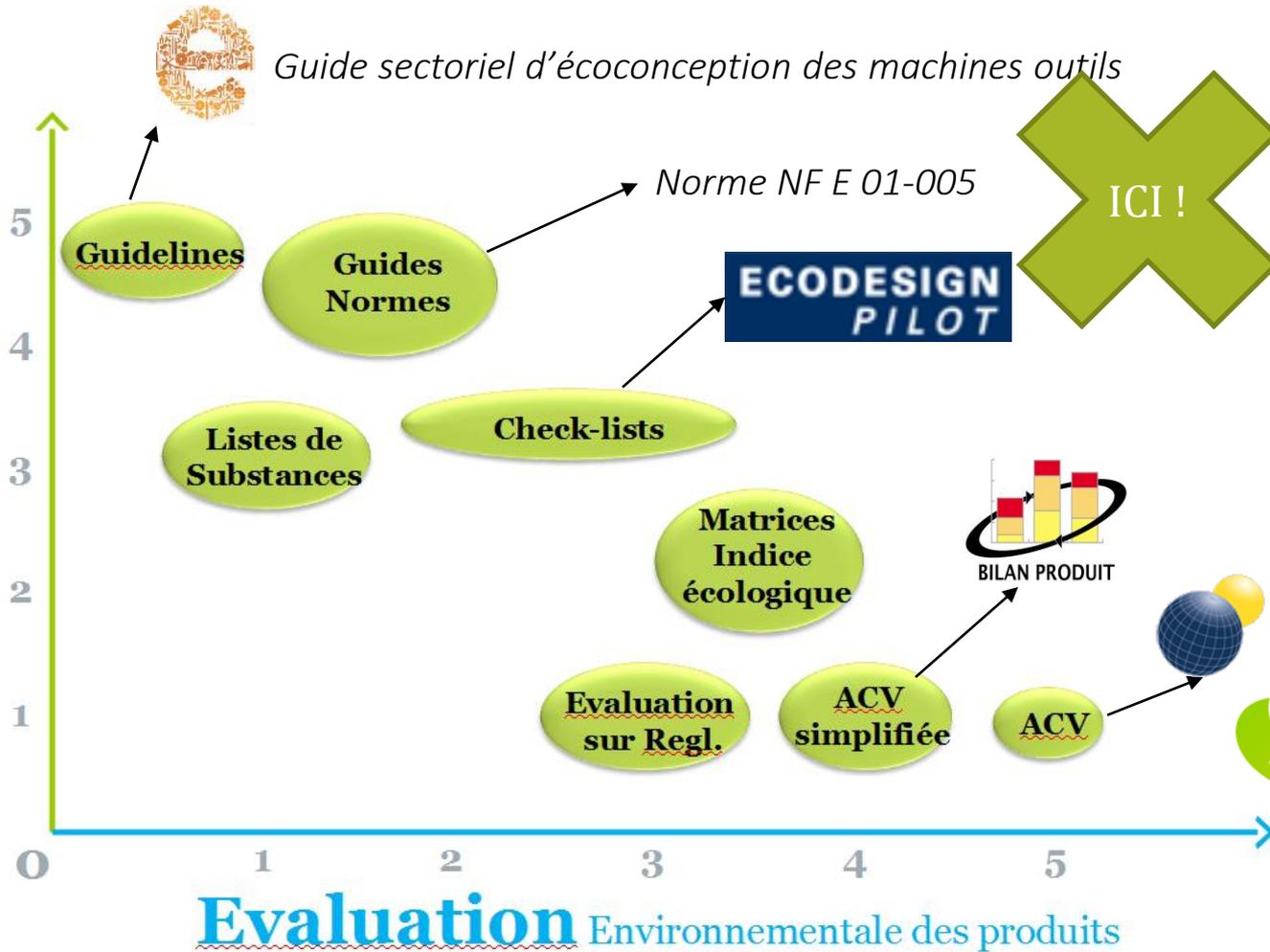


# Synthèse des grands principes



# Outils d'écoconception

Amélioration Environnementale des produits



D'après Thèse M. Janin

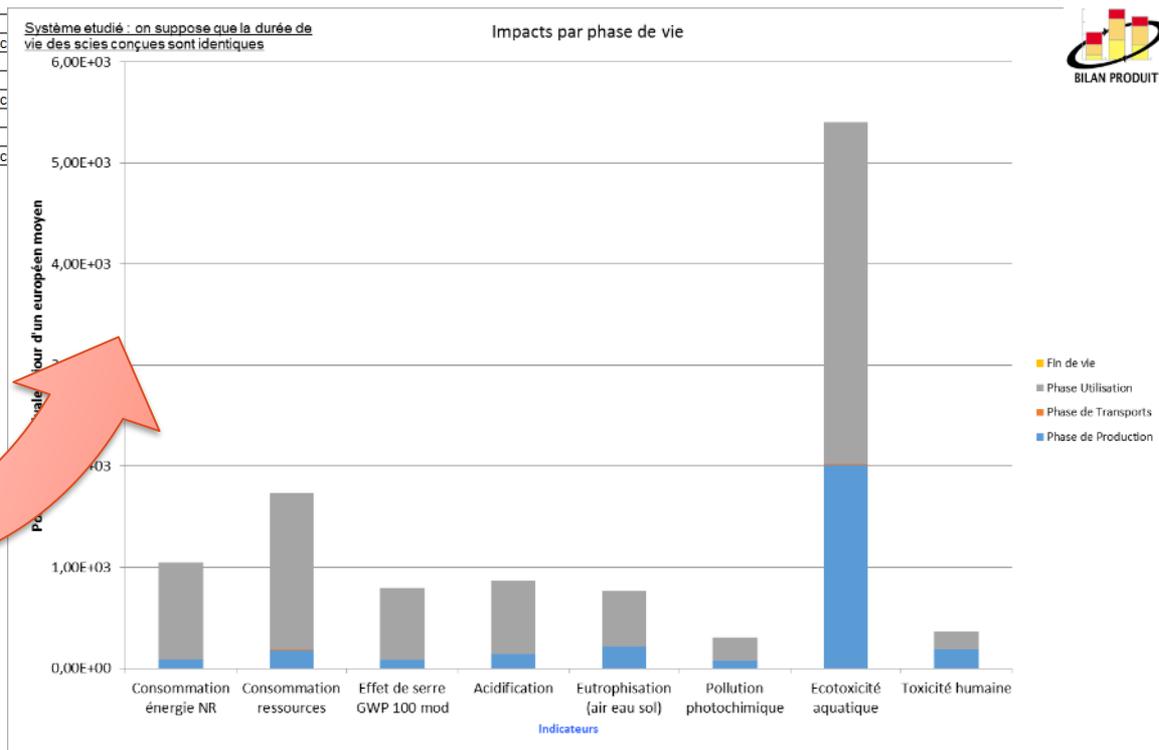
# Bilan Produit

## Approche multi-composants

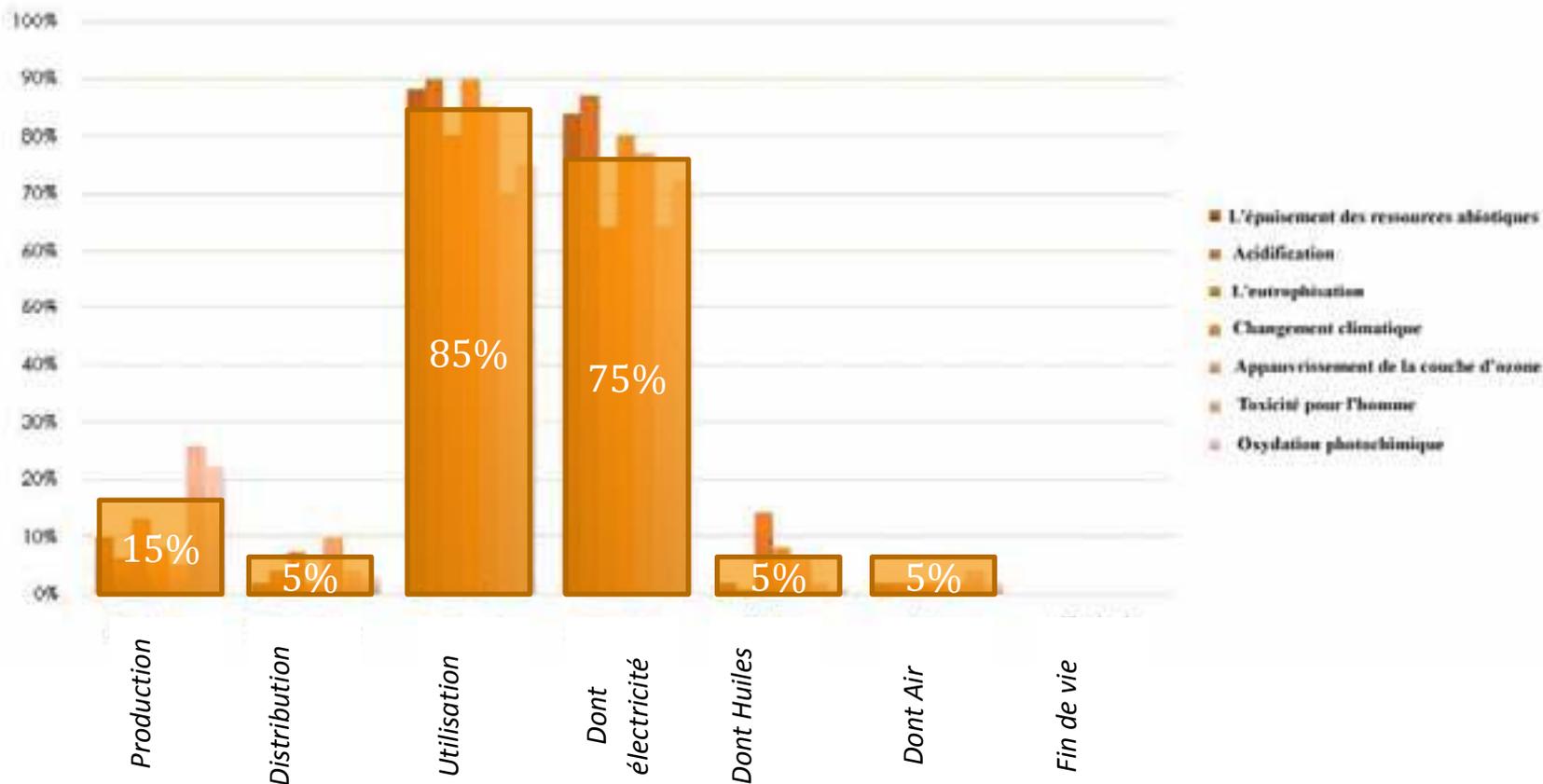
Phase de Production					
Aide	Précédent	Suivant	Insérer composant	Effacer sélection	Enregistrer
Sous-ensemble	Tableau des éléments (Composants...) du produit			Commentaires utilisateur	
Nom	Quantité	Unité			
bati	Acier courant	145	kg		
bati	Laminage de feuilles	70	kg		
bati	Fabrication moyenne en	75	kg		
bati	Camionnette	50,75	t.km	Distance : 350km	Masse
moteur	Acier courant	40	kg		
moteur	Composants (en	5	kg		
moteur	Cuivre courant	30	kg		
moteur	Tanker transocéanique	540	t.km	Distance : 6000km	Masse
table	Acier courant	60	kg		
table	Fabrication moyenne en	60	kg		
table	Camionnette	30	t.km	Distance	
volant fou	Acier courant	10	kg		
volant fou	Fabrication moyenne en	10	kg		
volant fou	Camionnette	3	t.km	Distance	
volant moteur	Acier courant	14	kg		
volant moteur	Fabrication moyenne en	14	kg		
volant moteur	Camionnette	4,2	t.km	Distance	

Permet d'évaluer l'impact environnemental de chaque composant du produit.

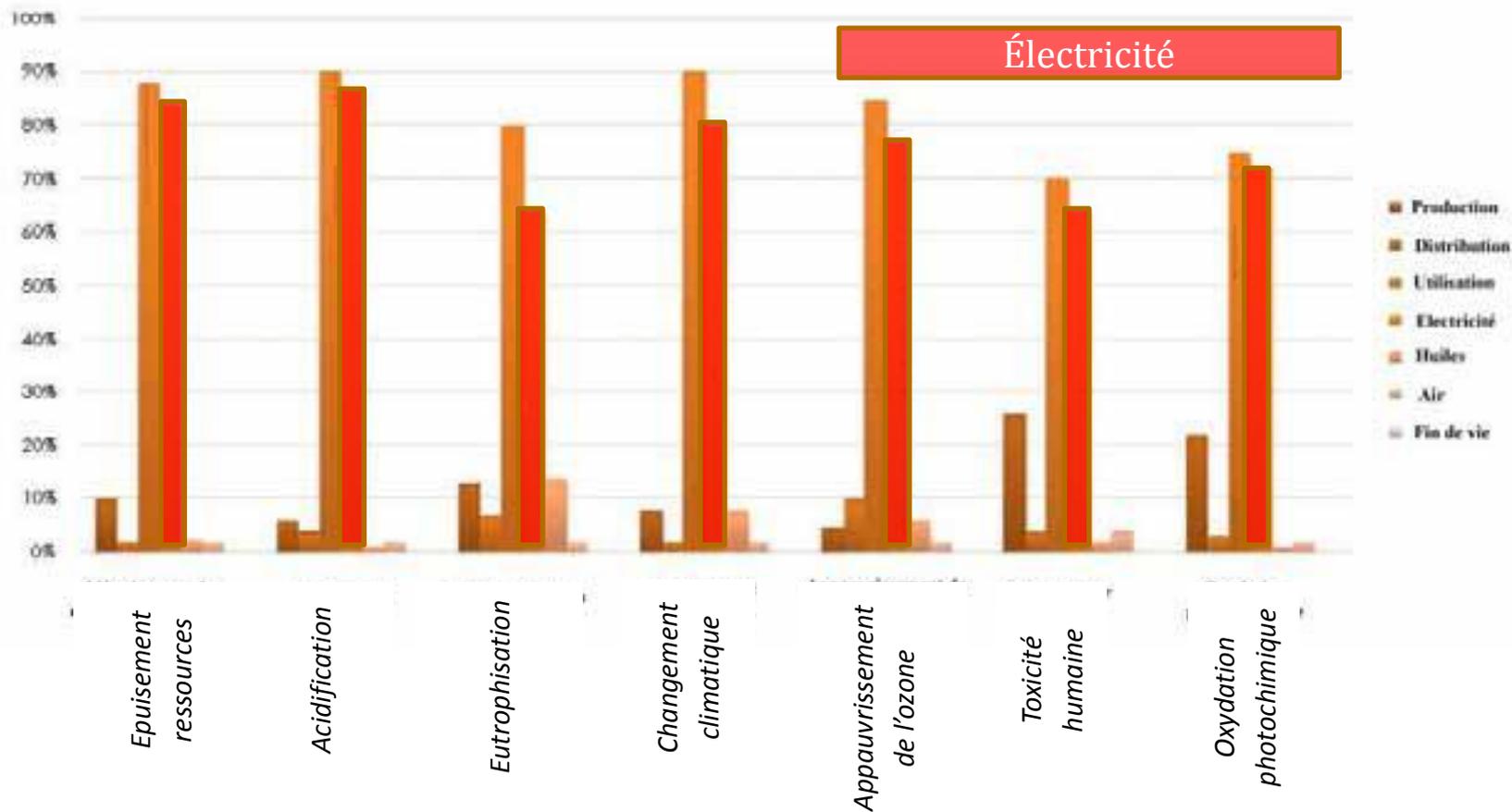
## Approche multi-critères



# Diagnostic environnemental d'une machine générique

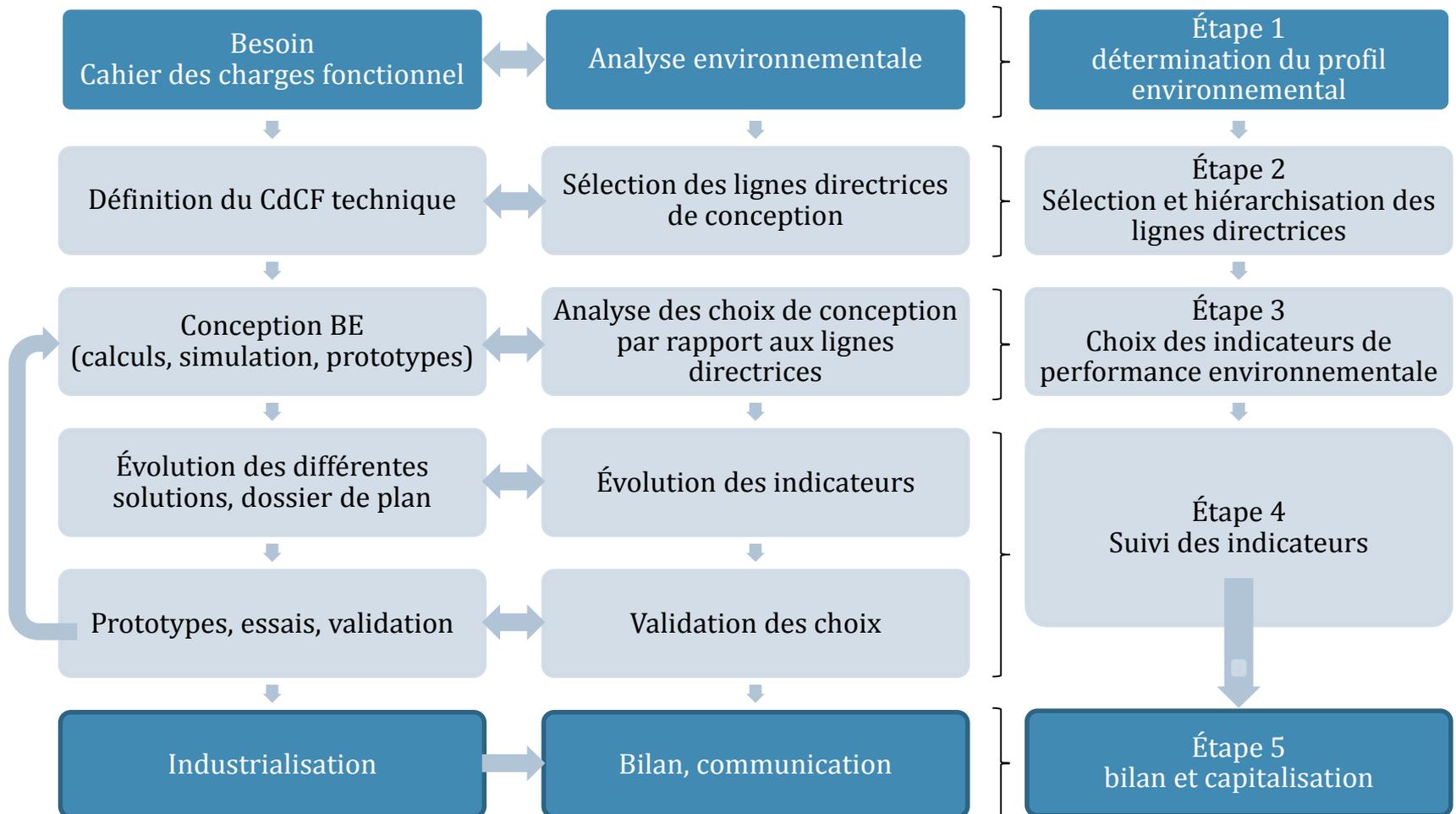


# Diagnostic environnemental d'une machine générique



# Que faire pour améliorer l'impact environnemental ? Norme NF E 01-005

La norme NF E 01-005 « Méthodologie d'écoconception pour les produits de la Mécanique » est un guide pour cibler les voies d'amélioration environnementales.



# Norme NF E 01-005 : Définitions

## Aspect environnemental (AE)

Matières Premières, Fabrication, Utilisation, Recyclage en fin de vie, Substances, Transport et Emballages, notés MP, F, U, R-FV, S, T et Emb

## Ligne directrice de conception (LD)

Règle pour l'amélioration d'un aspect environnemental particulier du cycle de vie du produit

## Profil environnemental

Hiérarchisation graphique des aspects environnementaux

## Indicateur de ligne directrice

Indicateur qualitatif ou quantitatif qui permet de suivre une ligne directrice en phase de conception.

## Indicateur d'aspect environnemental

Indicateur qualitatif ou quantitatif représentatif de l'impact d'un aspect environnemental.

## Référentiel de lignes directrices

Après évaluation, ensemble de lignes directrices pertinentes pour le produit, et devant faire l'objet d'une revue à l'issue de la phase de conception

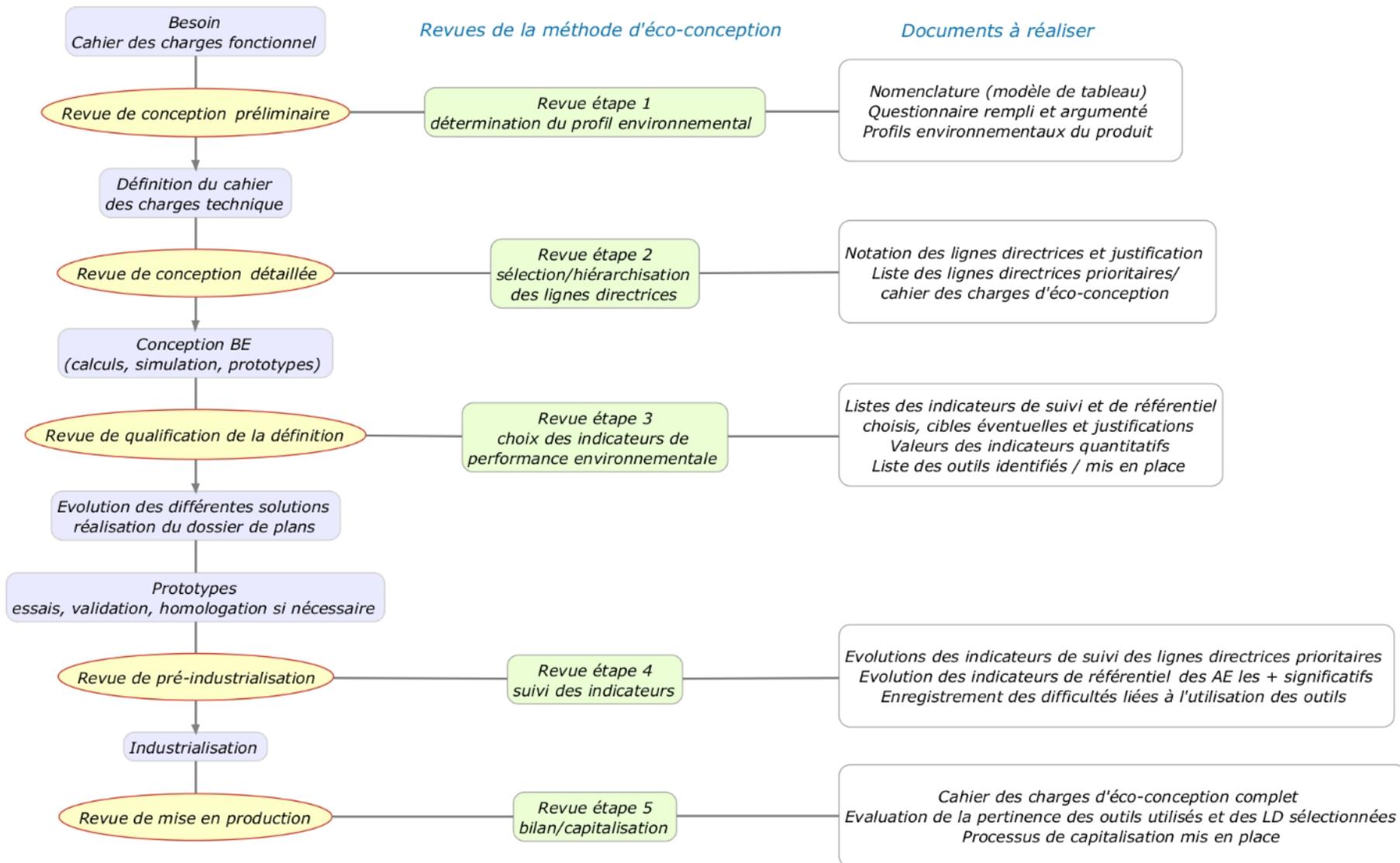
## Ligne Directrice Prioritaire (LDP)

ligne directrice du « référentiel de lignes directrices » sélectionnée pour être appliquée obligatoirement au produit.

## Équipe de projet

La méthodologie doit être suivie par une équipe pluridisciplinaire, intégrant des compétences environnementales, bénéficiant du soutien de la direction, et associant les fonctions de l'entreprise pouvant être impactées (R&D, Bureau d'Etude, Achats, Industrialisation, Logistique, Marketing,...).

# Démarche de conception, démarche d'écoconception



# Étape 1 : détermination du profil environnemental



- A partir d'un questionnaire de 42 questions en lien avec les spécificités du produits et son cycle de vie, la norme propose un algorithme qui va classer les aspects environnementaux relatifs au produit.
- Les réponses données dans le cadre du questionnaire permettent de définir le niveau d'importance des aspects environnementaux rattachés au produit.

Problème environnemental important

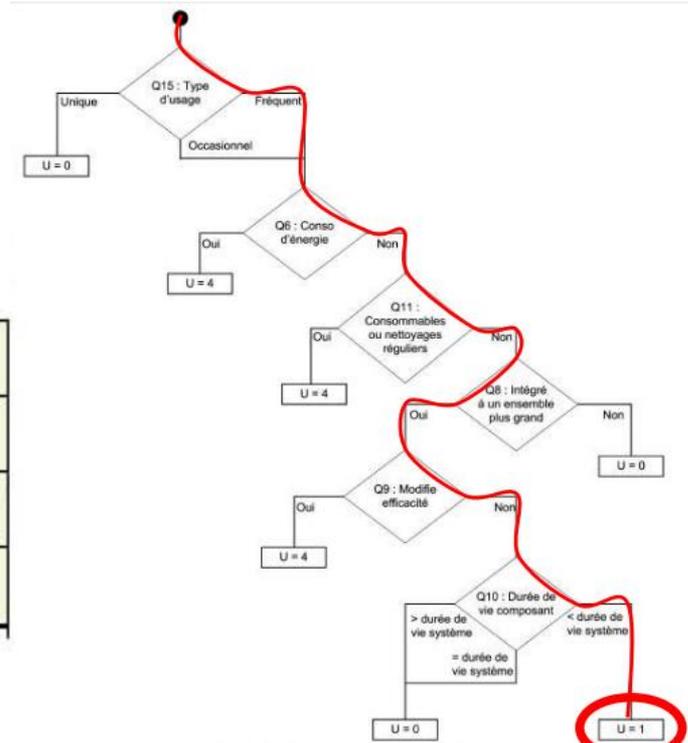
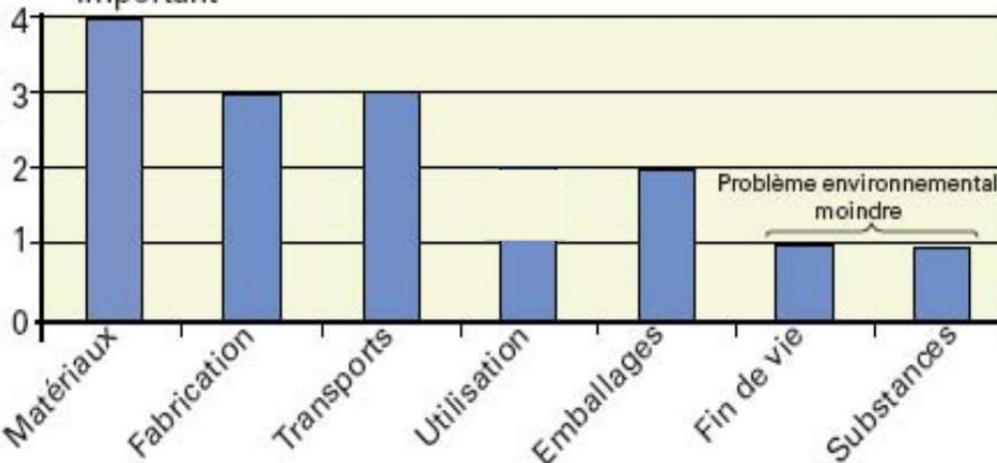


Figure B.2 — Arbre de décision pour l'aspect environnemental U

## Étape 2 : sélection des lignes directrices



- Choix pouvant se faire à partir d'une liste fournie par la norme ou de pistes de solutions déjà imaginées au niveau de l'entreprise
- Pour aider le concepteur à choisir les lignes directrices les plus pertinentes, la norme propose un système de cotation pour intégrer les aspects techniques, économiques et stratégiques

Tableau C.1 — Lignes directrices et indicateurs de ligne directrice

Aspects environnementaux	Stratégies	Exemples de lignes directrices	Exemples d'indicateurs de ligne directrice
Matières Premières (MP)	Sélectionner des matériaux à moindre impact environnemental	Utiliser des matériaux à moindre impact environnemental : (par exemple : moindre contenu CO <sub>2</sub> )	Contenu CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> équivalent)
		Utiliser des matériaux renouvelables (Q3)	Nombre, masse, % de matériaux renouvelables
		Utiliser des matériaux recyclés (voir fournisseur) (Q2)	Nombre, masse, % de matériaux recyclés
		Utiliser des matériaux recyclables	Nombre, masse, % de matériaux recyclables
		Utiliser des matériaux à moindre contenu énergétique	Contenu énergétique total (MJ/produit) ou par matériau (MJ/kg de matériau)
	Réduire l'utilisation des matériaux	Réduire en poids	Masse (kg)
		Réduire en volume	Volume (l, m <sup>3</sup> )
	Développer de nouveaux concepts	Dématérialiser le produit, proposer des services	Nombre de produits mis en location
		Prévoir une utilisation partagée du produit : 1 produit = plusieurs utilisateurs	Taux d'usage moyen (h utilisation produit / jour). Nombre de personnes ayant accès au produit (pers/produit)
		Intégrer de nouvelles fonctions au produit	Nombre de fonctions par produit
	Réaliser une optimisation fonctionnelle du produit, réduire le nombre de composants	Nombre de fonctions par produit ou par composant	

## Étape 3 : Choix des indicateurs de performance environnementale



- Intérêts : Mesurer les gains & Maitrise les éventuels transferts de pollution

LD sélectionnées	Indicateurs LD	Indicateurs AE
MP : Réduire les quantités de matières premières (MP)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Masse par MP (kg) à UF éq.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Impact des MP</li></ul>
F : Réduire le nombre d'opérations de fabrication	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nbre d'opérations</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Energie (kWh)</li></ul>
U : Ajouter des fonctions au produit	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nbre de fonctions</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mise en conformité à nouvelle norme (diamètre ↗ à 180 mm) comparaisons à UF éq</li></ul>

## Étape 4 : Suivi des indicateurs



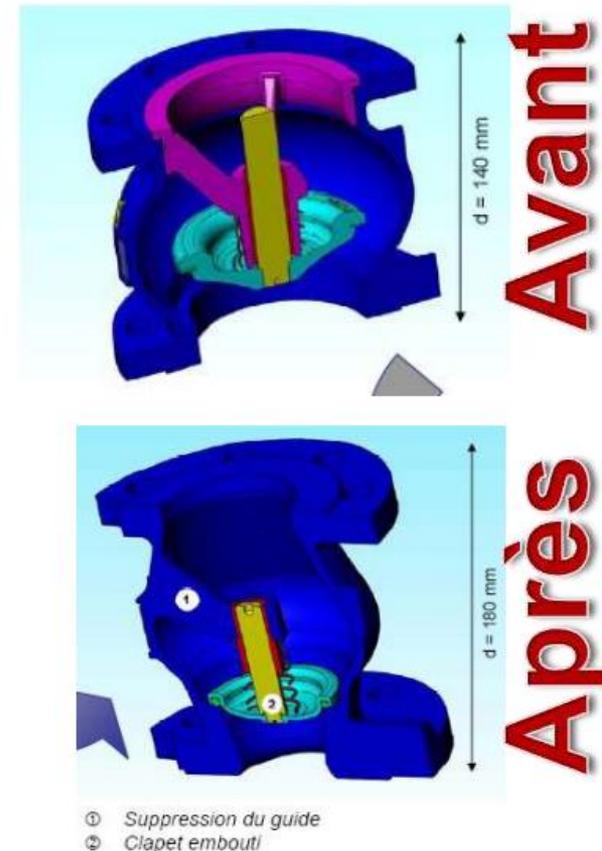
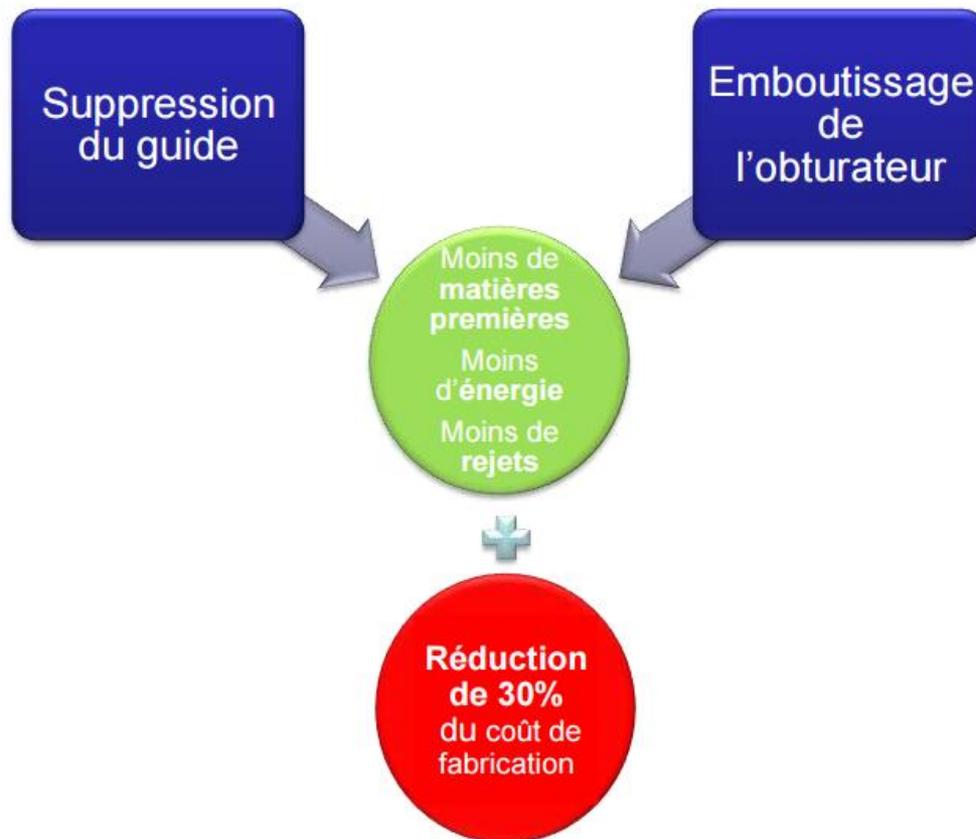
- S'assurer de la continuité des actions de reconception en lien avec les lignes directrices choisies

Piste explorée	Gains prévisibles	AE concernés	Indicateurs de LD par UF
Suppression d'une pièce (guide)	Diminution de Matières	MP (fonte)	+ 90 g fonte (<1%) avec fonctionnalité ↗
	Suppression d'une OP usinage	F (énergie, déchets)	-0,54 kWh - 290 g copeaux fonte
	Suppression OP de poudrage	MP (peinture) F (énergie, déchets)	-10 g poudre - 0,3 kWh
Emboutissage de l'obturateur	Suppression OP collage	MP (colle) F (Emissions COV air, SD),	-500 mg colle/1000 clapets -100 mg COV/1000 clapets - 1 SD
	OP emboutissage	F (énergie)	+ 0,04 kWh

## Étape 5 : Bilan et capitalisation

5

- Valorisation de la démarche de l'entreprise
- Travail en équipe (décloisonnement) et montée en compétence
- Intégration de la démarche dans le système de management environnemental de l'entreprise (ISO14001)





*Consommation en phase  
d'utilisation  
Brouillard d'huile  
Dimension de la machine*



*Consommation d'huile et  
de lubrifiants  
Consommation de  
filtration consommable  
Brouillard d'huile*



*Si soumis à DEEE*

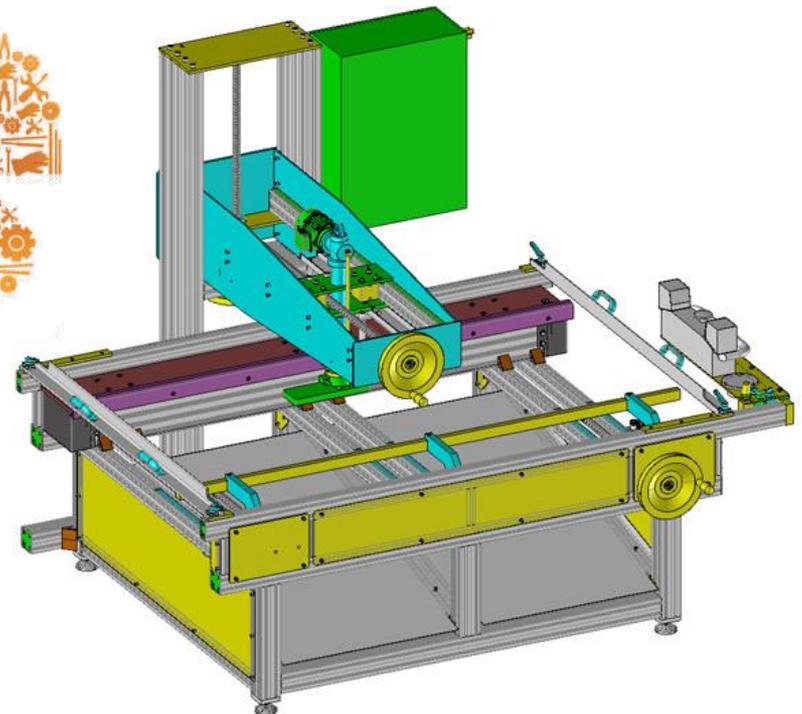
## Lignes Directrices

- Réduire la consommation d'électricité en phase d'utilisation
- Réduire les consommations d'huile et lubrifiants
- Réduire les consommables de filtration
- Éliminer les brouillards d'huile
- Réduire les dimensions et masses de la machine

# Mesures d'amélioration environnementale

## Mesures communes aux machines

*Le guide sectoriel de l'écoconception des machines-outils* propose un diagnostic environnemental du secteur. Associé à l'identification des facteurs de motivation et aux connaissances techniques du domaine, il permet de mettre au point une série de mesures d'écoconception applicables aux produits dans le secteur des machines-outils. *Les mesures commune à l'ensemble des machines-outils sont susceptibles d'être étendue à toutes les machines spéciales.* Nous en détaillerons ici quelques-unes particulièrement intéressantes.



# Tableau des mesures applicables aux machines génériques

Code	Stratégie	Mesure	Machine	Matières premières	Production	Distribution	Utilisation	Fin de vie	Général
CM01	 <p>Sélection de matériaux peu impactant</p>  <p>Réduire l'utilisation de matériaux</p>	Utiliser la fonte ductile plutôt que la fonte grise, surtout pour les pièces mobiles	TOUTES MACHINES	X			X		
CM02		Utilisation d'huiles biodégradables		X			X		
CM03		Éviter l'utilisation de peinture avec composants toxiques		X	X				
CM04		Peinture à base d'eau pour la finition		X			X		
CM05		Réduction de matériaux dans les parties fixes		X		X			
CM06		Fabrication directe pour les prototypes		X	X				

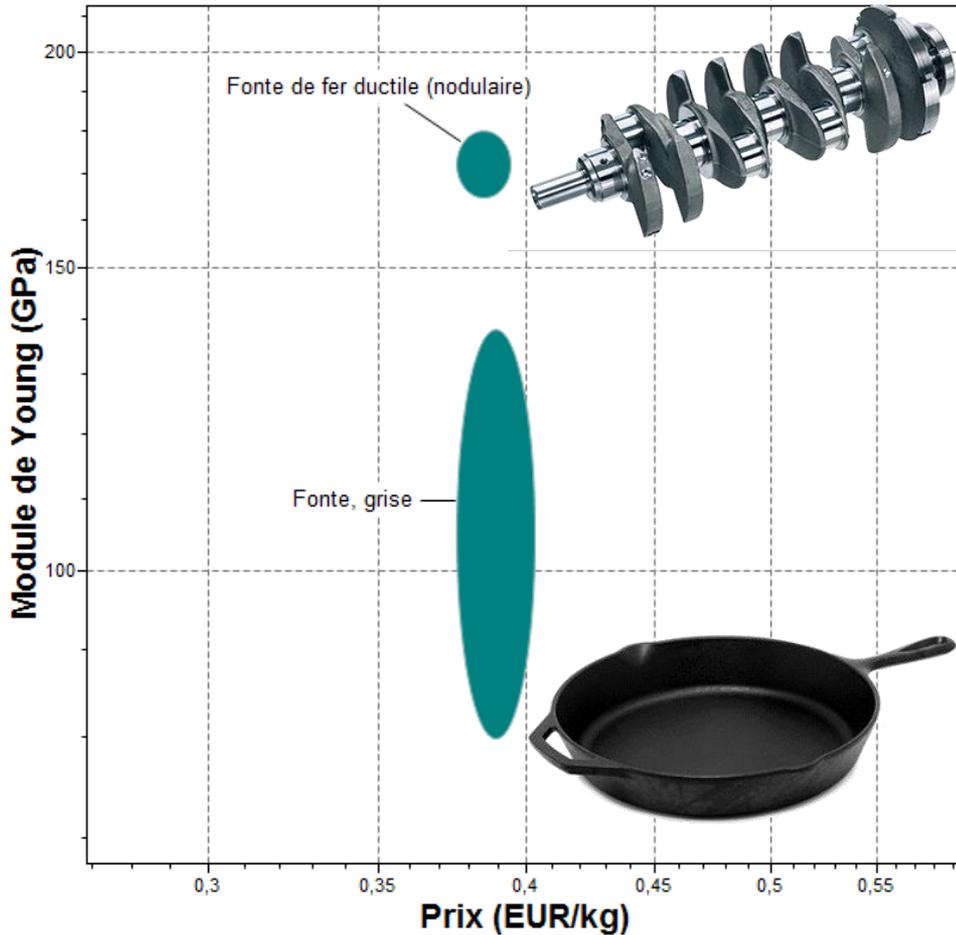
# Tableau des mesures applicables aux machines génériques

Code	Stratégie	Mesure	Machine	Matières premières	Production	Distribution	Utilisation	Fin de vie	Général
CM07	 Réduire les impacts en phase d'utilisation	Utilisation de guides auto-lubrifiés	TOUTES MACHINES				X		
CM08		Utilisation de sustentation magnétique dans les moteurs linéaires					X		
CM09		Utilisation de système stand-by					X		
CM10		Intégrer des systèmes de surveillance et de contrôle du processus					X		
CM11		Utilisation de moteur synchrone					X		
CM12		Utilisation de variateurs de vitesse réversibles (variateurs de fréquences variables)					X		
CM13		Sélection de guides à faible friction					X		
CM14		Remplacer si possible les vérins hydrauliques et pneumatiques par des vérins électroniques					X		X
CM15		Optimiser le refroidissement des armoires électriques					X		
CM16		Privilégier la convection naturelle pour le refroidissement					X		
CM17		Éclairage à basse consommation					X		
CM18		Dimensionnement des paliers pour une consommation d'énergie minimale					X		
CM19		Mettre en place un logiciel de maintenance prédictive					X		X
CM20	Utiliser des enclencheurs actifs ou passifs pour éliminer le bruit et les vibrations				X				

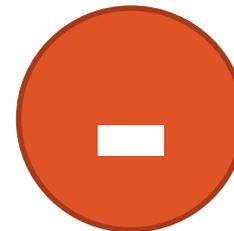
# Tableau des mesures applicables aux machines génériques

Code	Stratégie	Mesure	Machine						
			Matières premières	Production	Distribution	Utilisation	Fin de vie	Général	
CM21	 Optimiser les fins de vie	Conception de machines reconfigurables pour différents processus productifs						X	
CM22		La modernisation allonge la durée de vie de la machine	X	X				X	
CM23		Optimiser la fonction	Autoriser l'intégration modulaire d'éléments multifonctionnels						

# CM-01 : utilisation de fonte ductile



MP : Plus léger  
U : Plus faible  
consommation avec  
moins de masse, moins de  
lubrifiant, moins de  
vibrations



Plus cher

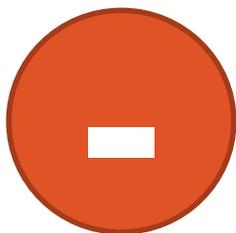
## CM-02 : utilisation d'huiles biodégradables

**haute biodégradabilité + faible toxicité + faible pouvoir de bioaccumulation + pourcentage de matières premières renouvelables.**

Parmi les lubrifiants biodégradables, les dérivés fluorés sont ceux qui présentent les meilleures caractéristiques techniques



MP : Matériaux moins polluants,  
bio et non toxiques  
U : moins de déchets dangereux,  
notamment en cas de fuite  
R-FV : réutilisation possible



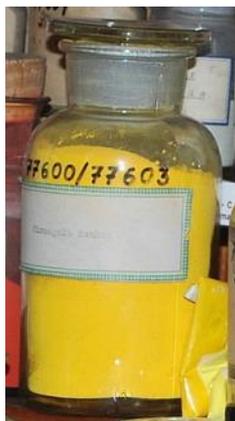
MP : Plus cher  
U : durée de vie réduite



## CM-03 : sélection de peintures non toxiques

La directive 64/548/CEE demande de limiter l'utilisation de substances étiquetées R. Certains composants doivent être évité comme l'antimoine, l'arsenic, le baryum, le sélénium, le cadmium, le mercure, le plomb et le chrome hexavalent.

**Exemple du chromate de plomb** (dit jaune de plomb ou orange de plomb)



Directive 67/548/EEC



Numéro index :  
082-004-00-2



Symboles :

T : Toxique

N : Dangereux pour l'environnement

Phrases R :

R33 : Danger d'effets cumulatifs.

R40 : Effet cancérigène suspecté. Risque possible d'effets irréversibles.

R61 : Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant.

R62 : Risque possible d'altération de la fertilité.

R50/53 : Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.



Danger

H350, H360Df, H373, H410,

H350 : Peut provoquer le cancer

(indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

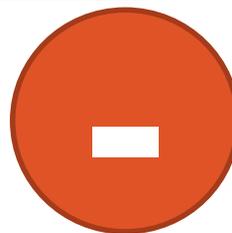
H360Df : Peut nuire au fœtus. Susceptible de nuire à la fertilité.

H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes (indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)

H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme



MP : matériaux non toxiques  
F : Réduction des émissions de COV



F : préparation des surfaces

# CM-03 : sélection de peintures non toxiques

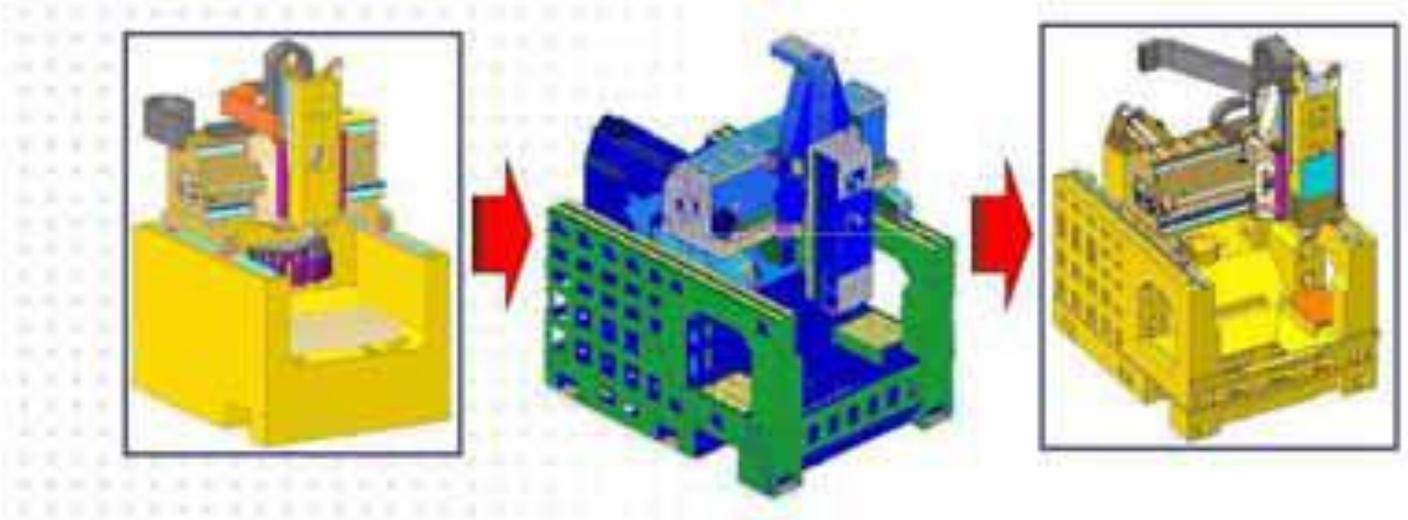
 Blanc de zinc 59ml - Tube 148ml - Tube 413	 Blanc de titane 59ml - Tube 148ml - Tube 380	 Jaune Primevère de Cadmium 59ml - Tube 135	 Jaune Hansa clair 59ml - Tube 180	 Jaune Vanadium de Bismuth 59ml - Tube 407	 Jaune Hansa moyen 59ml - Tube 148ml - Tube 190	 Jaune Hansa opaque 59ml - Tube 191	 Jaune Cadmium moyen 59ml - Tube 148ml - Tube 130
 Jaune Auréoline mit. 59ml - Tube 463	 Jaune Nickel Azo 59ml - Tube 226	 Jaune Indien imit. 59ml - Tube 148ml - Tube 455	 Jaune Quinacridone Nickel Azo 59ml - Tube 301	 Orange Quinacridone brûlé 59ml - Tube 280	 Jaune Cadmium foncé 59ml - Tube 110	 Jaune Diarylide 59ml - Tube 148ml - Tube 147	 Orange Cadmium 59ml - Tube 148ml - Tube 070
 Orange Pyrrole 59ml - Tube 276	 Rouge Cadmium clair 59ml - Tube 090	 Rouge Naphtol clair 59ml - Tube 148ml - Tube 210	 Rouge Pyrrole 59ml - Tube 277	 Rouge Cadmium moyen 59ml - Tube 148ml - Tube 100	 Rouge Cadmium foncé 59ml - Tube 080	 Rouge Pyrrole foncé 59ml - Tube 278	 Rouge Naphtol moyen 59ml - Tube 220
 Rouge Quinacridone 59ml - Tube 310	 Carmin d'Alizarine imit. 59ml - Tube 148ml - Tube 450	 Marron Pourpre permanent 59ml - Tube 252	 Magenta Quinacridone 59ml - Tube 148ml - Tube 305	 Craminé Quinacridone 59ml - Tube 290	 Violet Permanent 59ml - Tube 253	 Violet Outremer 59ml - Tube 401	 Pourpre Dioxaz 59ml - Tube 148ml - Tube 150
 Bleu Outremer 59ml - Tube 148ml - Tube 400	 Bleu Outremer clair 59ml - Tube 566	 Bleu Cobalt 59ml - Tube 148ml - Tube 140	 Bleu Ceruléen Chrome 59ml - Tube 050	 Bleu Antraquinone 59ml - Tube 005	 Bleu de Prusse imit. 59ml - Tube 148ml - Tube 460	 Bleu Phtalo (nuance rouge) 59ml - Tube 260	 Bleu Phtalo (nuance verte) 59ml - Tube 148ml - Tube 255
 Bleu Manganèse imit. 59ml - Tube	 Turquoise Cobalt 59ml - Tube	 Vert Bleu 59ml - Tube 369	 Vert Phtalo (nuance bleu) 59ml - Tube	 Vert Véronèse imit. 59ml - Tube 469	 Bleu Phtalo (nuance jaune) 59ml - Tube	 Vert Permanent clair 59ml - Tube	 Vert Cobalt 59ml - Tube 442

## CM-05 : réduction des matériaux dans la partie fixe

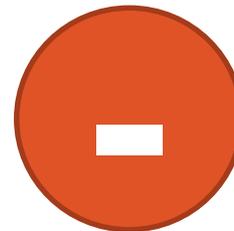
L'optimisation structurelle a deux objectifs fondamentaux :

- **Accroître la rigidité**, tout en maintenant le poids, par la redistribution de la matière en fonction des contraintes auxquelles est soumise la structure.
- **Réduire le poids** tout en conservant la même rigidité, c'est-à-dire, réduire le matériau tout en gardant la performance mécanique.

L'objectif est une structure de **rigidité compatible** avec le reste de la machine



MP : moins de matière  
F : Moins d'énergie  
T : Moins de carburant



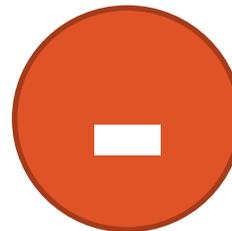
F : parfois plus cher

## CM-06 : utilisation de technologies de fabrication directe pour les prototypes

La principale caractéristique de la fabrication directe ou rapide est d'éviter la réalisation de modèles permanents, leur stockage ultérieur et l'entretien. Il est possible de simplifier le processus de production permettant d'économiser les matériaux. Une fois validé le prototype, le modèle final est effectué permettant la fabrication plus efficace en moyennes ou grandes séries.



MP : pas de moule en bois  
F : Rapidité, réduction de  
30% du temps

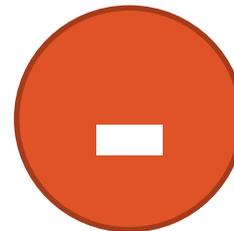


F : besoin de  
modélisation 3D

## CM-06 : utilisation de technologies de fabrication directe pour les prototypes



MP : pas de moule en bois  
F : Rapidité, réduction de  
30% du temps



F : besoin de  
modélisation 3D

## CM-07 : Utilisation de guides auto-lubrifiés

Guidage classique : roulements aciers, lubrifiés à la graisse

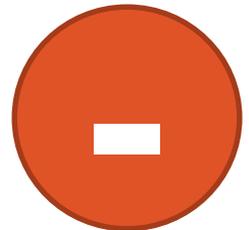


U : évite l'utilisation de lubrifiant

Guidage auto-lubrifié : roulements aciers et PTFE, sans lubrification



U : valable pour les environnements propres



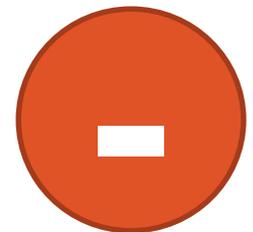
## CM-09 : Utilisation de système stand-by

Une conception adéquate de la machine permettant de réduire la consommation électrique dans la phase non opérationnelle, nécessite une étude approfondie de tous les paramètres qui influent sur cet état et pouvant être désactivés sans entraver le processus de production et la qualité à obtenir.



U : économie d'énergie (de l'ordre de 40%)

F : nécessite des études poussées

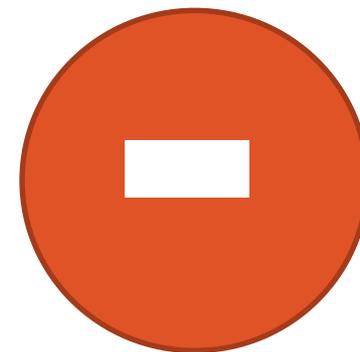
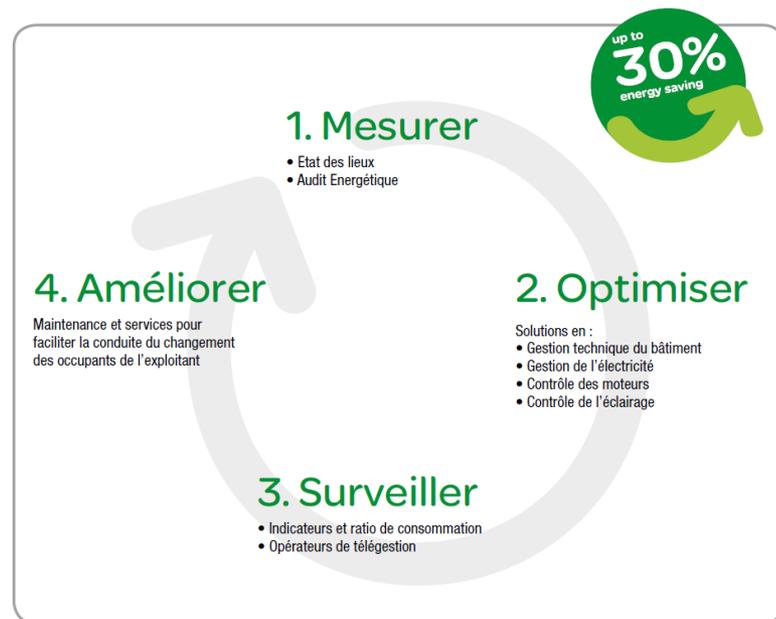


## CM-10 : intégrer des systèmes de surveillances des processus

Le processus peut être optimisé en temps réel à condition d'être surveillé. Cela limite les casses de pièces, augmente les temps de cycle, diminue les consommations d'énergie. Il existe des solutions rentables y compris au niveau environnemental pour l'installation de capteurs dans les machines. En ce sens, il y a un large éventail d'offres commerciales de fournisseurs de systèmes de surveillance et de contrôle, **ces mêmes systèmes qui participent à la sécurisation globale de la machine.**

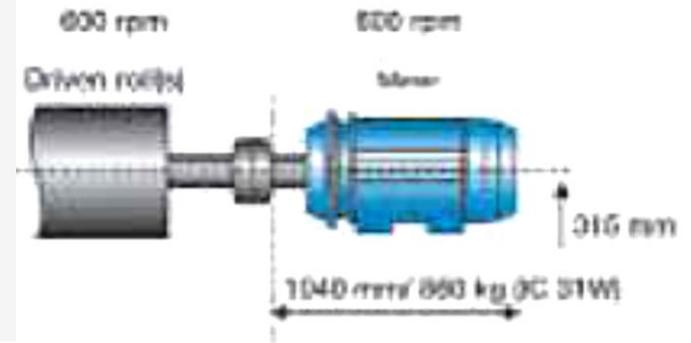
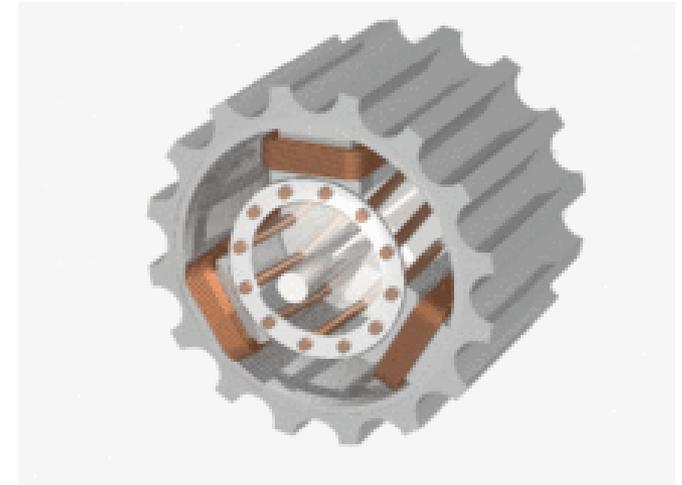


U : Contrôle de la consommation d'énergies  
U : sécurité accrue, réduction des temps de cycle



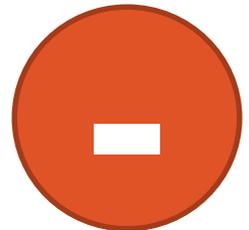
U : Configuration pilotable requise

# CM-11 : utilisation de moteur synchrone



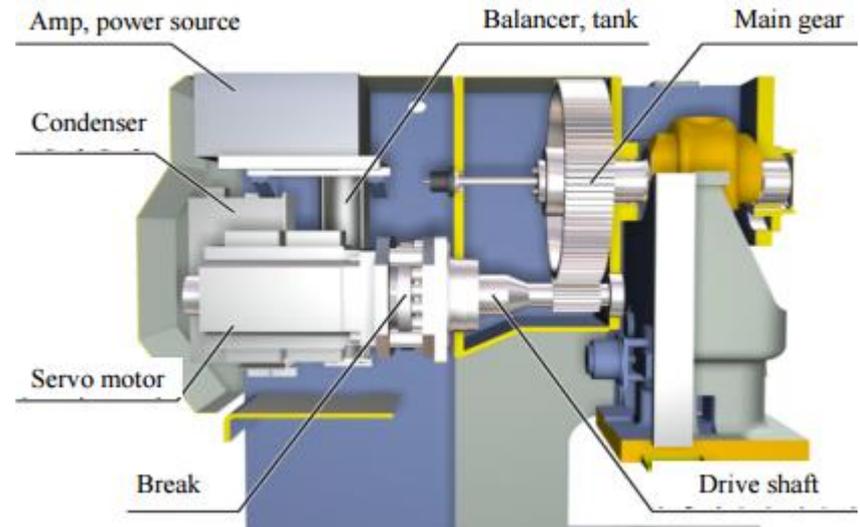
U : meilleur efficacité énergétique, faible besoin en dissipation de chaleur

Parfois plus cher



## CM-12 : Utilisation de variateurs de vitesses réversibles

Le principe est de limiter les freinages dissipateur d'énergie. Une solution est la une commande réversible, capable d'arrêter et / ou de ralentir la vitesse des axes en rendant l'énergie cinétique au réseau électrique. Il existe aussi des systèmes avec condensateur accumulant l'énergie, lors du freinage, pour la restituer comme source d'énergie dans la phase d'accélération.



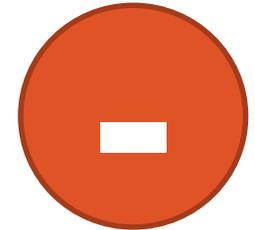
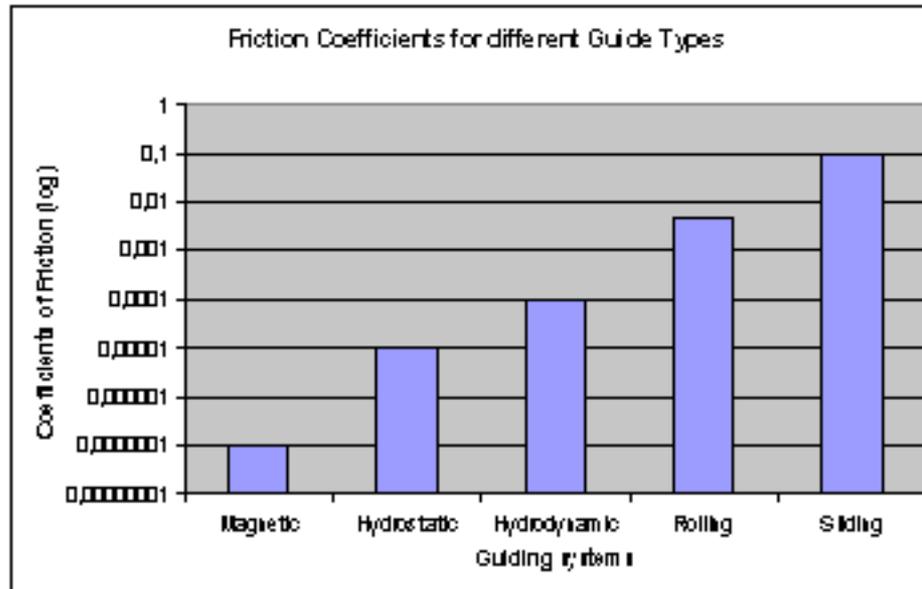
**U : Réduction de la consommation d'énergie de 30 à 60%**

## CM-13 : Sélection de guides à faible friction

Les guides ayant des faibles coefficients de frottement consomment le moins d'énergie. Le guide magnétique est le plus performant. **Le guidage hydrostatique** est un bon compromis pour les applications nécessitant une grande rigidité, capacité de charge élevée, faible coefficient de frottement, sans usure, amortissement élevé et résistance à la contamination.



U : Faible consommation d'énergie et réduction de chaleur par le frottement. Peu d'entretien

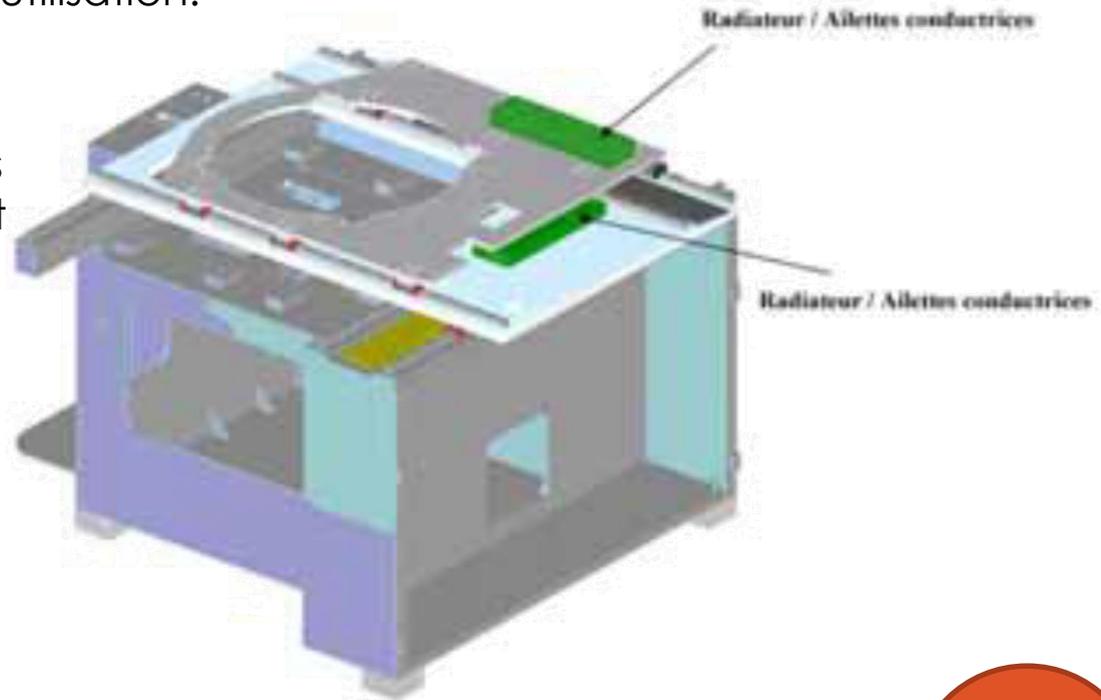


F : Le coût élevé et la complexité du système hydraulique

## CM-16 : Privilégier la convection naturelle pour le refroidissement

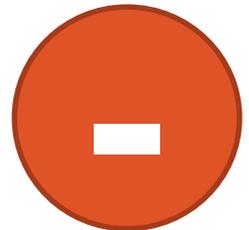
**La convection forcée est environ 10 fois plus efficace** que la convection naturelle **mais consomme de l'énergie**. Une conception et une optimisation de l'écoulement naturel des fluides permet de gagner en efficacité et de réduire l'impact environnemental en phase d'utilisation.

Exemple : Un radiateur ou des ailettes conductrices facilitent la convection naturelle et évacuent plus de chaleur générée par des moteurs linéaires. On évite ainsi un système de refroidissement par convection forcée.



U : Faible consommation d'énergie. Faible déformations thermiques.

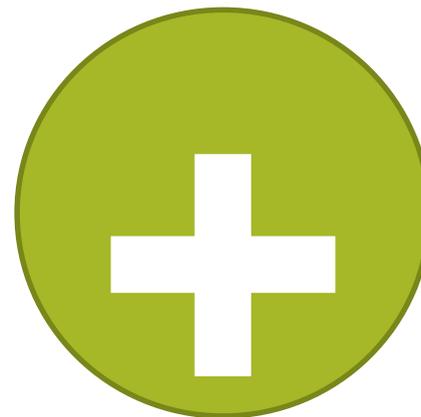
F : nécessite des études poussées



## CM-17 : Éclairage de basse consommation

Les lampes fluorescentes compactes (LFC) absorbent une énergie quatre fois moindre que les ampoules incandescentes. La LFC offre des économies de 75-80% comparée à une lampe à incandescence de même puissance. Cela permet également de réduire les émissions de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique (mode de production de l'électricité).

**La vie des LFC peut être six fois supérieure à celle des lampes à incandescence, et bien que les LFC coûtent plus cher, on récupère par l'efficacité et la durée qu'elles possèdent.**



U : Faible consommation d'énergie. Déchets des lampes en moins

## CM-18 : Dimensionnement des paliers pour une dissipation minimale

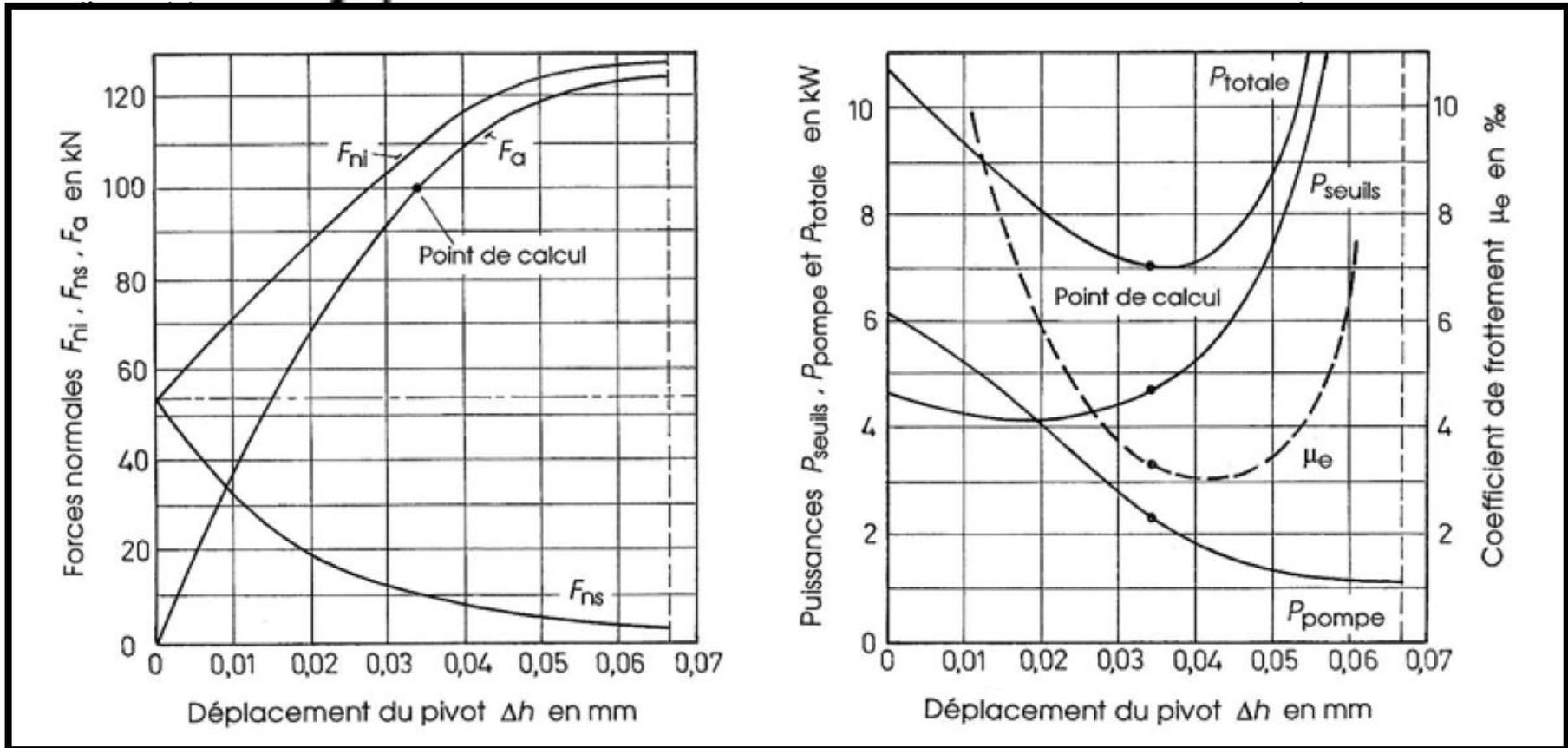
Dans un palier hydrostatique (à la fois radial et longitudinal), il existe trois sources d'énergie consommée : le pompage, la friction du fluide avec le palier et les tourbillons formés à l'intérieur des cavités. Cette énergie est convertie en chaleur qui doit être, par la suite, dissipée. L'idée est, tout en maintenant une rigidité et une charge minimale compatible, **effectuer le dimensionnement des roulements de telle sorte que la puissance consommée soit réduite au minimum.**



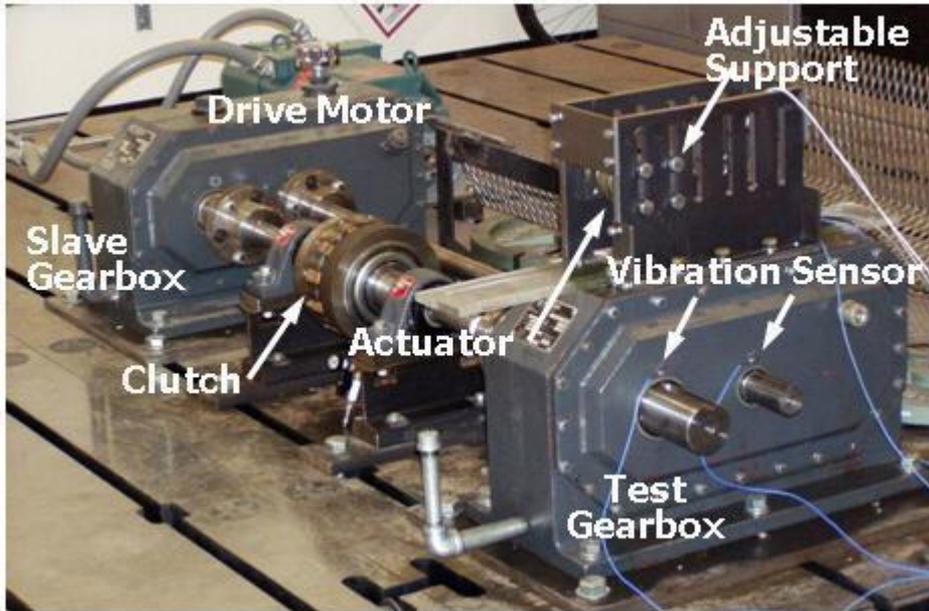
- U : Faible consommation électrique, réduction du besoin de refroidissement
- Réduction des coûts

# CM-18 : Dimensionnement des paliers pour une dissipation minimale

Dans un palier hydrostatique (à la fois radial et longitudinal) il existe trois sources d'écoulement et le



## CM-20 : Utilisation d'enclencheurs actif pour éliminer les vibrations



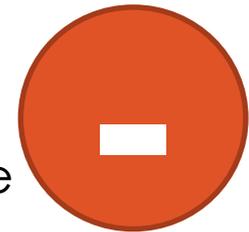
Les vibrations d'une machine peuvent provoquer des effets néfastes sur la qualité du processus et entraîner une usure prématurée. Les éléments d'amortissements passifs ou des amortisseurs actifs peuvent réduire efficacement ces vibrations.

Dans tous les cas, cela nécessite l'installation d'éléments supplémentaires ou de masses. Les amortisseurs actifs nécessitent des réglages techniques plus complexes.



U : L'augmentation de la durée de vie

F : Légère augmentation de la machine



## CM-21 : Conception de machines reconfigurables

Pour qu'une machine soit reconfigurable ses sous-ensembles doivent :

- Être des composants modulaires permettant d'être remplacés de manière simple, minimisant le temps de montage et de réglage.
- Avoir une interface permettant la transmission d'énergie ou la transmission d'informations et de données.
- Être conçus sous forme de « famille de pièces » et « famille d'assemblages »
- Intégrer des contrôles avancés pour permettre une reconfiguration facile, y compris la détection, des systèmes de mesure et une haute capacité de diagnostic

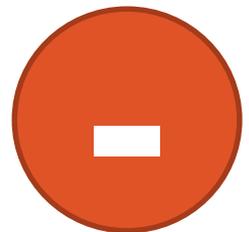


MP : Réduire la quantité de composants à utiliser

U : économie d'énergie

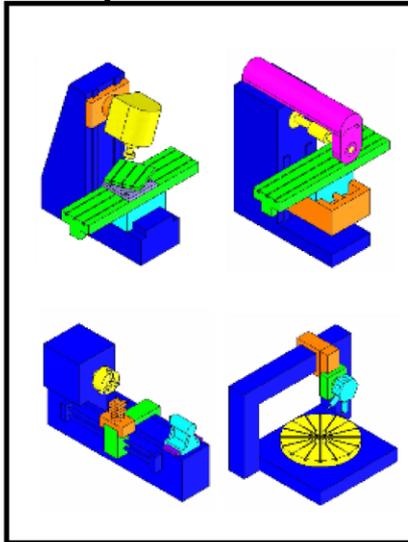
FV : La réutilisation des composants pour les nouvelles configurations

F : nécessite des études poussées

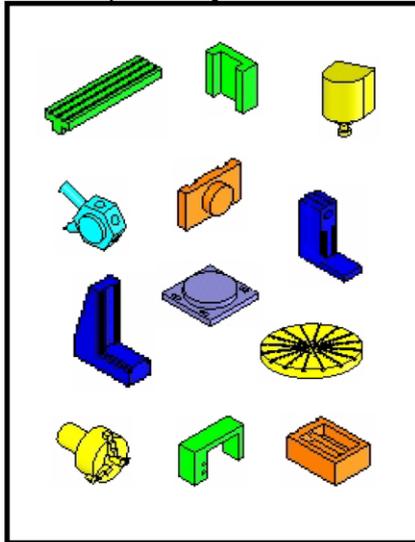


# CM-21 : Conception de machines reconfigurables

**Step 1:  
Machine Tool  
Decomposition**



**Step 2:  
Module Component  
Attribute Identification**



**Step 3:  
Module Component  
Library Creation**

Module Component 1	
Name :	
Function :	
Dimension :	
.....	
Module Component 2	
Name :	
Function :	
Dimension :	
.....	
Module Component 3	
Name :	
Function :	
Dimension :	
.....	
⋮	

Name	Function	Dimension	..	CAD
xslide_ym	translation	[2000,500,300]	..	
spindle_ym	rotation	[500,500,500]	..	
table1_ym	rotation	[300,300,200]	..	
yslide_ym	translation	[1000,700,300]	..	
xslide_hm	translation	[2000,500,300]	..	
yslide_hm	translation	[1500,700,300]	..	
spindle_hm	rotation	[500,500,500]	..	
bed_y1	constraint	[200,200,300]	..	
toolturret_y1	constraint	[500,500,200]	..	
spindle_y1	constraint	[1500,1500,150]	..	
spindle_h1	constraint	[400,400,300]	..	
table2_ym	rotation	[700,400,200]	..	

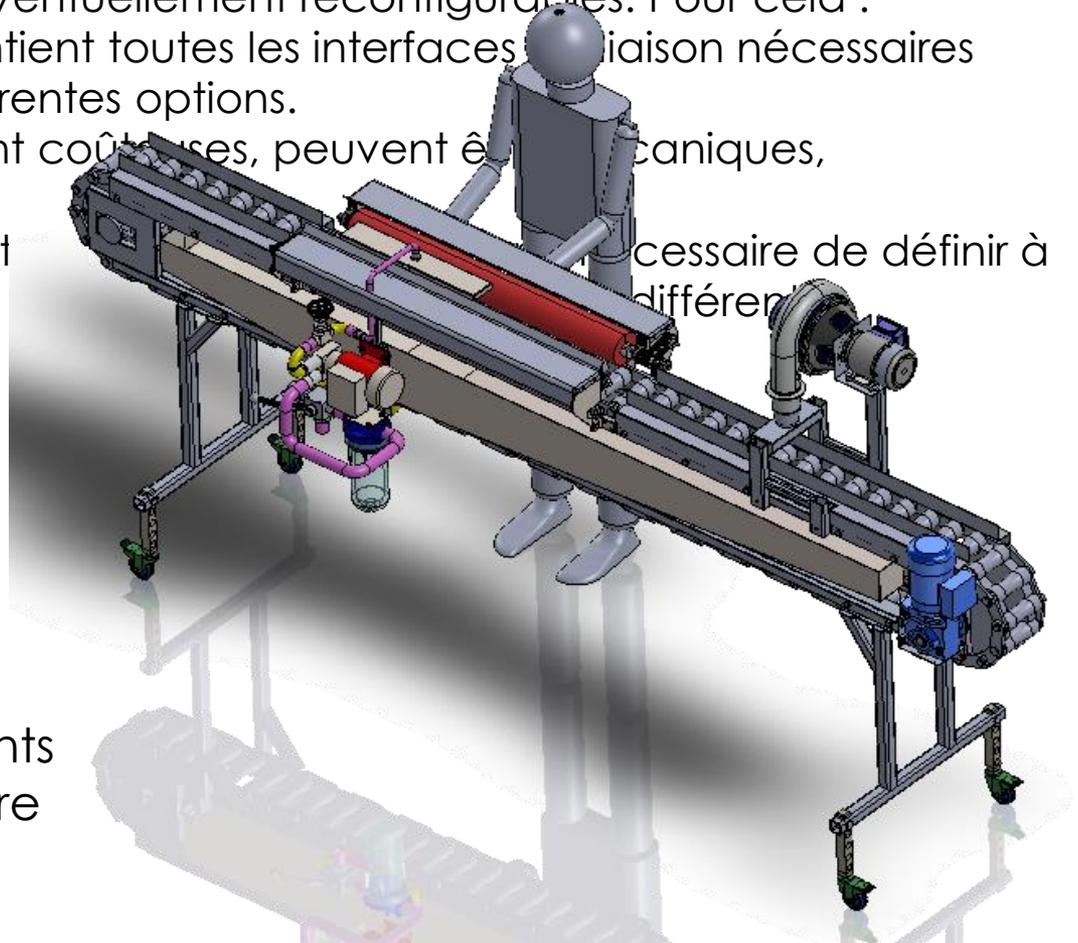
## CM-23 : Intégration modulaire d'éléments multifonctionnels

La modularité le développement dans une seule machine des fonctionnalités qui exigeraient plusieurs machines. L'exemple le plus typique est la modularité à partir d'une plate-forme de base. Cela permet d'ajouter plusieurs possibilités de fonctionnalités différentes et éventuellement reconfigurables. Pour cela :

- La plate-forme de base contient toutes les interfaces de liaison nécessaires pour intégrer toutes les différentes options.
- Ces interfaces généralement coûteuses, peuvent être mécaniques, hydrauliques, électriques, ...
- La complexité du système est réduite. Il est nécessaire de définir à l'avance les différentes alternatives.



F : Meilleure utilisation des matériaux et des composants  
U : Une seule machine assure les différentes fonctions.



# Données complémentaires

## 3.3 OUTIL N°3 : BASE DE DONNEES D'IMPACT ENVIRONNEMENT AUX MATERIAUX ET PROCESS

Tableau 2 : Métaux

Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidification et eutrophication terrestre	Occupation des sols	Acidification aquatique	Eutrophication	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Unité	kg tri-éthylène glycol eau	kg TEG sol	kg SO2 eq	m2 terre arable	kg SO2 eq	kg PO4 P	kg CO2 eq	MJ primaire	MJ supplémentaire	
Fonte, 35% de recyclé, kg	1,89E+02	6,06E+01	2,27E-02	9,41E-03	5,92E-03	2,79E-05	1,43E+00	2,43E+01	5,24E-02	67,88
Acier non allié, 37% de recyclé, kg	1,46E+02	3,89E+01	2,01E-02	8,80E-03	5,28E-03	2,41E-05	1,42E+00	2,27E+01	1,62E-01	54,35
Acier faiblement allié, 37% de recyclé, kg	3,46E+02	1,08E+02	3,13E-02	1,21E-02	7,67E-03	3,10E-05	1,71E+00	2,75E+01	8,02E-01	78,75
Acier inoxydable grade 304, 37% de recyclé Cr 18%, Ni 8%, kg	6,38E+02	5,69E+02	8,81E-02	4,25E-02	2,70E-02	7,39E-05	5,05E+00	8,12E+01	9,41E+00	289,83
Aluminium primaire, kg	1,06E+03	2,70E+02	1,51E-01	3,75E-02	5,42E-02	3,40E-04	1,25E+01	1,61E+02	2,81E+00	393,90
Aluminium pour fonderie, 80% de recyclé, kg	3,21E+02	1,30E+02	4,02E-02	1,67E-02	1,40E-02	7,87E-05	3,13E+00	4,33E+01	5,79E-01	103,83
Aluminium, pour corroyage, 10% de recyclé, kg	9,65E+02	2,45E+02	1,37E-01	3,46E-02	4,90E-02	3,07E-04	1,13E+01	1,45E+02	2,54E+00	356,12
Cuivre primaire, kg	1,77E+04	7,79E+03	7,49E-01	7,70E-02	3,91E-01	2,00E-04	3,50E+00	5,68E+01	1,03E+01	1571,02
Cuivre, 21% de recyclé, kg	5,62E+03	2,29E+03	2,67E-01	3,33E-02	1,25E-01	1,01E-04	1,94E+00	3,15E+01	2,08E+00	498,84
Zinc primaire, kg	2,75E+03	2,78E+03	1,42E-01	1,79E-02	4,42E-02	7,11E-05	3,27E+00	4,95E+01	3,15E-02	330,72

# Données complémentaires

	Inox	Acier pour emboutissage	Acier pour trempé	Acier à roulement / acier à ressort	Tôle galvanisée
Inox	1	2	2	2	2
Acier pour emboutissage	3	1	3	3	2
Acier pour trempé	3	2	1	3	2
Acier à roulement / acier à ressort	2	2	2	1	2
Tôle galvanisée	3	1	3	3	1

# Données complémentaires

## 3.5 OUTIL N°5 : COMPATIBILITE DES MATIERES PLASTIQUES AU RECYCLAGE

### 3.5.1 Compatibilité des matières plastiques au Tri densimétrique

	Poly-éthylène		Copolymères P/E				Polypropylène						Polyamide				Polystyrénique			Autres matériaux															
	PE-HD	PE-LLD	P/E	P/E T 20	P/E + EPDM	P/E + EPDM T 30	PP	PP T 20	PP T 40	PP GF 30	PP MD 30	PP + EPDM	PP + EPDM T 26	PP + EPDM GF 20	PA 6	PA 66	PA 66 GF 20	PA 66 GF 25	PA 66 GF 30	PA 66 MD 40	ABS	ABS GF 15	ABS + PC	PPE + PA	PC + PBT + GF 30	ASA	PF GF 30	POM	PVC	PMMA	PUR	TPE	UP		
PE-HD																																			
PE-LLD	X																																		
P/E	X	X																																	
P/E T 20	X	X																																	
P/E + EPDM	X	X	X																																
P/E + EPDM T 30				X																															
PP	X	X	X		X																														
PP T 20	X	X		X		X																													
PP T 40						X																													
PP GF 30				X		X		X	X																										
PP MD 30				X		X		X	X	X																									
PP + EPDM	X	X	X		X		X																												
PP + EPDM T 26				X		X		X		X	X																								
PP + EPDM GF 20						X		X	X	X																									
PA 6				X		X		X	X	X		X																							
PA 66			X		X		X	X	X	X		X	X	X																					
PA 66 GF 20								X						X																					
PA 66 GF 25								X						X																					
PA 66 GF 30								X									X	X																	
PA 66 MD 40																																			
ABS	X	X		X		X		X	X	X		X		X	X																				
ABS GF 15				X		X		X	X	X		X	X	X	X	X							X												
ABS + PC				X		X		X	X	X		X	X	X	X								X	X											
PPE + PA				X		X		X	X	X		X		X	X		X						X	X	X										
PC + PBT GF 30																	X						X	X	X										
ASA				X		X		X		X	X		X		X	X							X	X	X	X									
PF GF 30																				X														X	
POM																																			
PVC								X																										X	
PMMA				X		X		X	X	X		X	X	X	X	X							X	X	X	X		X						X	
PUR					X																														
TPE						X		X	X	X		X		X	X	X							X	X	X	X								X	
UP																																			

Séparation possible  
 Séparation impossible

## 3.5.2 Compatibilité chimique des matières plastiques

	ABS	PA	PC	PE	PMMA	POM	PP	PBT	PVC	PC + PBT	ABS + PC
ABS	1										
PA	2	1									
PC	2	3	1								
PE	3	3	3	1							
PMMA	1	3	2	3	1						
POM	3	3	3	3	3	1					
PP	3	2	3	2	3	3	1				
PBT	2	2	1	3	3	2	3	1			
PVC	2	3	3	3	1	2	3	2	1		
PC + PBT	2	2	1	3	2	2	3	1	2	1	
ABS + PC	1	2	1	3	2	3	3	2	2	2	1

L'efficacité du recyclage des matériaux suppose qu'ils peuvent être séparés facilement les uns des autres par des technologies d'identification et de tri.

Le tableau suivant propose une méthode simple d'évaluation des situations d'assemblage les plus courantes. Elles sont classées du meilleur niveau (1) au moins bon (5).

Situation d'assemblage	Efficacité du recyclage des matériaux	Raison du niveau
Un seul métal	1	La technologie et l'infrastructure de recyclage sont en place
Métaux multiples	1	La technologie et l'infrastructure de recyclage sont en place
Un seul thermoplastique	1	La technologie et l'infrastructure de recyclage sont en place
Thermoplastiques multiples : tous compatibles	2	La technologie et l'infrastructure de recyclage sont en place. Réalisation possible selon la composition du mélange.
Un seul métal ou de multiples métaux avec un seul thermoplastique	3	Le déchiquetage et la séparation magnétique permettent de séparer les métaux en fonction de leur nombre et de leur type. Il en résulte un résidu composé d'un seul plastique potentiellement recyclable
Un seul thermodurcissable	4	Quelques technologies de recyclage sont en voie de développement. Possibilité de recourir à l'incinération pour la valorisation énergétique
Thermoplastiques multiples : incompatibles	5	Au mieux, la technologie est en voie de développement. Possibilité de recourir à l'incinération selon la composition du mélange
Thermodurcissables multiples	5	Au mieux, la technologie est en voie de développement. Possibilité de recourir à l'incinération selon la composition du mélange

## 3.7 OUTIL N°7 : GRILLE D'AIDE AU CHOIX D'UN MODE D'ASSEMBLAGE

Le tableau ci-dessous indique les propriétés des principaux éléments d'assemblage (1 = bon ; 2 = moyen ; 3= faible)

Principe d'assemblage \ Caractéristiques d'assemblage		Capacité de charge		Facilité d'assemblage		Facilité de démontage		Recyclabilité	
		Force statique	Résistance à la fatigue	Effort d'assemblage	Effort de guidage	Effort de démontage	Effort de démontage destructif	Du produit	Des matériaux
Assemblage physique	Fixation par collage métal / plastique	2	2	2	3	3	2	3	2
	Soudure	1	1	2	3	3	2	3	1
Assemblage par friction	Assemblage magnétique	2	2	1	2	1		2	2
	Bande velcro	3	3	1	1	1		2	2
	Boulon écrou métal	1	1	2	2	2	2	2	2
	Boulon écrou plastique	2	2	2	2	2	1	1	1
	Fixation à ressort	2	3	1	1	1		1	1
Assemblage par forme	Mécanisme par enclenchement	1	2	1	1	3	1	3	1
	Fixation au moyen d'un levier recourbé	1	2	1	2	1	2	1	1
	Fixation par rotation ¼ tour	1	2	1	1	1	2	1	1
	Fixation par pression / rotation	2	2	1	1	1	2	1	2
	Fixation par pression / pression	2	3	1	1	1	2	1	2
	Collier de serrage ou verrou	1	2	1	2	2	1	1	1