



CENTRE DE PROMOTION DU GENIE DES PROCESSES DANS L'INDUSTRIE

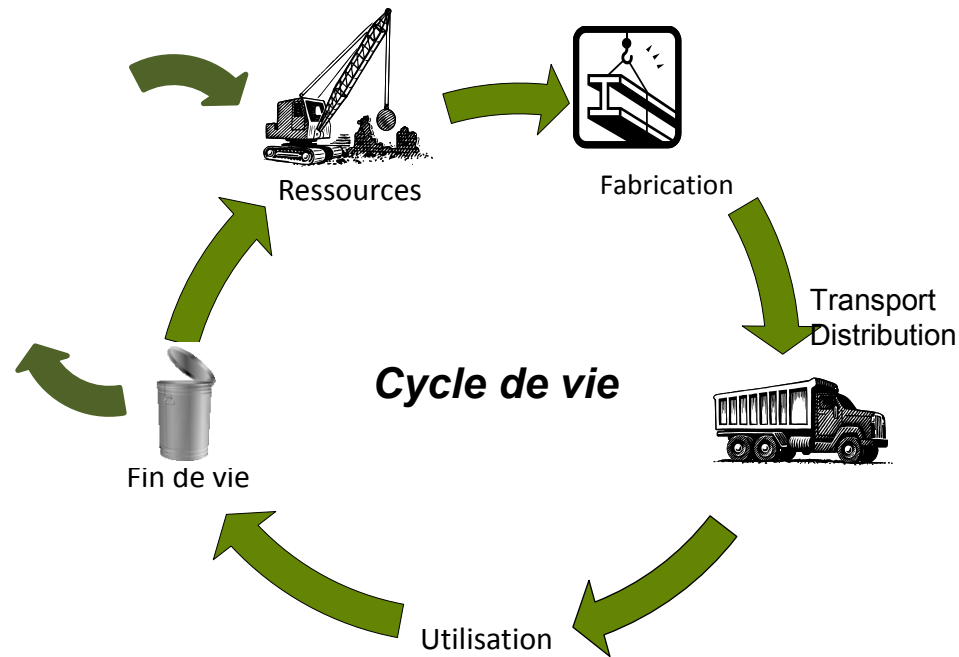
Répondre à des **problématiques industrielles** en génie des **procédés** et **environnement** en s'appuyant sur les compétences de laboratoires académiques (GISFI et LRGP)



L'ACV : DÉFINITION



L'ACV (Analyse de Cycle de Vie) est une méthode d'évaluation quantitative des impacts environnementaux potentiels de produits ou procédés sur l'ensemble de leur cycle de vie.



L'ACV : SPECIFICITES



1. Une approche multi-étapes

L'approche «produit» prend en compte toutes les étapes du cycle de vie du produit

2. Une approche multi-composants

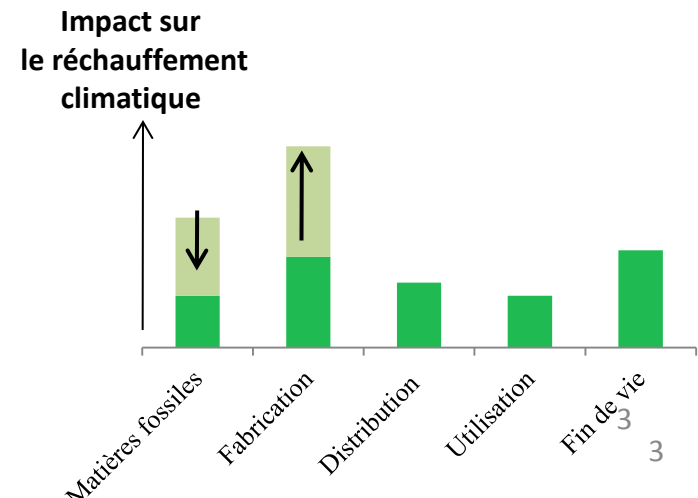
Il faut prendre en compte le produit, le système d'emballage, les produits associés (consommables, ...)

3. Une approche multi-critères

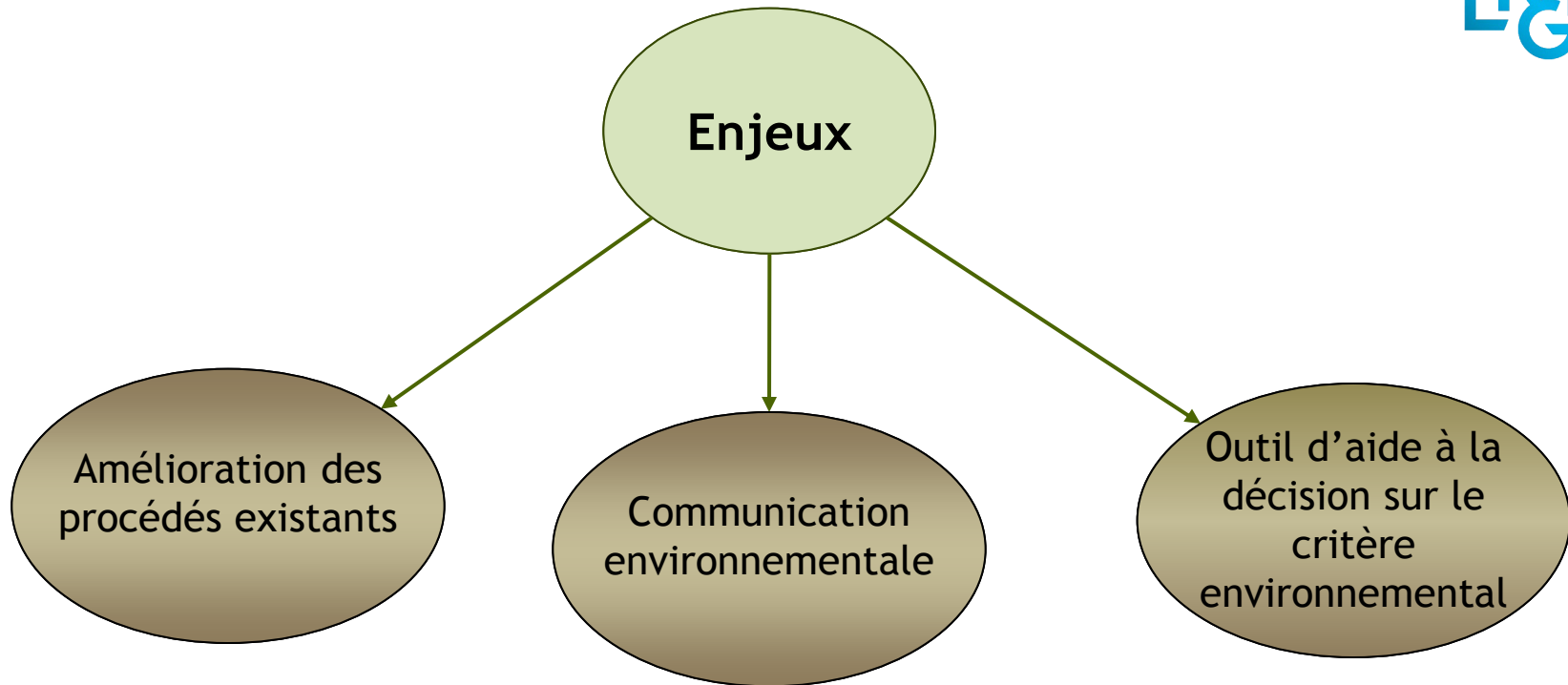
Elle prend en compte l'ensemble des impacts environnementaux générés par le produit

Méthode d'évaluation rigoureuse qui permet d'éviter des déplacements de pollution :

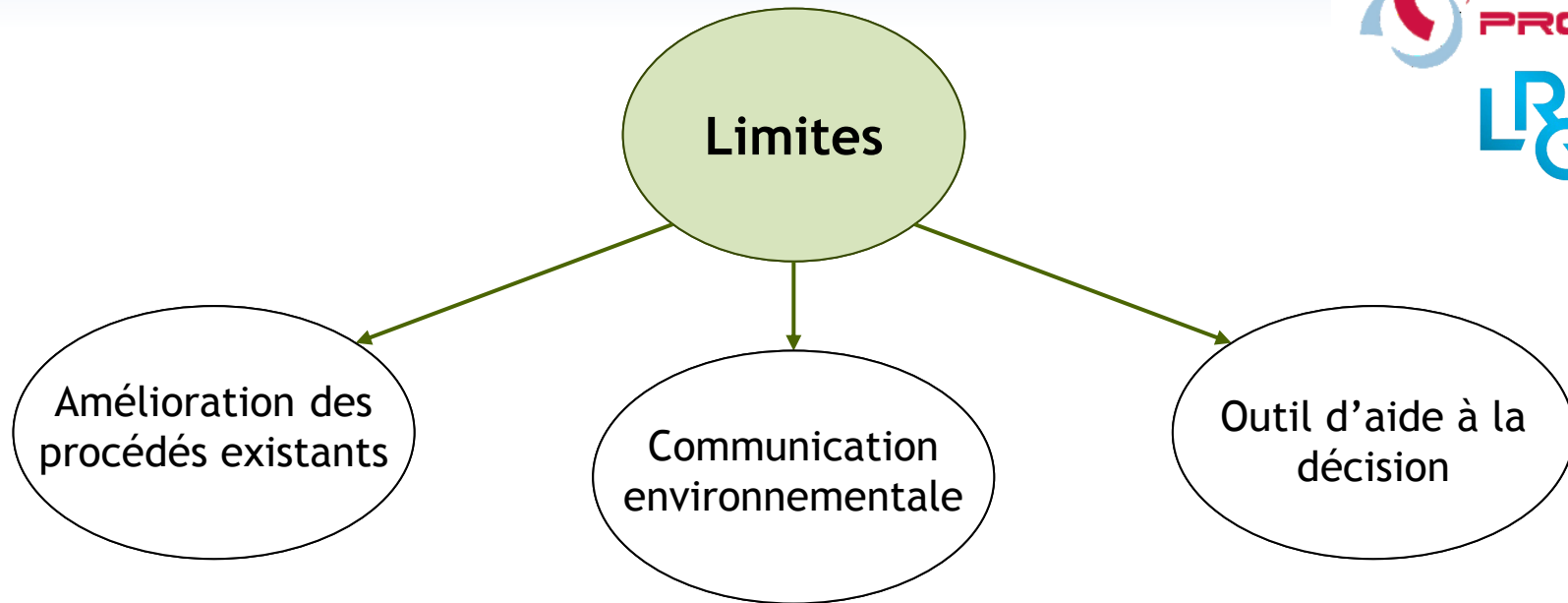
- D'une étape à une autre,
- D'un impact à un autre.



L'ACV : ENJEUX



L'ACV : LIMITES



Risque de mauvaise interprétation,
Les résultats sont valables pour le système dans les frontières définies initialement

Peut manquer d'impartialité :
nécessité de réaliser une revue critique par une tierce partie

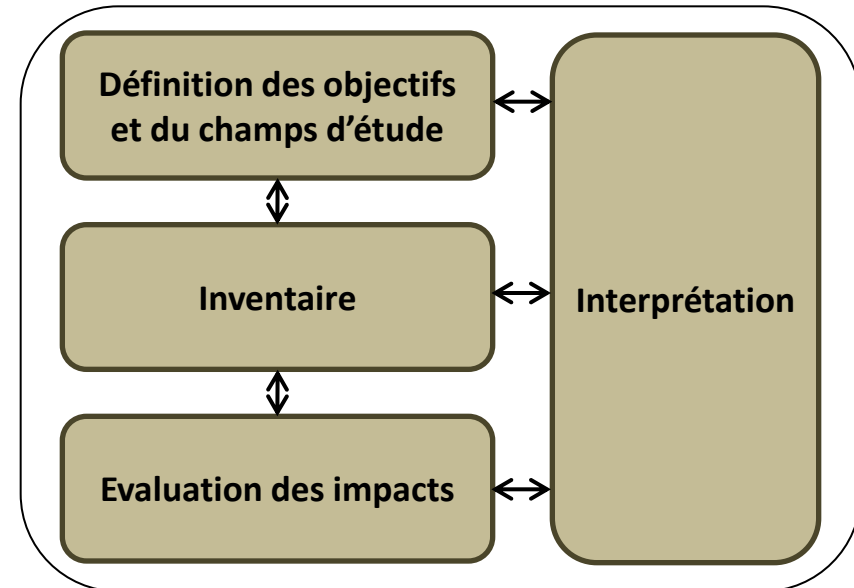
Ne permet pas de modéliser tous les critères d'aide à la décision
Difficulté de prendre en compte les aspects sociaux-économiques

L'ACV : METHODOLOGIE



Une démarche en 4 étapes, suivant la série des normes ISO 14 040 :

1. Définition du contexte et des objectifs de l'étude
2. Inventaire du cycle de vie (ICV)
3. Evaluation des impacts sur l'environnement → simulation
4. Interprétation des résultats et conclusions
5. (Revue critique)

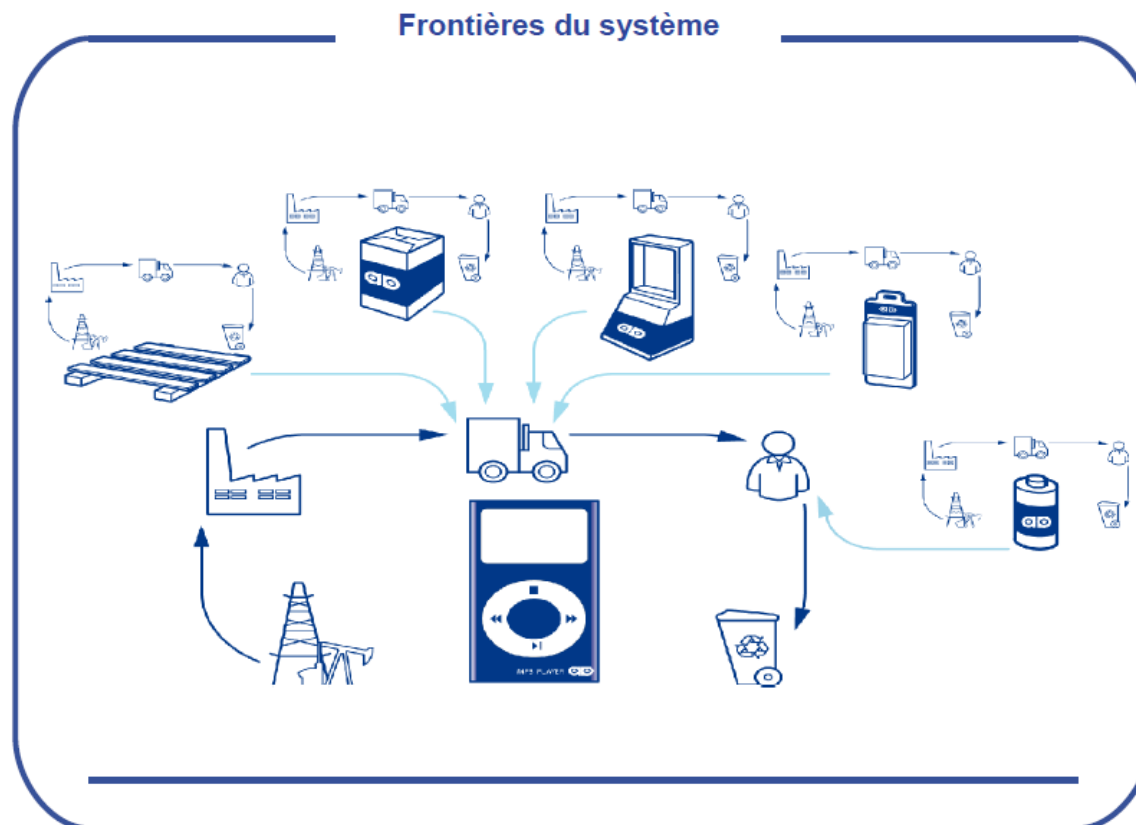


L'ACV : METHODOLOGIE



Etape 1. Définition du contexte et des objectifs de l'étude

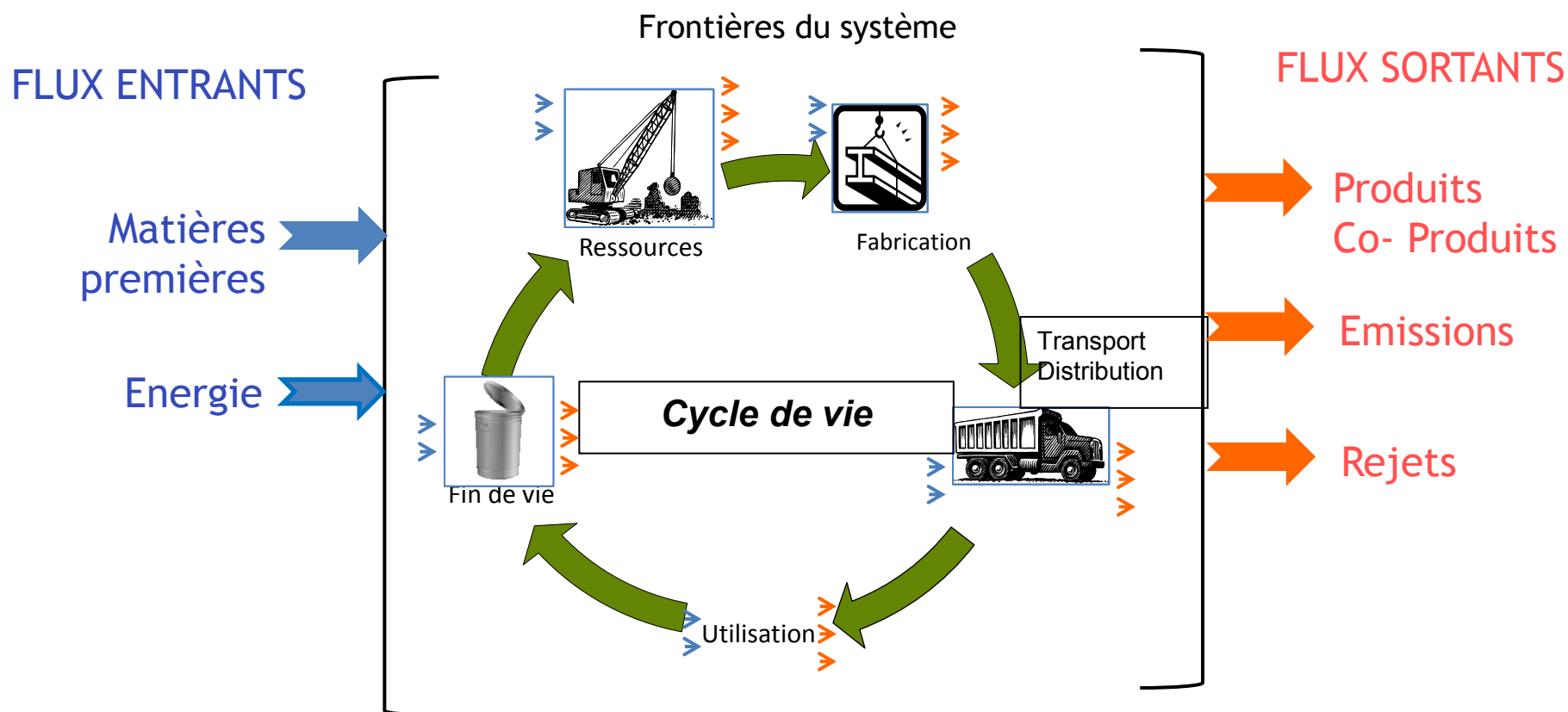
- Unité fonctionnelle
- Frontières du système



L'ACV : METHODOLOGIE



Etape 2. Inventaire du cycle de vie (ICV)

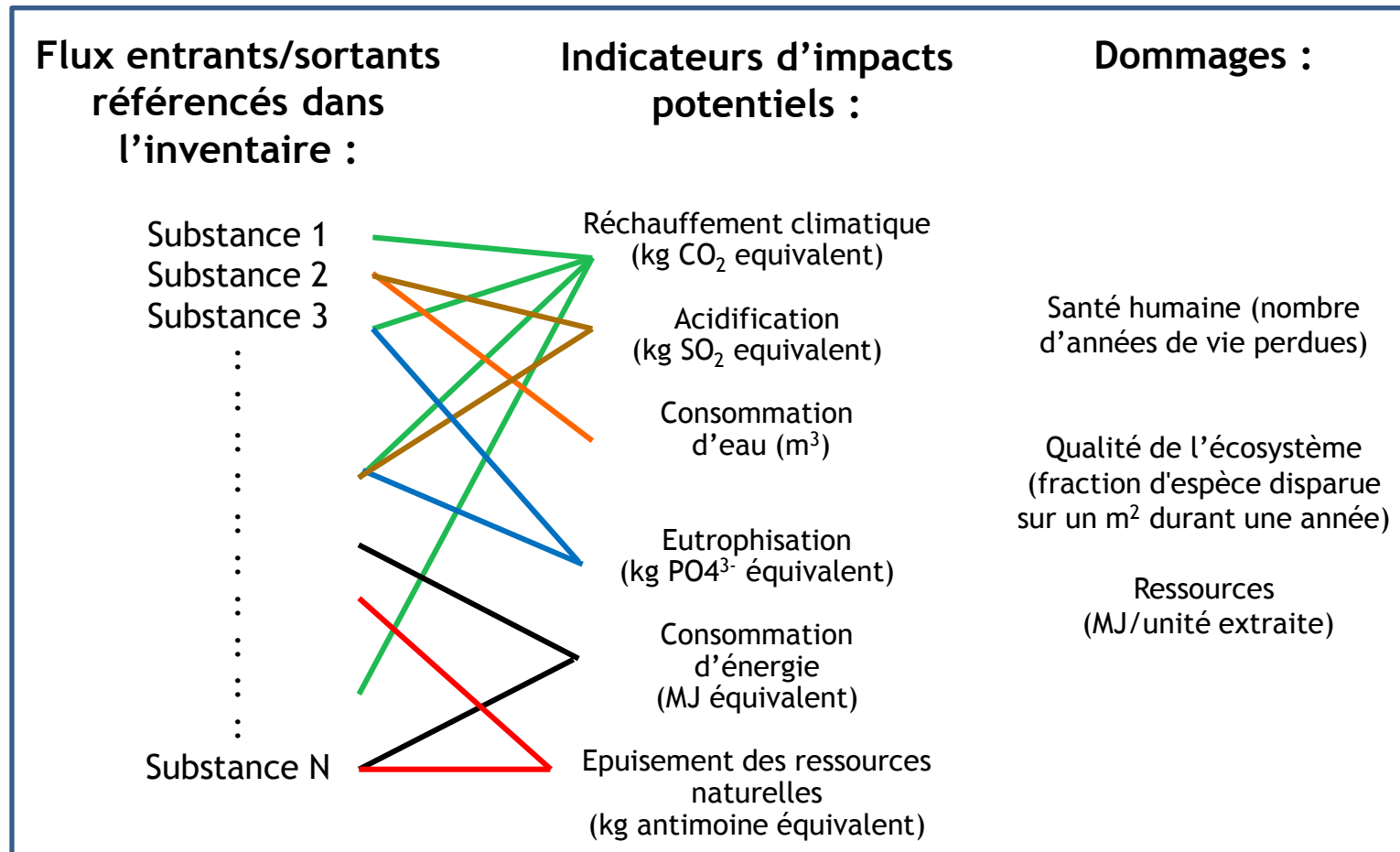


Difficultés de disposer de données complètes et fiables

L'ACV : METHODOLOGIE



Etape 3. Evaluation des impacts sur l'environnement → simulation



L'ACV : METHODOLOGIE



Etape 3. Evaluation des impacts sur l'environnement → simulation
EXEMPLE

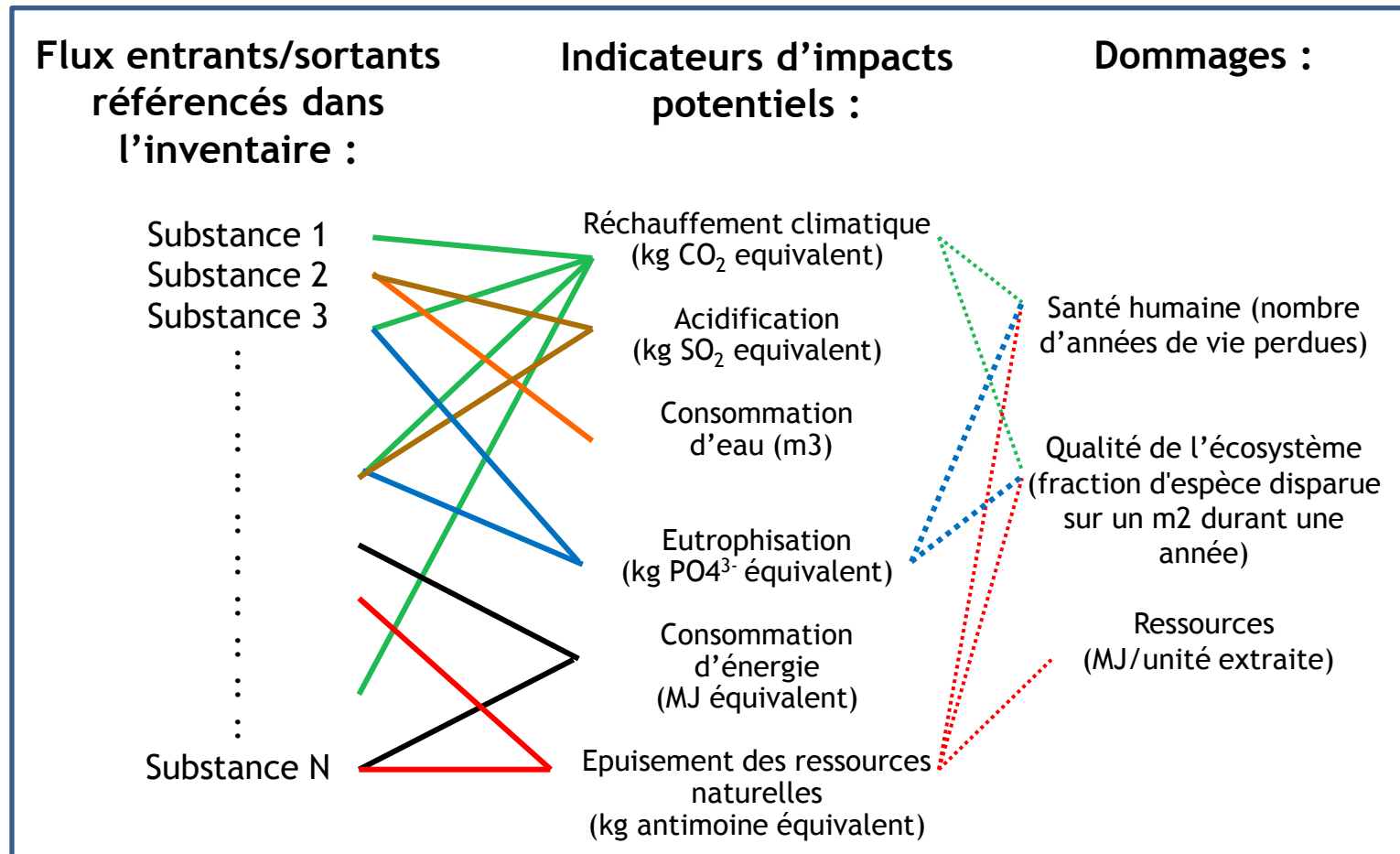


<i>Méthode CML</i>	
Flux entrants/sortants référencés dans l'inventaire :	Indicateurs d'impacts potentiels : <u>Réchauffement climatique/100 ans</u> (kg CO ₂ équivalent)
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1
Méthane (CH ₄)	25
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	298
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	22800

L'ACV : METHODOLOGIE



Etape 3. Evaluation des impacts sur l'environnement → simulation



Méthode orientée problème - *mid point*

Méthode orientée dommage - *end point*

L'ACV : METHODOLOGIE



Etape 3. Evaluation des impacts sur l'environnement → simulation

Utilisation de méthode « orientée problème - mid point »
⇒ Permet de limiter les incertitudes, mais souvent peu parlant

Méthode CML = Méthode « mid point », large consensus en France.
Elle a été développée par l'Université de Leiden,
elle permet de caractériser les flux inventoriés en indicateurs d'impacts potentiels

Limites de cette méthode

L'impact sur l'écotoxicité/toxicité humaine n'est pas bien prise en compte
=> Développement d'une nouvelle méthode
Méthode Use-tox

L'ACV : EXEMPLE



ACV comparative de deux procédés électrochimiques pour récupération du cuivre contenu dans les cartes de circuits imprimés

Rubin et al., Utilization of Life Cycle Assessment (LCA) methodology to compare two strategies for recovery of copper from printed circuit board scrap
Journal of Cleaner Production (64), 2014 297-305

Le cuivre représente environ 7 % (en masse) des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)

Source : European Topic Center on Resource Waste Management, 2012



Un circuit imprimé ou carte électronique contient jusqu'à 15 métaux différents.

Source : site internet Veolia

L'ACV : EXEMPLE



Le cuivre est un matériau 100 % recyclable sans aucune altération ni perte de performance

Le recyclage de matières cuivreuses consomme moins d'énergie que la fabrication de cuivre à partir de minerai.

Cependant, la consommation d'énergie croit lorsque la teneur en cuivre de la matière recyclée diminue

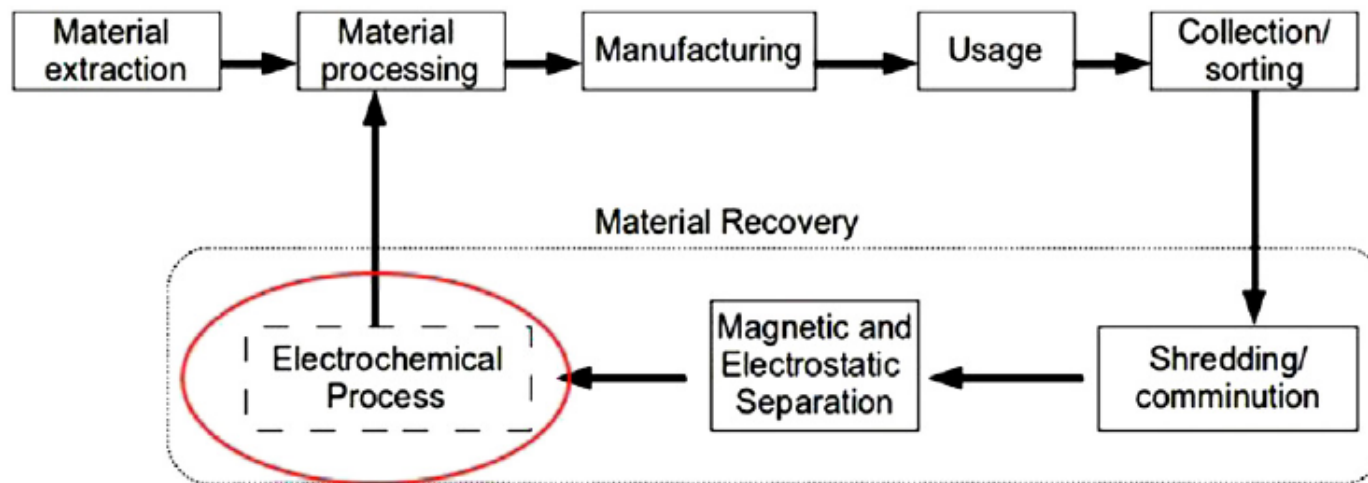
Des études ont montré que les procédés de recyclage des métaux issus des DEEE étaient moins impactants d'un point de vue environnemental que la production des métaux à partir des minerais

Source : Bigum et al. : Metal recovery from high-grade WEEE : a life cycle assessment

L'ACV : EXEMPLE



Etape 1 : Définition du système étudié



Unité fonctionnelle :

- Récupérer le cuivre de 200 g de circuits imprimés, avec un rendement de 99%

Le système inclut :

- une étape de broyage
- une séparation magnétique et électrostatique
- une étape hydrométallurgie + électrochimique

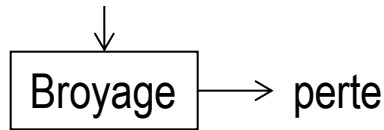
L'ACV : EXEMPLE



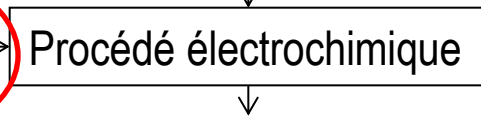
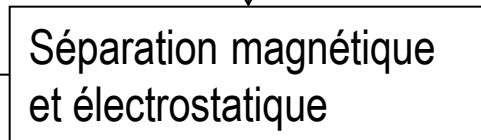
Etape 2 : Inventaire du cycle de vie

Procédé 1

200 g de circuits imprimés



poudres < 1 mm



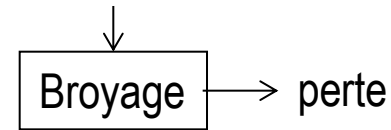
102 g cuivre
4,26 g autres métaux
20 l effluents aqueux
(+résidus)

← Matériaux non métallique

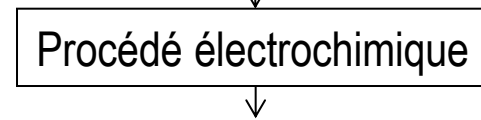
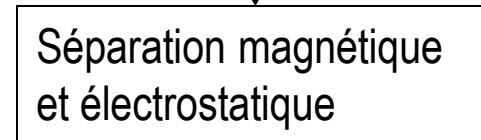
19,4 kg eau
226,5 g HNO₃
531 g HCl

Procédé 2

200 g de circuits imprimés



poudres < 1 mm



102 g cuivre
2,72 g autres métaux
20 l effluents aqueux
(+ résidus)

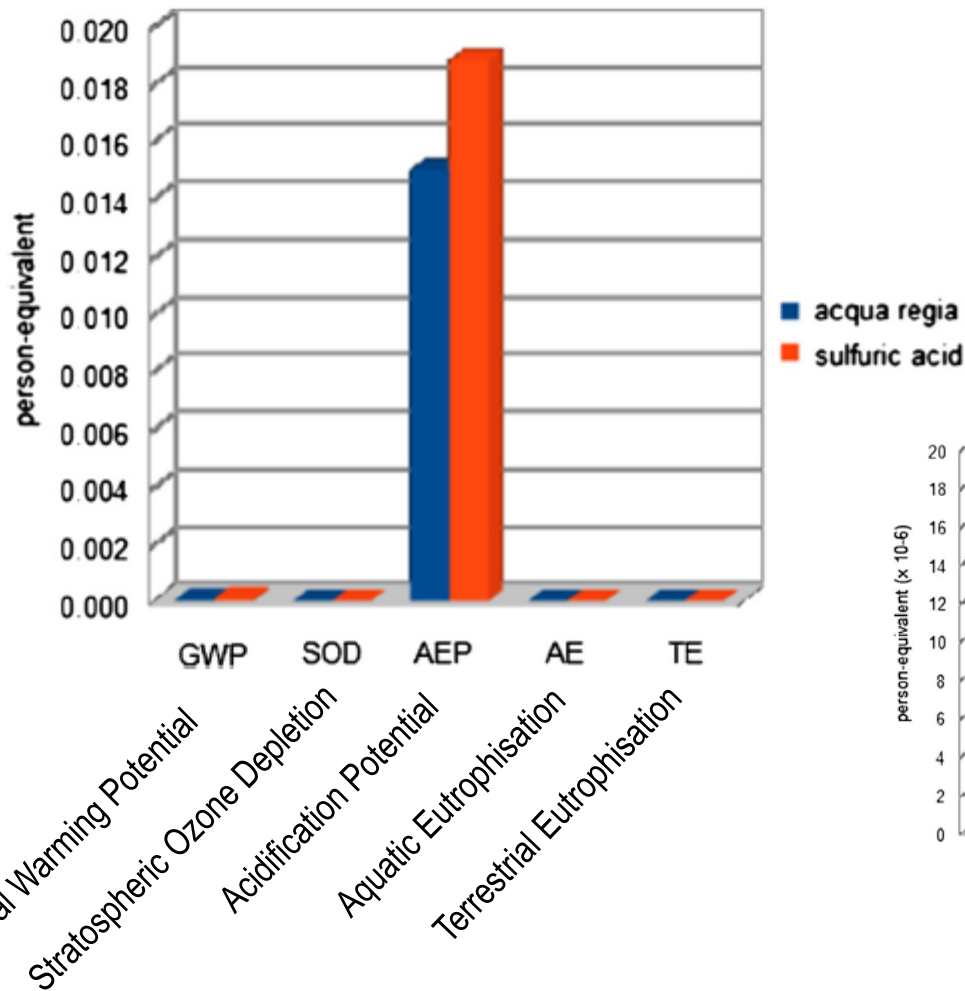
← Matériaux non métallique

18 kg eau
3,671 kg H₂SO₄

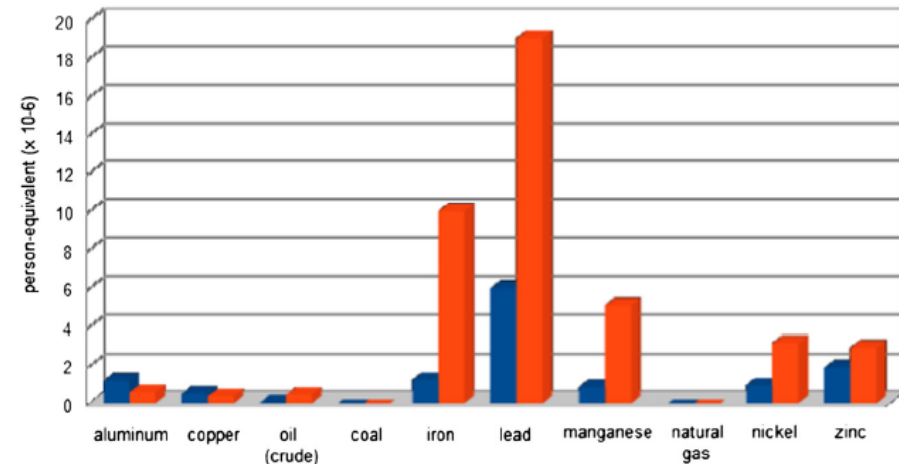
L'ACV : EXEMPLE



Etape 3 : Evaluation des impacts potentiels (méthode EDIP)



Consommation des ressources



L'ACV : EXEMPLE



Etape 4 : Interprétation des résultats



ACV comparative sur le **type de réactif utilisé** pour la phase électrochimique

- ⇒ Le mélange acide nitrique/acide chlorhydrique est moins impactant d'un point de vue environnemental et consommation des ressources que l'acide sulfurique
- ⇒ Une des raisons : la quantité de H_2SO_4 utilisée est plus importante pour un rendement de procédé identique

Perspectives :

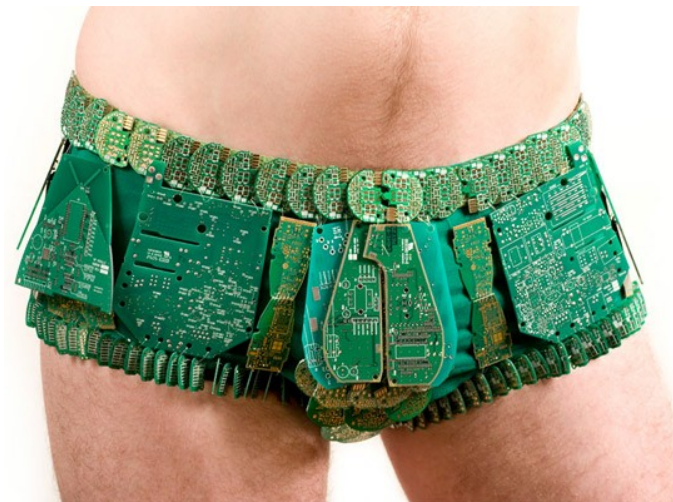
- Intégrer le recyclage des effluents aqueux du procédé électrochimique au système d'étude
- Comparaison d'un procédé électrochimique avec un autre procédé de fin de vie (pyrométallurgie (fonderie), pyrolyse)

Guo, et al. Pyrolysis of scrap printed circuit board plastic particles in a fluidized bed

L'ACV : EXEMPLE



Nouvelles applications



<http://www.ecouterre.com/>

CONTACT



Site web Progepi : <http://www.progepi.fr>
Site web LRGP : <http://www.lrgp.univ-lorraine.fr>