

# L'analyse du cycle de vie ou de l'intérêt d'une réflexion plus holistique pour soutenir le développement de systèmes de production plus durables

21/11/2012

C. Debouche

Gembloux Agro-bio Tech - ULg

# L'analyse du cycle de vie

## 1. Quelques définitions

2. Définition des objectifs et du champ de l'étude

3. Analyse de l'inventaire

4. Analyse d'impact

5. Interprétation

6. Conclusions

# 1. Quelques définitions

## Environnement

**Milieu dans lequel un organisme fonctionne, incluant l'air, l'eau, la terre, les ressources naturelles, la flore, la faune, les êtres humains et leurs interrelations (ISO 14001)**

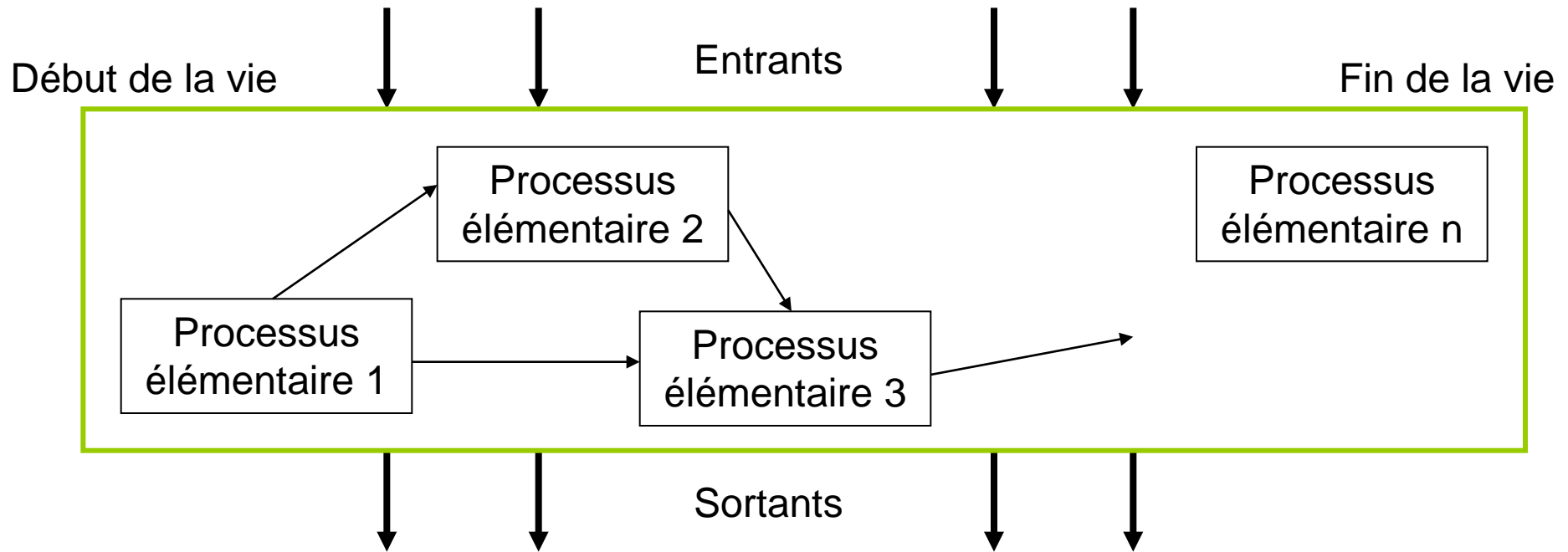
# 1. Quelques définitions

## Cycle de vie :

Phases consécutives et liées d'un système  
de produits,  
de l'acquisition des matières premières ou  
de la génération des ressources naturelles  
à l'élimination finale

# 1. Quelques définitions

## Cycle de vie :



**Système de produit**

# 1. Quelques définitions

## Analyse de sensibilité :

Procédure systématique d'estimation des effets sur les résultats, des méthodes et des données choisies

# 1. Quelques définitions

## Analyse d'incertitude :

Procédure systématique permettant de rechercher puis de quantifier l'incertitude introduite dans les résultats d'un inventaire du cycle de vie

par les effets cumulés de l'incertitude sur les entrants et de la variabilité des données

# 1. Quelques définitions

Unité fonctionnelle :

Performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie (ISO14044 2006).



# 1. Quelques définitions

ACV attributionnelle ou  
conséquentielle

# 1. Quelques définitions

## ACV attributionnelle

Attribuer à un système de produit les impacts qui sont directement liés à son cycle de vie, ramenés à l'unité fonctionnelle.

Imputation des impacts sur les produits et le co-produits

# 1. Quelques définitions

## ACV conséquentielle

Evaluer les impacts d'une décision sur l'ensemble des processus affectés par cette décision.

# L'analyse du cycle de vie

1. Quelques définitions
2. Définition des objectifs et du champ de l'étude
3. Analyse de l'inventaire
4. Analyse d'impact
5. Interprétation
6. Conclusions

## 3.2. Définition des objectifs et du champ de l'étude

### L'objectif d'une analyse du cycle de vie

quoi, pourquoi, pour qui

### Le champ de l'étude :

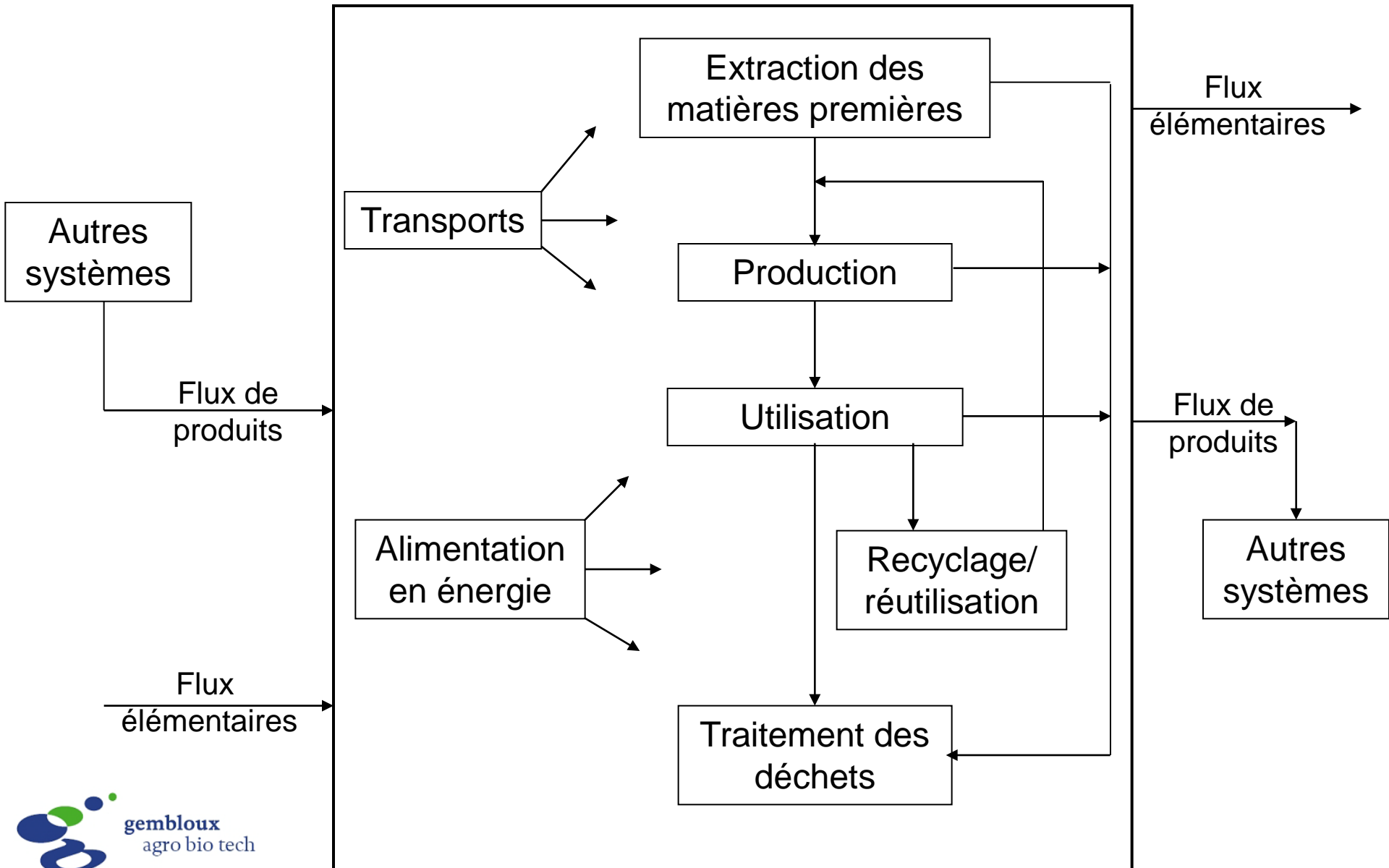
frontières du système,  
fonction et unité fonctionnelle,  
types d'impact,  
méthodes d'évaluation,  
hypothèses,  
qualité des données,  
revue critique,  
etc.

# L'analyse du cycle de vie

1. Quelques définitions
2. Définition des objectifs et du champ de l'étude
3. Analyse de l'inventaire
4. Analyse d'impact
5. Interprétation
6. Conclusions

### 3. Analyse de l'inventaire

# Système de produit



### 3. Analyse de l'inventaire

#### Catégories de données :

- les entrants: énergies, matières premières, auxiliaires, autres entrants physiques,
- les produits, coproduits, sous-produits
- les émissions dans l'air, dans l'eau, dans le sol ,
- les autres aspects environnementaux: bruits, vibrations, utilisation des sols, rayonnements, odeur, chaleur perdue, paysages, biodiversité, etc.



### 3. Analyse de l'inventaire

#### Imputation des flux

S'il n'y a qu'un seul produit, les flux lui sont imputés.

S'il y a plusieurs produits (coproduits), il faut préciser et motiver les règles d'imputation des flux aux différents produits.

Imputations proportionnelles aux masses, aux énergies, aux valeurs économiques, des produits, etc.

Les règles d'imputation doivent être uniformes, c'est-à-dire identiques pour des entrants et sortants identiques.

### 3. Analyse de l'inventaire

#### Analyse de l'incertitude

Incertitude sur les données, caractérisée par des lois de probabilités appropriées (distribution en cloche, dissymétriques, uniformes, etc.).

Conséquence:

Incertitude sur les flux entrants et sortants, résultants de l'analyse de l'inventaire.

Cette incertitude se calcule généralement par simulation.

### 3. Analyse de l'inventaire

#### Analyse de sensibilité

Identification de l'influence sur les résultats de  
l'analyse de l'inventaire des principales  
hypothèses émises dans:

la définition des objectifs et du champ de l'étude,  
l'analyse de l'inventaire.

### 3. Analyse de l'inventaire

Exemple de tableau d'inventaire (Guinée 2002)

(pour 1000 sacs en plastique)

Ressources		Émissions vers l'air	
Pétrole brut	8,1 kg	1-butène	7,8E-7 kg
Émissions vers l'eau		Benzène	9,9E-7 kg
Benzène	1,2E-9 kg	CO <sub>2</sub>	2,2 kg
Cadmium	4,4E-8 kg	Dioxines	8,1E-14 kg
Plomb	3,0E-9 kg	Ethylène	1,2E-4 kg
Mercure	2,8E-9 kg	Oxyde d'azote	3,7E-3 kg
Phenol	2,4E-8 kg	SO <sub>2</sub>	2,0E-2
Entrants non considérés		Sortants non considérés	
Lubrifiants	2,4 kg	Sacs plastiques usagés	1000

# L'analyse du cycle de vie

1. Quelques définitions
2. Définition des objectifs et du champ de l'étude
3. Analyse de l'inventaire
4. Analyse d'impact
5. Interprétation
6. Conclusions

## 4. Analyse d'impact

Les étapes: choix des  
catégories d'impact,  
indicateurs de catégories,  
modèles de caractérisation.

## 4. Analyse d'impact

Choix des catégories d'impact: les catégories les plus fréquemment utilisées (Guinée, 2002 p.68)

1. Épuisement des ressources abiotiques
2. Occupation des sols
3. Changement climatique
4. Diminution de la couche d'ozone
5. Toxicité humaine
6. Écotoxicité des eaux douces
7. Écotoxicité marine
8. Écotoxicité terrestre
9. Oxydation photochimique
10. Acidification
11. Eutrophisation

## 4. Analyse d'impact (suite)

12. Perte de biodiversité
13. Perte de sols fertiles
14. Écotoxicité des sédiments d'eau douce
15. Écotoxicité des sédiments marins
16. Impact des radiations ionisantes
17. Mauvaises odeurs dans l'air
18. Bruit
19. Rejet de chaleur
20. Accidents
21. Épuisement des ressources biotiques
22. Désertification
23. Mauvaises odeurs dans l'eau



## 4. Analyse d'impact

Choix des indicateurs de catégories: exemple IMPACT 2002+ (Jolliet et al, 2003)

Toxicité hum. cancérigène	Kg <sub>eq</sub> chloroéthylène (air)
Toxicité hum. non cancérigène	Kg <sub>eq</sub> chloroéthylène (air)
Effets respiratoires	Kg <sub>eq</sub> PM2.5 (air) (<2,5µm)
Radiations ionisantes	Bq <sub>eq</sub> carbone 14 (air)
Oxydation photochimique	Kg <sub>eq</sub> éthylène (air)
Écotoxicité aquatique	Kg <sub>eq</sub> triéthylène glycol (eau)
Écotoxicité terrestre	Kg <sub>eq</sub> triéthylène glycol (eau)
Acidif./Eutrophis. terrestre	Kg <sub>eq</sub> SO <sub>2</sub> (air)
Acidification aquatique	Kg <sub>eq</sub> SO <sub>2</sub> (air)
Eutrophisation aquatique	Kg <sub>eq</sub> PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (eau)

## 4. Analyse d'impact

Choix des indicateurs de catégories: exemple IMPACT 2002+ (Jolliet et al, 2003) - suite

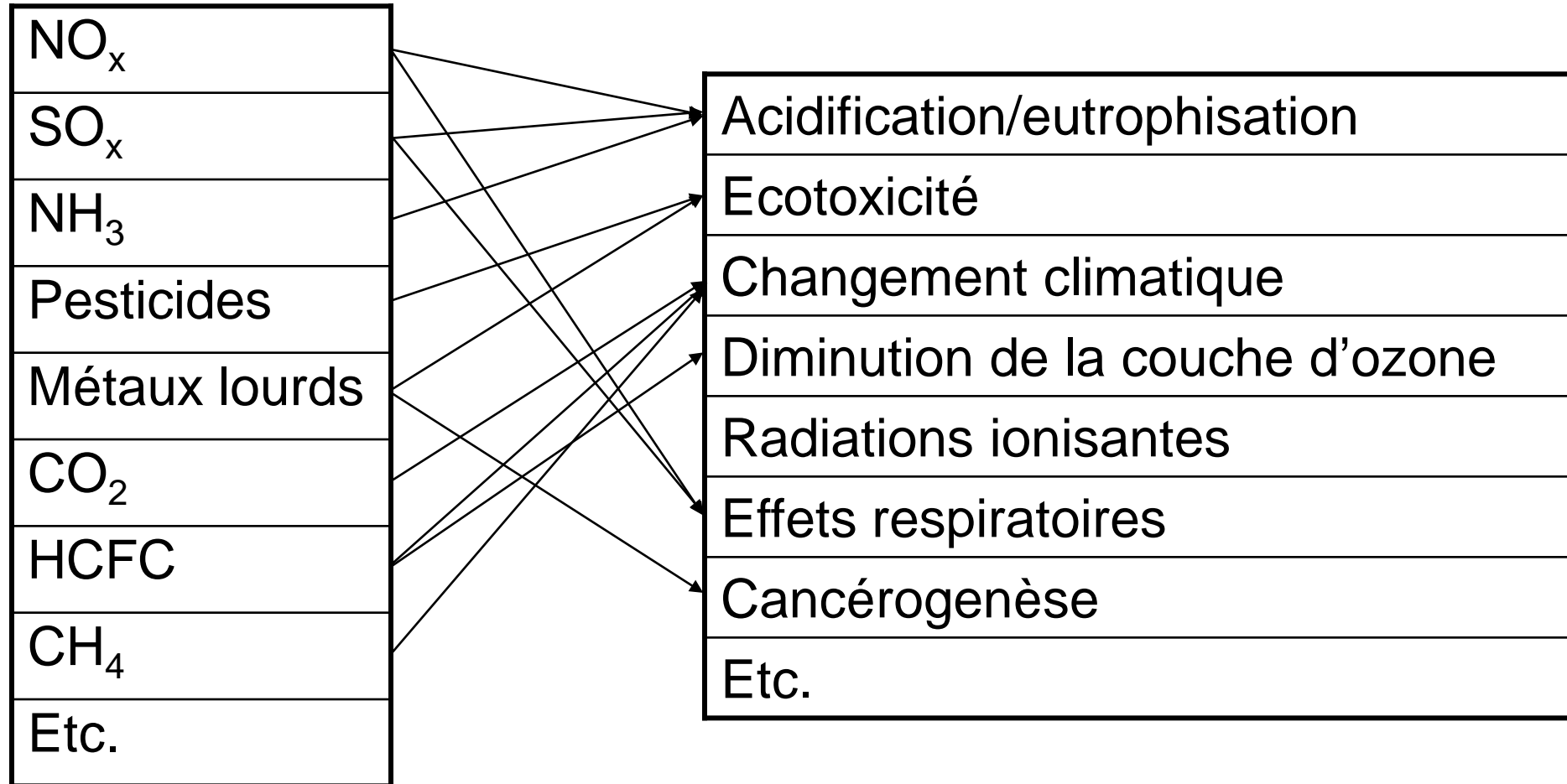
Occupation des sols	m <sup>2</sup> de terre arable * an
Réchauffement global	Kg <sub>eq</sub> CO <sub>2</sub> (air)
Énergie non renouvelable	MJ d'énergie primaire non renouvelable ou kg <sub>eq</sub> de pétrole brut
Extraction de minerais	Kg <sub>eq</sub> fer (mineral)

# Modèles de caractérisation: la catégorie d'impact « réchauffement global » IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007)

Substance	Formule	Forçage radiatif $\text{W m}^{-2}$	Pouvoir de réchauffement global PRG (Global Warming Potential – GWP)		
			20 ans	100 ans	500 ans
Dioxyde de carbone	$\text{CO}_2$	1,4E-5	1	1	1
Méthane	$\text{CH}_4$	3,7E-4	72	25 (21 en 1995)	7,6
Protoxyde d'azote	$\text{N}_2\text{O}$	3,03E-3	289	298 (310 en 1995)	153

1 kg de  $\text{N}_2\text{O}$  a le même effet radiatif à 100 ans que 298 kg de  $\text{CO}_2$ .  
1 kg  $\text{N}_2\text{O}$  = 298 kg<sub>eq</sub>  $\text{CO}_2$  (méthode IPCC – GWP100)

# Affectation des flux entrants et sortants dans les catégories d'impact (**classification**). Exemple Ecoindicateur 99 (Goedkoop, 2001)



## 4. Analyse d'impact

Calcul des résultats d'indicateur de catégorie (**caractérisation**),

Résultat: **profil d'évaluation de l'impact du cycle de vie.**

Catégorie d'impact	Unité	e+f : cogénération (bois) 6400 contrôle des émissions
Cancérogènes (Tox. hum.)	kg <sub>eq</sub> C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	8,53E-03
Non cancérogènes (Tox.hum)	kg <sub>eq</sub> C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	8,63E-02
Effets respiratoires	kg <sub>eq</sub> PM2.5	6,57E-04
Radiations ionisantes	Bq <sub>eq</sub> C-14	6,29E+00
Destruction couche ozone	kg <sub>eq</sub> CFC-11	7,37E-09
Photo-oxydants	kg <sub>eq</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,89E-04
Ecotoxicité aquatique	kg <sub>eq</sub> TEG eau	6,51E+02
Ecotoxicité terrestre	kg <sub>eq</sub> TEG sol	2,37E+02
Acid/Eutr terrestre	kg <sub>eq</sub> SO <sub>2</sub>	2,39E-02
Occupation des sols	m <sup>2</sup> <sub>eq</sub> TAO	1,06E-01
Acidification aquatique	kg <sub>eq</sub> SO <sub>2</sub>	3,30E-03
Eutrophisation aquatique	kg <sub>eq</sub> PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	2,86E-04
Réchauff. global	kg <sub>eq</sub> CO <sub>2</sub>	2,32E-01
Energie non renouvelable	MJ <sub>eq</sub> ENR	1,74E+00
Extraction de minerais	MJ <sub>eq</sub> ES	2,64E-03

Moras, 2007

## Groupement de catégories d'impact

Les catégories d'impact peuvent être regroupées en catégories de dommage ou domaine de protection.

A titre indicatif, il est suggéré (JRC 2010) de grouper les dommages en trois catégories:

Santé humaine (ou vie humaine)

Ecosystème (ou environnement biotique)

Ressources naturelles (ou environnement abiotique)

# Groupement de catégories d'impact

**IMPACT 2002 +**

**Catégories  
intermédiaires**

**Catégories  
de dommage**

Toxicité humaine

Effets respiratoires

Radiation ionisante

Destruction de la couche  
d'ozone

Formation de  
photo-oxydants

Acidification aquatique

Eutrophisation aquatique

Acid./eutroph. terrestre

Ecotoxicité terrestre

Ecotoxicité aquatique

Occupation des sols

Changement climatique

Energie non renouvelable

Extraction de minerais

Santé humaine

Qualité des écosystèmes

Changement climatique

Ressources

**Résultats  
d'inventaire**

# 4. Analyse d'impact

## IMPACT 2002 +

Catégories d'impact intermédiaires	Unité		Catégories de dommage	Unité
Cancérogènes (Tox. hum.)	kg <sub>eq</sub> C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl air	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl: chlorure de vinyle	Santé humaine	DALY
Non cancérogènes (Tox.hum)	kg <sub>eq</sub> C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl air	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl: chlorure de vinyle		
Effets respiratoires	kg <sub>eq</sub> PM2.5 air	PM2.5: particule (<2,5E-6 m)		
Radiations ionisantes	Bq <sub>eq</sub> C-14 air	C-14: carbone 14		
Destruction couche ozone	kg <sub>eq</sub> CFC-11 air	CFC: trichlorofluorométhane		
Photo-oxydants	kg <sub>eq</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> air	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> : éthylène	Qualité de l'écosystème	PDF.m <sup>2</sup> .an
Ecotoxicité aquatique	kg <sub>eq</sub> TEG eau	TEG: triéthylène glycol		
Ecotoxicité terrestre	kg <sub>eq</sub> TEG eau	TEG: triéthylène glycol		
Acid/Eutr terrestre	kg <sub>eq</sub> SO <sub>2</sub> air	SO <sub>2</sub> : dioxyde soufre		
Occupation des sols	m <sup>2</sup> <sub>eq</sub> TA	TA: terre arable		
Acidification aquatique	kg <sub>eq</sub> SO <sub>2</sub> air	SO <sub>2</sub> : dioxyde soufre	Changement climatique	kg <sub>eq</sub> CO <sub>2</sub>
Eutrophisation aquatique	kg <sub>eq</sub> PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eau	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> : phosphate (ion)		
Réchauff. global	kg <sub>eq</sub> CO <sub>2</sub> air	CO <sub>2</sub> : dioxyde de carbone		
Energie non renouvelable	MJ <sub>eq</sub> ENR	ENR: én. Prim. non renouv.		
Extraction de minerais	MJ <sub>eq</sub> ES	ES: én. Suppl.	Ressources	MJ

DALY : Disability Adjusted Life Years (Ajustement de la durée de vie en fonction de l'invalidité, en années personne<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>)

PDF : Potentially Disappeared Fraction of species (fraction des espèces potentiellement disparues)



## 4. Analyse d'impact

Pondération des catégories d'impact ou des groupement en vue d'obtenir un résultat global

$$SC = \sum_i p_i C_i \quad \text{ou} \quad = \sum_i p_i N_i$$

- $p_i$  Coefficient de pondération de la  $i^{\text{ème}}$  catégorie d'impact (ou du  $i^{\text{ème}}$  groupement de catégorie d'impact),
- $C_i$  Score (valeur de l'indicateur) de la  $i^{\text{ème}}$  catégorie d'impact (ou du  $i^{\text{ème}}$  groupement de catégorie d'impact),
- $N_i$  Score normalisé (valeur de l'indicateur) de la  $i^{\text{ème}}$  catégorie d'impact (ou du  $i^{\text{ème}}$  groupement de catégorie d'impact),
- $SC$  Score global.

# SENSIBILITÉ

## Pondération des Impacts

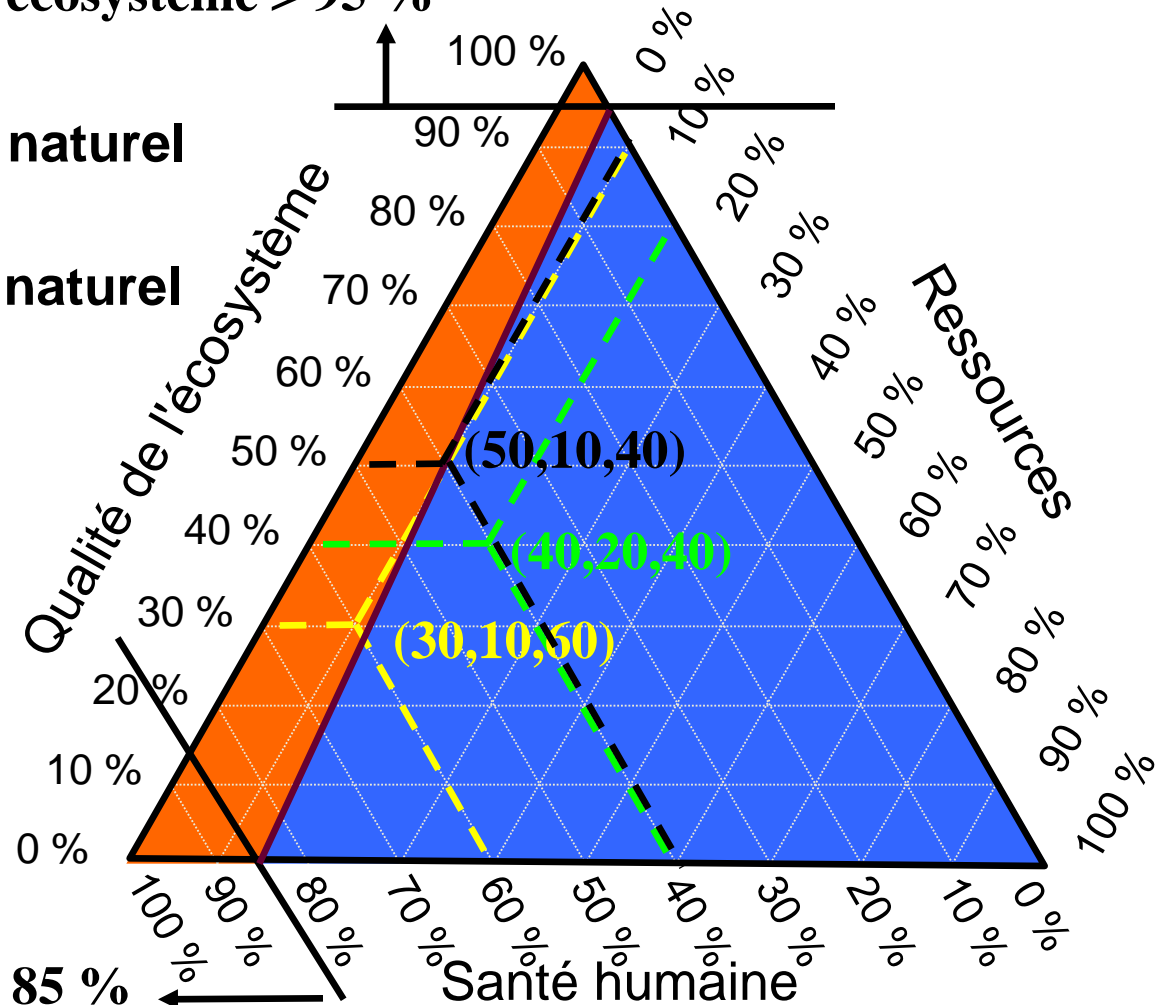
Qualité de l'écosystème > 95 %



Cogén. Huile < Gaz naturel



Cogén. Huile > Gaz naturel



Santé humaine > 85 %

# L'analyse du cycle de vie

1. Quelques définitions
2. Définition des objectifs et du champ de l'étude
3. Analyse de l'inventaire
4. Analyse d'impact
5. Interprétation
6. Conclusions
7. Bibliographie

## 5. Interprétation : objectifs

- Analyser les résultats,
- Identification des éléments majeurs (étapes du cycle de vie, catégories de données d'inventaire et d'impacts)
- Expliquer les limites, la sensibilité et les incertitudes
- Fournir des conclusions et des recommandations,

## 5. Interprétation : rapport

Rendre compte de l'étude de manière complète et impartiale, transparence totale sur le choix des valeurs, le raisonnement et les jugement d'experts.

# L'analyse du cycle de vie

1. Quelques définitions
2. Définition des objectifs et du champ de l'étude
3. Analyse de l'inventaire
4. Analyse d'impact
5. Interprétation
6. Conclusions

## 6. Conclusions

Il n'existe pas de base scientifique pour réduire les résultats d'analyse du cycle de vie à un résultat unique ou à une note globale, dans la mesure où des compromis complexes sont mis en œuvre pour analyser les systèmes étudiés à différentes étapes de leur cycle de vie (ISO 14040 p 4)

## 6. Conclusions

Il n'existe pas de méthode unique de réalisation des analyses du cycle de vie. Il convient que les organismes aient la flexibilité nécessaire pour mettre en pratique l'analyse du cycle de vie conformément à la présente norme internationale, sur la base de chaque application spécifique et des exigences de l'utilisateur. (ISO 14040 p 4)



# L'analyse du cycle de vie

1. Quelques définitions
2. Définition des objectifs et du champ de l'étude
3. Analyse de l'inventaire
4. Analyse d'impact
5. Interprétation
6. Conclusions
7. Bibliographie

# 7. Bibliographie

- Goedkoop M. et Spriensma R. (2001) The Ecoindicato 99. A damage oriented method for Life Cycle Assessment. Methodology report. Pré Consultants B.V. En ligne <http://www.pre.nl>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007) Climate Change 2007 The physical science basis. En ligne <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- ISO 14040 (1997) Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadre. 12 p.
- ISO 14041 (1998) Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Définition de l'objectif et du champ de l'étude et analyse de l'inventaire. 22 p.
- ISO 14042 (2000) Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Évaluation de l'impact du cycle de vie. 17 p.
- ISO 14043 (2000) Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Interprétation du cycle de vie. 19 p.

# 7. Bibliographie

- ISO 14044 (2006) Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices. 49 p.
- Jolliet O., Margny M., Charles R., Humbert S., Payet J., Rebitzer G. et Rosenbaum R. (2003) Impact2002+ : A new life cycle impact assessment methodology. Int. J LCA, 8(6):324-330
- Jolliet O., Saadé M., Crettaz P. et Shaked S. (2010) Analyse du Cycle de vie. Comprendre et réaliser un écobilan. Lausanne, Presse polytechniques et universitaires romandes, 302 p.
- JRC (2010) International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook , Ispra, Italie, pag. disc.
- Guinée J.B. (2002) Handbook on Life Cycle Assessment – Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, 692 p.
- Moras S. (2007) Analyse comparée du cycle de vie des filières de production d'énergie renouvelable issue de la biomasse. Gembloux, Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Thèse de doctorat, 344 p.