

# Ouvrages géotechniques : du bilan carbone aux impacts environnementaux sur le cycle de vie

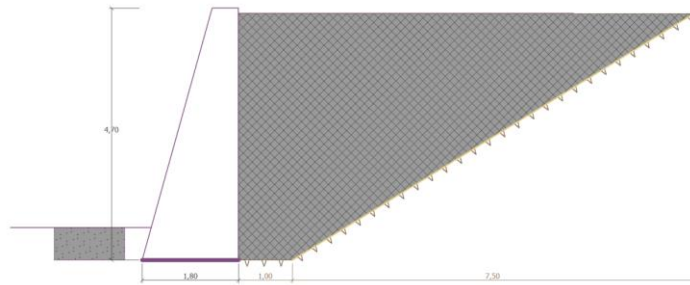
Myriam SAADE

Laboratoire NAVIER, Ecole des Ponts Univ Gustave Eiffel CNRS  
Marne-la-Vallée France

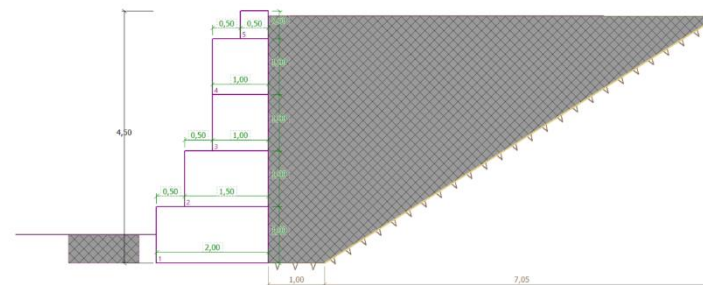
# Ouvrages géotechniques

Quelle empreinte environnementale d'un mur de soutènement ?

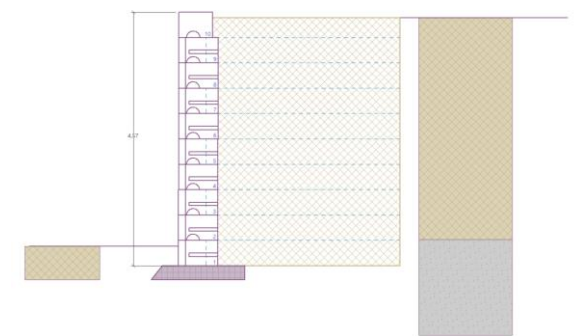
**Mur poids**



**Mur en gabion**



**Mur Redi-Rock**



**Géométrie**

**10x4m**

**Matériaux**

Béton/acier

**Fondation**

Talon sans patin

**10x4m**

Gabion/grille galvanisée

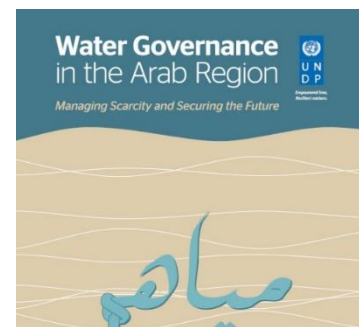
Sans

**10x4m**

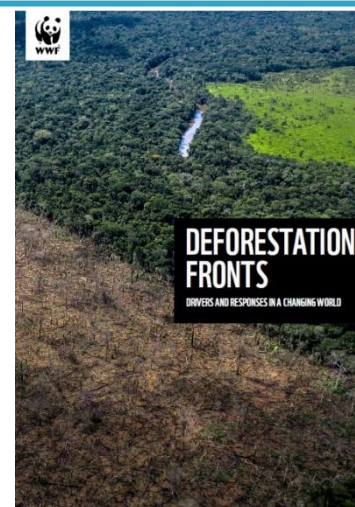
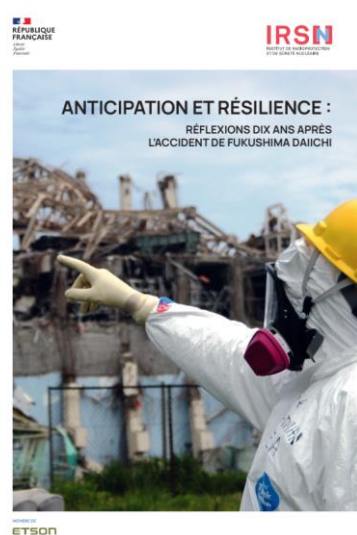
Bloc Redi-Rock/acier

Semelle de réglage

# Analyse du cycle de vie (ACV)



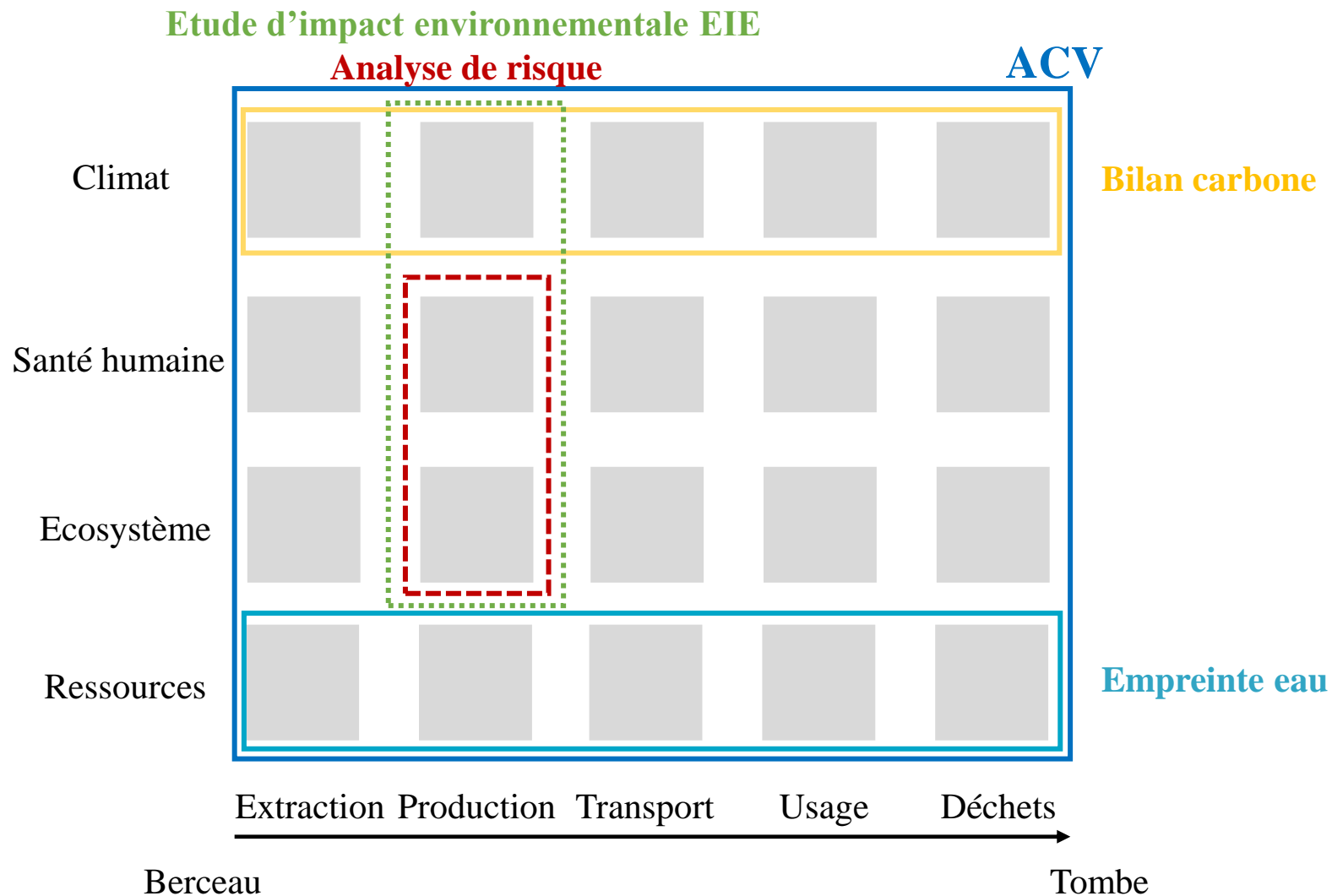
À quantifier !



## Children and digital dumpsites

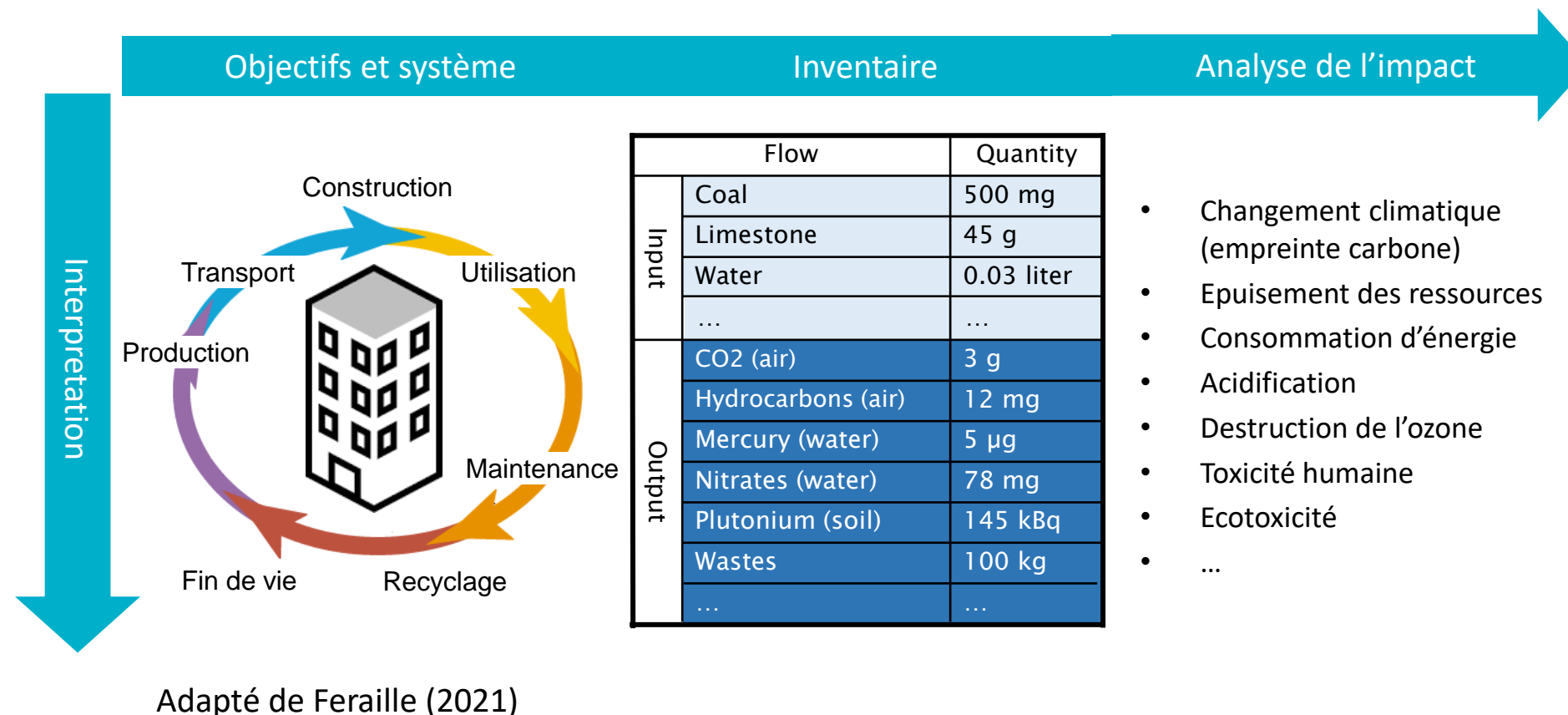
E-waste exposure and  
child health

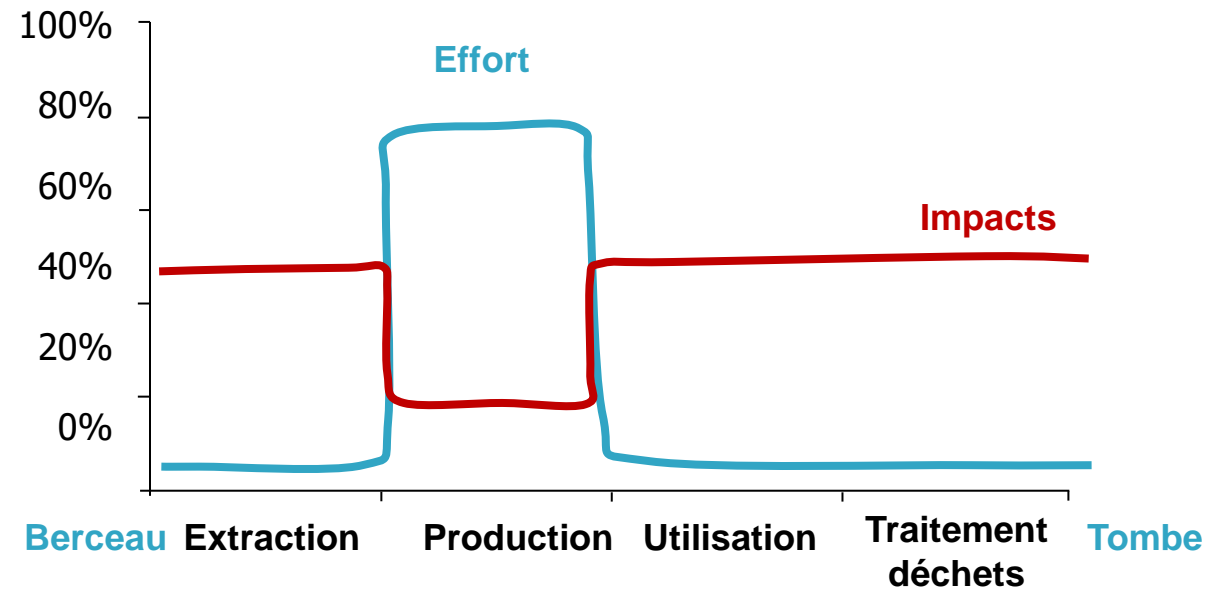




# Analyse du cycle de vie (ACV)

... quantifie les impacts environnementaux potentiels causés par un produit, un service ou une décision tout au long de son cycle de vie





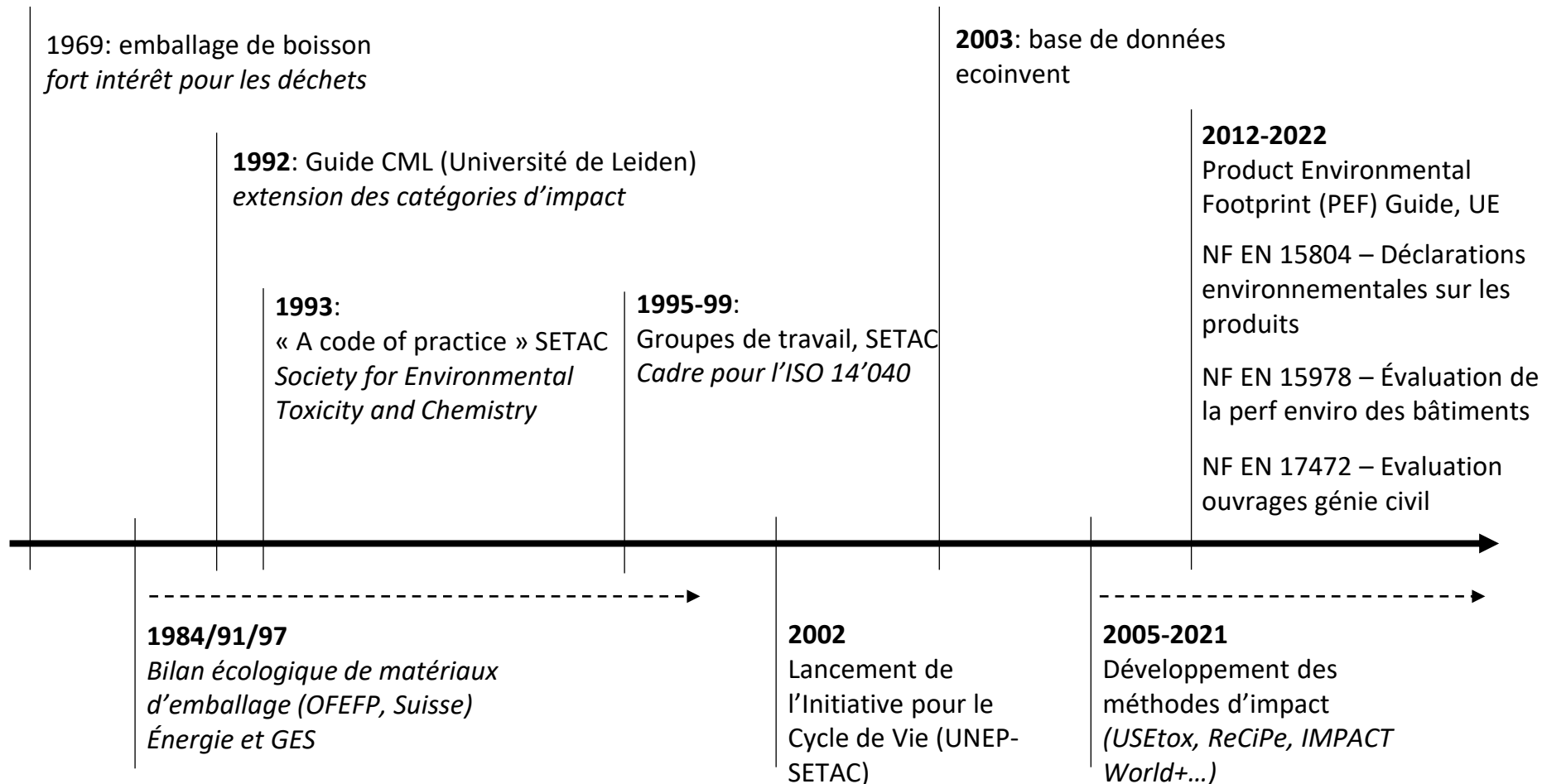
Quelles priorités d'action (critères environnementaux, économiques et techniques) ?

Quelle intégration des (très) différents savoirs disciplinaires ?

Comment éviter les transferts d'impact ?

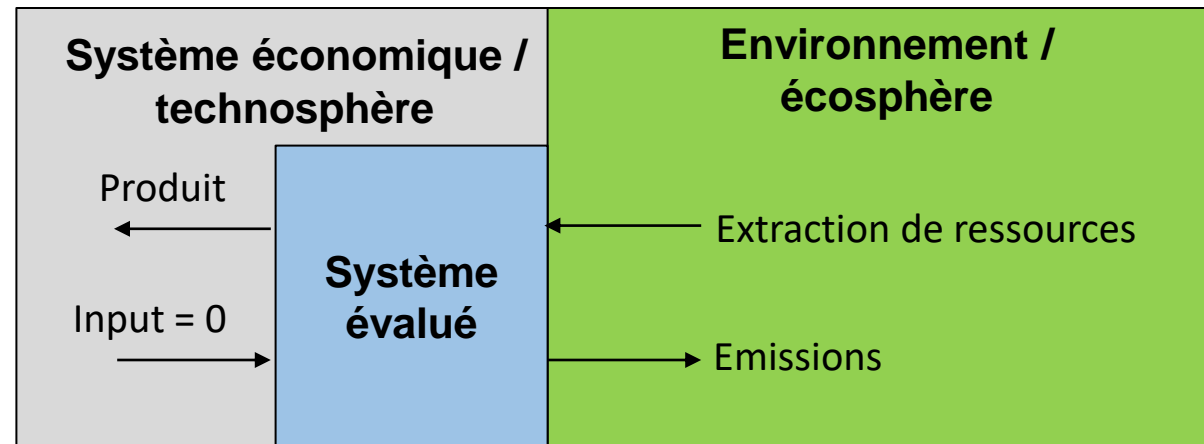
# Analyse du cycle de vie (ACV)

## Un rapide historique...



# Analyse du cycle de vie (ACV)

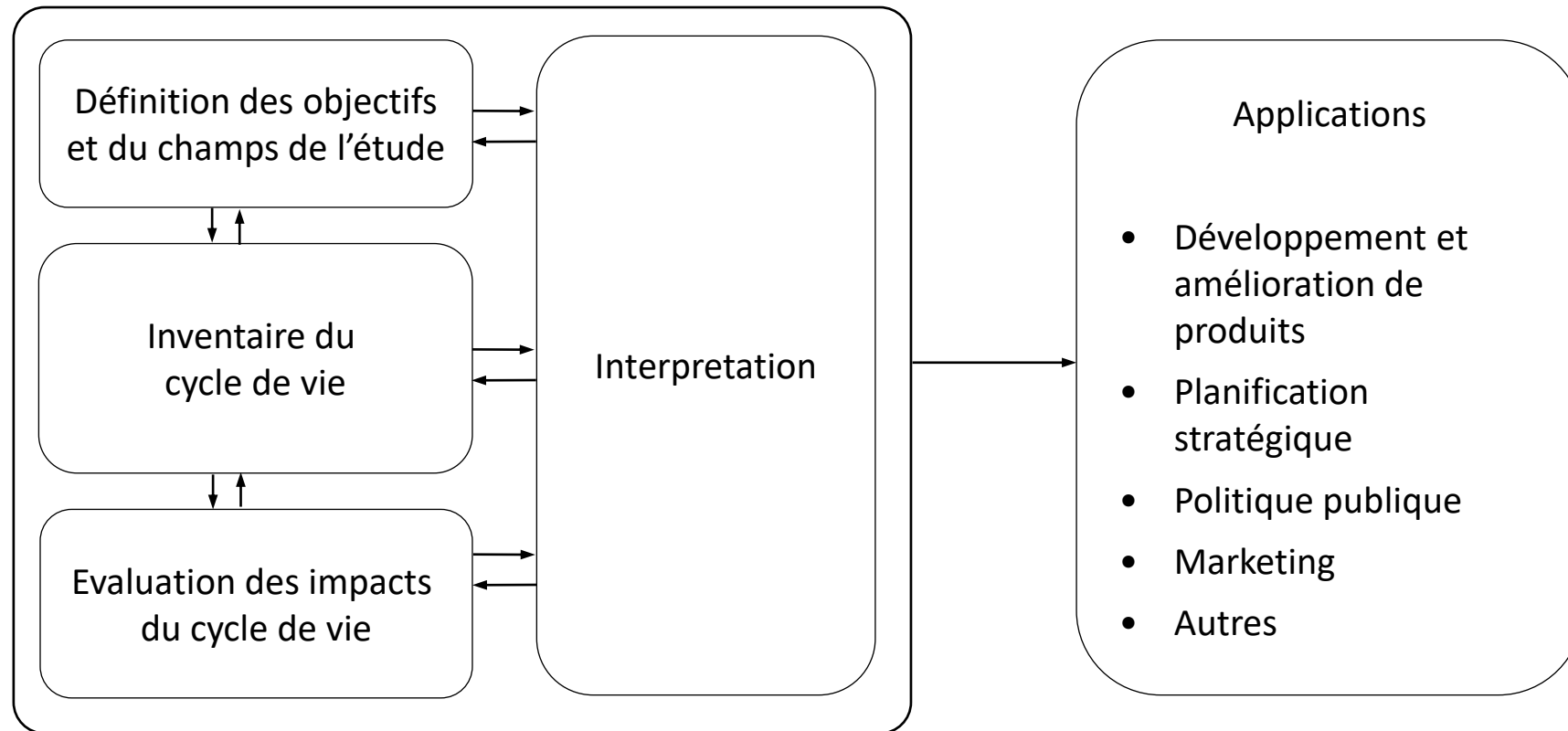
## Modèle conceptuel simplifié





# Analyse du cycle de vie (ACV)

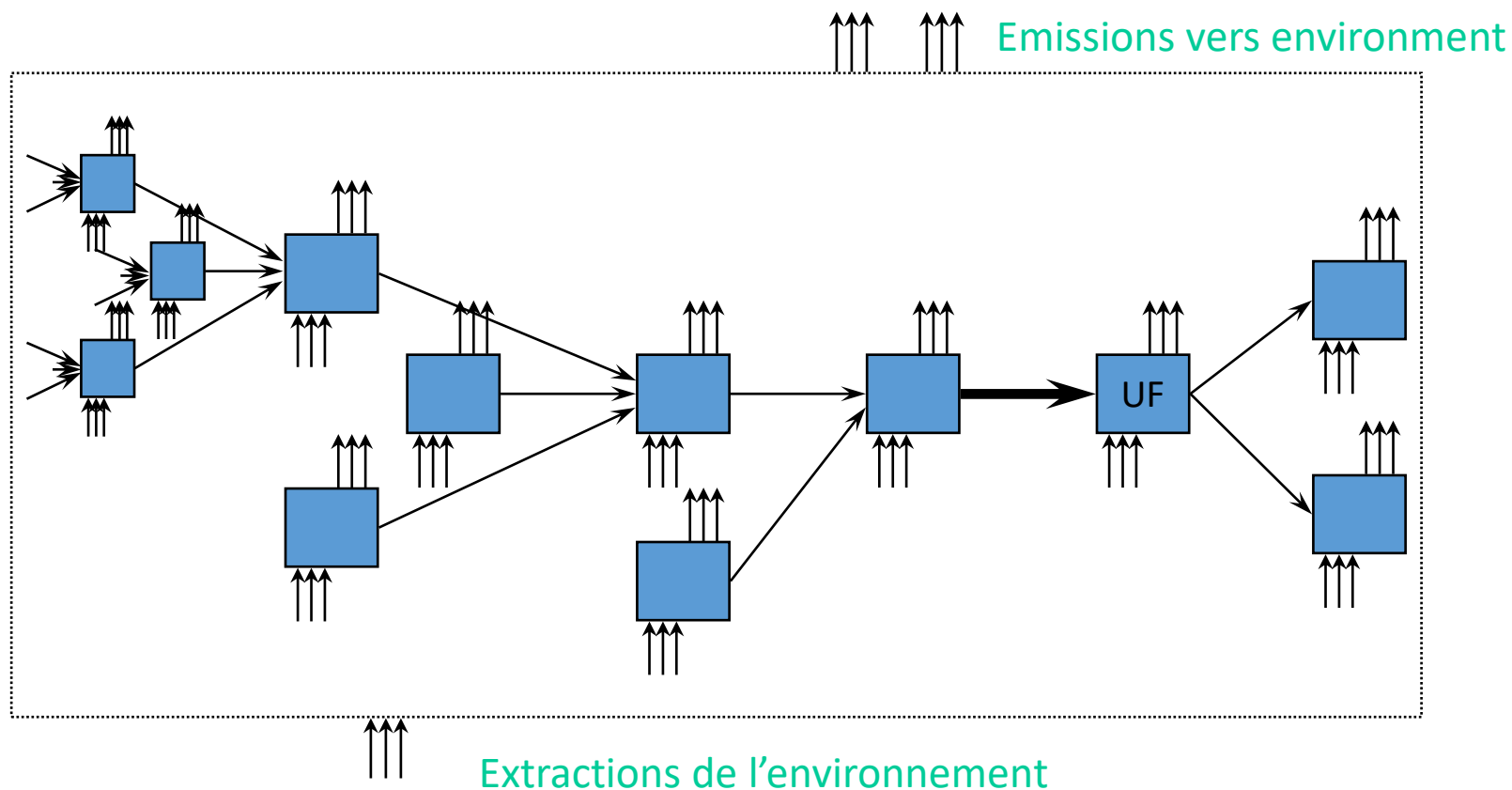
## Cadre normatif ISO 14'4040 et 14'044



# Analyse du cycle de vie (ACV)

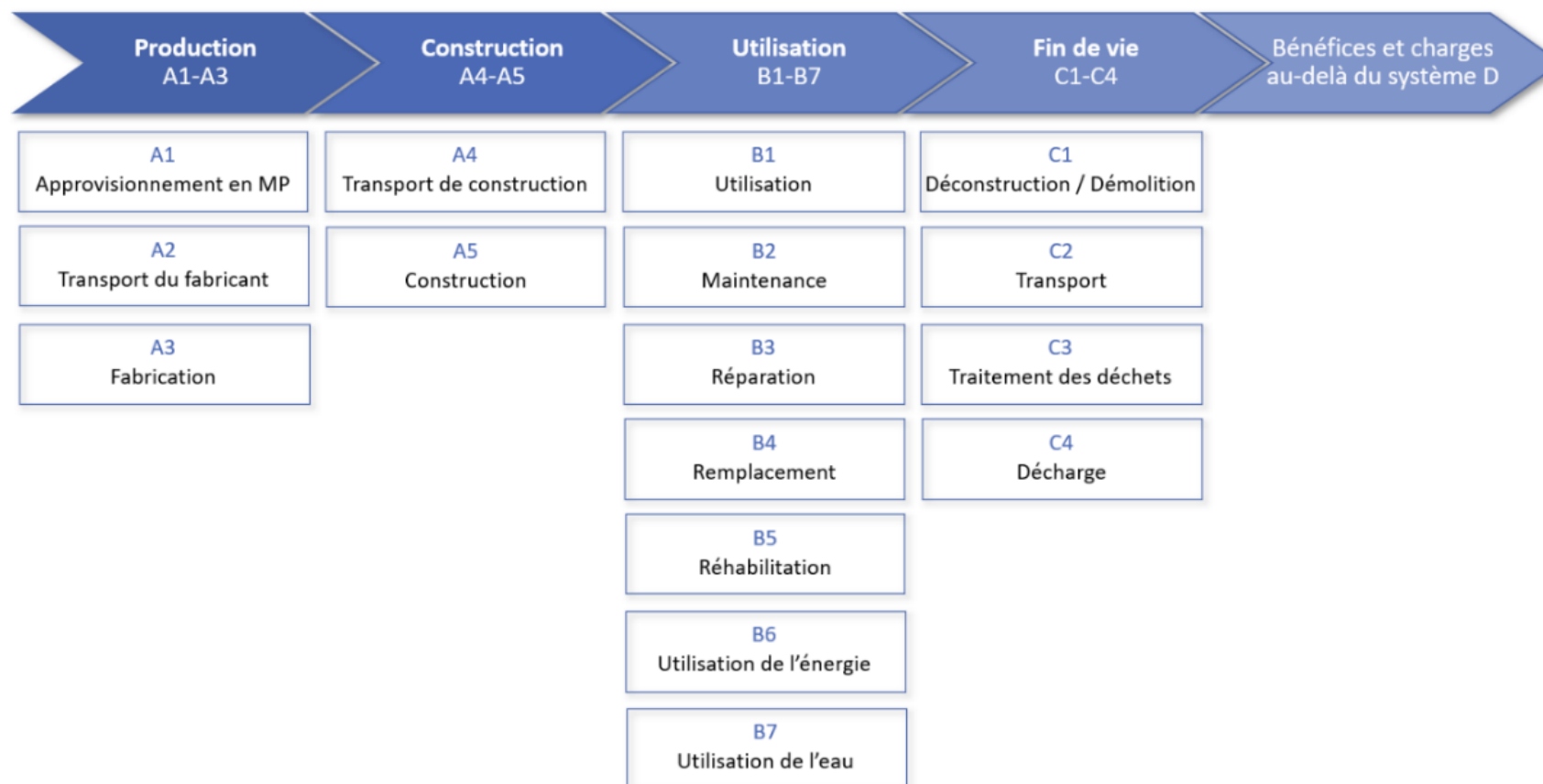


Définition des objectifs et du champs de l'étude :  
modélisation



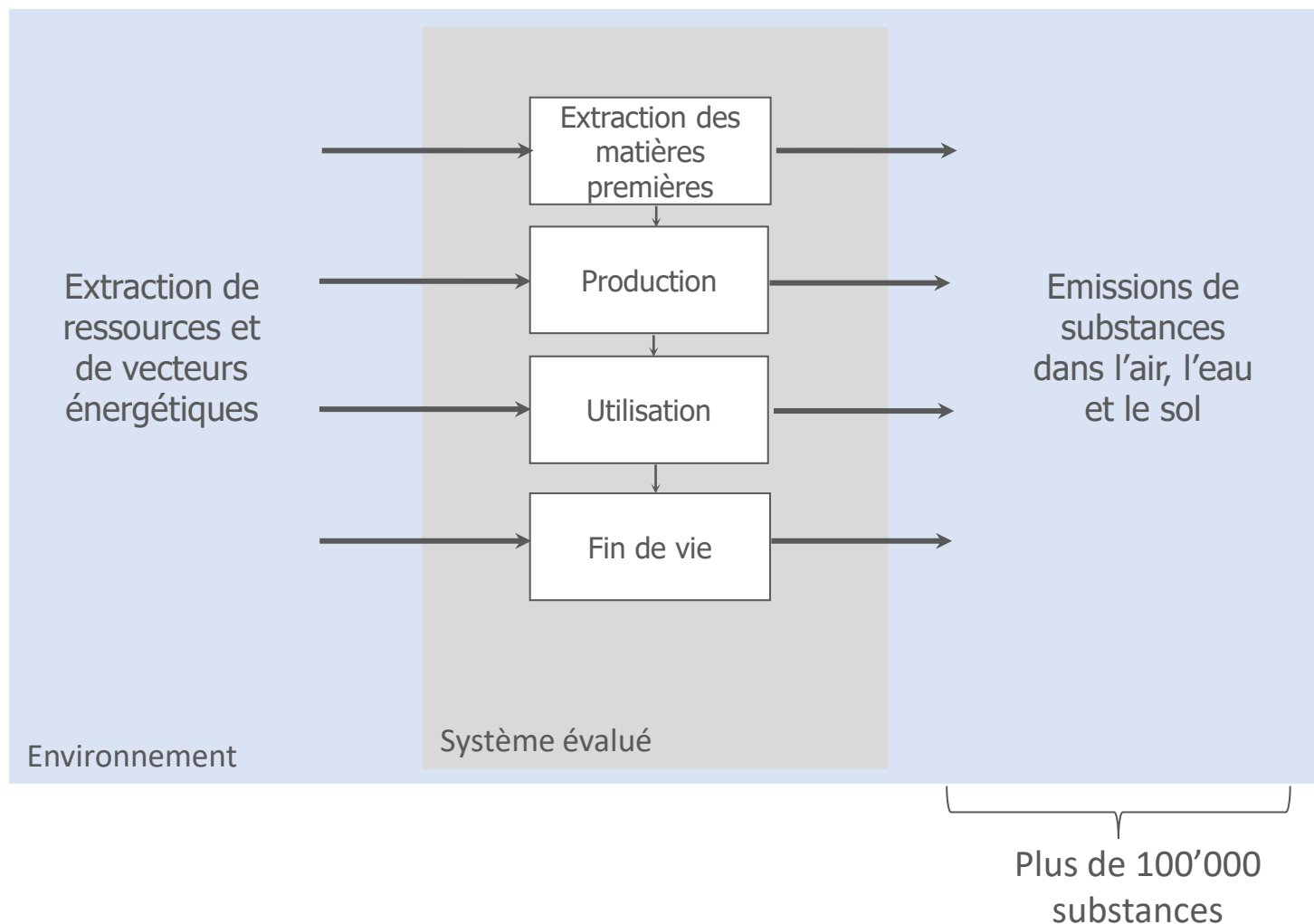
# Analyse du cycle de vie (ACV)

Modélisation: cadre normatif EN 15 804 et suivantes



# Analyse du cycle de vie (ACV)

## Calcul de l'inventaire

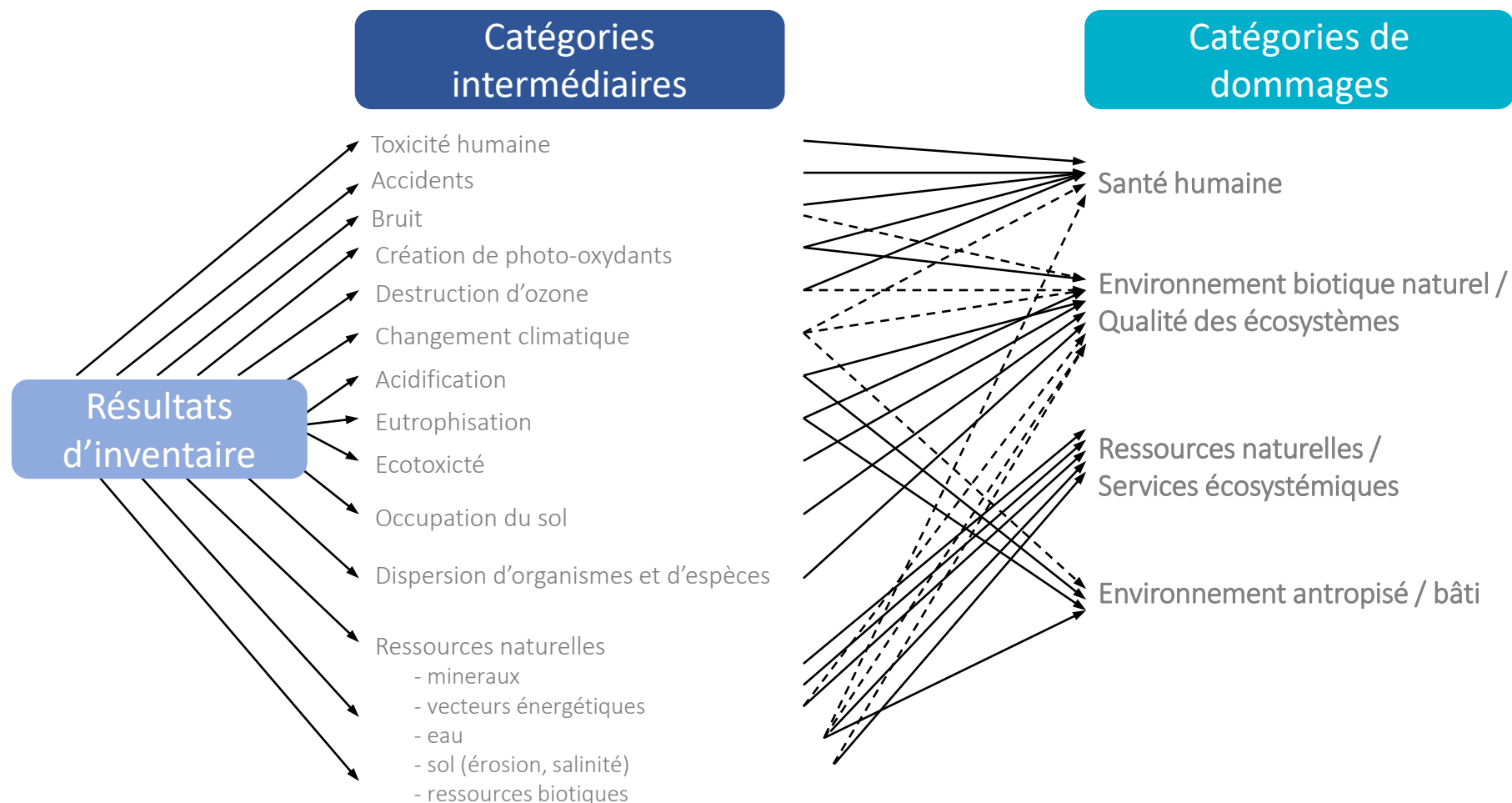


# Analyse du cycle de vie (ACV)

## Calcul de l'inventaire

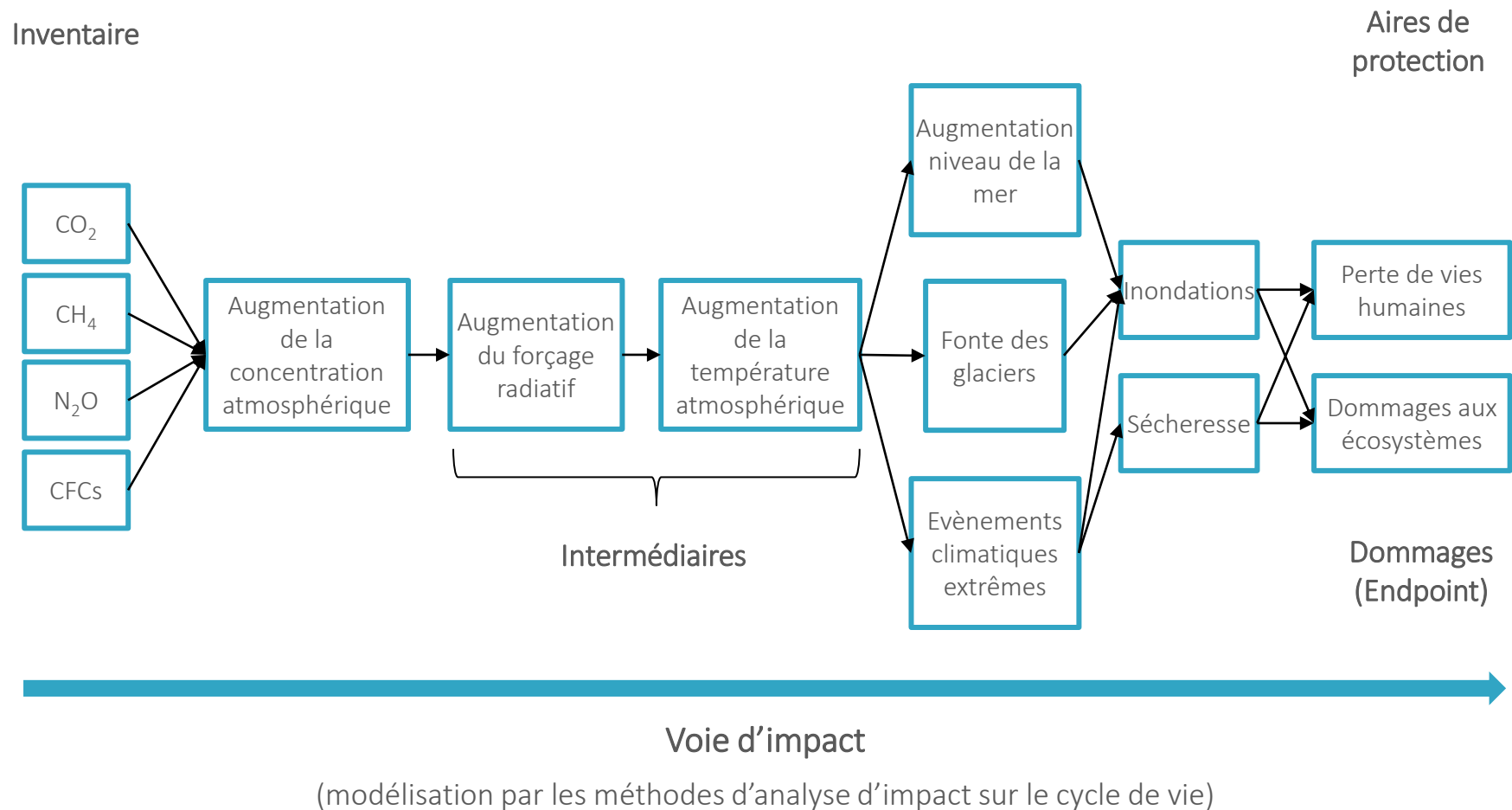
Flow	Media	Unit	Result
Beryllium	Emission to air	kg	3,76E-04
Boron	Emission to air	kg	6,64E-04
Bromine	Emission to air	kg	1,06E-03
Butadiene	Emission to air	kg	3,17E-08
Butane	Emission to air	kg	4,26E-03
Cadmium	Emission to air	kg	2,27E-03
Carbon dioxide, biogenic	Emission to air	kg	1,48E+03
Carbon dioxide, fossil	Emission to air	kg	1,67E+05
Carbon disulfide	Emission to air	kg	5,25E-10
Carbon monoxide, biogenic	Emission to air	kg	8,58E-02
Carbon monoxide, fossil	Emission to air	kg	9,11E+02
Carbonyl sulfide	Emission to air	kg	7,46E-03
Chlorine	Emission to air	kg	1,93E-02
Chloroform	Emission to air	kg	1,94E-05
Chlorosulfonic acid	Emission to air	kg	1,04E-08
Chromium	Emission to air	kg	5,63E-02
Chromium VI	Emission to air	kg	6,82E-05
Cobalt	Emission to air	kg	2,23E-03
Copper	Emission to air	kg	3,58E-01
...			

## Evaluation des impacts : principe



# Analyse du cycle de vie (ACV)

## Modélisation des impacts : changement climatique



# Analyse du cycle de vie (ACV)

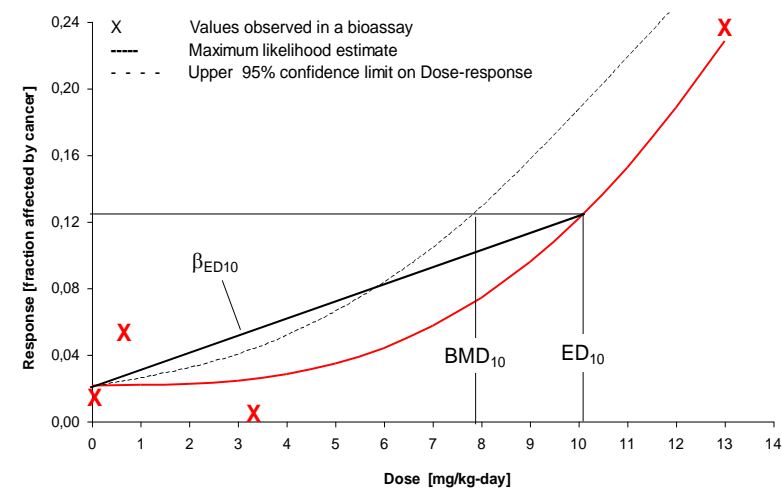
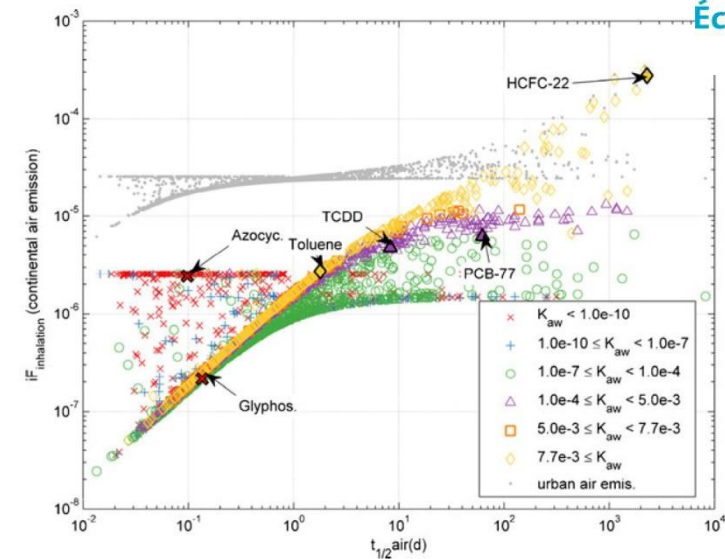
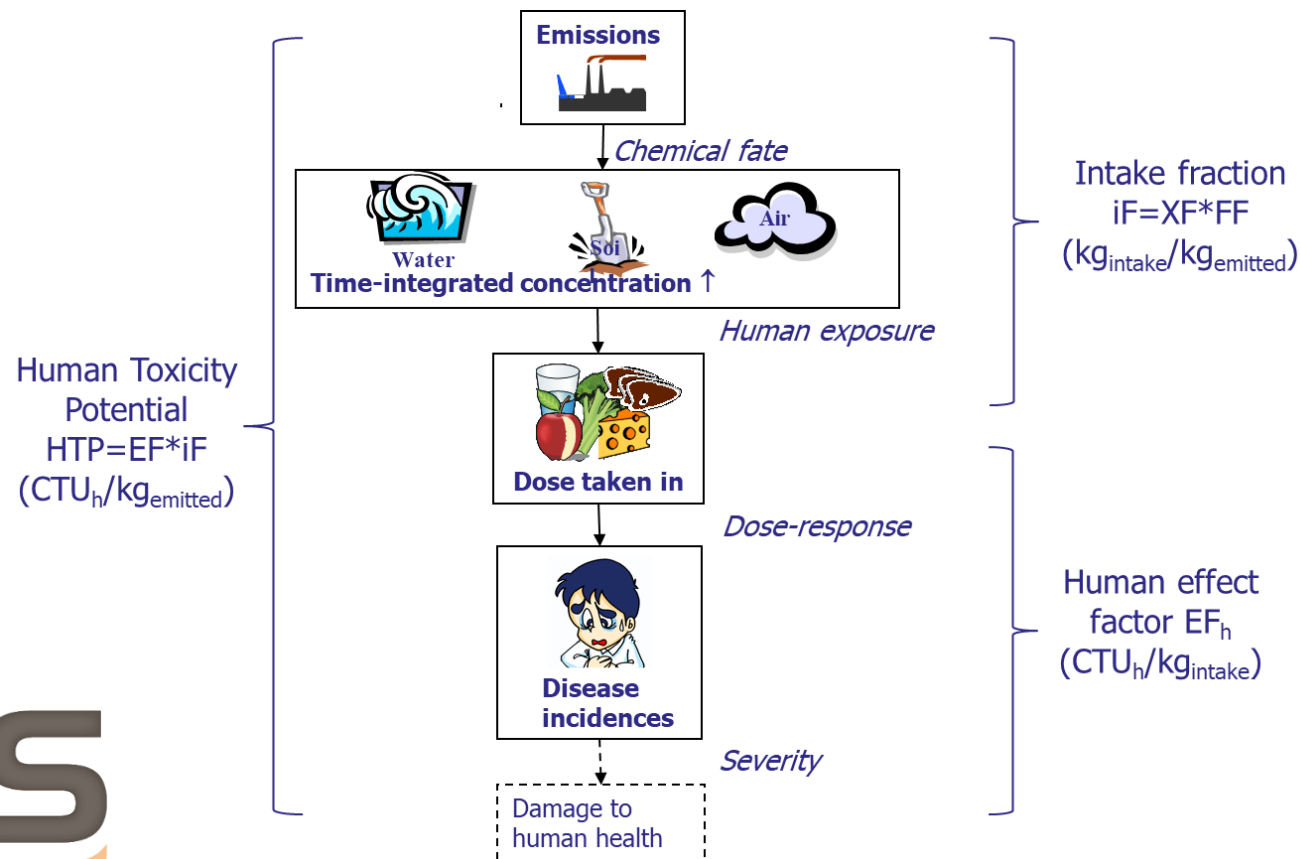
## Modélisation des impacts : changement climatique

Nom ou désignation industrielle	Formule chimique	Durée de vie (years)	Potentiel de réchauffement climatique pour un horizon de temps donné
			(kg <sub>CO2-eq</sub> /kg <sub>i</sub> ) 100-yr
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>		1
Méthane	CH <sub>4</sub>	12	25
Oxyde nitreux	N <sub>2</sub> O	114	298
CFC-11, trichlorofluoromethane	CCl <sub>3</sub> F	45	4750
CFC-12, dichlorodifluoromethane	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	100	10900
CFC-13, chlorotrifluoromethane	CCIF <sub>3</sub>	640	14400
CFC-113, trichlorotrifluoroethane	CCl <sub>2</sub> FCCIF <sub>2</sub>	85	6130
CFC-114, cryofluorane	CCIF <sub>2</sub> CCIF <sub>2</sub>	300	10000
CFC-115, chloropentafluoroethane	CCIF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1700	7370



# Analyse du cycle de vie (ACV)

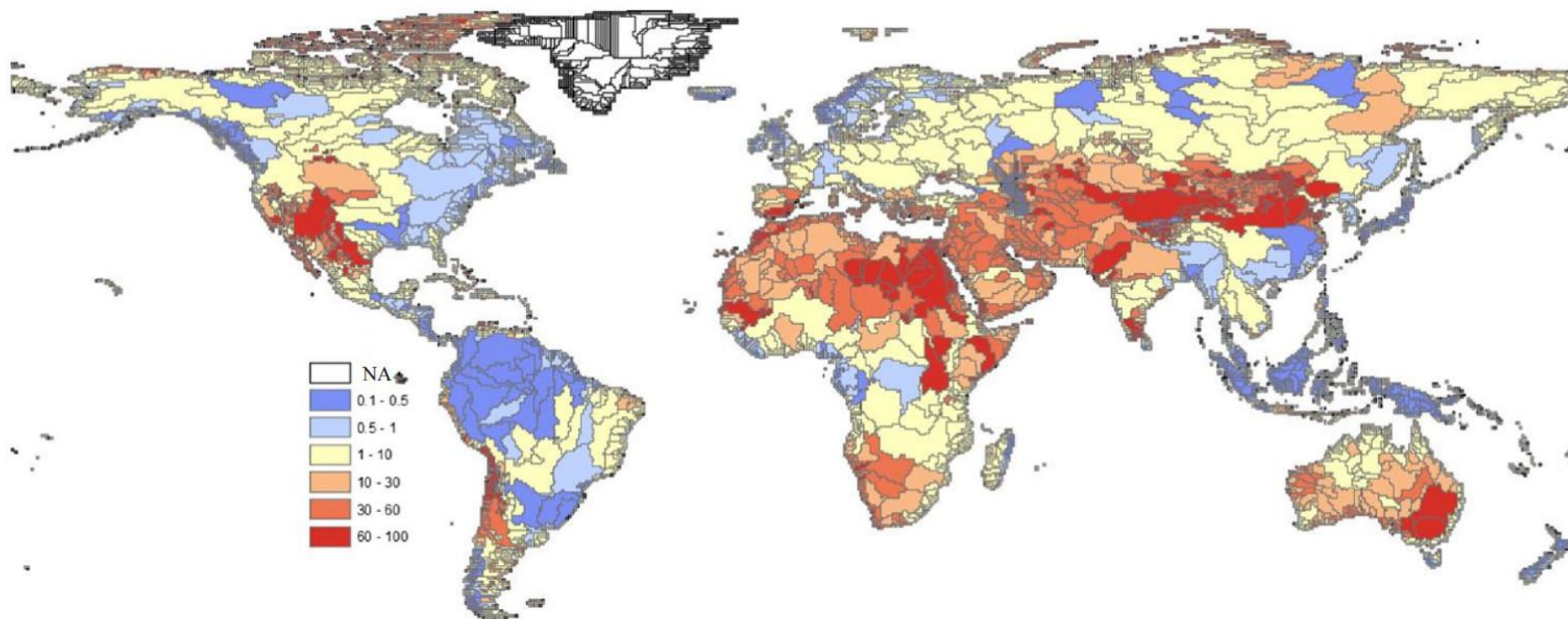
## Modélisation des impacts : santé humaine



# Analyse du cycle de vie (ACV)

## Spatialisation des impacts: eau

Boulay et al, Int J Life Cycle Assess (2018) 23:368–378.



$$CF_{AWARE} = \frac{AMD_{world\ avg}}{AMD_i}$$

$$AMD_i = \frac{(Availability - HWC - EWR)}{Area}$$

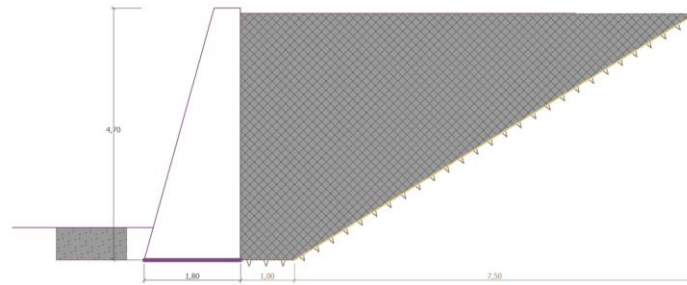
$CF_{AWARE}$ : characterisation factor

AMD: availability minus demand

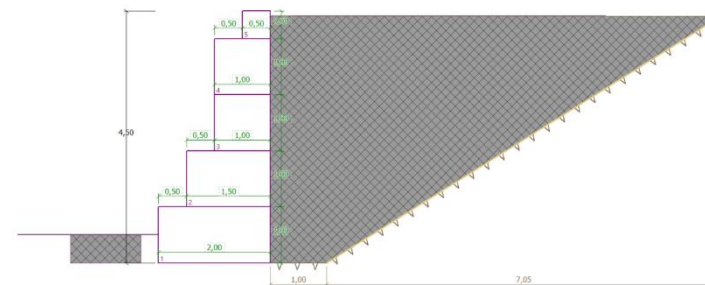
HWC: human water consumption

EWR: environmental water requirements

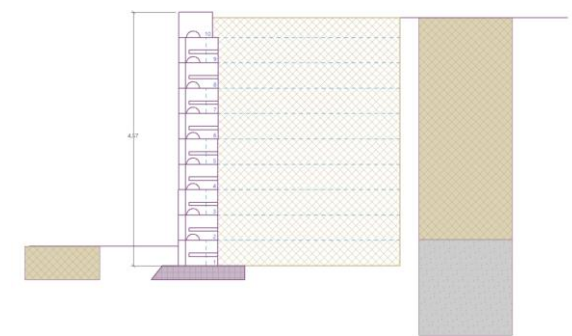
### Mur poids



### Mur en gabion



### Mur Redi-Rock



**Géométrie**

**10x4m**

**Matériaux**

Béton/acier

**Fondation**

Talon sans patin

**10x4m**

Gabion/grille galvanisée

Sans

**10x4m**

Bloc Redi-Rock/acier

Semelle de réglage

# Analyse du cycle de vie (ACV)

## Comparaison murs de soutènement

- Caractéristiques des sols

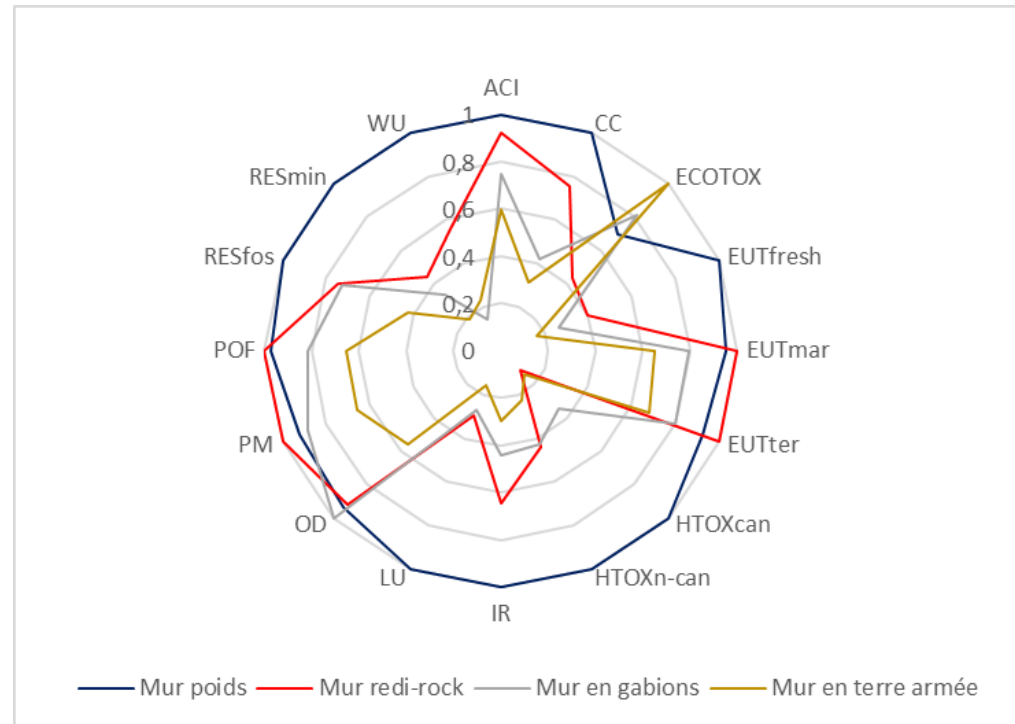
	Remblai	Sol naturel existant
Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	19	20
Etat de contraintes	Effectives	Effectives
Angle de frottement interne (°)	30	33
Cohésion (kPa)	0	5
Angle de frottement structure sol (°)	10	11
Poids volumique saturé (kN/m <sup>3</sup> )	19	20

- Distances de transport:

- acier: 100 km
- béton : 20 km
- pierre: 50 km
- déblais et remblais: 0,2 km chantier -> zone de dépôt temporaire
- remblai technique: 5 km

# Analyse du cycle de vie (ACV)

## Comparaison murs de soutènement

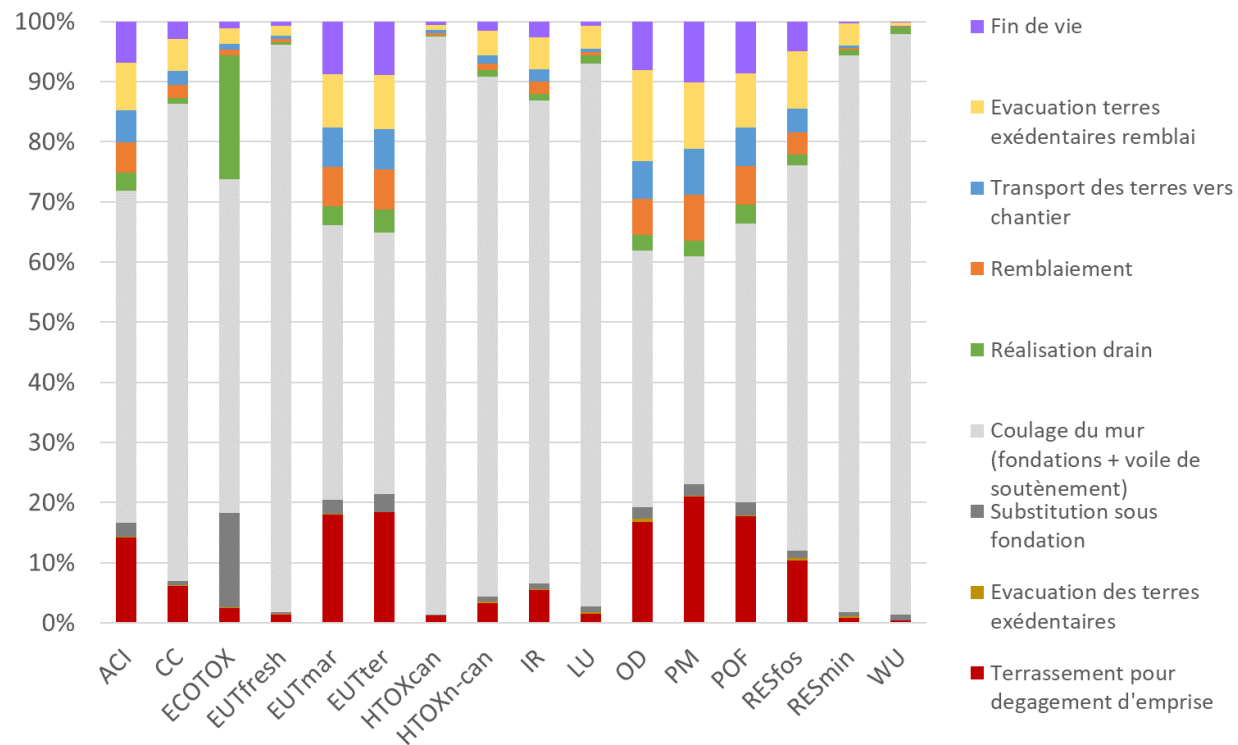


ACI : Acidification  
 CC : Changement climatique  
 ECOTOX : Ecotoxicité – eaux douces  
 EUTfresh : Eutrophisation, eaux douces  
 EUTmar : Eutrophisation, marine  
 EUTter : Eutrophisation, terrestre  
 HTOXcan : Toxicité humaine, cancer  
 HTOXn-can : Toxicité humaine, non-cancer  
 IR : Radiation ionisante  
 LU : Utilisation du sol  
 OD : Appauvrissement de la couche d’ozone  
 PM : Particules  
 POF : Formation d’ozone photochimique  
 RESfos : Utilisation de ressources, fossiles  
 RESmin : Utilisation de ressources, minéraux et métaux  
 WU : Utilisation d’eau

→ **Mur poids plus impactant pour une majorité de catégories (béton et acier)**

# Analyse du cycle de vie (ACV)

## Comparaison murs de soutènement: focus mur poids



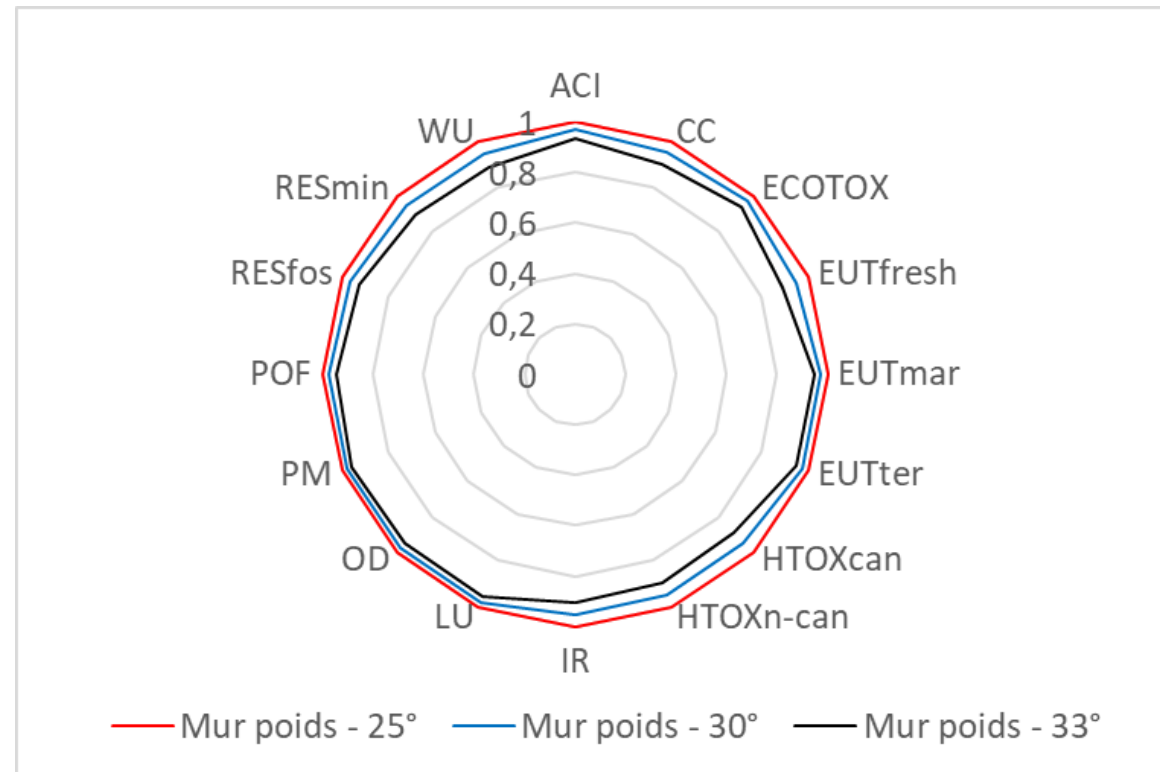
- ACI : Acidification
- CC : Changement climatique
- ECOTOX : Ecotoxicité – eaux douces
- EUTfresh : Eutrophisation, eaux douces
- EUTmar : Eutrophisation, marine
- EUTter : Eutrophisation, terrestre
- HTOXcan : Toxicité humaine, cancer
- HTOXn-can : Toxicité humaine, non-cancer
- IR : Radiation ionisante
- LU : Utilisation du sol
- OD : Appauvrissement de la couche d’ozone
- PM : Particules
- POF : Formation d’ozone photochimique
- RESfos : Utilisation de ressources, fossiles
- RESmin : Utilisation de ressources, minéraux et métaux
- WU : Utilisation d’eau

→ Mur poids plus impactant pour une majorité de catégories (béton et acier)



# Analyse du cycle de vie (ACV)

## Comparaison murs de soutènement: focus mur poids



→ Analyse de sensibilité sur angle de frottement interne (remblai)

# En conclusion...

L'ACV quantifie les impacts environnementaux potentiels causés par un produit, un service ou une décision tout au long de son cycle de vie

- L'ACV relie **l'impact environnemental potentiel** à la **fonction** d'un système ou d'un service
- L'ACV fait un bilan quantifié **sur tout le cycle de vie**, du berceau à la tombe, de l'extraction des matières premières à l'élimination
- L'ACV évalue des **effets multiples**: effet de serre, toxicité, ressources, etc.



# En conclusion...

L'ACV est une méthode

- d'évaluation environnemental multicritère
- d'aide à la décision
- de plus en plus utilisé sur le plan normatif (NF EN 15804 ; 15978 ; 17472) ou réglementaire (RE2020, décret n°2017-725 pour EIE... monocritère)
- dont le potentiel est encore largement à développer : spatialisation, dimension temporelle, prise en compte des avancées de la recherche en sciences de l'environnement...

# Enjeux de l'application de l'ACV

## Application aux ouvrages géotechniques

- Absence d'approche harmonisée (définition Unité Fonctionnelle, limites du système...)
- Cohérence et interopérabilité des outils et calculateurs en cours de développement (comparabilité des variantes, lien avec les superstructures...)
- Données exhaustives et contextualisées (matériaux ciment, chaux et acier, distances de transport, engins chantier...)
- Capitalisation (données, modèles ACV, ordres de grandeur...)

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

[myriam.saade@enpc.fr](mailto:myriam.saade@enpc.fr)