

adaptée de [Bauer, 2018]

Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie

Tom BAUER

tom.bauer@ensam.eu

Tour de table

Présentations / attentes /
questions sur le module en autonomie

Lien vers le PAD :

https://pad.lamyne.org/Formation_ACV_27062023?edit# ou



Objectif de la journée

- Comprendre la démarche d'Analyse de Cycle de Vie (ACV)
- Savoir identifier les aspects environnementaux significatifs d'un produit ou d'un service
- Savoir interpréter les résultats d'une ACV
- Être capable de modéliser un produit simple

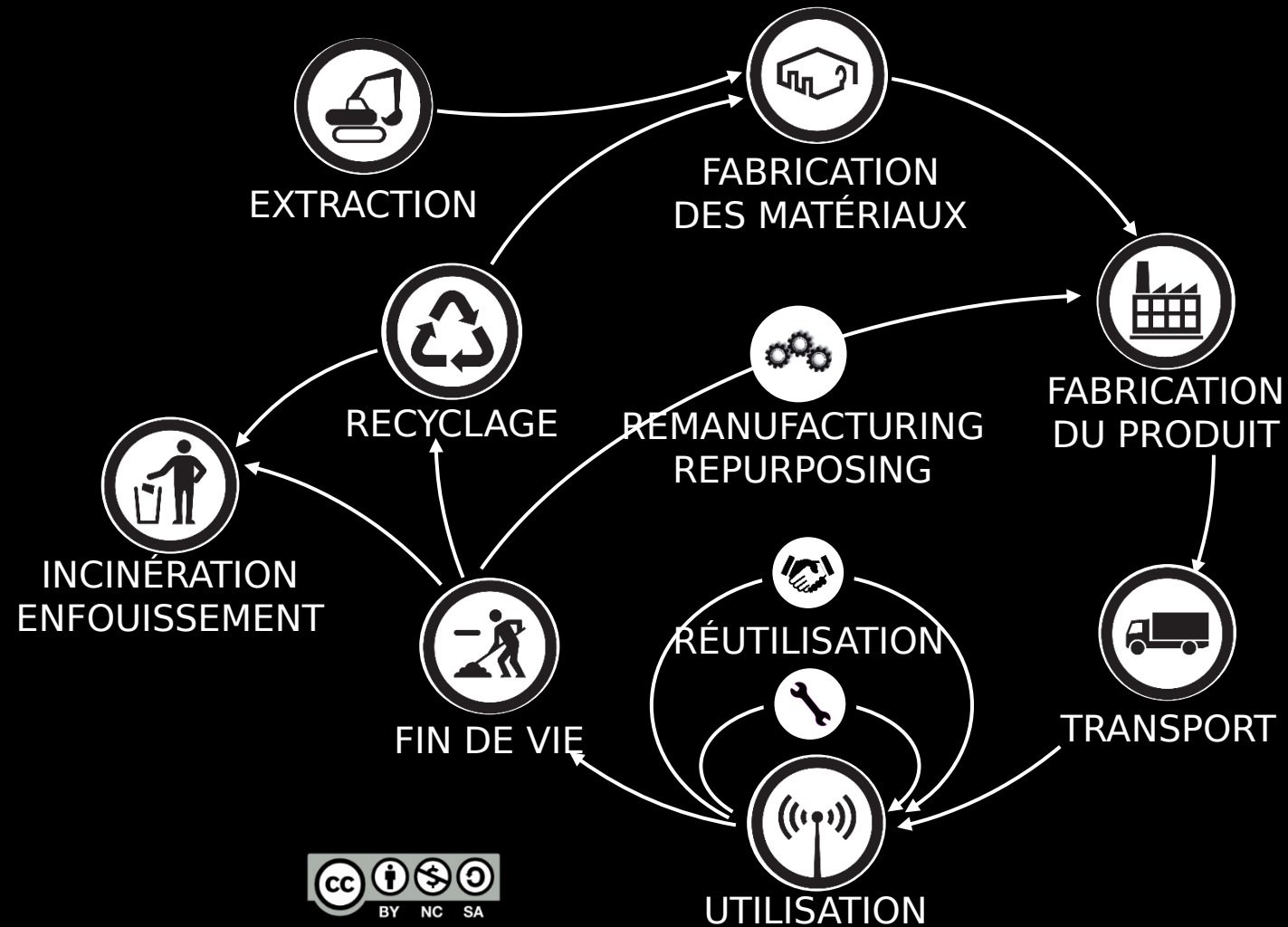
Introduction à l'ACV

- I. Objectifs et champs de l'étude**
- II. L'inventaire de cycle de vie**
- III. Évaluation des impacts**
- IV. Interprétation et esprit critique**

Introduction à l'ACV

- I. Objectifs et champs de l'étude**
- II. L'inventaire de cycle de vie**
- III. Évaluation des impacts**
- IV. Interprétation et esprit critique**

Notion de cycle de vie - quelles étapes ?



adaptée de [Bauer, 2018]

Impacts environnementaux potentiels

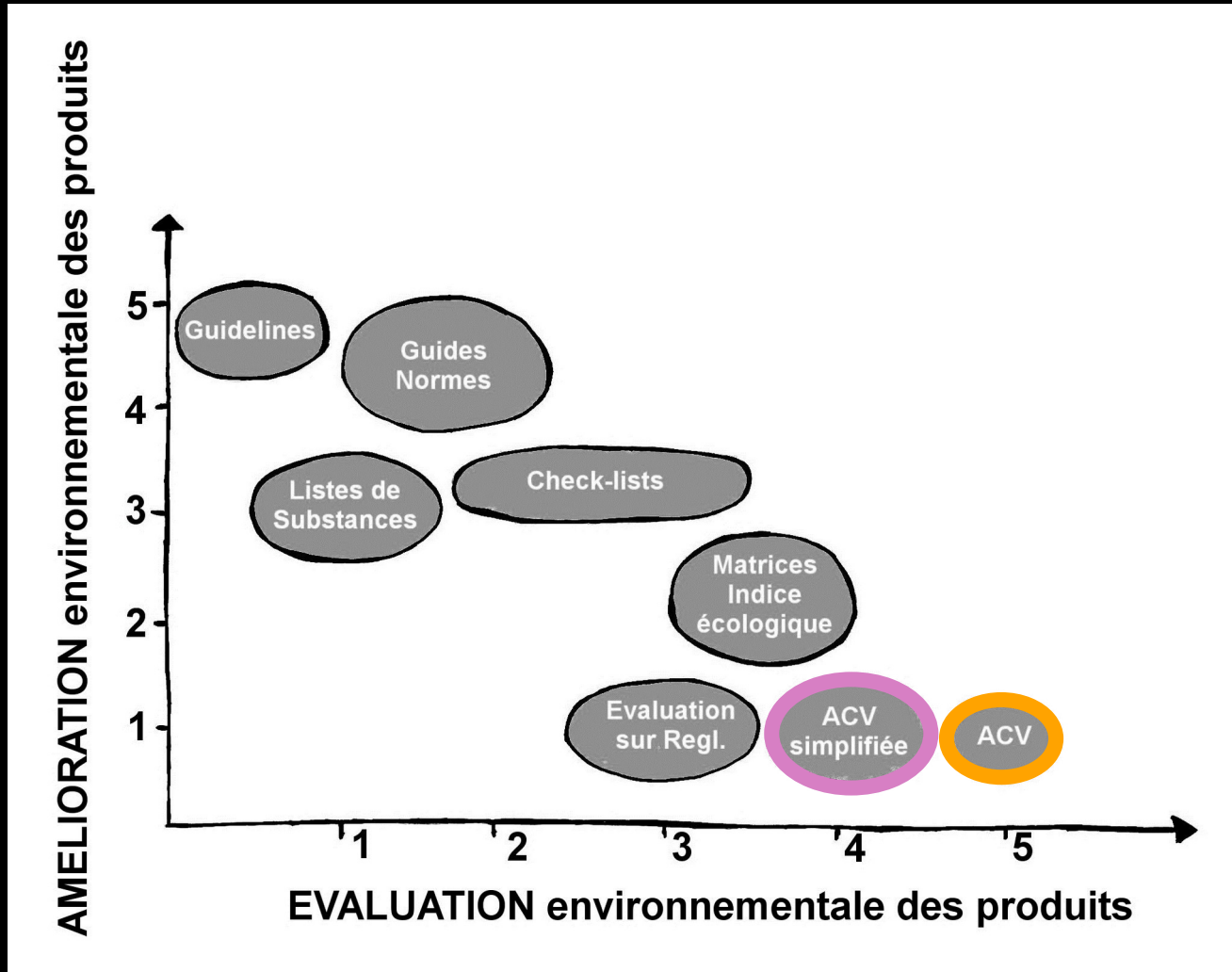
- Pollution de l'air
 - GES
 - Couche d'O₃
 - Particules fines...
- Pollution de l'Eau
 - Algues vertes
 - GES...
- Pollution du Sol
 - Métaux lourds
 - Extraction
- Biodiversité / Santé



- Réchauffement climatique
- Destruction de la couche d'ozone
- Acidification des océans
- Eutrophication
- Pollution chimique
- Impacts écologiques
- Toxicité humaine
- Épuisement des ressources
- Perte de biodiversité
- Occupation des terres

Comparabilité ?
Substituabilité ?
Regroupement ?

Des outils pour l'environnement



Base empreinte (ADEME)
Granta ecoAudit

Simapro
Gabi
OpenLCA
EIME
Brightway2

Des outils pour l'environnement - L'ACV



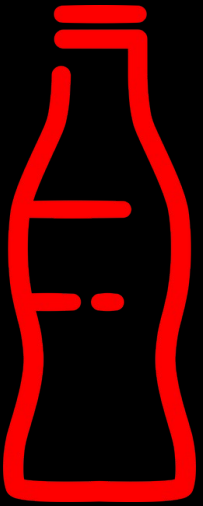
L'ACV est une "compilation et évaluation des **intrants**, des **extrants** et des **impacts environnementaux potentiels** d'un système de produits au cours de son cycle de vie".

ISO 14040-44:2006/A2:2020



OpenLCA
EIME
Brightway2

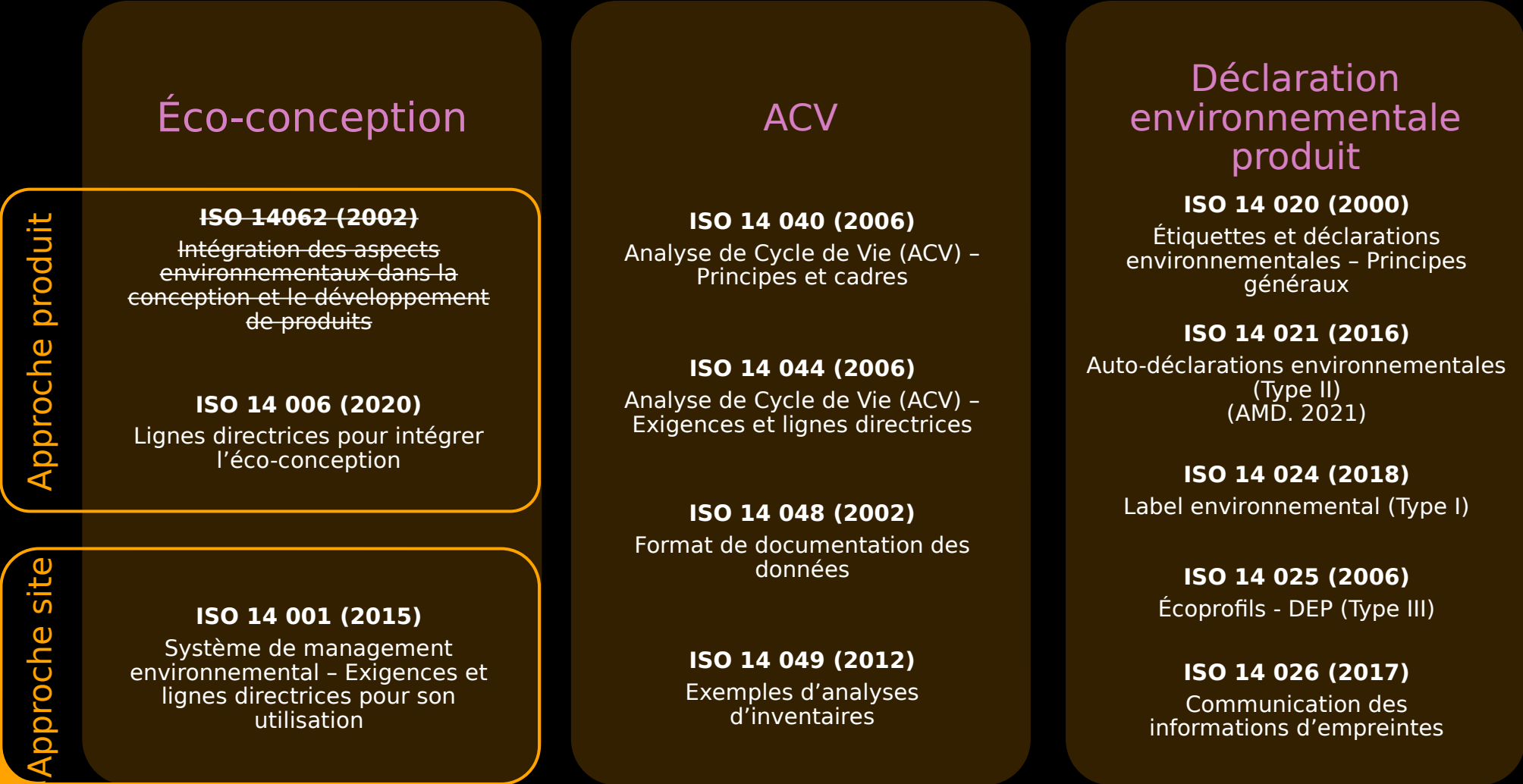
Une goutte d'histoire



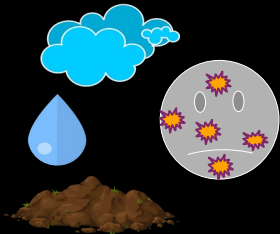
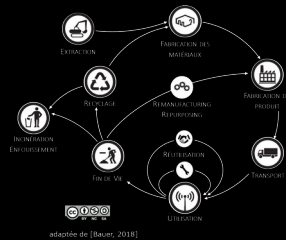
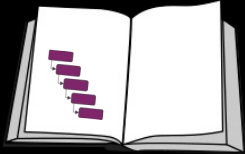
Considérée comme la première 'ACV', ou plutôt analyse de flux, l'étude a porté sur :

- La part de consommation d'énergie nécessaire à la fabrication
- La disponibilité effective des matières premières
- Les coûts engendrés (\$)
- Le type de bouteille à privilégier :
 - verre ou plastique
 - recyclable ou non
- Le lieu de fabrication

[http://www.asso-iceb.org/wp-content/uploads/2012/11/guide_bio_tech_l_energie_grise_des_materiaux_et_des_ouvrages.pdf]



Démarche



I. Objectifs et champ de l'étude

Définition des objectifs, de l'unité fonctionnelle, des frontières, des hypothèses, etc.

II. Inventaire de Cycle de Vie

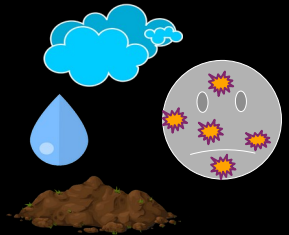
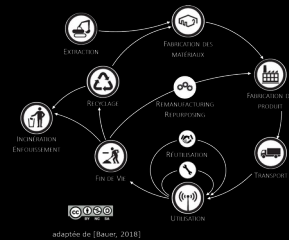
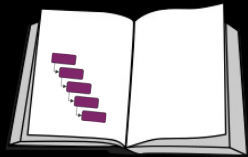
Identification et quantification des intrants et extrants du système (flux matières & énergies)

III. Évaluation des impacts

Traduction des flux élémentaires en impacts environnementaux via une méthode d'évaluation

Démarche d'une analyse de Cycle de Vie
[ISO 14040-44 : 2006]

Démarche



**I. Objectifs et
champ de l'étude**

**II. Inventaire de
Cycle de Vie**

**III. Évaluation
des impacts**

**IV.
Interprétation**

Validation des
différentes
étapes

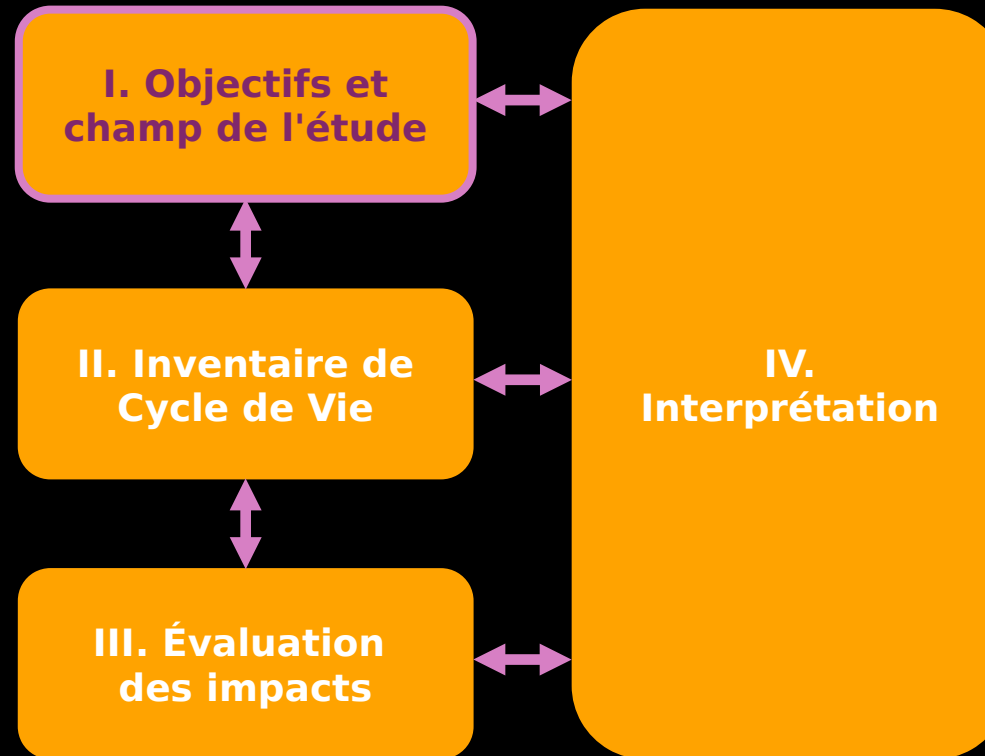
Concordance
entre les
étapes

Démarche d'une analyse de Cycle de Vie
[ISO 14040-44 : 2006]

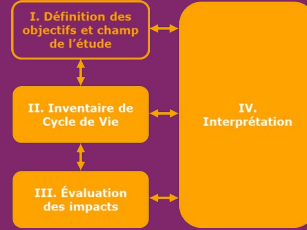
Introduction à l'ACV

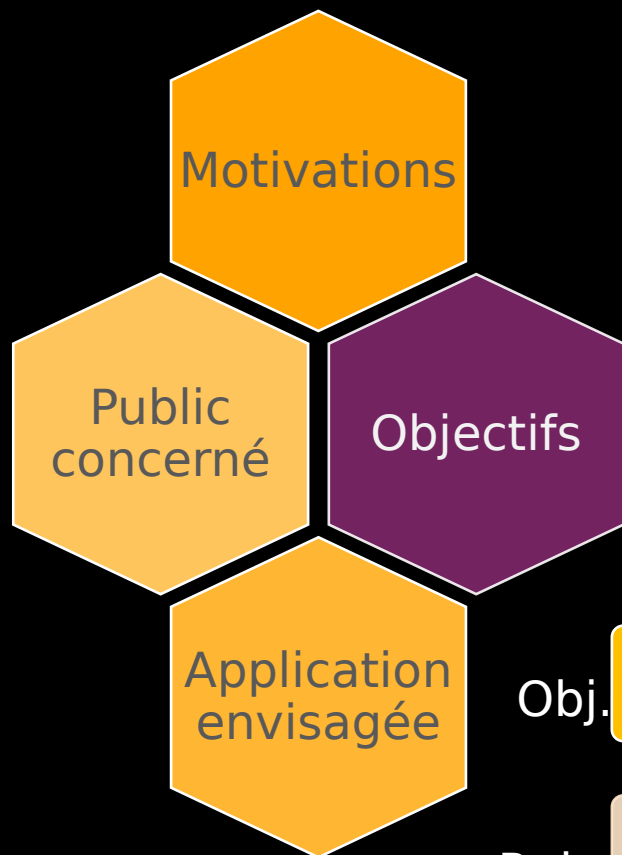
- I. Objectifs et champs de l'étude**
- II. L'inventaire de cycle de vie**
- III. Évaluation des impacts**
- IV. Interprétation et esprit critique**

Définition des objectifs, de la fonction du produit, de l'unité fonctionnelle, du champ de l'étude, des indicateurs, des hypothèses, etc.

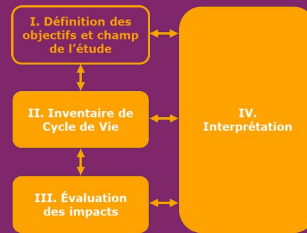


Démarche d'une analyse de Cycle de Vie
[ISO 14040-44 : 2006]

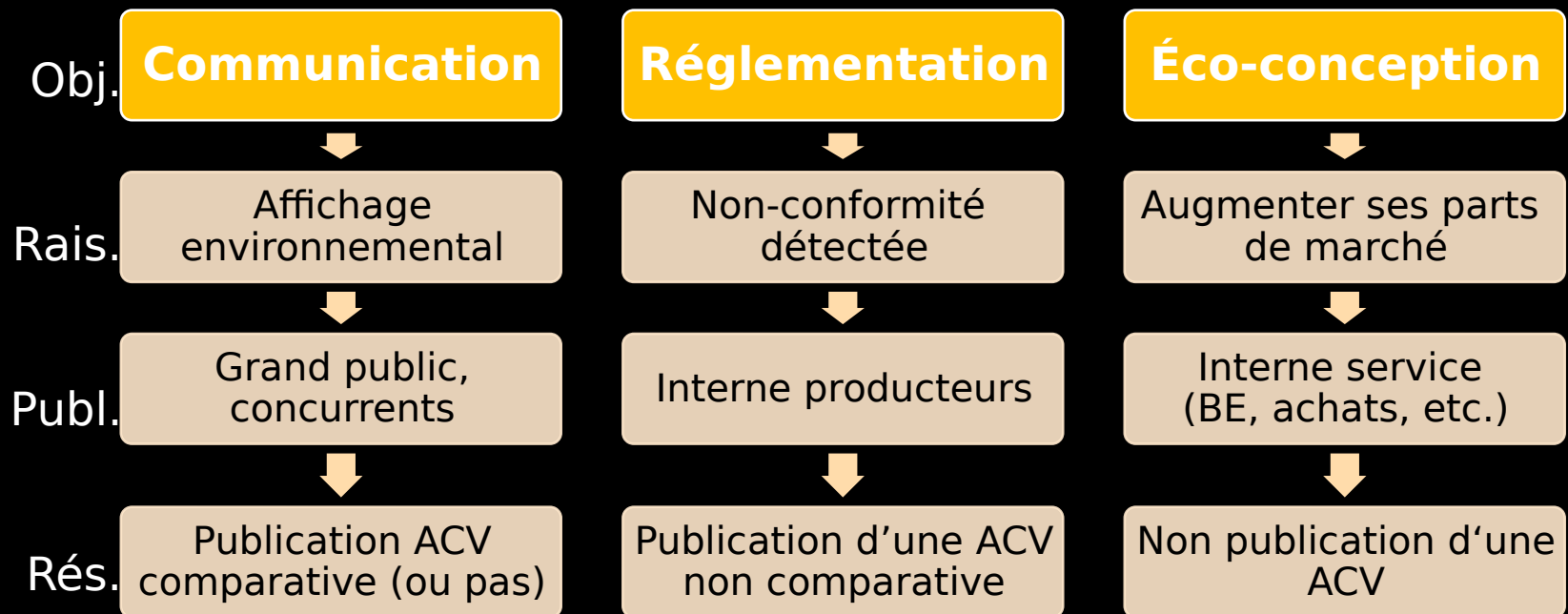




L'ACV est dite '**goal-dependant**' :
les résultats dépendent des
objectifs fixés



Application envisagée, raisons
de l'étude, destinataires de
l'étude, type de communication,
caractéristiques et fonctions du
système étudié.



Motivations pour l'ACV



Secteur public

- Éducation à l'environnement
- Aide à la décision (règlementation)
- Politique environnementale

Secteur privé

En interne

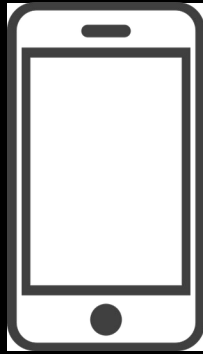
- Orienter les choix de conception
- Réduire les IE
- Identifier des avantages concurrentiels

En externe

- Avantages concurrentiels
- Déclarations environnementales
- Communication

Exemples de définitions d'objectifs

Proske et al., 2016
Life Cycle Assessment
of the Fairphone 2



Objectifs

To "identify the hotspots in the life cycle of the Fairphone 2 and derive possible improvement measures"

Motivations pour l'étude

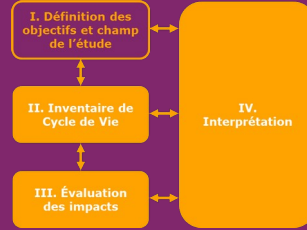
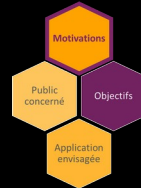
- Améliorer la V2
- Mieux préparer la V3 (conception)
- Analyser les impacts propres aux stratégies de fin de vie
- Communication

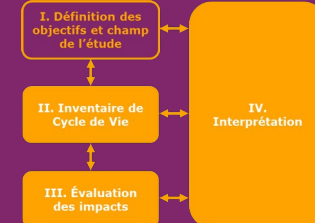
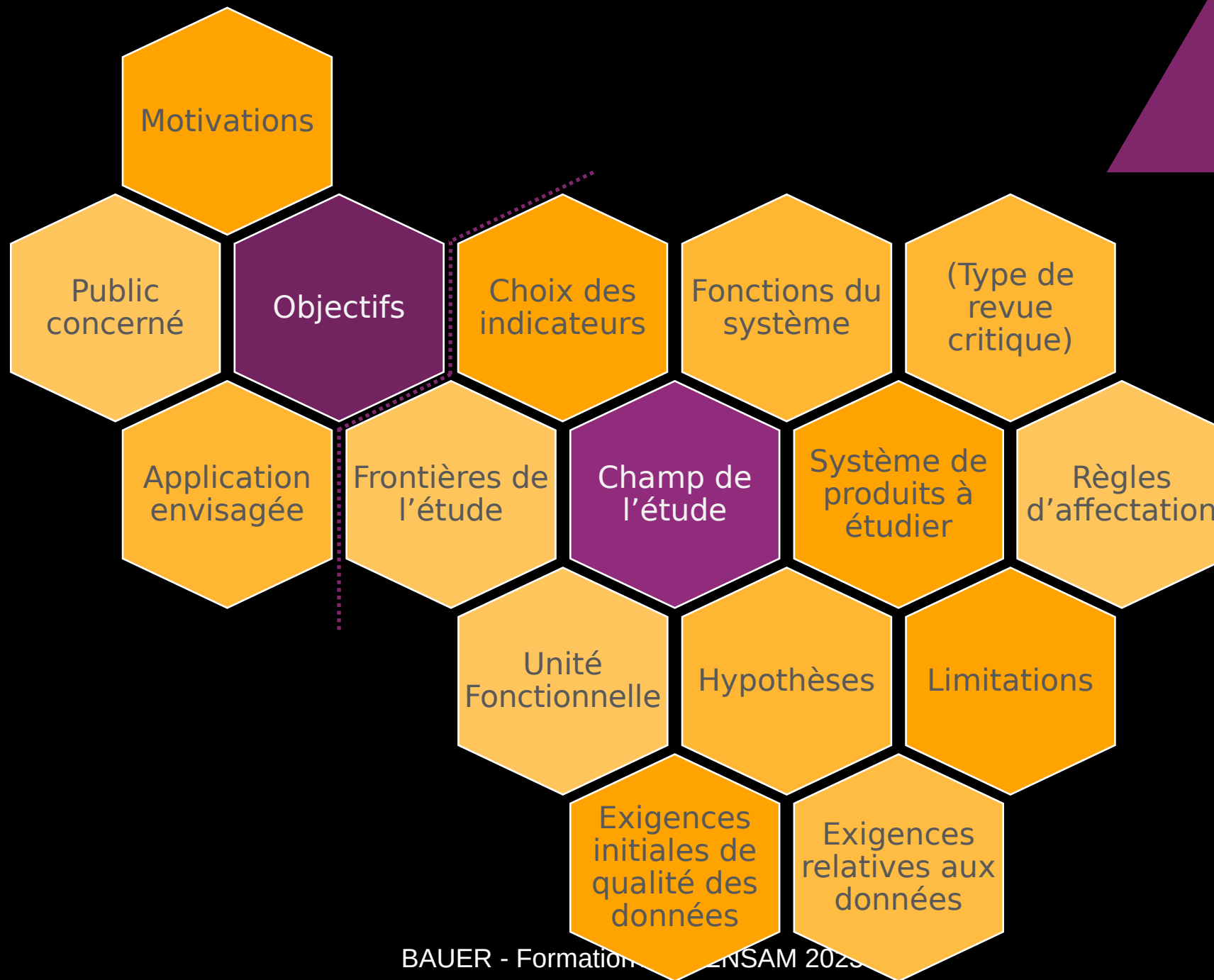
Bordage (GreenIT.fr), 2019
Empreinte environnementale du
numérique mondial – ACV simplifiée

"Évaluer l'empreinte environnementale du
numérique mondial"

Répondre aux questions :

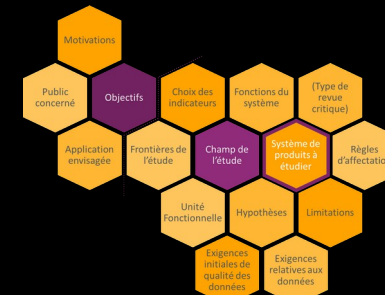
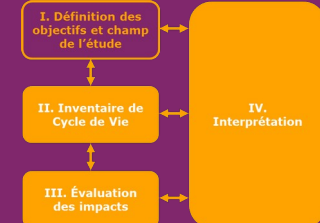
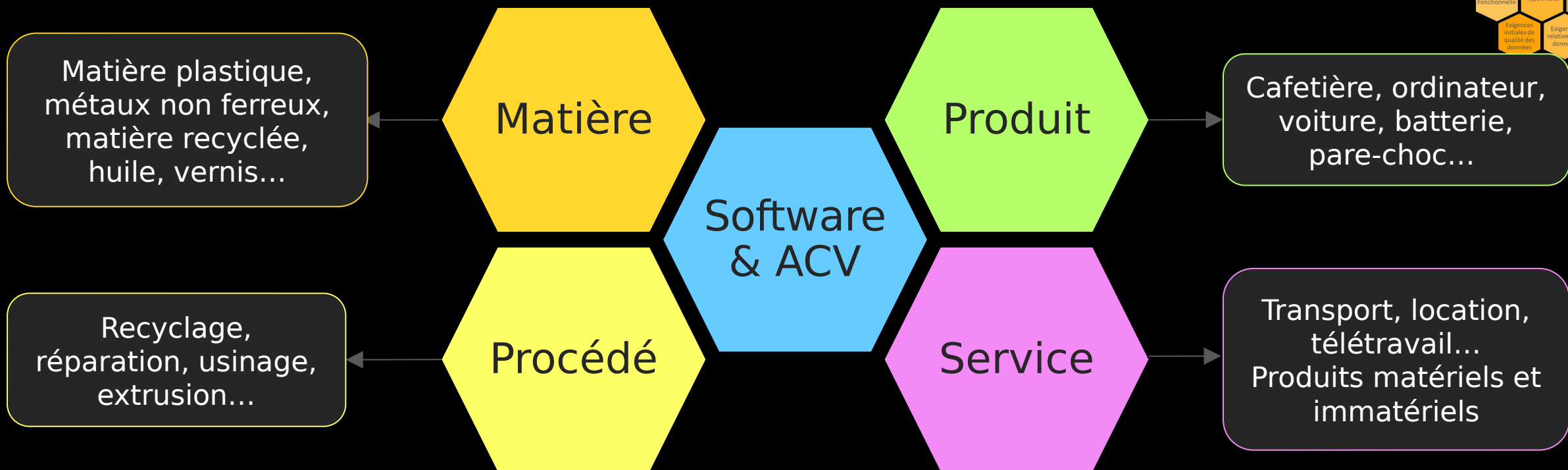
- "Quelle est précisément notre empreinte numérique ?
- De quoi est-elle constituée?
- Quelle est sa dynamique ?"



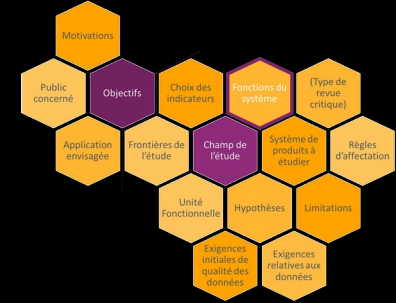
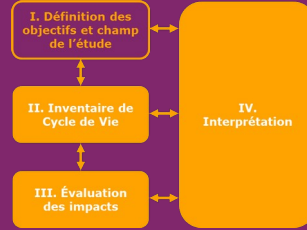
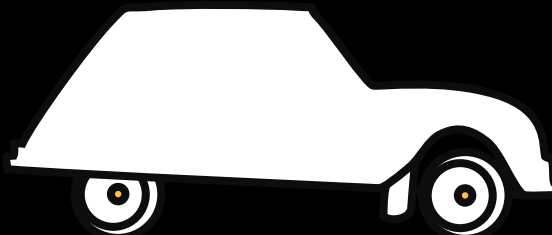
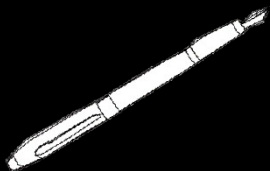
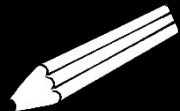
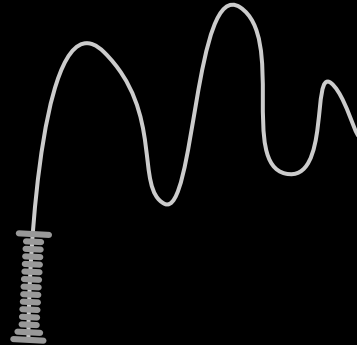
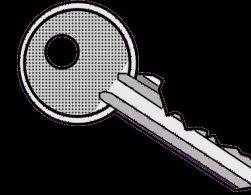


Le système à étudier

Jusqu'où aller ?



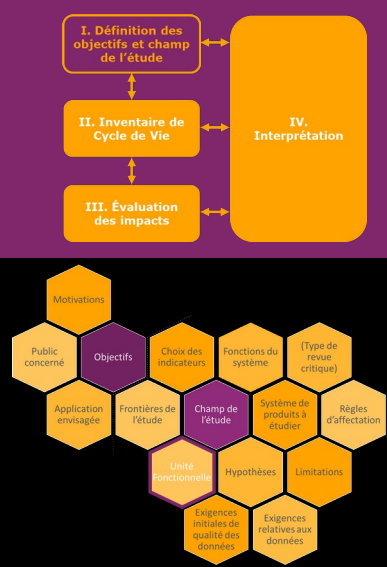
La fonction d'un produit, d'un service ou d'un système



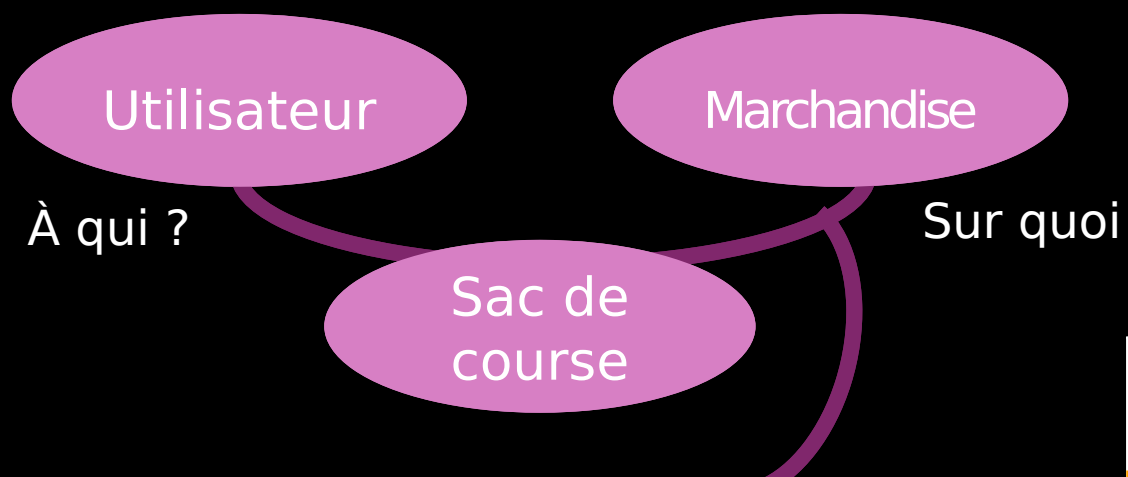
Travail de groupe sur le cas 'bouteille'

Définir :

- Fonction principale
- Fonctions secondaires
- Objectifs de l'ACV (comparaison, communication extérieure, reconception,...)



Pour info Outils pour définir les fonctions



Transporter de la marchandise

Pour quoi faire ?

Outils d'analyse fonctionnelle
[NF X 50-151]

Fonction principale	Transporter de la marchandise
Fonctions secondaires	Supporter les effets de la lumière
	Protéger la marchandise de la pluie
	Supporter une charge de 10 kg
	Contenir 20L de marchandises



L'unité fonctionnelle (UF)

Définition des normes ISO 14 040-44:2006 :

L'UF est une "performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse de cycle de vie".

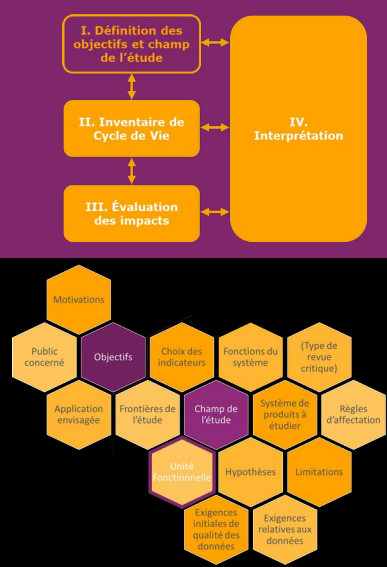
L'unité fonctionnelle :

- est définie par rapport à une **unité de service rendu** ;
- se focalise sur les fonctions principales ;
- permet de comparer les produits ou services entre eux ;
- permet de comparer les performances principales entre deux systèmes.

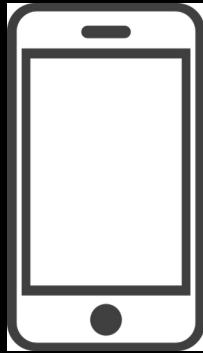


Règles de bonnes pratiques pour définir l'UF :

- Un verbe d'action
- Un niveau de performance
- Des conditions d'utilisation et/ou fonctions secondaires
- Une unité de temps



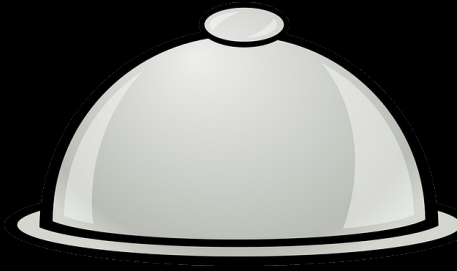
L'unité fonctionnelle - illustration



Nombre de fonctions
Durée

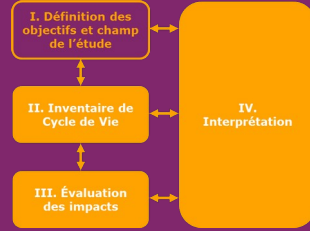
Règles de bonnes pratiques pour définir l'UF :

- Un verbe d'action
- Un niveau de performance
- Des conditions d'utilisation et/ou fonctions secondaires
- Une unité de temps



Niveau de qualité

Type d'usage(r)/
de besoin

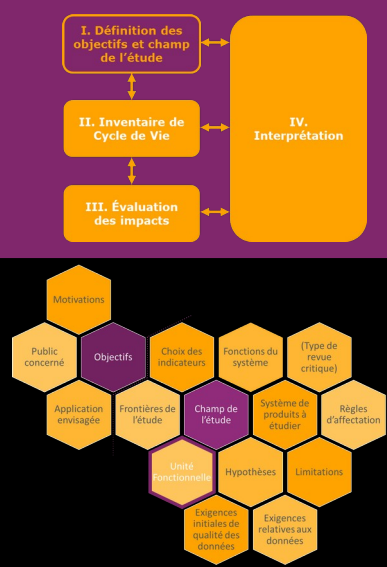


Pour quantifier l'UF : le flux de référence (FR)

Définition des normes ISO 14 040-44:2006 :

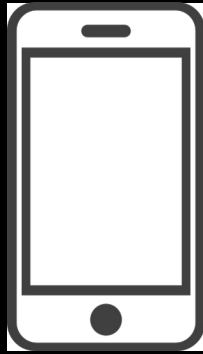
Le flux de référence (FR) est la "mesure des extrants des processus, (...), nécessaire pour remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle".

Le flux de référence permet d'ajuster la quantité de produit / service pour répondre à l'unité fonctionnelle.



Exemples d'UF et de FR

Proske et al., 2016
Life Cycle Assessment
of the Fairphone 2



Unité fonctionnelle

"an intensive smartphone use over three years"

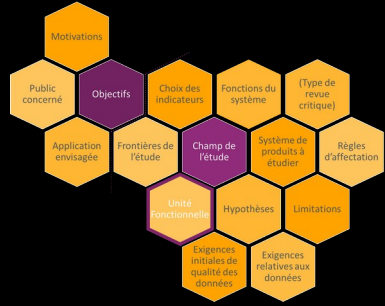
Flux de référence

"The Fairphone 2 as delivered to the customer including sales packaging and manual (without charger, which is not part of the standard delivery)"

Bordage (GreenIT.fr), 2019
Empreinte environnementale du
numérique mondial – ACV simplifiée

"utiliser le numérique mondial pendant un an".

4,1 milliards d'êtres humains utilisant
223 millions de tonnes de matériel
numérique
(un peu plus de 8 équipements par
utilisateur·trice)



[Proske et al. 2016 -
https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2016/11/Fairphone_2_LCA_Final_20161122.pdf]

[Frédéric Bordage 2019 -
https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/10/2019-10-GREENIT-etude_EENM-rapport-accessible.VF_.pdf]

Exemples d'UF et de FR



Transporter 20L de marchandises 2 fois par semaine
dans un contenant **réutilisable, imperméable, résistant aux UV,...**
pendant **un an**

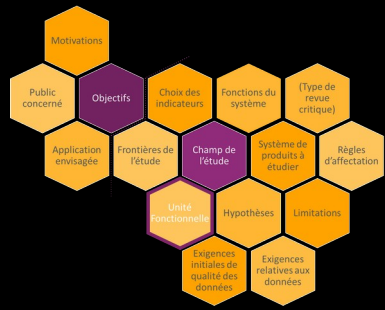
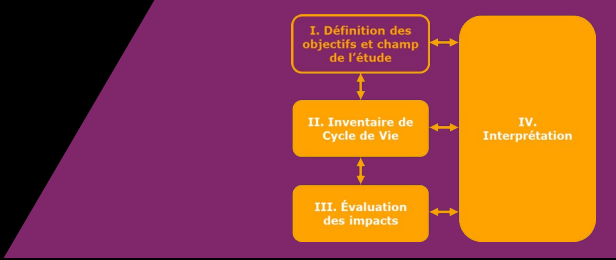


Transporter 5L de marchandises 2 fois par semaine
dans un contenant **en plastique non-biodégradable, étirable, résistant aux UV,...**
pendant **un an**



Règles de bonnes pratiques pour définir l'UF :

- Un **verbe d'action**
- Un **niveau de performance**
- Des **conditions d'utilisation** et/ou fonctions secondaires
- Une **unité de temps**



Exemples d'UF et de FR



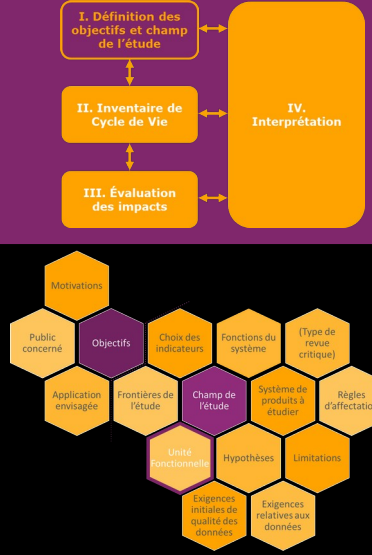
Variables influençant l'unité fonctionnelle :

- Quels sont les impacts qui seront mesurés ?
- Le sac à usage unique est-il réutilisé ?
- Où le sac est-il jeté ?
- Combien de fois le sac est-il utilisé durant sa durée de vie ?
- Comment comparer la capacité des sacs ?
- Pour une ACV comparative, quelles sont les meilleurs conditions pour l'UF ?

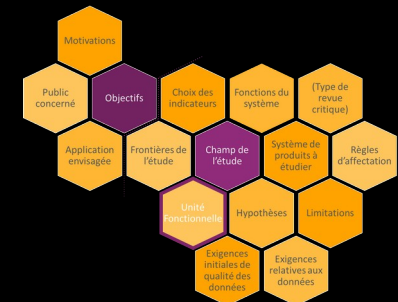
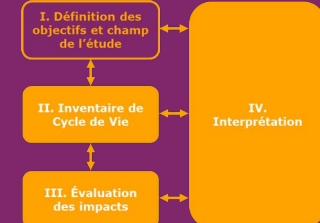


Règles de bonnes pratiques pour définir l'UF :

- Un **verbe d'action**
- Un **niveau de performance**
- Des **conditions d'utilisation** et/ou fonctions secondaires
- Une **unité de temps**



Pour info Exemples d'UF et de FR - Comparaisons



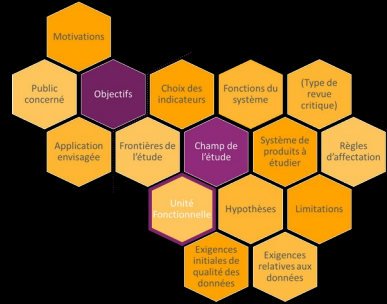
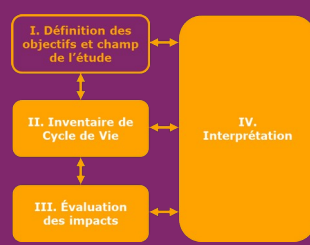
Produit	UF	Flux de référence
Cabas de 20L réutilisable avec une durée de vie de 6 mois	Transporter 20L de marchandises	2 cabas de 20L
Sac de 5L en Polyéthylène (PE) à usage unique	2 fois par semaine pendant 1 an	$4 \times 2 \times 52 = 416$ sacs PE à usage unique

[C. Charbuillet]

Travail de groupe sur le cas 'bouteille'

Définir :

- Fonction principale
- Fonctions secondaires
- Objectifs
- Unité fonctionnelle
- Flux de référence



Pourquoi parler de frontières ?

Gate to Gate

Impacts de la fabrication

Cradle to Gate

Voitures - du puit à la roue

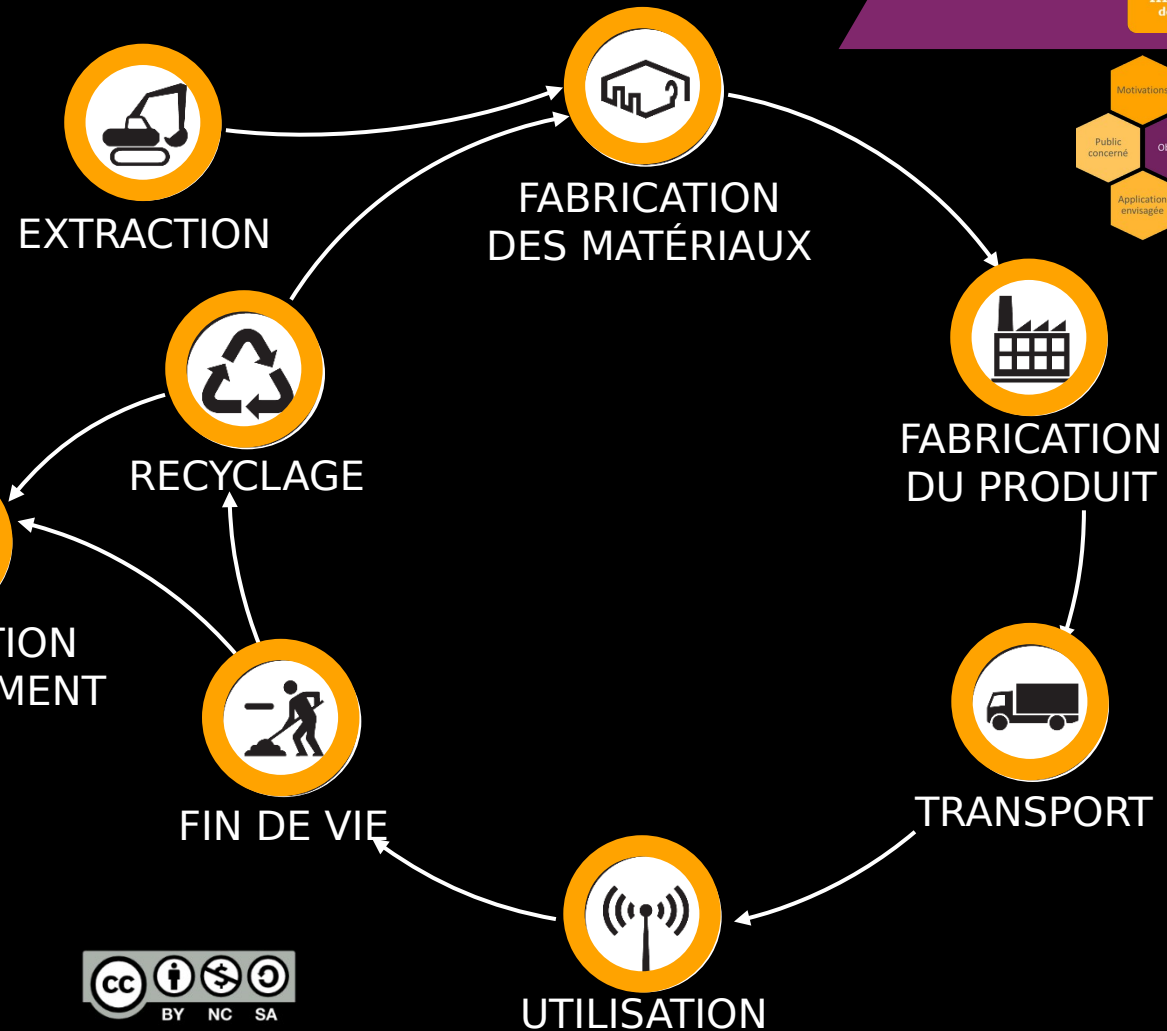
Cradle to Grave

Cycle de vie global

Cradle to Cradle

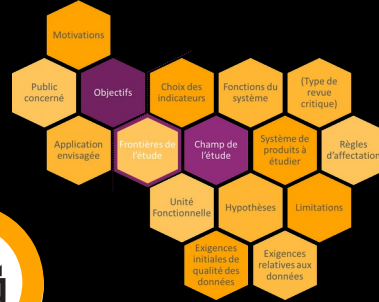
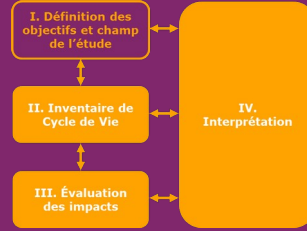
Bien définir les frontières

- Préciser les processus élémentaires à inclure dans le système
- Préciser les exclusions
- Similaires pour être comparables



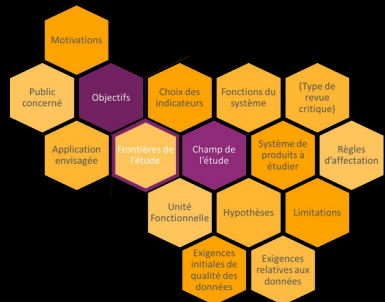
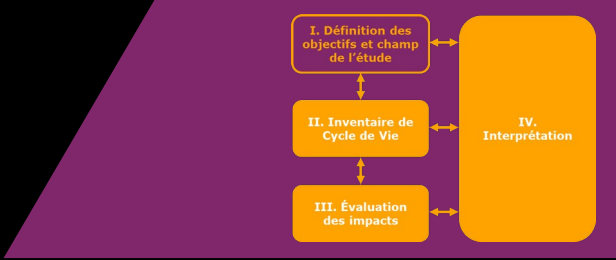
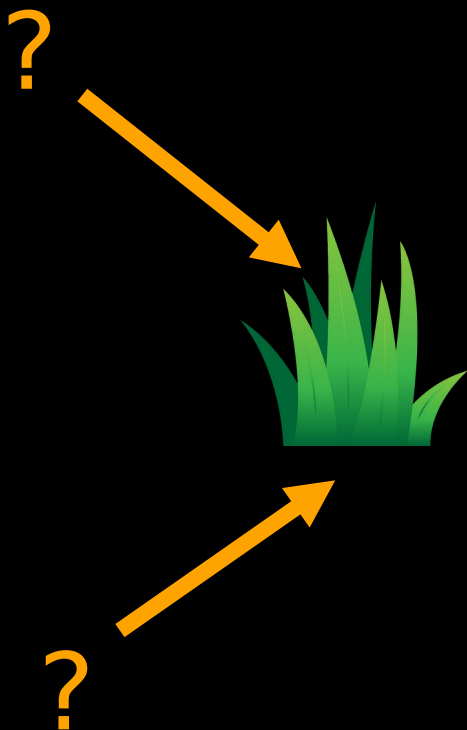
adaptée de [Bauer, 2018]

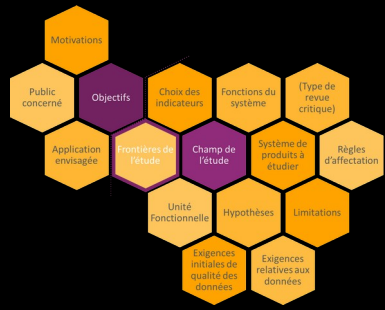
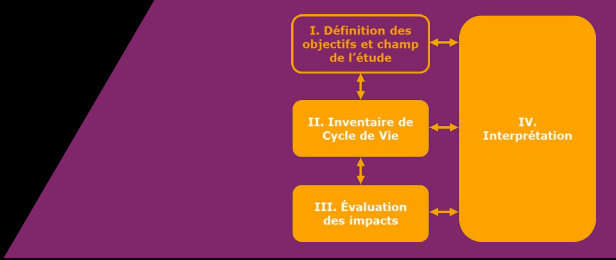
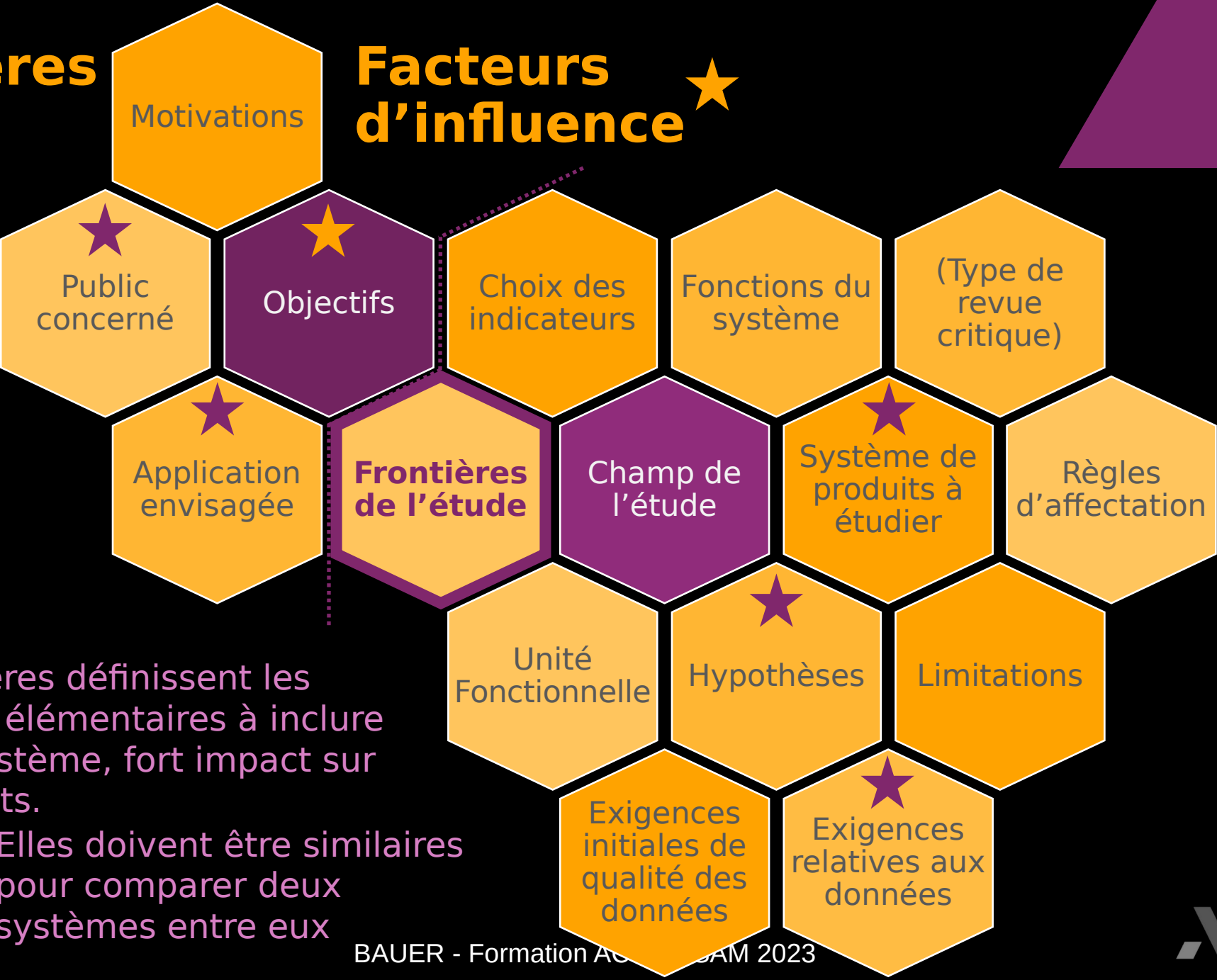
BAUER - Formation ACV ENSAM 2023



Pourquoi parler de frontières ?

Objectifs de l'étude
Négligeabilité des impacts rapportés



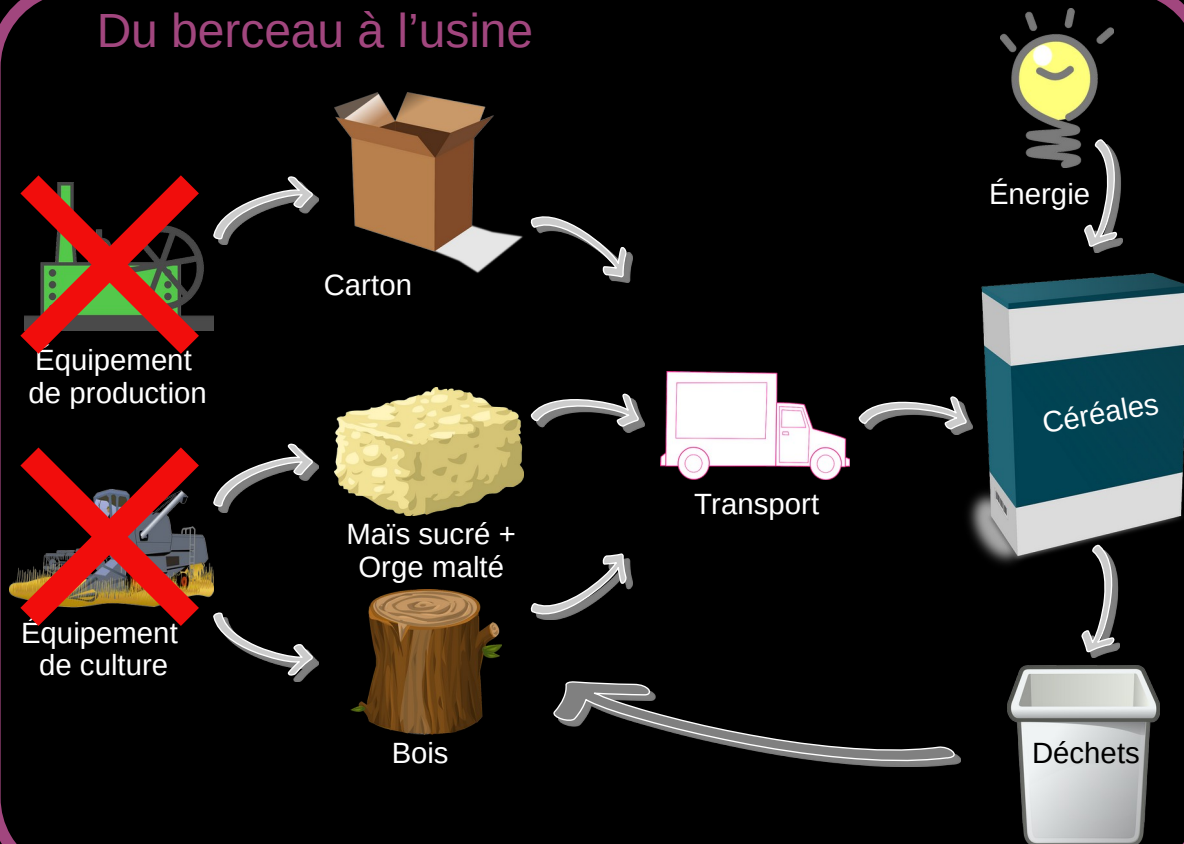


- Les frontières définissent les processus élémentaires à inclure dans le système, fort impact sur les résultats.
- Elles doivent être similaires pour comparer deux systèmes entre eux

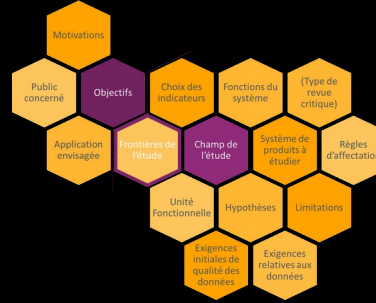
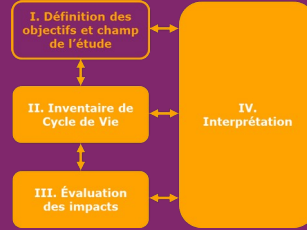
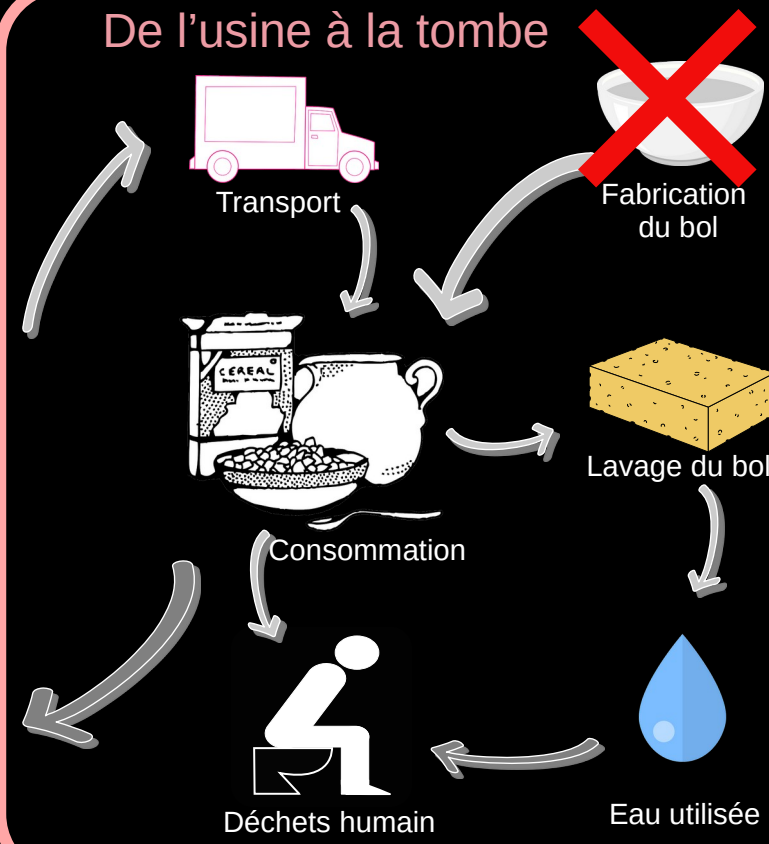
Frontières - Exemple céréales

Du berceau à la tombe

Du berceau à l'usine



De l'usine à la tombe



Frontières - Exemple dans le bâtiment

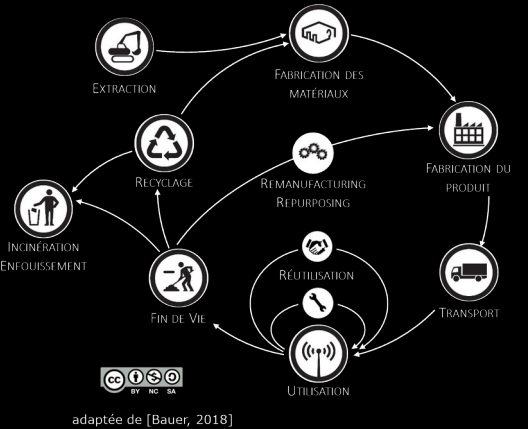
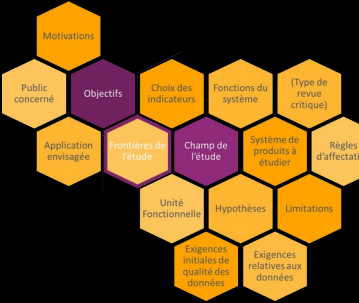
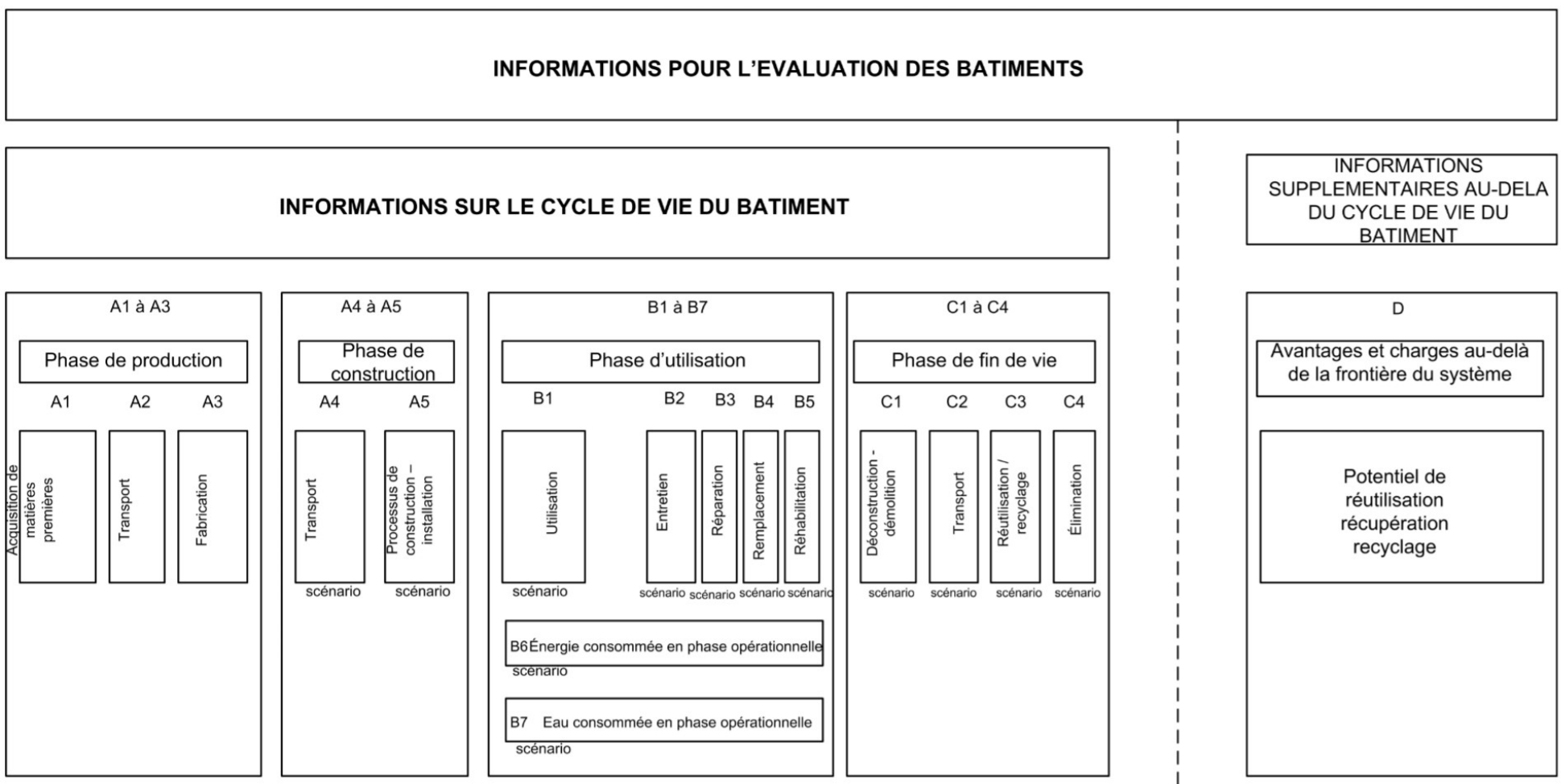
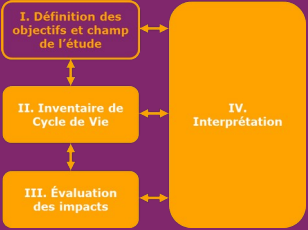
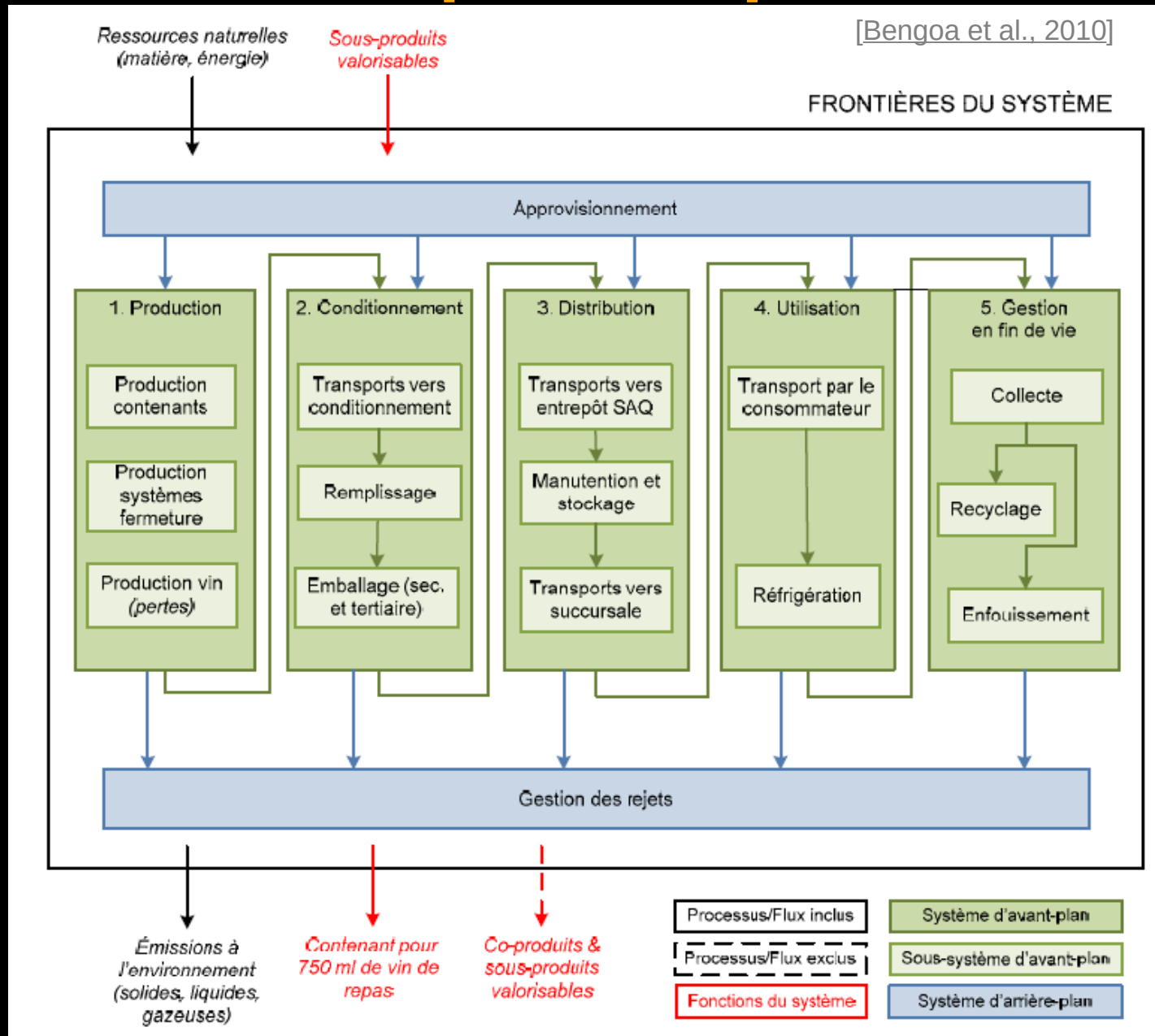


Illustration des modules d'informations pour les différentes phases de l'évaluation du bâtiment
 [Norme NF EN 15978, fig 6 p. 20] [Norme NF EN 15804 : pour les produits du bâtiment]

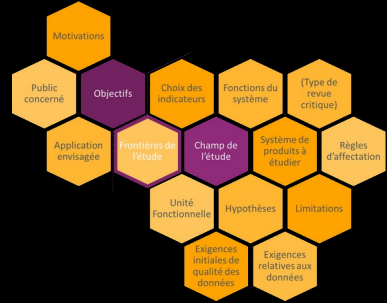
Frontières - Exemple de représentation



Analyse du cycle de vie comparative de contenants pour le vin

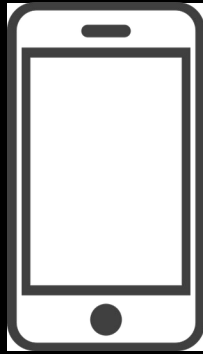
À ajouter :

- + Matières
- + Procédés
- + Quantités



Exemples de frontières

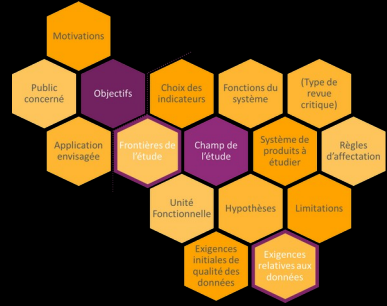
Proske et al., 2016
Life Cycle Assessment
of the Fairphone 2



Frontières

"The scope of this study covers the entire life cycle of the Fairphone 2 from raw material acquisition, manufacturing, and use to end-of-life"

Bordage (GreenIT.fr), 2019
Empreinte environnementale du
numérique mondial – ACV simplifiée



Exclusions :

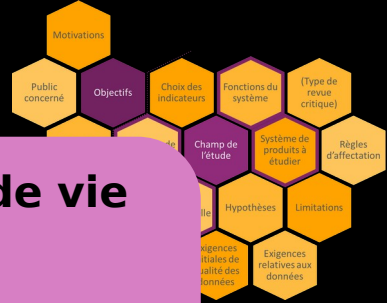
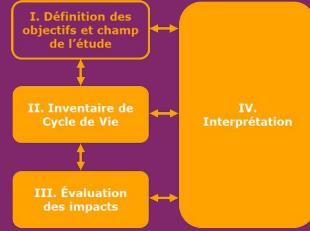
"La production des emballages de distribution des équipements.
La fabrication et la maintenance des installations et des machines de production"

Inclusions :

"la fabrication des bâtiments des centres informatiques (data center)"



Frontières - Exemple sac de marchandises



Extraction & transformation des MP

PE (corps)
(100g)
PE (anses)
(20g)
Fermeture
éclair (40g)

Film PE (5g)

Fabrication

Extrusion

Tissage

Couture

Extrusion

Transport et distribution

250 km
camion 33t

500 km
camion 33t

Utilisation

33 l d'eau
(lavage)
50g de savon

Fin de vie

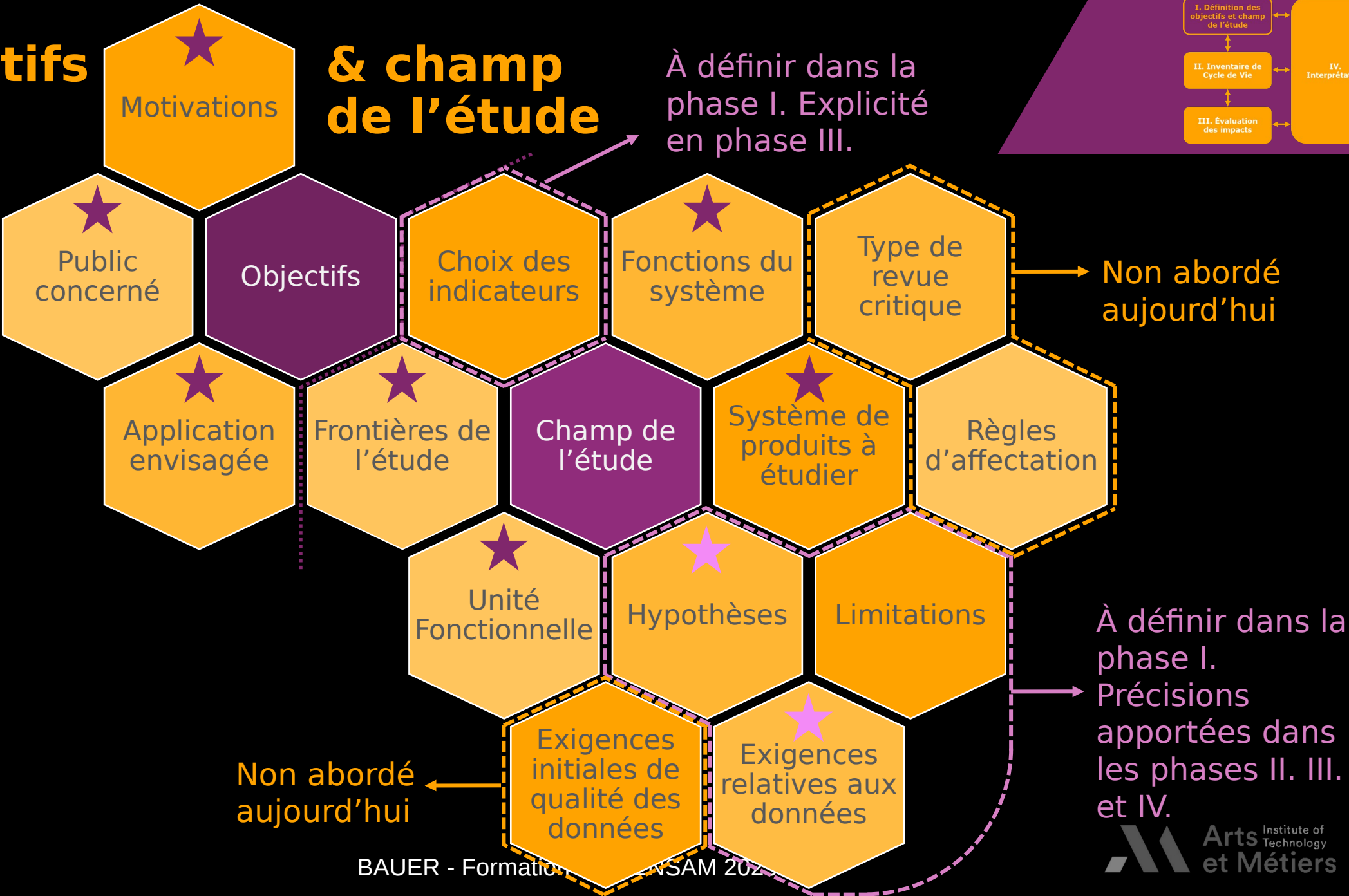
25% incinéré
25% enfoui
50% recyclé

10% incinéré
10% enfoui
80% recyclé



Objectifs

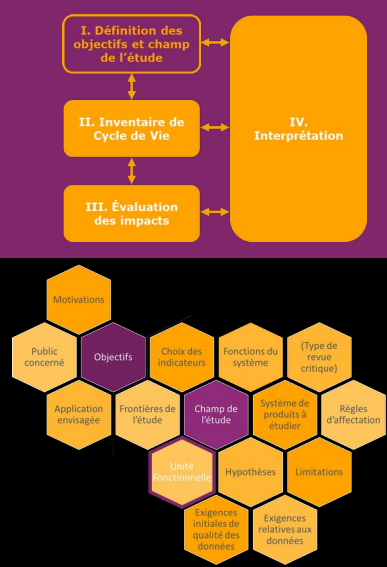
& champ de l'étude



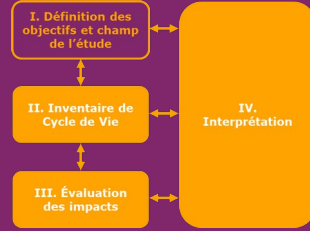
Travail de groupe sur le cas 'bouteille'

Définir :

- Fonction principale
- Fonctions secondaires
- Objectifs
- Unité fonctionnelle
- Flux de référence
- Proposez et justifiez les frontières de l'étude



Frontières - Exemple bouteille



Extraction et transformation des MP

PET (corps)
PP (bouchon)

Verre (corps)
Alliage d'aluminium + BPA (bouchon)

Fabrication

Extr. + Souffl. Injection

Soufflage

Transport et distribution

1000 km
camion 33t

300 km
camion 33t

Utilisation

33 l d'eau (pertes + lavage)
50g de savon

Fin de vie

25% incinéré
25% enfoui
50% recyclé

10% incinéré
10% enfoui
80% recyclé

+ Quantités à préciser

Livres de chevet de l'ACViste :

ILCD Handbook, 2010 (Guide méthodologique)

[<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>]

Life Cycle Assessment - Theory & Practice, 2018 (Méthodologie & exples sectoriels)

Hauschild, Rosenbaum & Olsen
[<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-56475-3>]

Introduction à l'ACV

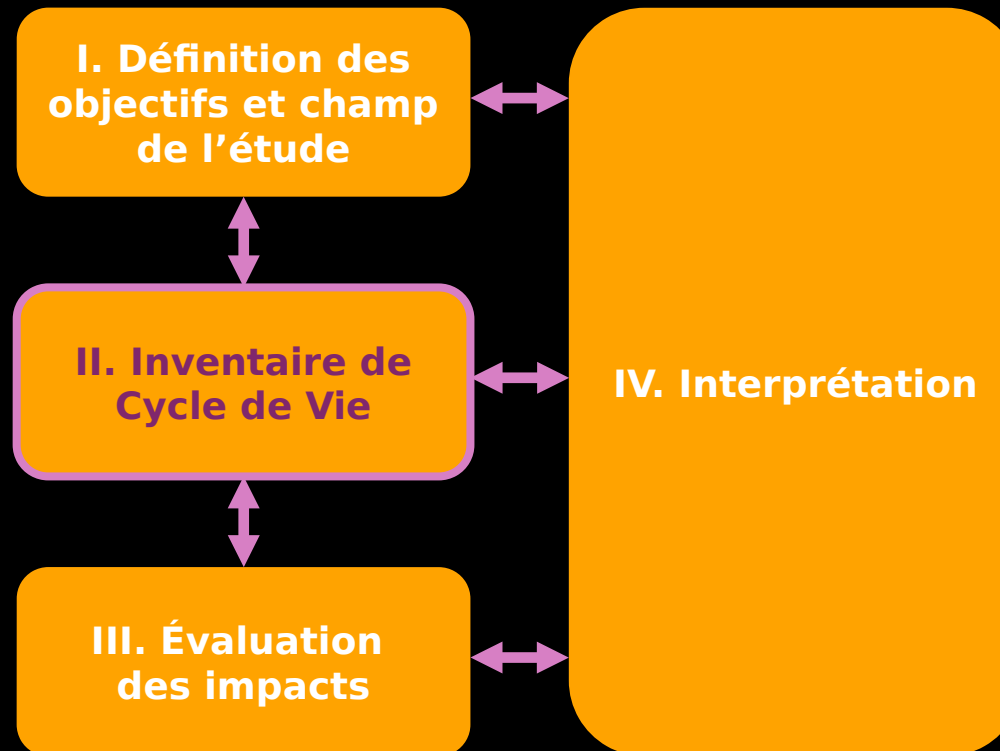
I. Objectifs et champs de l'étude

II. L'inventaire de cycle de vie

III. Évaluation des impacts

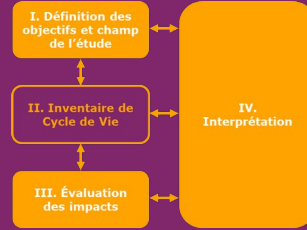
IV. Interprétation et esprit critique

Recueil des données, types,
choix des bases de données,...



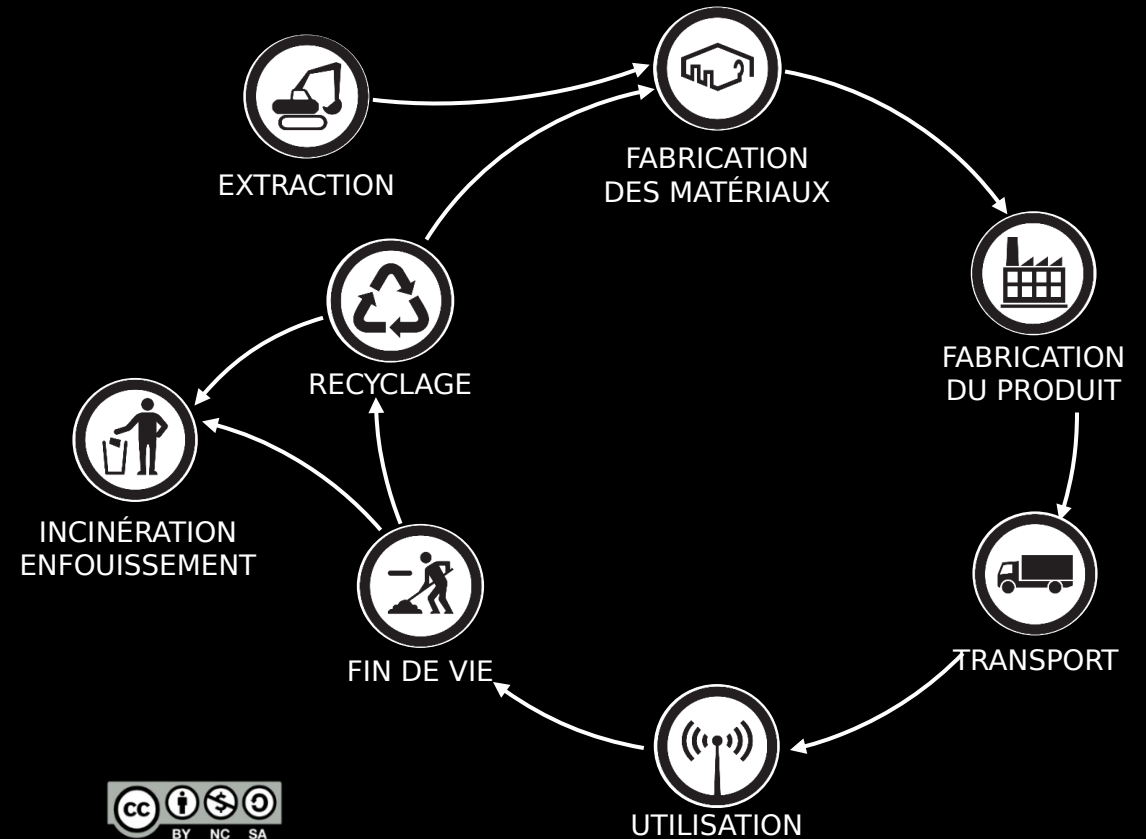
Démarche d'une analyse de Cycle de Vie
[ISO 14040-44 : 2006]

Inventaire de Cycle de Vie - quésaco ?



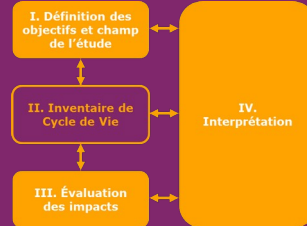
L'ICV est la « phase de l'analyse du cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des intrants et des extrants, pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie ».

[ISO 14040-44:2006]



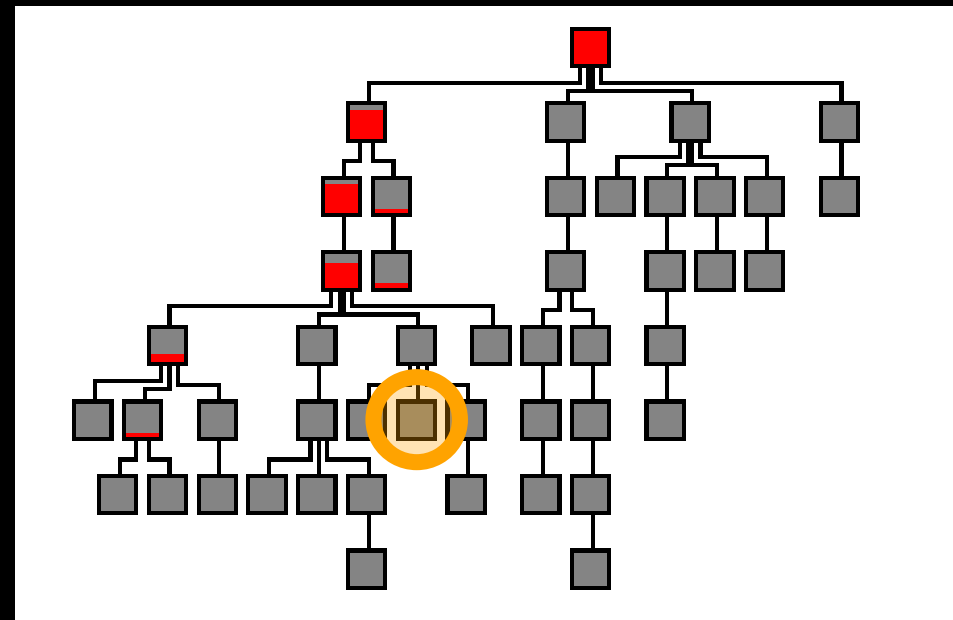
adaptée de [Bauer, 2018]

Pour info Inventaire de Cycle de Vie - quésaco ?



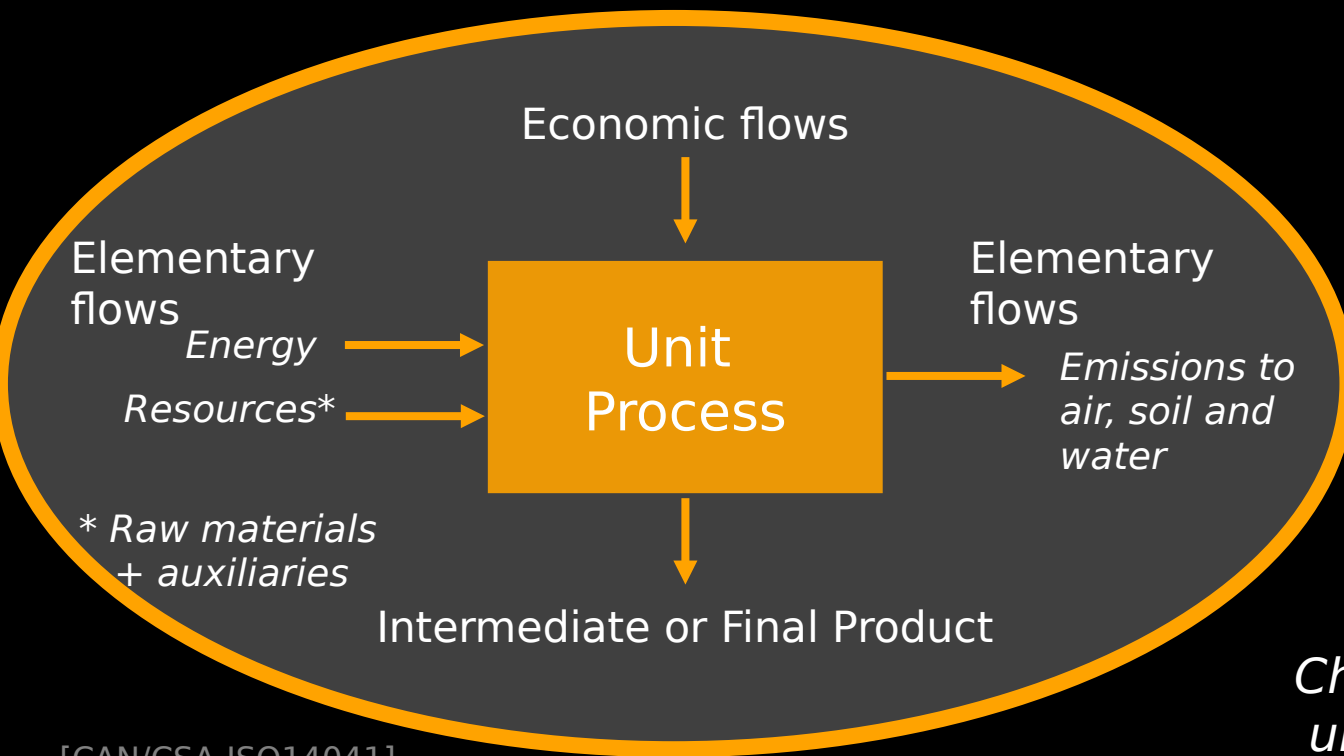
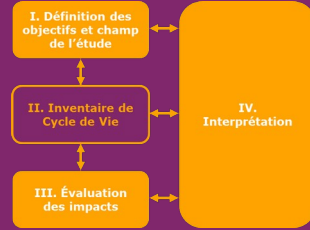
C'est l'identification et la description de tous les processus du système : on parle de bilan de matière et d'énergie associé à chaque processus élémentaire, à chaque entrant et sortant

L'ICV permet de construire le modèle lié au produit, système ou service étudié, c'est **l'arbre du cycle de vie**

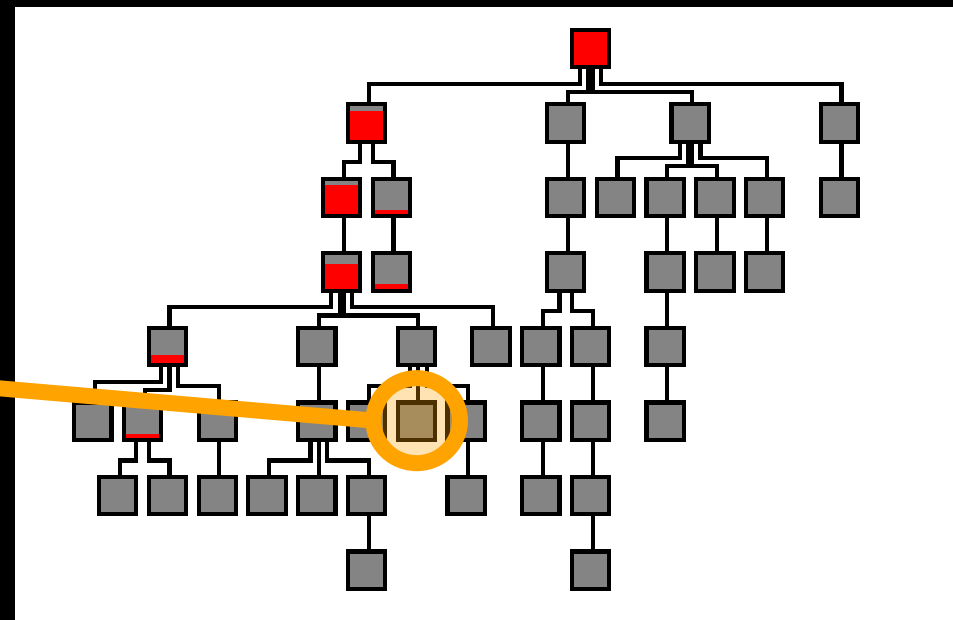


Chaque boîte représente un processus qui forme une partie du cycle de vie: chacun possède une entrée et une sortie.

Pour info Inventaire de Cycle de Vie - quésaco ?

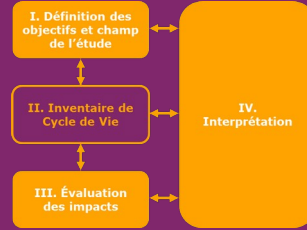


[CAN/CSA-ISO14041]



Chaque boîte représente un processus qui forme une partie du cycle de vie: chacun possède une entrée et une sortie.

Quelles sont les données mobilisables ?



Émissions dans l'air

Dioxyde de carbone, poussières, métaux lourds, COV, etc.

Émissions dans l'eau

Acides, hydrocarbures, etc.

Émissions dans le sol

Fuites d'hydrocarbures, composés azotés, etc.

Ressources

Pétrole, eau, charbon, bauxite, etc.

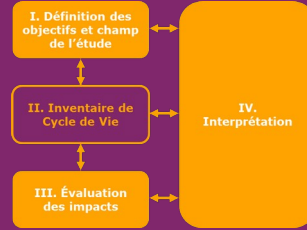
Déchets

Solides, inertes, dangereux, boues, huiles usagées, etc.

Flux non élémentaires sur tout le CdV

Acier, lessives, soude, électricité, etc.

Exemple de données à récolter



De quelles données a-t-on besoin ?

Feutre externe
Polyamide, 1g

Corps
Polyéthylène, 15g
Extrusion

Capuchon avant
Polyéthylène, 7g
Injection



Feutre interne + Encre
Polyamide, 6g
Éthanol, 15g

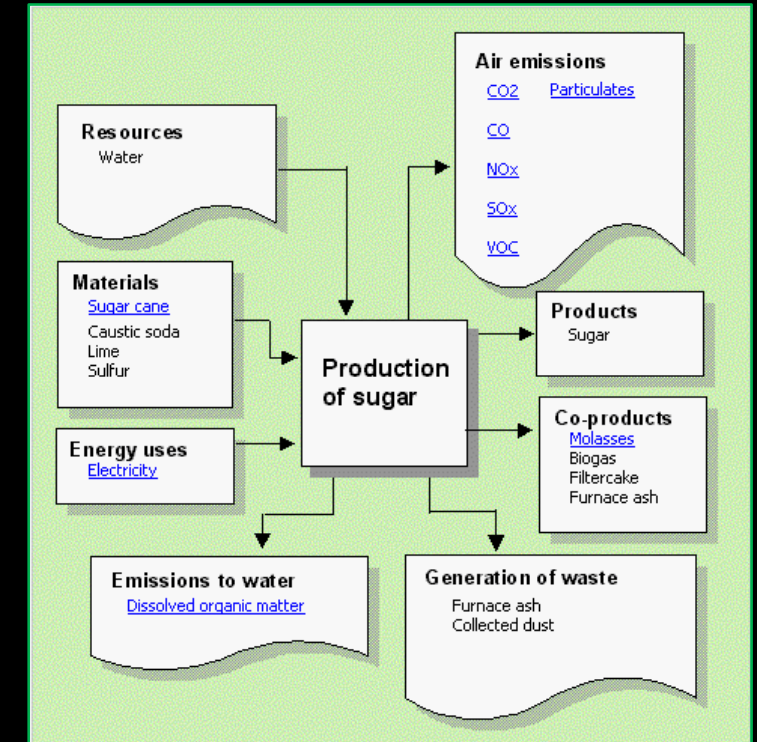
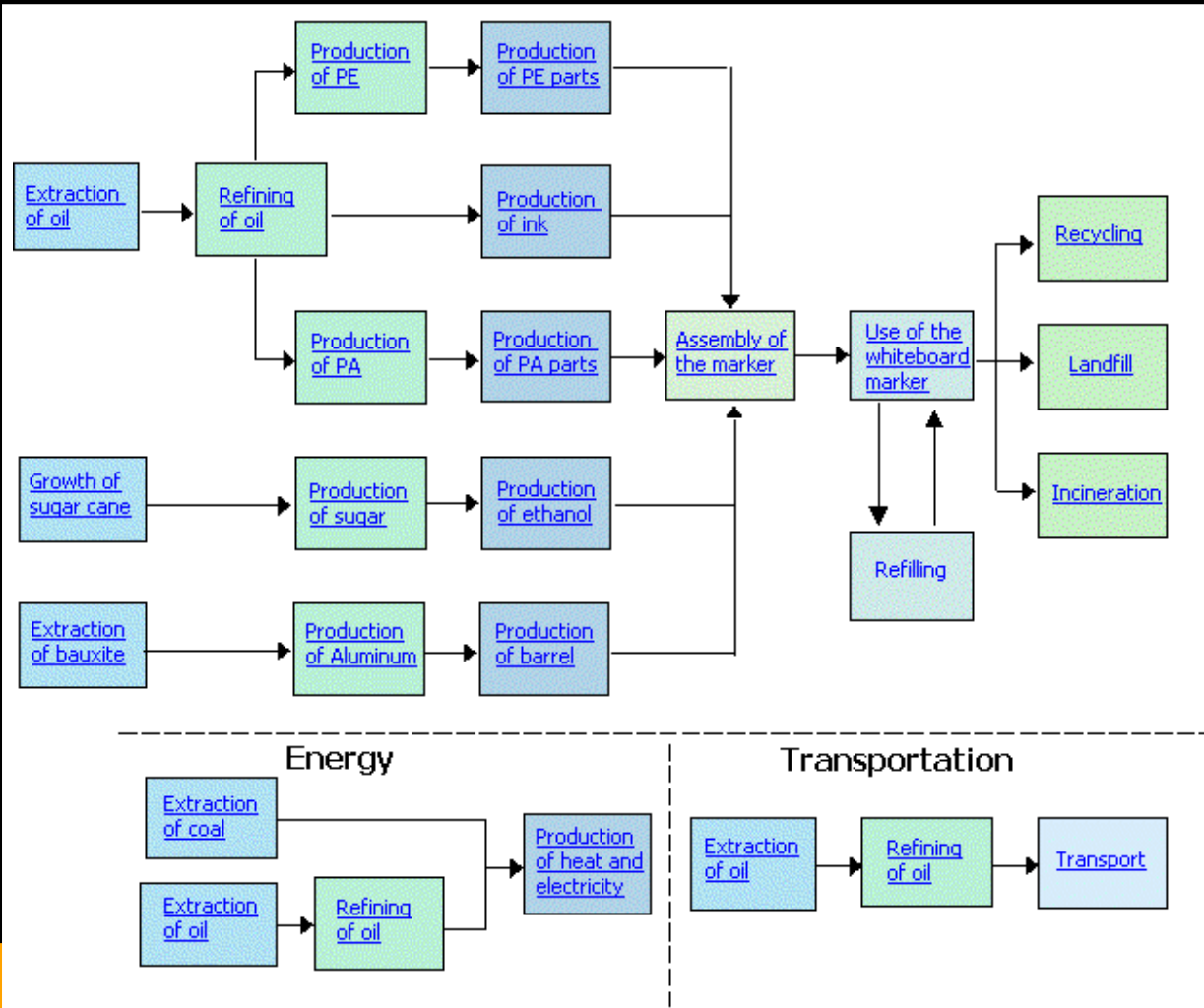
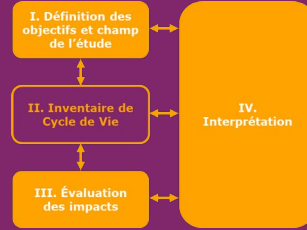
Capuchon arrière
Polyéthylène, 2g
Injection

Quid des données d'utilisation, de distribution, de FdV,... ?

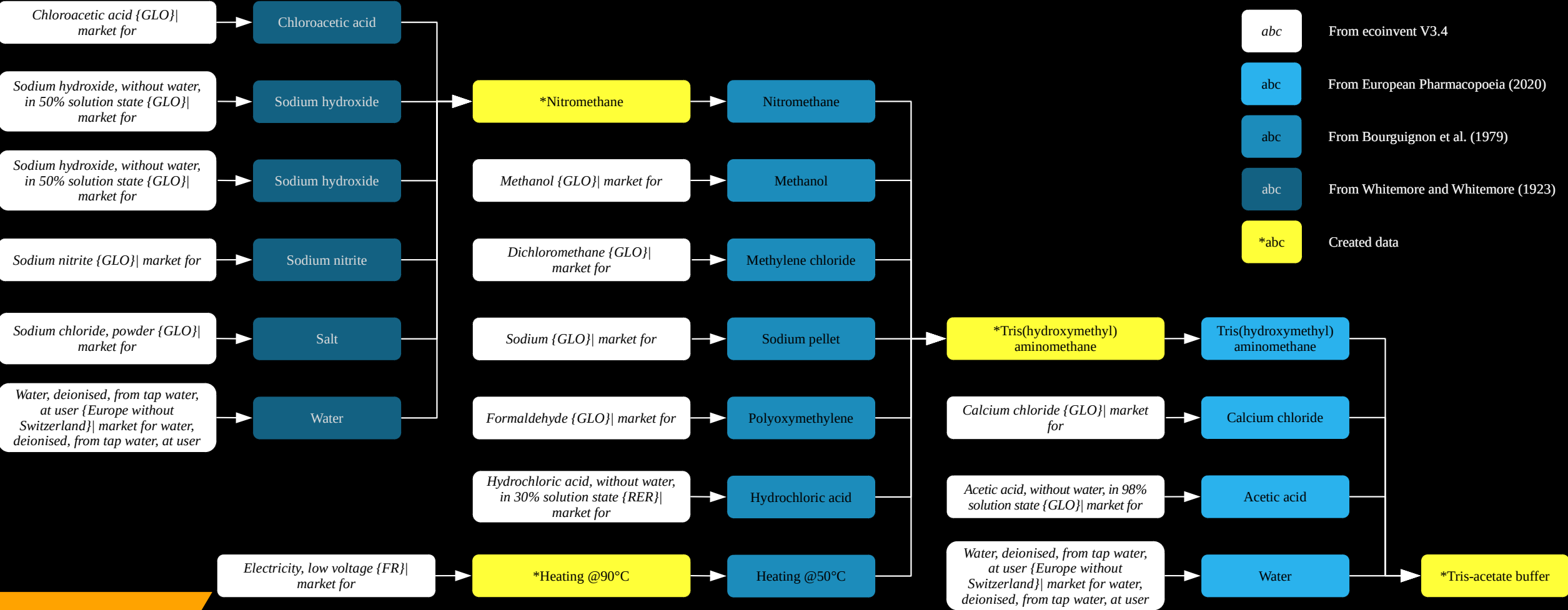
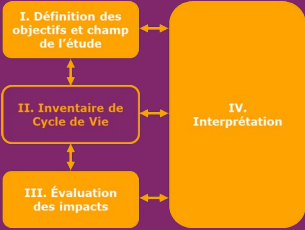
Frontières !

Exemple de données à récolter - Détails

Processus élémentaires et flux élémentaires

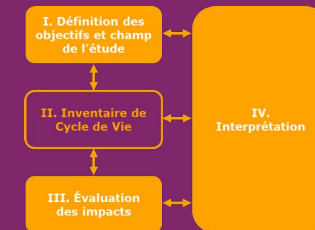


Exemple de données à récolter - Construction d'une donnée manquante



[Bauer et al., à paraître]

Où trouver les données primaires ?



Mesures directes

- Consomètre
- Pesage
- Mesures d'émissions

Données internes

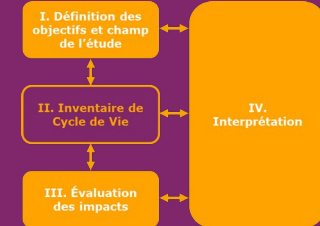
- BoM - Composition
- Fiches de sécurité
- Spécification processus et équipements
→ Fiche de recueil de données

Exemple de données à récupérer ?

Matériel utilisé (consommateur d'énergie) et son rendement	Poids des machines (ordre de grandeur)	Surface utilisée par machines (ordre de grandeur)	Entrant (nature, forme...)
Sortant (nature, forme)	Consommation des machines (énergie)	Consommables : nature (eau, détergents, ..) et quantité	Rejets : nature (eau à traiter, déchets, ...) et quantité

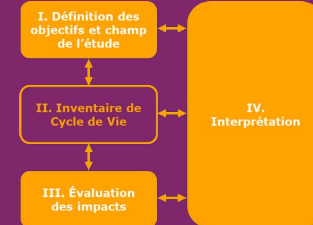
Où trouver les données primaires ?

*Exemple de fiche de recueil



Compo-sant	Sous compo-sant	Type de modélisat°	Nom	Quantité	Unité	Rende-ment process %	Nom dans la BdD	Remarque
Bois	-	Matériau	Résineux (sapin, pin) C24 - classe 2	2	m3	-		
	-	Procédé	Traitement classe 2 - Aspersión	996	kg			
	POIDS TOTAL BOIS				kg			
Ski	Semelle	Matériau	PEHD		g			
	Carres	Matériau	Acier		g			
	Noyau	Matériau	Hêtre (bois)		g			
	Emballage	Matériau	Carton		g			
	Assemblage	Énergie	Electricité (assemblage du ski)		kWh			
	transport	Transport	Matières premières (de l'usine de production des matières premières à l'usine d'assemblage du ski) - Camion		kgkm			
	POIDS TOTAL 1 SKI				g			

Où trouver les données secondaires ?



Documents vérifiés

- Documents publics
- Journaux, articles, brevets, ouvrages
- ACV antérieures
- Résultats d'études / Tests

Autres documents

- Avis d'experts
- Trade association
- Rapports d'industriels / de consultants

Transport

- Routier <https://www.openstreetmap.org>
- Bateau <https://sea-distances.org/>
- Avion <https://www.airportdistancecalculator.com/>

Identification de matériaux & composants

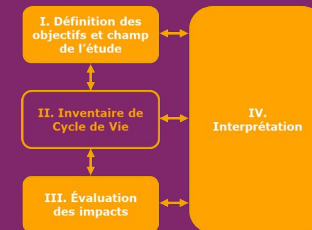
- Produits chimique (EU) <https://echa.europa.eu/fr>
- Chimie <https://scifinder-n.cas.org> ou en libre <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Répertoire toxicologique (Ca) <https://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/repertoire-toxicologique.aspx>
- Material information Matweb <https://matweb.com/>

Bases de données

- ecoinvent V3 (base générique principale avec >10'000 données)
- EXIOBASE (Input-output database : économie+environnement)
- IDEMAT 2001 (Production de matériaux, 500 données)
- MEEUP (Électrique et électronique, 185 données)
- Buwal 250 (Emballages)
- Agri-footprint (Agroalimentaire 3500 données)
- AGRIBALYSE (Produits agricoles ADEME, >200 données)
- ELCD (EU, arrêtée en 2018, >300 données)
- INIES (FDES)

Attention à l'uniformisation d'une base à l'autre !

Où trouver les données secondaires ?



C'est une bibliothèque dans laquelle nous allons retrouver des fiches génériques (matériaux / processus), collectées dans plusieurs entreprises afin d'identifier les biais (ou non) des données.

Mais attention :

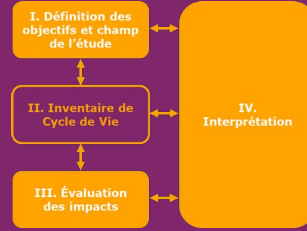
- À la zone géographique considérée
- À l'échelle de temps (attention aux vieilles données)
- Aux frontières du système modélisé
- À la technologie mise en œuvre
- Aux non-homogénéités d'une base à l'autre

Bases de données

- ecoinvent V3 (base générique principale avec >10'000 données)
- EXIOBASE (Input-output database : économie+environnement)
- IDEMAT 2001 (Production de matériaux, 500 données)
- MEEUP (Électrique et électronique, 185 données)
- Buwal 250 (Emballages)
- Agri-footprint (Agroalimentaire 3500 données)
- AGRIBALYSE (Produits agricoles ADEME, >200 données)
- ELCD (EU, arrêtée en 2018, >300 données)
- INIES (FDES)

Attention à l'uniformisation d'une base à l'autre !

Les données en ACV - Synthèse



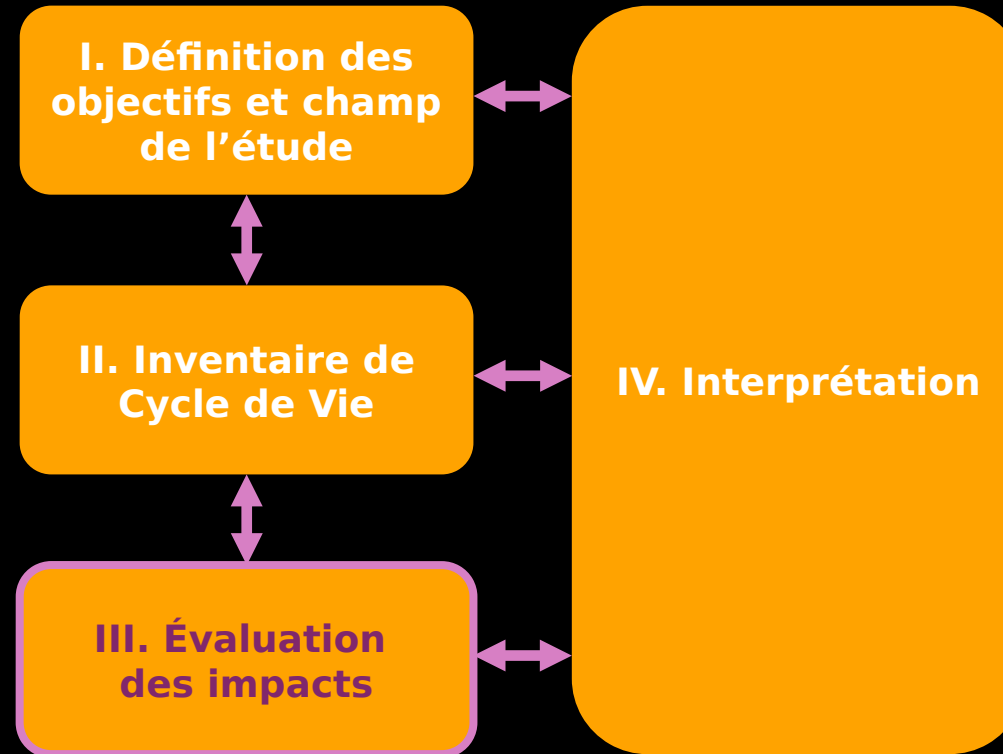
- ✓ Multiples facettes liées à une donnée : source, type, nature
- ✓ Difficultés d'accès aux données brutes, voire de rang 2 (fournisseur), qui restent malgré tout à privilégier
- ✓ Non-homogénéités d'une base de données à l'autre
- ✓ Qualité des données basée sur six catégories [Weidema, 1997 ; PEF]
- ✓ La collecte d'informations peut vite s'avérer dense, délicate (confidentialité) et peu robuste (hypothèses), d'où la nécessité d'en préciser la qualité
- ✓ Modélisation de matériaux / processus nouveaux laborieuse : besoin de réaliser les caractérisations environnementales adéquates

Nécessité de justifier ses hypothèses !

Introduction à l'ACV

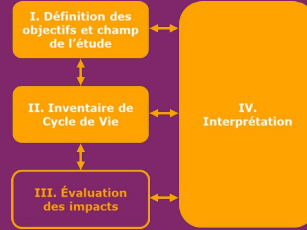
- I. Objectifs et champs de l'étude**
- II. L'inventaire de cycle de vie**
- III. Évaluation des impacts**
- IV. Interprétation et esprit critique**

Traduction des flux élémentaires en impacts
environnementaux via une méthode d'évaluation



Démarche d'une analyse de Cycle de Vie
[ISO 14040-44 : 2006]

Impacts environnementaux



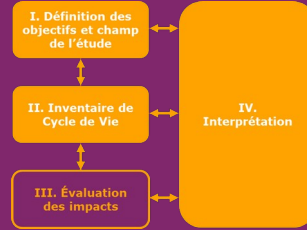
Traduction des activités de l'Homme en différentes catégories d'impacts potentiel.

"Un impact environnemental inclut toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique résultant totalement ou partiellement des aspects environnementaux d'un organisme."
[ISO 14001]

Différentes échelles



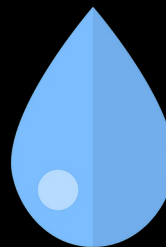
Impacts environnementaux



Traduction des activités de l'Homme en différentes catégories d'impacts potentiel.

"Un impact environnemental inclut toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique résultant totalement ou partiellement des aspects environnementaux d'un organisme."
[ISO 14001]

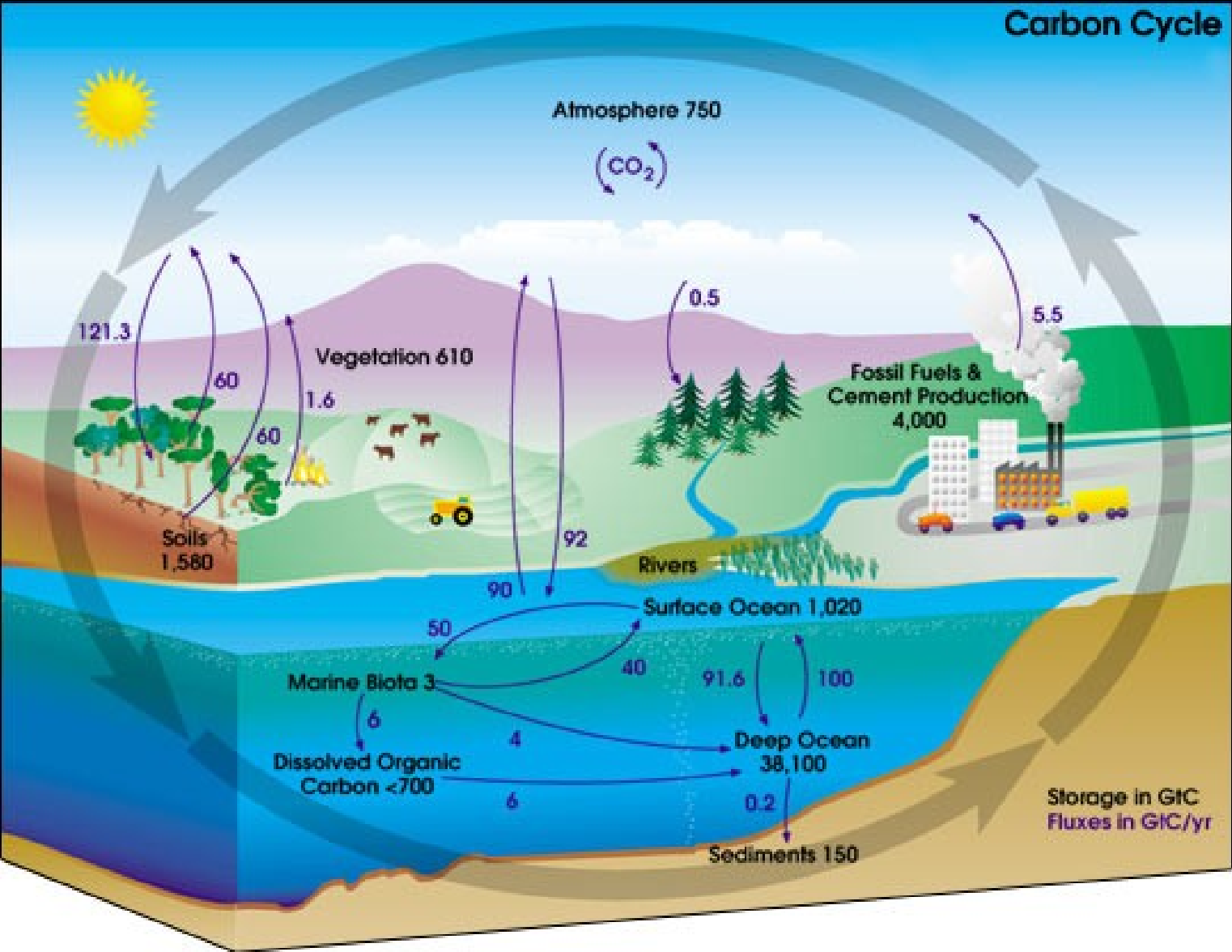
Différentes échelles
Différents compartiments



Impacts environnementaux

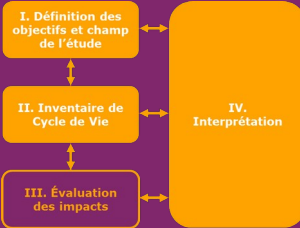
Traduction
d'impacts p

"Un im
ou bén
d'un or



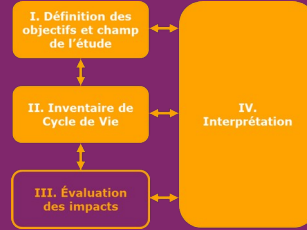
ries

ent, négative
nnementaux



[Nasa, 2004]

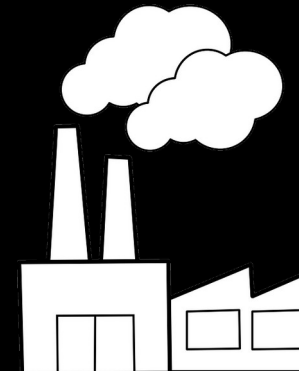
Impacts environnementaux



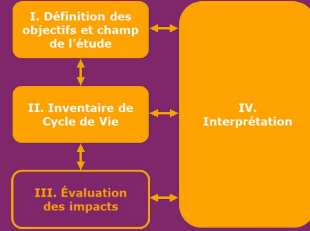
Traduction des activités de l'Homme en différentes catégories d'impacts potentiel.

"Un impact environnemental inclut toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique résultant totalement ou partiellement des aspects environnementaux d'un organisme."
[ISO 14001]

Différentes échelles
Différents compartiments
Différentes origines



Impacts environnementaux



Traduction des activités de l'Homme en différentes catégories d'impacts potentiel.

"Un impact environnemental inclut toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique résultant totalement ou partiellement des aspects environnementaux d'un organisme."
[ISO 14001]

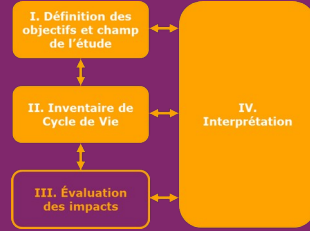
Différentes échelles
Différents compartiments
Différentes origines
Différents effets

Itératifs
À retards
Concentrés

À distance
De morcellement
Combinés

Indirects
Abrupts
À effet de seuils

Impacts environnementaux



Traduction des activités de l'Homme en différentes catégories d'impacts potentiel.

"Un impact environnemental inclut toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique résultant totalement ou partiellement des aspects environnementaux d'un organisme."
[ISO 14001]

Pourquoi parle-t-on d'impacts potentiels ?

Différentes échelles
Différents compartiments
Différentes origines
Différents effets

L'impact peut différer en fonction de la cible, de l'écosystème,...

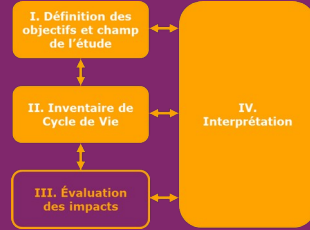
Les oxydes d'azote contribuent aux pluies acides, à la pollution photochimique, à l'effet de serre

Valable pour un ou plusieurs polluants

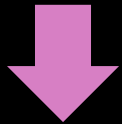
Un impact peut en entraîner d'autres : augmentation de la température

- ↳ fonte des glaciers
- ↳ libération de maladies
- ↳ perte de biodiversité / santé

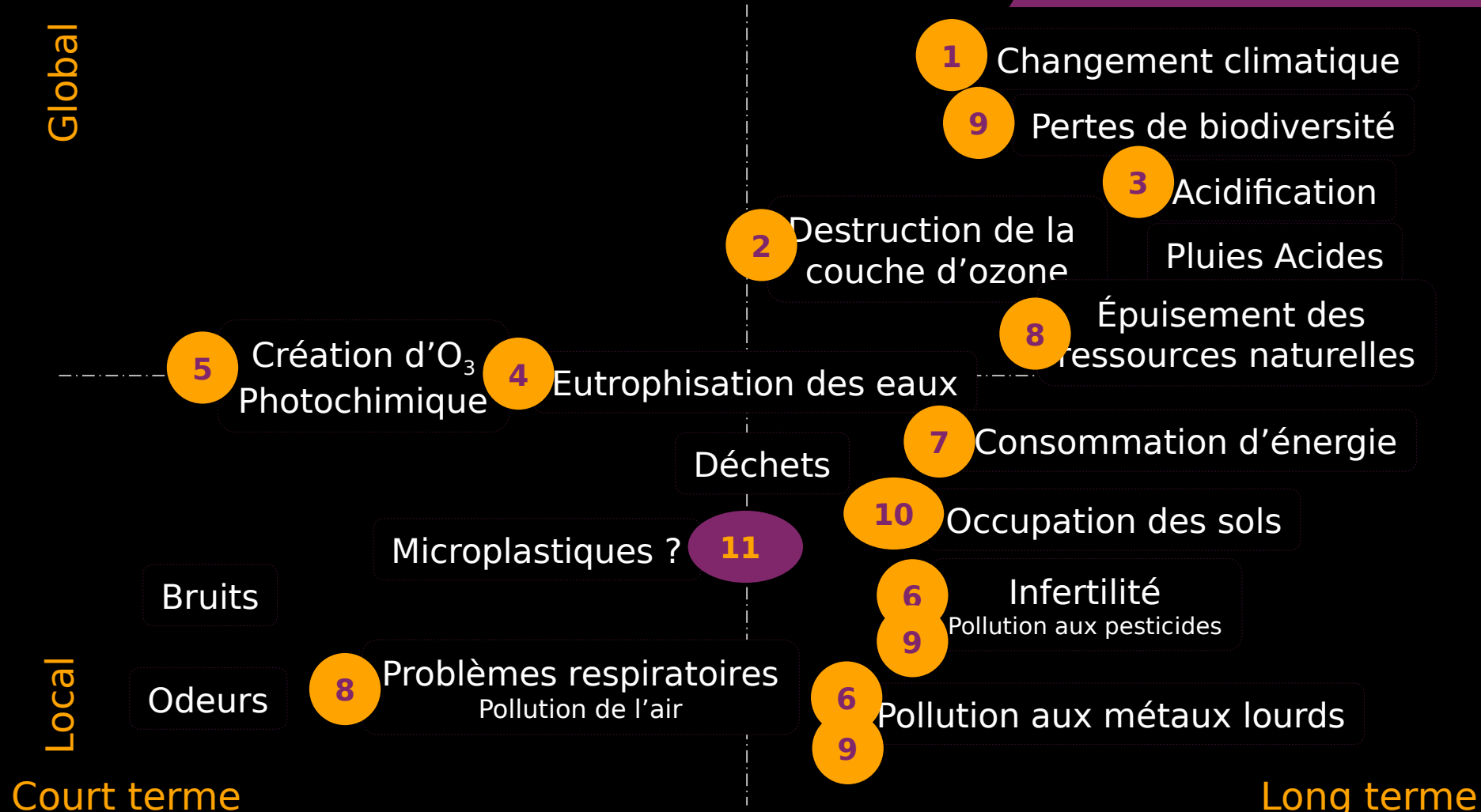
Impacts environnementaux



Pourquoi autant de catégories ?

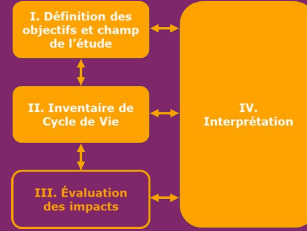


Représentation plus fidèle d'une réalité complexe



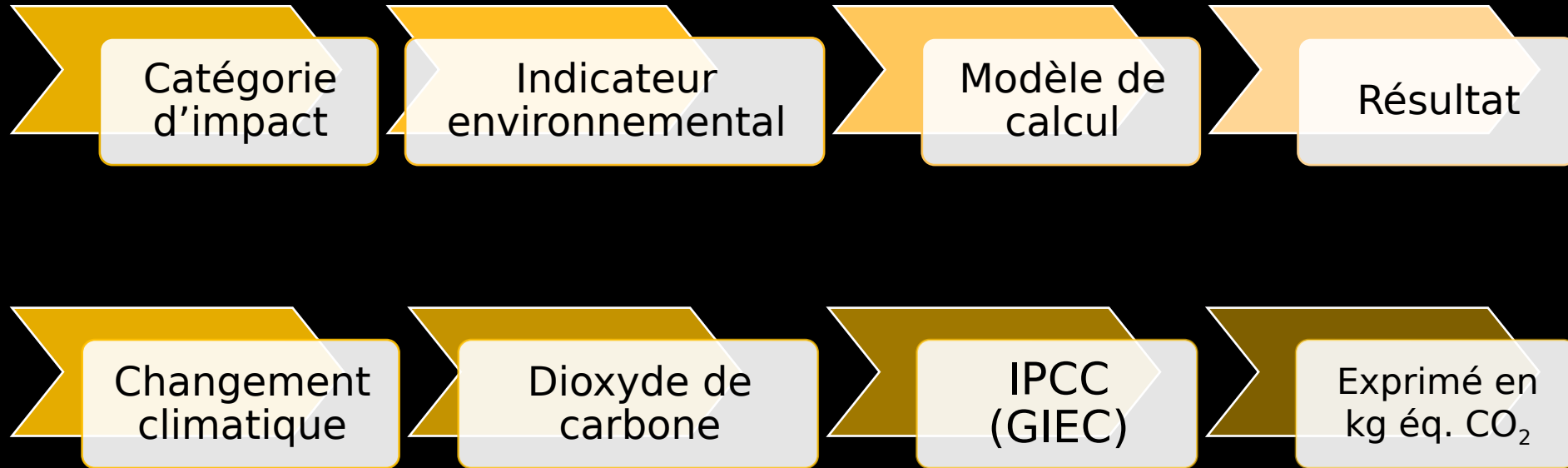
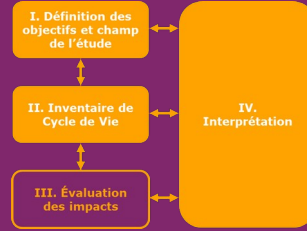
Détails sur les différentes catégories d'impacts environnementaux :

Voir diapos annexes
(121 → 145)



Impacts et indicateurs d'impacts environnementaux

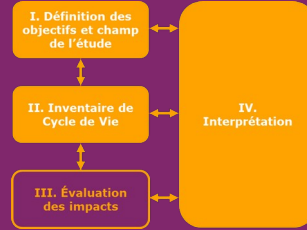
Élaboration



[C. Charbuillet]

Impacts et indicateurs d'impacts environnementaux

Élaboration - exemples



Catégorie d'impact	Substance équivalente
Épuisement des ressources	Kg de Sb équivalent
Changement climatique	kg de CO ₂ équivalent
Toxicité humaine	kg chlorure de vinyle équivalent dans l'air Kg 1,4-dichlorobenzene équivalent dans l'eau
Écotoxicité terrestre	kg de triéthylène glycol équivalent dans l'eau
Écotoxicité aquatique	m ³ d'eau polluée ou kg 1,4 DCB éq.
Destruction de la couche d'ozone	kg de CFC-11 équivalent
Acidification atmosphérique	kg de SO ₂ équivalent
Oxydation photochimique	kg de C ₂ H ₄ équivalent
Eutrophisation	kg de PO ₄ ³⁻ équivalent

Semis-conducteurs

Base du PVC

Anti-mite

Déshydratation de gaz

= Trichlorofluorométhane (Gaz réfr)

= Prod° acide sulfurique

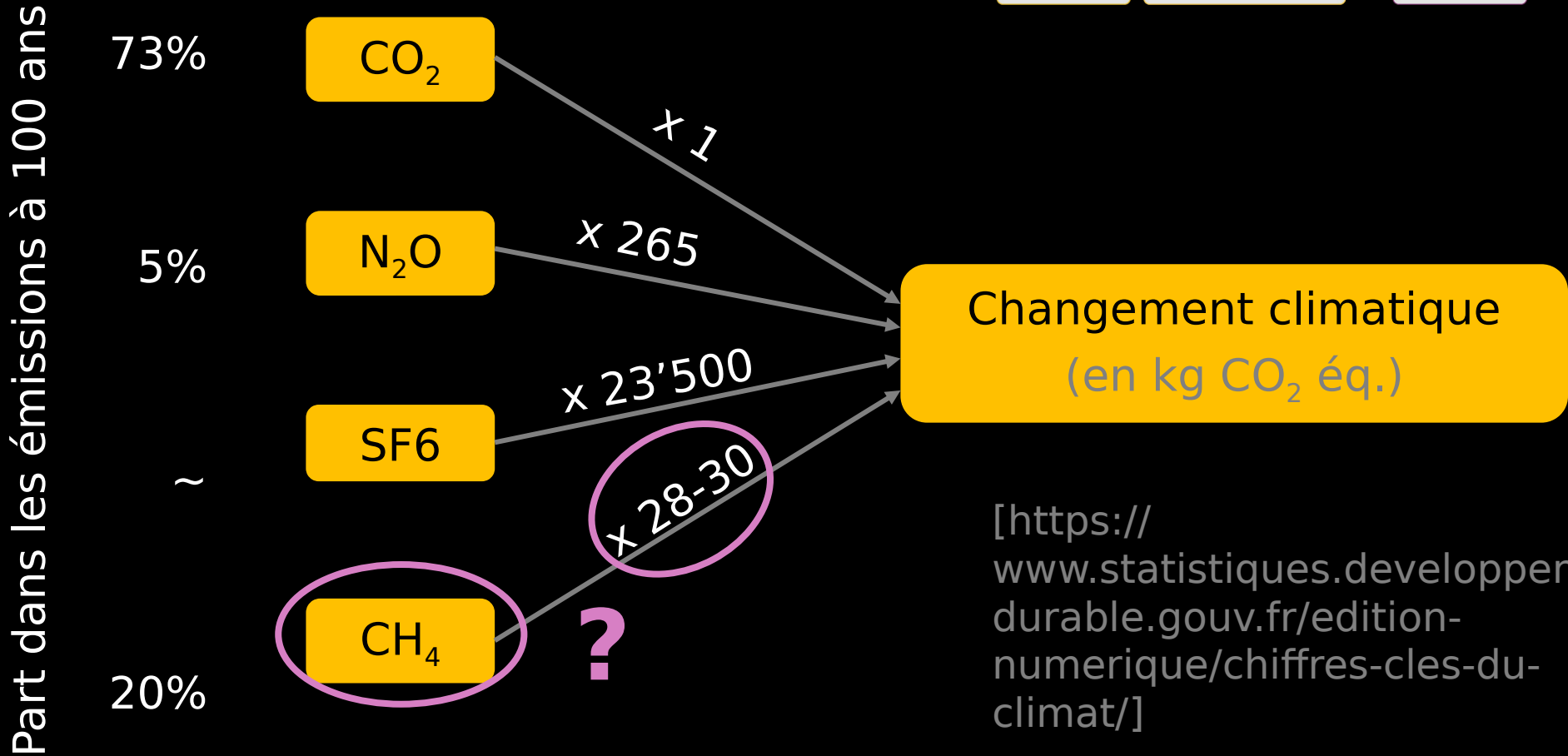
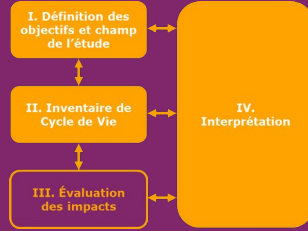
= Éthylène (Fab polymères / éthanol)

= Ion phosphate (Engrais)

!! La substance équivalente peut varier en fonction du modèle de calcul

Impacts et indicateurs d'impacts environnementaux

Élaboration – les dessous des modèles



[<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/>]

Impacts et indicateurs d'impacts environnementaux

Élaboration des modèles de calcul

Modèle de calcul d'un impact environnemental

- Un modèle de caractérisation
- Un facteur de caractérisation
- Une liste de substances contributrices

$$FI_{s,i} = \frac{\text{contribution de la substance } s \text{ à la catégorie d'impact } i \text{ sur une période } t}{\text{contribution de la substance de référence de la catégorie d'impact } i \text{ sur la période } t}$$

= substance équivalente

Modèle de caractérisation

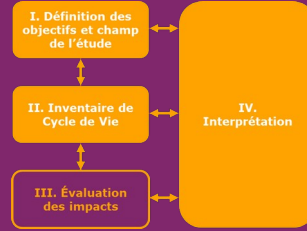
[C. Charbuillet]



$$IE_t = \sum_s FI_{s,t} \times m_s$$

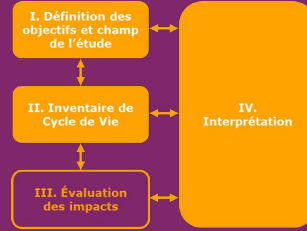
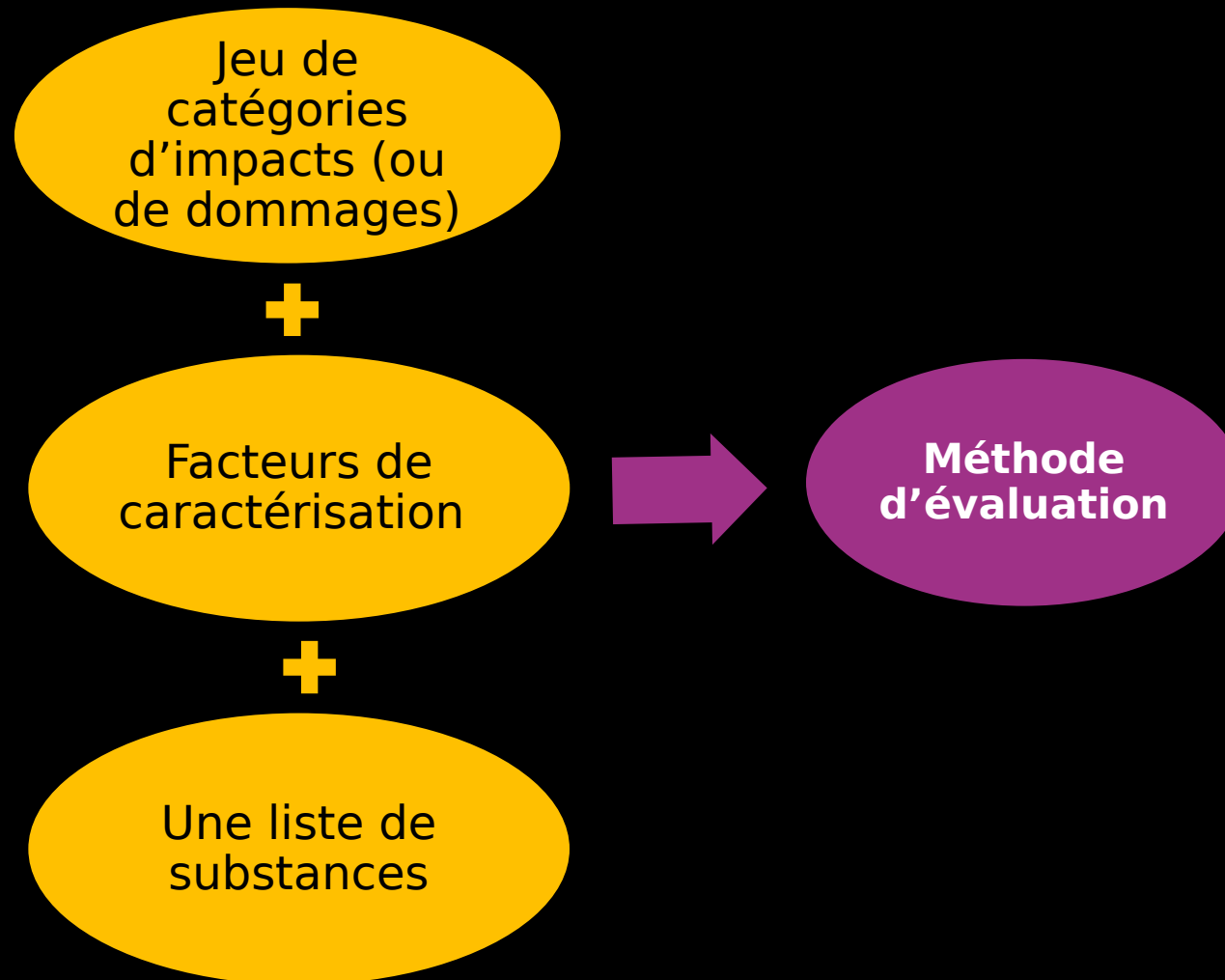
Facteur de caractérisation d'une substance

Substances



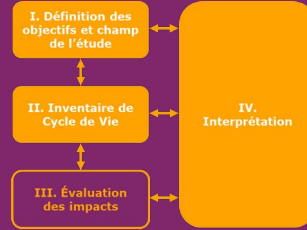
Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Qu'est-ce qu'une méthode d'évaluation ?



Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Alors pourquoi tant de méthodes et leurs variantes ?



Méthodes européennes / générales

CML 2001 (all impact categories)
CML -IA baseline
CML -IA non-baseline
EDIP 2003
Ecological Scarcity 2006
Ecological Scarcity 2013
EF3.0 & EF3.1
Environmental Footprint
ILCD 2011 Midpoints +
ReCiPe Endpoint (E)
ReCiPe Endpoint (H)
ReCiPe Endpoint (I)
ReCiPe Midpoint (E)
ReCiPe Midpoint (H)
ReCiPe Midpoint (I)

Cumulative Energy Demand
Cumulative Exergy Demand
Ecological footprint
IPCC 2013 GWP 100a
IPCC 2013 GWP 20a
IPCC 2013 GWP 500a
Usetox (consensus only)
Usetox (recommended + interim)

Méthodes monocritères

TRACI 2.1
BEES +

Méth. Nord-Am.

Eco-indicator 95
Eco-indicator 99 (E)
Eco-indicator 99 (H)
Eco-indicator 99 (I)
Ecopoints 97 (CH)
Ecosystem Damage Potential
EPD (2008)
EPD (2013)
EPS 2000
IMPACT 2002+

Diverses méthodes plus ancienne

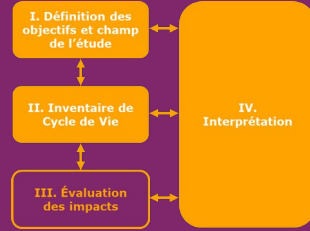
Votre propre jeu d'IE

Différenciation sur :

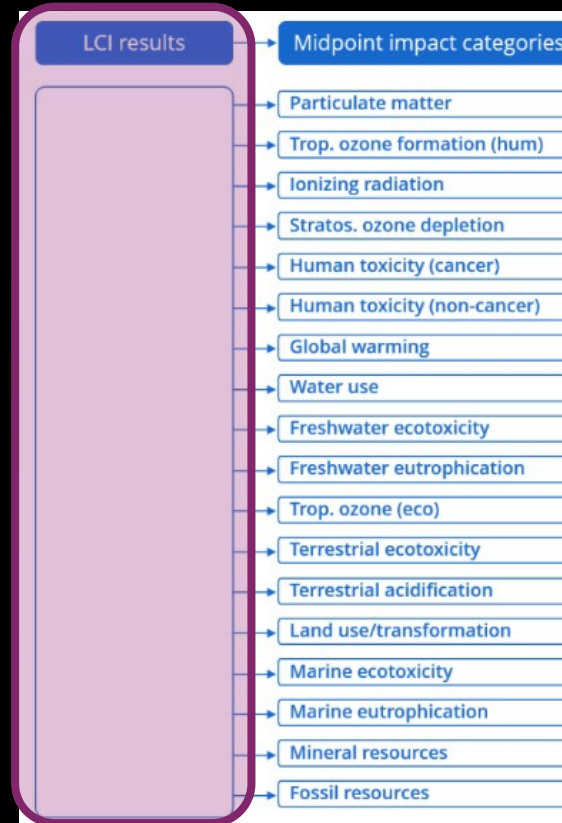
- ✓ la nature et le nombre des catégories d'impact,
- ✓ la prise en compte ou non des catégories de dommage,
- ✓ le nombre de substances prises en compte,
- ✓ les facteurs de caractérisation,
- ✓ la possibilité de normaliser ou pondérer,
- ✓ la dernière mise à jour des données, l'ancienneté de la méthode...

Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Comment ça fonctionne ?

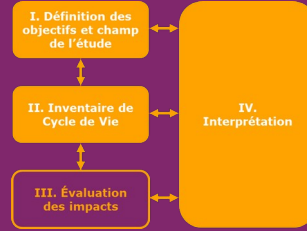


Évaluation = **ICV** → choix des indicateurs → caractérisation → phases optionnelles



Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

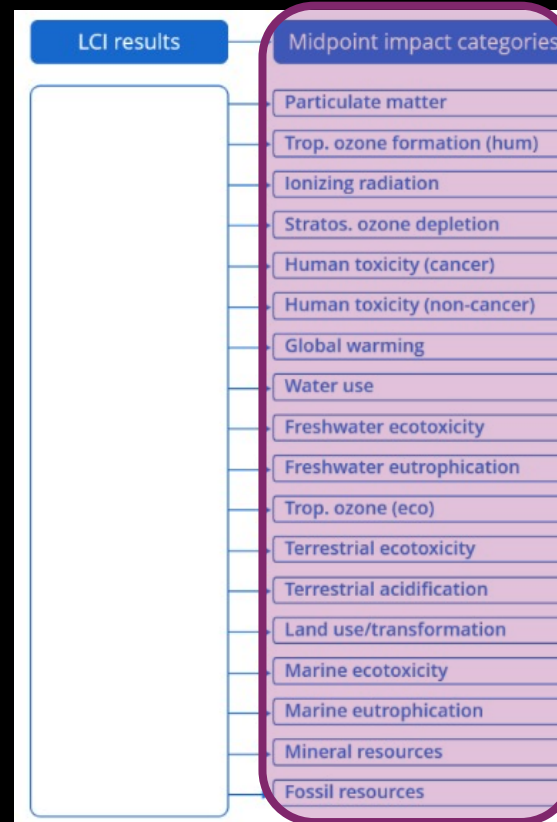
Comment ça fonctionne ?



Évaluation = ICV → choix des indicateurs → caractérisation → phases optionnelles

Caractérisation : associer des flux à des impacts potentiels (midpoint)

Obligatoire



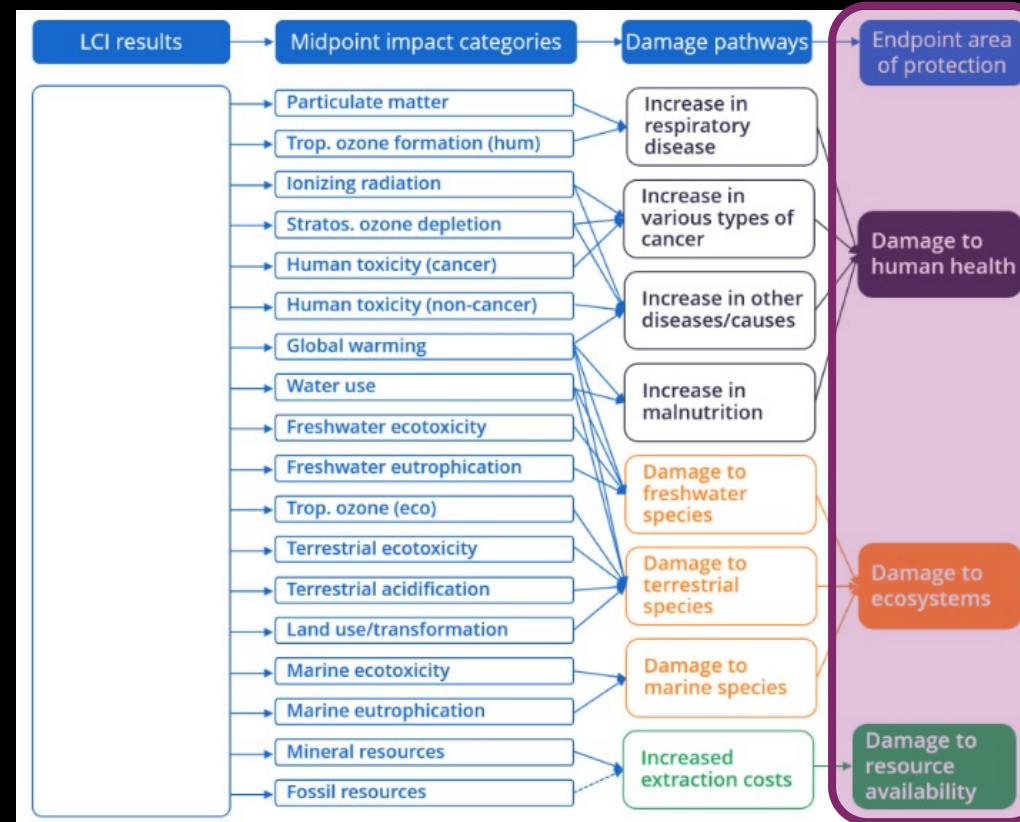
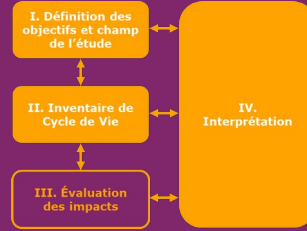
Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Comment ça fonctionne ?

Évaluation = ICV → choix des indicateurs → caractérisation → phases optionnelles

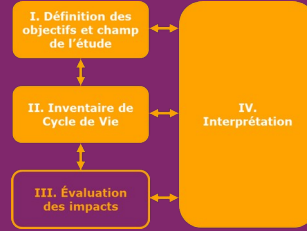
Caractérisation : associer des flux à leurs conséquences (endpoints)

Obligatoire



Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Comment ça fonctionne ?

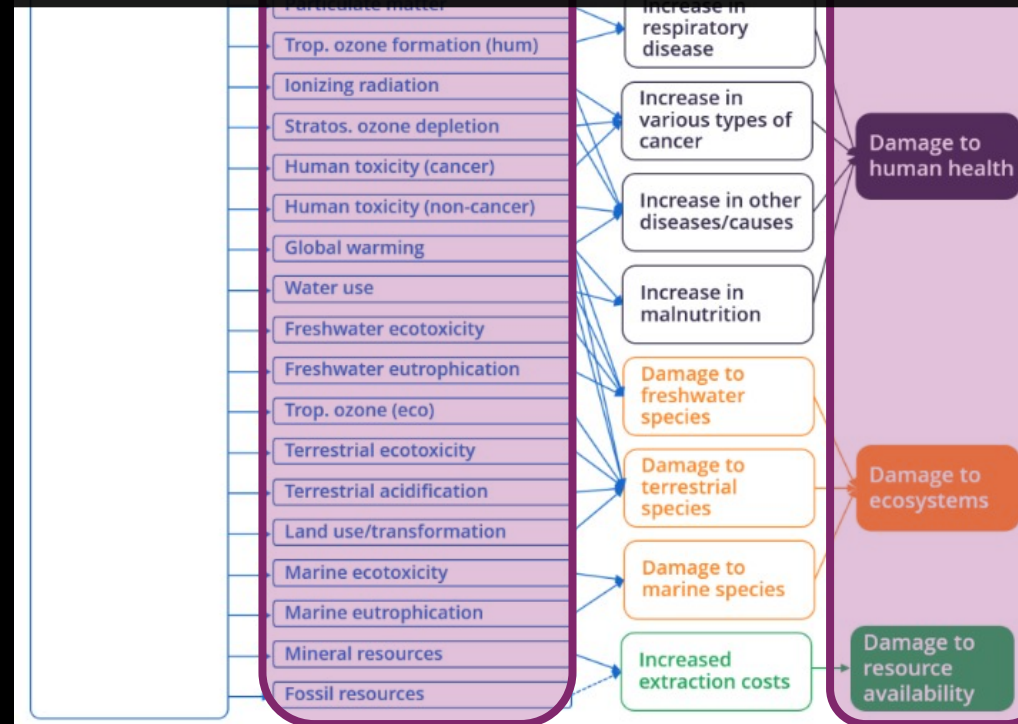


Évaluation = ICV → choix des indicateurs → caractérisation → phases optionnelles

Caractérisation : associer des flux à des impacts potentiels ou leurs conséquences

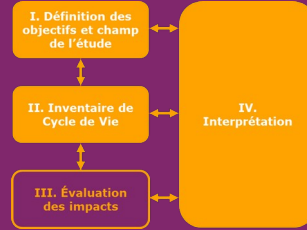
Optionnel Normalisation : diviser la valeur d'un flux ou d'un impact par la valeur de ce même flux ou impact à l'échelle d'un territoire donné, d'une référence (le plus souvent France, Europe ou Monde)

Comparaison à un référentiel



Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Comment ça fonctionne ?



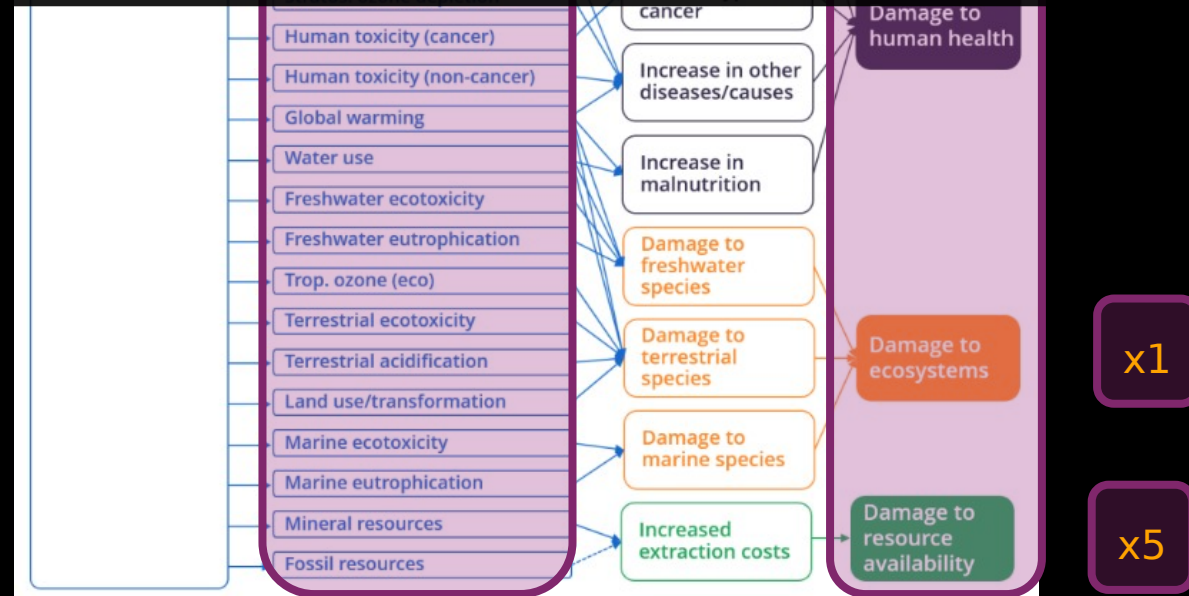
Évaluation = ICV → choix des indicateurs → caractérisation → phases optionnelles

Caractérisation : associer des flux à des impacts potentiels

Normalisation : diviser la valeur d'un flux ou d'un impact par la valeur de ce même flux ou impact à l'échelle d'un territoire donné, d'une référence (le plus souvent France, Europe ou Monde)

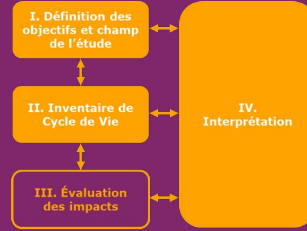
Optionnel

Pondération : facteurs de pondération associés à des impacts pour en privilégier certains à d'autres



Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Comment ça fonctionne ?



Évaluation = ICV → choix des indicateurs → caractérisation → phases optionnelles

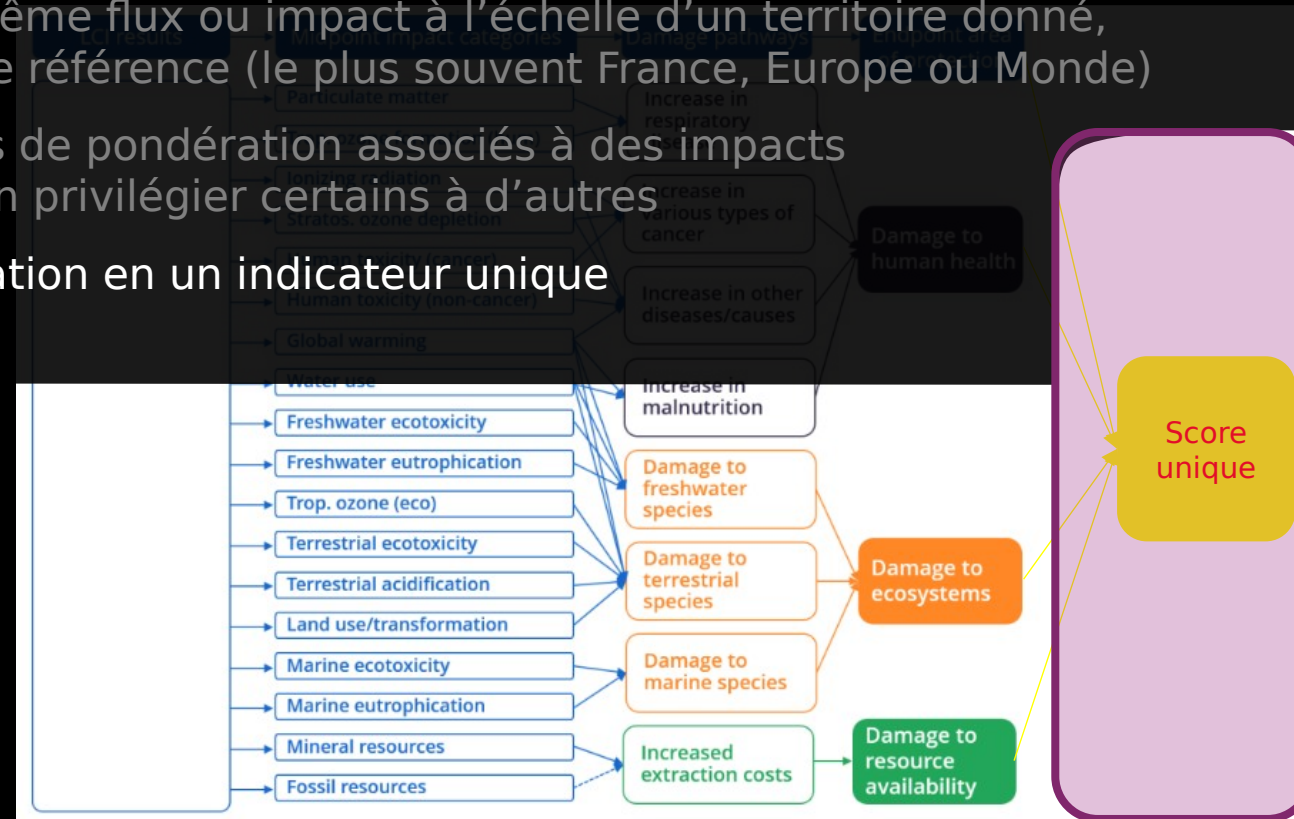
Caractérisation : associer des flux à des impacts potentiels

Normalisation : diviser la valeur d'un flux ou d'un impact par la valeur de ce même flux ou impact à l'échelle d'un territoire donné, d'une référence (le plus souvent France, Europe ou Monde)

Pondération : facteurs de pondération associés à des impacts pour en privilégier certains à d'autres

Score Unique : agrégation en un indicateur unique

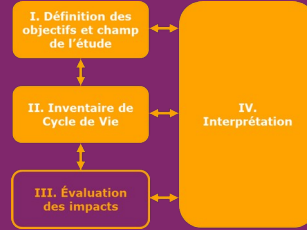
Optionnel



Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Recommandations de l'ILCD

- ✓ Système de Référence International des Données du Cycle de Vie (International Life Cycle Data System)
- ✓ Initiative du JRC (Joint Research Centre – rattaché à la commission européenne) à travers son laboratoire IES (Institute for Environment and Sustainability)
- ✓ Handbooks de recommandations pour harmoniser les pratiques
- ✓ Développement d'une base de données de référence européenne (ELCD) (arrêtée en 06/2018)
- ✓ Recommandations de la méthode la plus adaptée pour chaque catégorie d'impact



Livres de chevet de l'ACViste :

ILCD Handbook, 2010
(Guide méthodologique)

[<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>]

Life Cycle Assessment - Theory & Practice, 2018
(Méthodologie & exptes sectoriels)

Hauschild, Rosenbaum & Olsen
[<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-56475-3>]

43

Formation ACV ENSAM

Arts et Métiers

[<https://eplca.jrc.ec.europa.eu>]

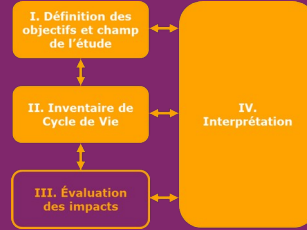
[C. Charbuillet]

Combinaison d'indicateurs de différentes méthodes
-> Méthode de plus en plus utilisée

Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Recommandations de l'ILCD

[<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>]



Catégorie d'impact	Méthode	Robustesse (ILCD)
Changement climatique	IPCC 2013 100a	I
Destruction de la couche d'ozone	WMO 1999, CML 2002	I
Toxicité humaine cancérigène	USEtox 1.03	II/III
Émissions de particules	RiskPoll model et Greco et al 2007	I
Radiations ionisantes	ReCiPe 1.10	
Oxydation photochimique	LOTOS-EUROS (Van Zelm 2008) dans ReCiPe 1.10	
Acidification	Accumulated Exceedance	
Eutrophisation eau douce	ReCiPe1.10	
Eutrophisation marine	ReCiPe1.10	
Écotoxicité eau douce	USEtox1.03	II/III
Épuisement des ressources en eau	Swiss Ecoscarcity 2013	III
Épuisement des ressources minérales	CML IA baseline 3.01	II
Épuisement des ressources énergétiques	CML IA baseline 3.01	II

Livres de chevet de l'ACViste :

ILCD Handbook, 2010
(Guide méthodologique)

[<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>]

Life Cycle Assessment - Theory & Practice, 2018
(Méthodologie & exptes sectoriels)

Hauschild, Rosenbaum & Olsen
[<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-56475-3>]

43

Formation ACV ENSAM

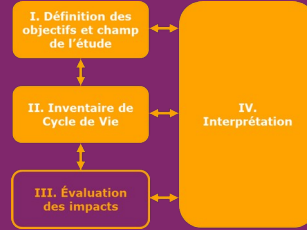
Arts et Métiers

Bien mais vieux (2010)

Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

PEF : EF – 16 catégories d'impact

[JRC, technical report 2021 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021H2279&from=EN>]

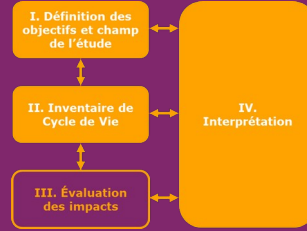
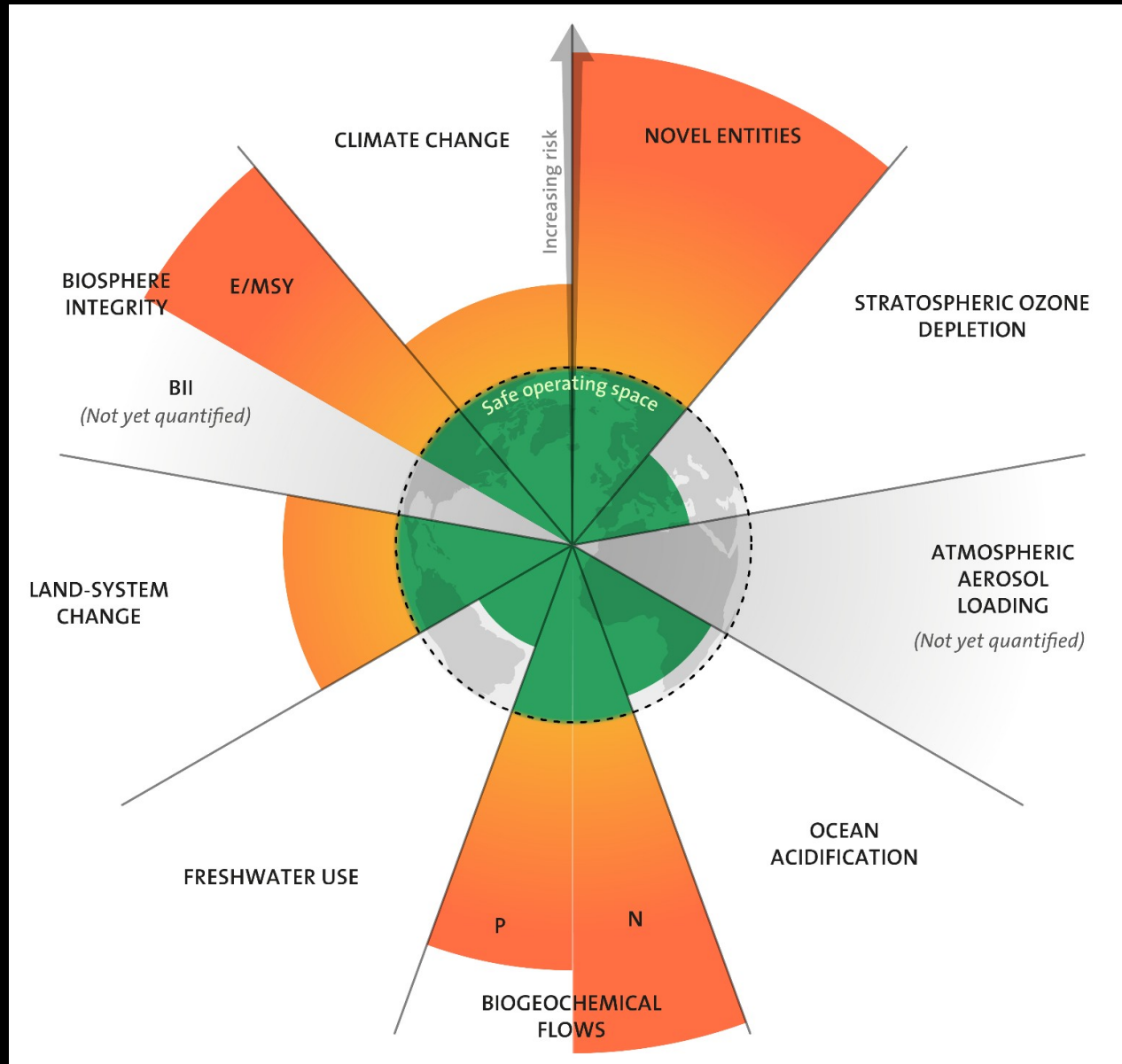


Actualisation
(2021)

Catégorie d'impact	Méthode	Robustesse (ILCD)
Changement climatique	IPCC 2013 100a (modèle de Berne)	I
Destruction de la couche d'ozone	Modèle EDIP (organisation météorologique mondiale) (OMM 2014 + intégrations)	I
Toxicité humaine, cancer	USEtox 2.1 [Fankte et al, 2017]	III
Émissions de particules	Méthode PM [Fantke et al., 2016 dans PNUE 2016]	I
Radiations ionisantes, santé humaine	Modèle d'effets sur la santé humaine tel que développé par Dreicer et al., 1995 [Frischknecht et al., 2000]	II
Oxydation photochimique	LOTOS-EUROS [Van Zelm et al, 2008] dans ReCiPe 2008	II
Acidification	Accumulated Exceedance [Seppälä et al., 2006; Posch et al, 2008]	II
Eutrophisation eau douce	Modèle EUTREND [Struijs et al., 2009] tel qu'appliqué dans ReCiPe	II
...

Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

Normalisation –
Cas particulier
des limites
planétaires

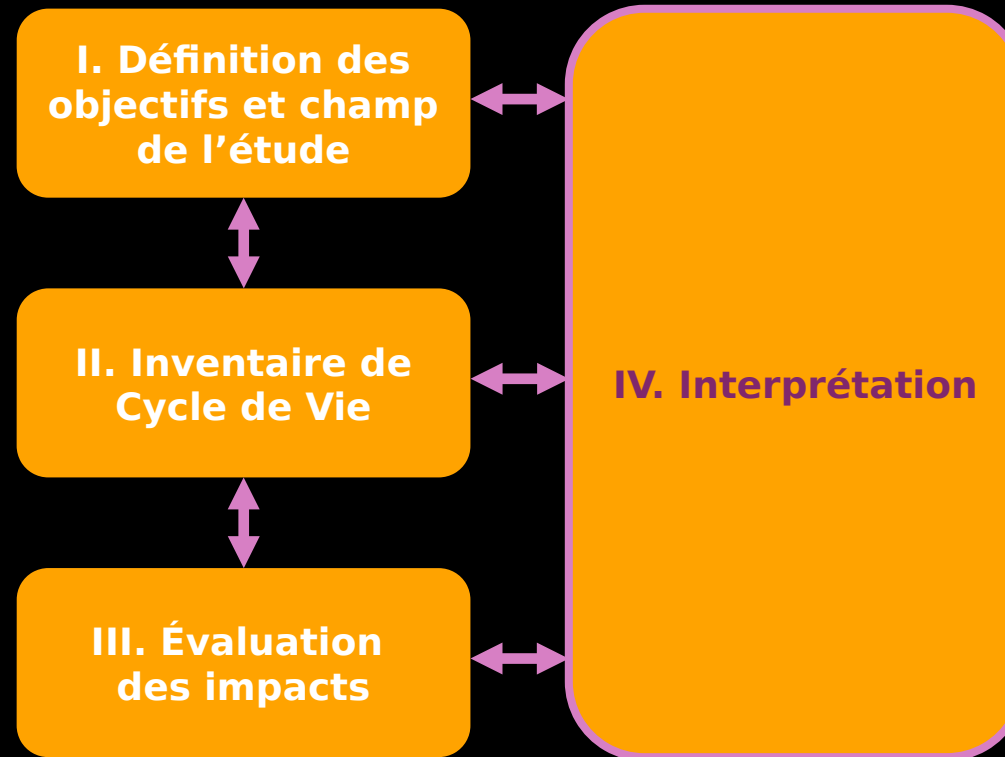


[Designed by Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Persson et al 2022 and Steffen et al 2015]

Introduction à l'ACV

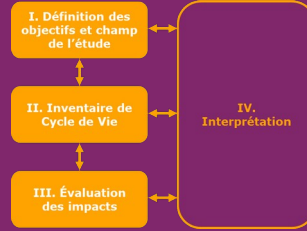
- I. Objectifs et champs de l'étude**
- II. L'inventaire de cycle de vie**
- III. Évaluation des impacts**
- IV. Interprétation et esprit critique**

Interprétation des résultats, incertitudes, analyses de sensibilité et revue critique



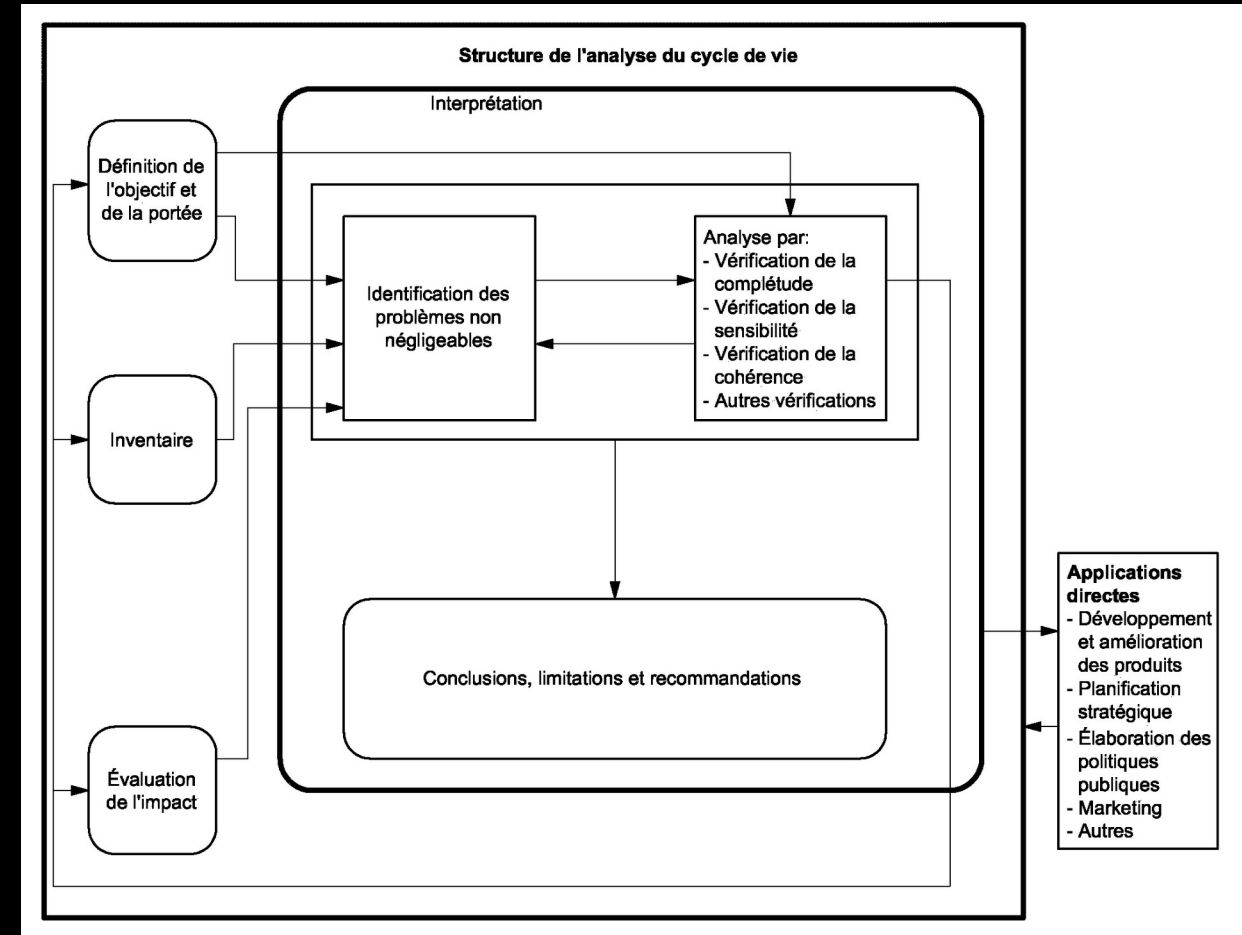
Démarche d'une analyse de Cycle de Vie
[ISO 14040-44 : 2006]

Définition de l'ISO 14044 (2006)



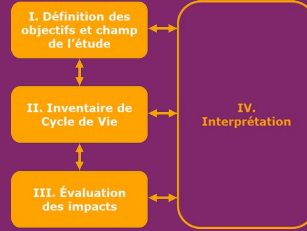
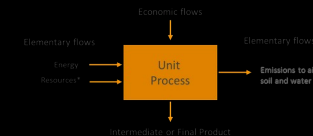
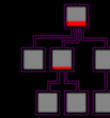
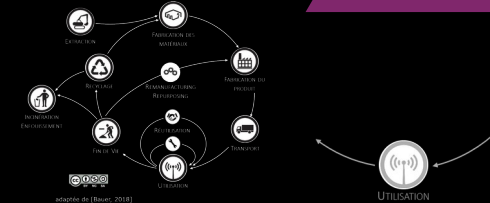
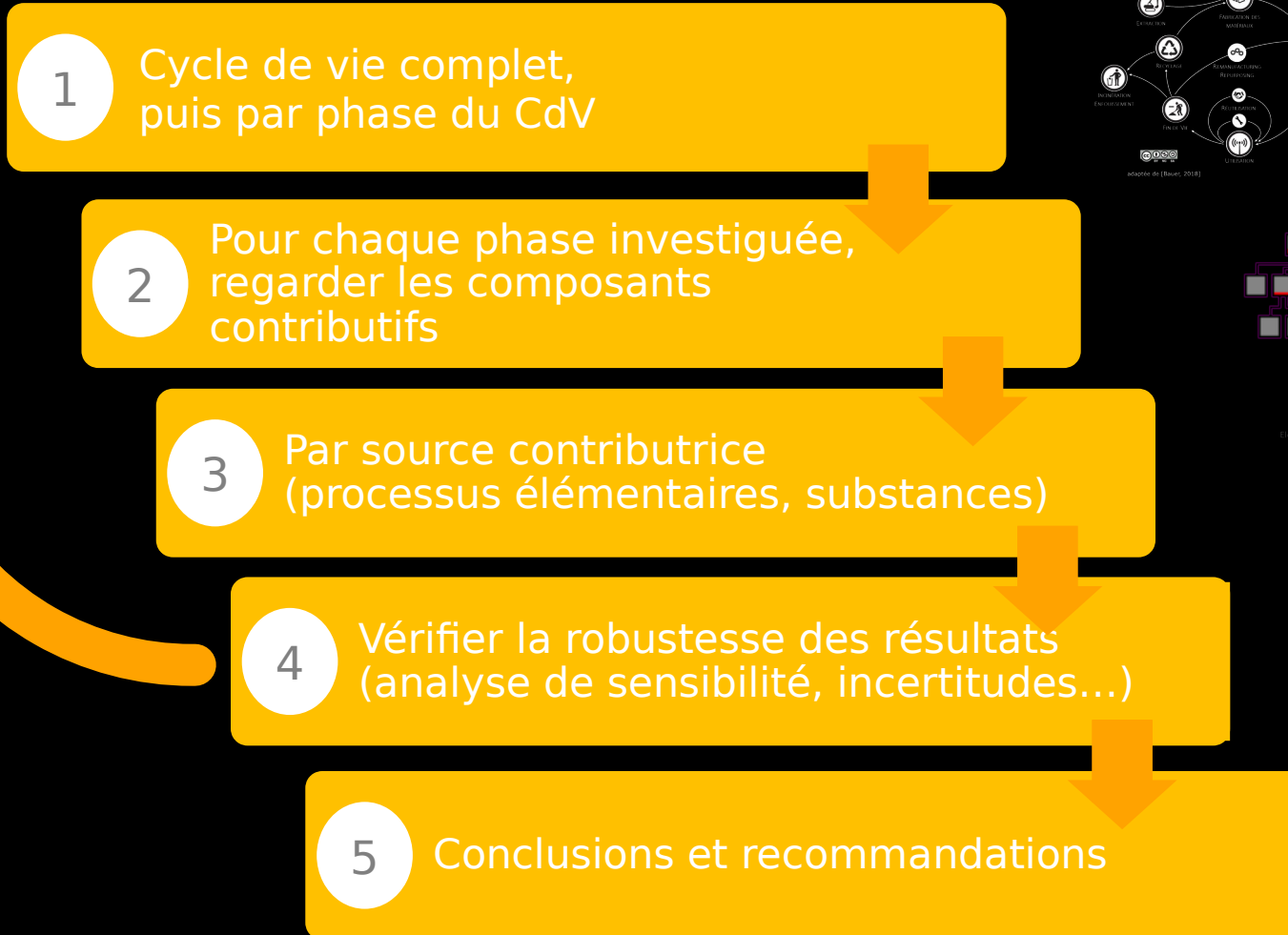
La norme ISO 14044 définit la phase d'interprétation comme comprenant plusieurs éléments :

- "identification des **enjeux significatifs** basée sur les résultats des phases de l'ICV et de l'ACVI d'une ACV;
- vérification prenant en compte les **contrôles de complétude, de sensibilité et de cohérence**
- **conclusions, limitations et recommandations**

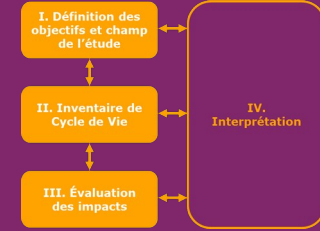
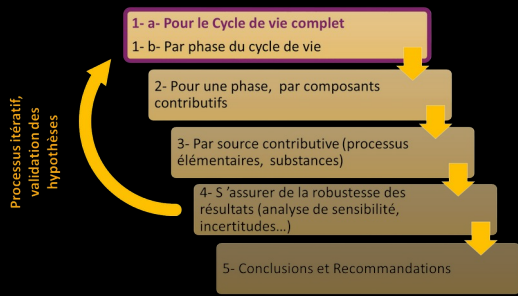


Démarche

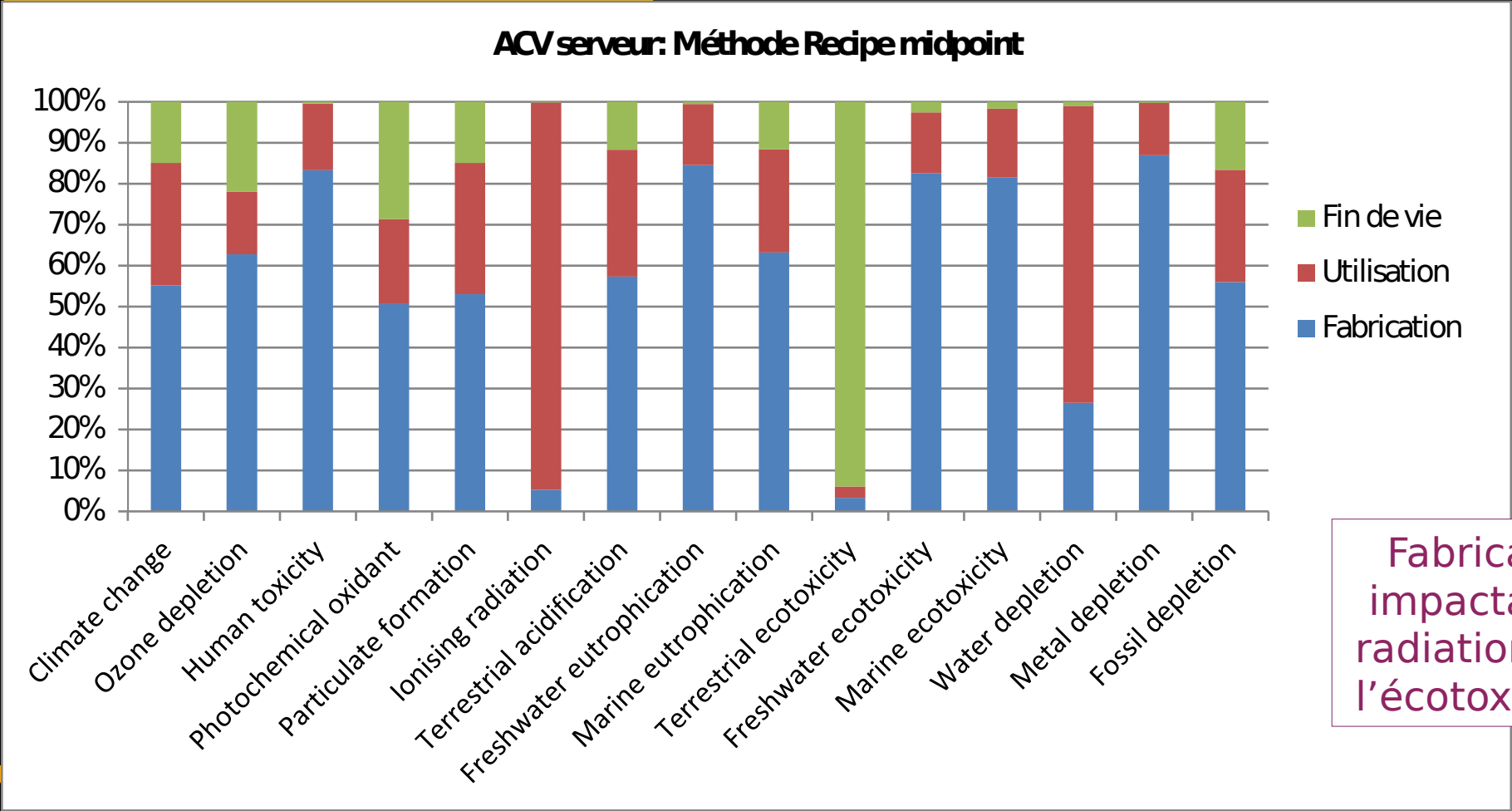
Processus itératif,
validation des
hypothèses



Exemple - ACV d'un serveur



1- Par phase du cycle de vie



Fabrication la plus impactante sauf sur radiation ionisante et l'écotoxicité terrestre

[C. Charbuillet]

Exemple - ACV d'un serveur

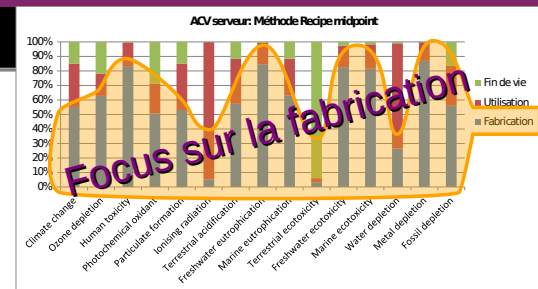
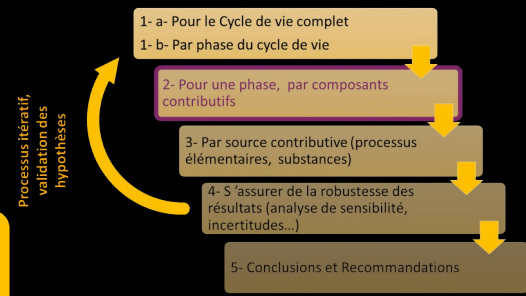
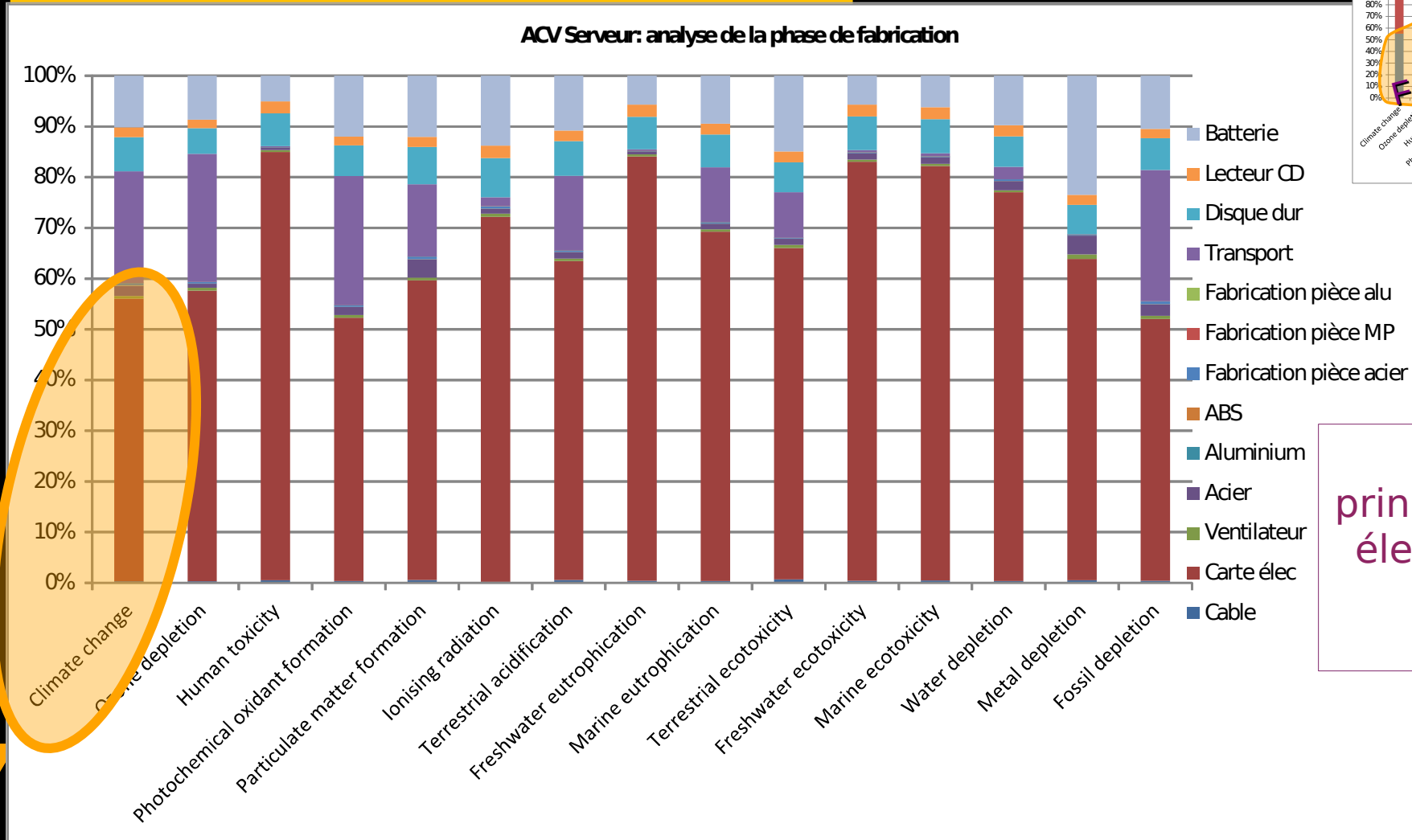


Catégorie d'impact	Unité	Fabrication	Utilisation	Fin de vie
Climate change	kg CO2 eq	561,74	304,28	151,07
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	6,153 E-05	1,496 E-05	2,149 E-05
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1998,03	389,34	10,26
Photochemical oxidant	kg NMVOC	2,47	1,01	1,40
Particulate formation	kg PM10 eq	1,13	0,69	0,32
Ionising radiation	kg U235 eq	199,14	3594,04	6,49
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	3,23	1,75	0,66
Freshwater eutrophication	kg P eq	1,32	0,23	0,01
Marine eutrophication	kg N eq	0,21	0,08	0,04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,12	0,10	3,48
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	26,21	4,71	0,81
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	25,99	5,35	0,54
Water depletion	m3	6,83	18,65	0,25
Metal depletion	kg Fe eq	544,03	79,96	1,37
Fossil depletion	kg oil eq	165,76	81,44	49,05

[C. Charbuillet]

Exemple - ACV d'un serveur

2- Pour une phase, par composants contributifs



Contribution principale des cartes électroniques pour la phase de fabrication

[C. Charbuillet]

Exemple - ACV d'un serveur

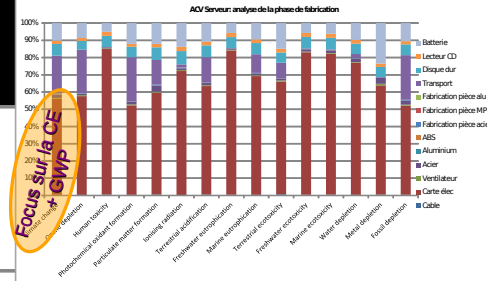
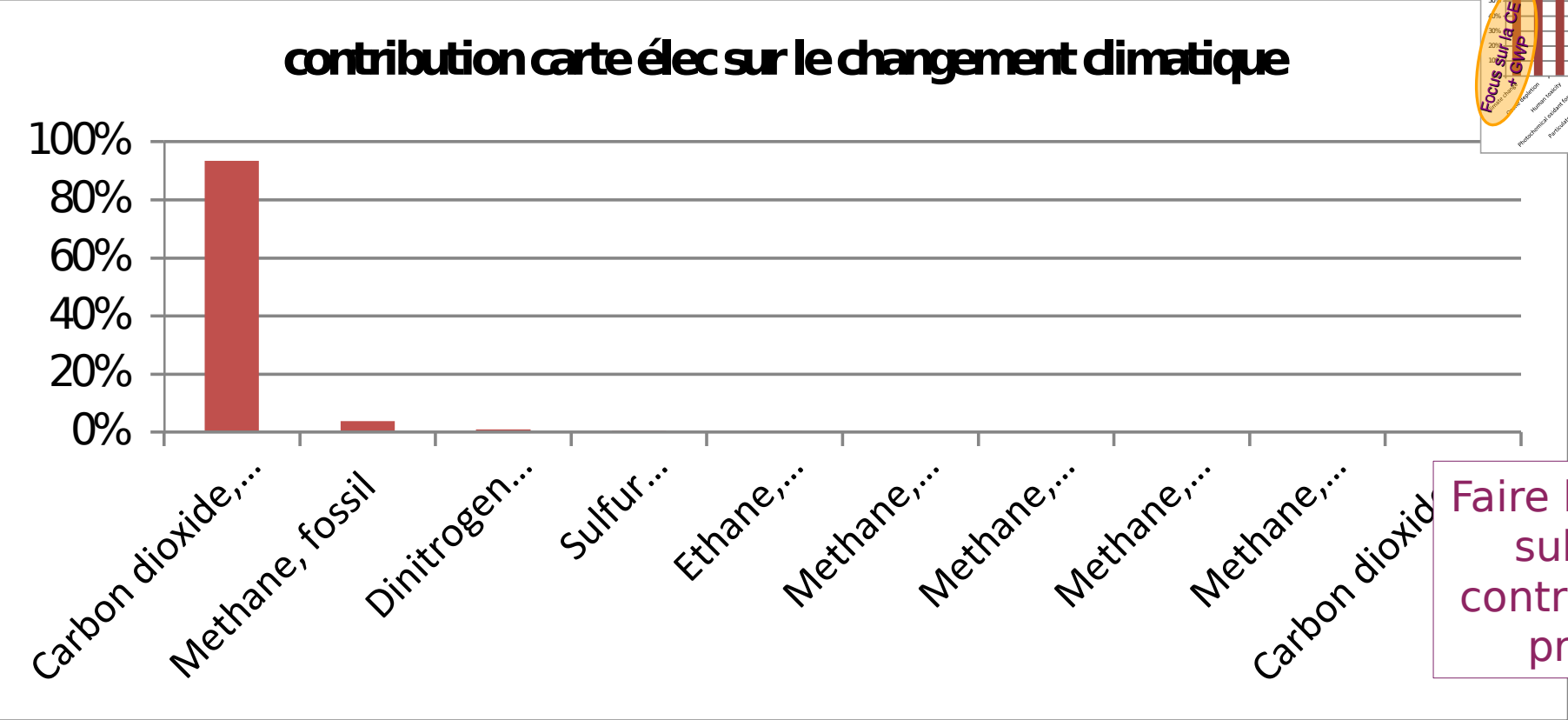
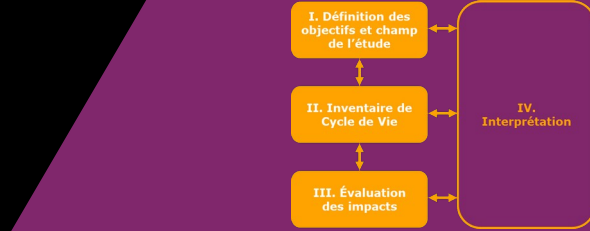
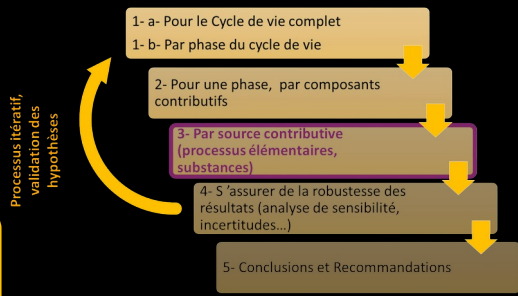
[C. Charbuillet]



Catégorie d'impact	Câble	Carte élec	Ventila-teur	Acier	Alu	ABS	Pièce acier	Pièce MP	Pièce alu	Trans-port	Disque dur	Lecteur CD	Batterie
Climate change	0%	56%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	7%	2%	10%
Ozone depletion	0%	57%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	5%	2%	9%
Human toxicity	1%	84%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	2%	5%
Photochemical oxidant formation	0%	52%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	6%	2%	12%
Particulate matter formation	1%	59%	1%	4%	0%	0%	1%	0%	0%	14%	7%	2%	12%
Ionising radiation	0%	72%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	8%	2%	14%
Terrestrial acidification	1%	63%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	15%	7%	2%	11%
Freshwater eutrophication	0%	84%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	2%	6%
Marine eutrophication	0%	69%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	11%	7%	2%	9%
Terrestrial ecotoxicity	1%	65%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	9%	6%	2%	15%
Freshwater ecotoxicity	0%	83%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	2%	6%
Marine ecotoxicity	0%	82%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	7%	2%	6%
Water depletion	0%	77%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	6%	2%	10%
Metal depletion	1%	63%	1%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	2%	23%
Fossil depletion	0%	52%	1%	2%	0%	0%	1%	0%	0%	26%	6%	2%	11%

Exemple - ACV d'un serveur

3- Par source contributive (processus élémentaires, substances)



Faire le lien entre substances contributrices et processus

Carte électronique => circuit intégré, processus de fabrication

Exemple - ACV d'un serveur



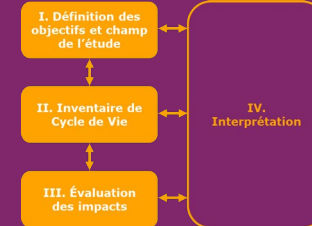
Bilan

- Phase de fabrication la plus impactante sauf sur 2 catégories d'impacts ;
- Contribution importante de la fin de vie du serveur sur l'écotoxicité, l'eutrophisation et la toxicité ;
- Les cartes électroniques sont les composants présentant la plus forte contribution.

[C. Charbuillet]

Exemple de rapport - Sac d'emballage [ADEME]

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises



[ADEME, 2019]

TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

6.3. Réutilisation en sac de pré-collecte des biodéchets	101
6.4. Influence de la consommation électrique de l'extrusion pour les sacs issus de plastique biosourcé	103
7. Évaluation de la qualité des données	104
7.1. Méthode	104
7.2. Évaluation	107
8. Modélisation d'un plastique biosourcé « starch blend »	110
8.1. Introduction	110
8.2. Données de modélisation	111
8.3. Composition du granule	111
8.4. Inventaires de cycle de vie des matières premières	112
8.5. Production du granule starch blend	113
8.6. Résultats	113
8.7. Analyse de sensibilité	116
8.8. Évaluation de la qualité des données	117
9. Limites de l'étude	118
9.1. Limites intrinsèques à l'approche ACV	118
9.2. Limites liées aux données	118
9.3. Limites liées aux indicateurs d'impacts	119
9.4. Limites liées au champ de l'étude	120
10. Conclusions	121
10.1. Résultats de l'analyse de risque lié à l'abandon dans la nature	121
10.2. Principaux résultats de l'ACV pour les différents types de sac à usage unique	122
10.3. Principaux résultats ACV pour les sacs réutilisables	124
10.4. Les résultats sont sensibles à différents paramètres qui peuvent faire changer la position relative des sacs les uns par rapport aux autres	124
10.5. La fin de vie	124
10.6. La masse des sacs	125
10.7. Le nombre d'utilisations	126
10.8. Des pistes d'éco-conception	127
11. Recommandations pour approfondir le sujet	129
11.1. Recommandations techniques	129
11.2. Recommandations méthodologiques	129
12. Annexes	130
12.1. Annexe 1 : Comité de pilotage et comité technique	130
12.2. Annexe 2 : Analyse bibliographique	131
12.3. Résultats pour les sacs à usage unique	146
12.4. Contribution des étapes du cycle de vie	147
12.5. Annexe 3 : Résultats détaillés sur la normalisation pondération	154

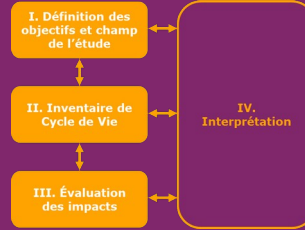
ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 4

12.6. Annexe 4 : Changement climatique sans CO ₂ biogénique	160
12.7. Annexe 5 : Contribution relative par étapes du cycle de vie et des procédés	162
12.8. Annexe 6 : Résultats pour le sac PE à usage unique	167
12.9. Annexe 7 : Modélisation du mix énergétique et de chaleur	175
12.10. Annexe 8 : Modélisation du transport	177
12.11. Annexe 9 : Modélisation du compostage domestique appliqué aux biodéchets	179
12.12. Annexe 10 : FICHE « PLATEFORME DE COMPOSTAGE CENTRALISÉE » (appliquée aux biodéchets)	183
12.13. Annexe 11 : FICHE « UNITÉ D'INCINÉRATION »	189
12.14. Annexe 12 : FICHE « UNITÉ DE MÉTHANISATION » (appliquée aux biodéchets)	198
12.15. Annexe 13 : FICHE « ENFOUISSEMENT »	204
12.16. Annexe 14 : Grille de notation du critère d'évaluation de la pertinence et la cohérence méthodologique	208
12.17. Annexe 15 : Présentation de RangelCA	209
12.18. Annexe 16 : Rapport de revue critique	210
Index des tableaux et figures	216
Sigles et acronymes	219

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 5

Exemple de rapport – Sac d'emballage [ADEME]

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises



[ADEME, 2019]

TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

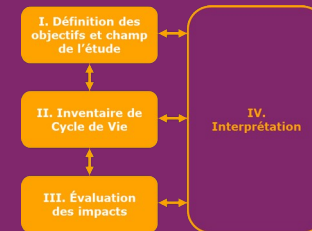
I. Unité fonctionnelle

Emballer au point de vente 2 kg de fruits et légumes, et les transporter du commerce au lieu de consommation en conservant l'intégrité de la marchandise

la(les) fonction(s) assurée(s)/le(s) service(s) rendu(s) : « quoi » ;	Emballer et transporter des fruits et légumes
l'ampleur de la fonction ou du service : « combien » ;	Une masse de 2 kg
le niveau de qualité souhaité : « comment » ;	Du commerce au lieu du consommateur en vue de préserver leur intégrité
la durée d'usage du produit : « combien de temps » ;	Emballage à usage unique : cela comprend le temps de stockage éventuel, le temps de mise à disposition et le temps de transport entre le lieu d'achat et le lieu de consommation (+ temps associé aux éventuelles réutilisations : même usage ou autre, ex. sac à déchets) Emballage réutilisable : nombre d'utilisations prévues pendant la durée de vie de l'emballage

Exemple de rapport - Sac d'emballage [ADEME]

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises



[ADEME, 2019]






TABLE DES MATIERES	
Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

I. Unité fonctionnelle

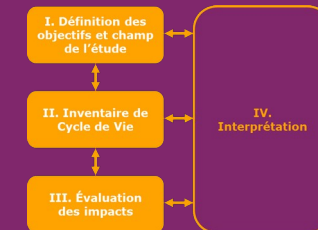
Emballer au point de vente 2 kg de fruits et légumes, et les transporter du commerce au lieu de consommation en conservant l'intégrité de la marchandise

I. Flux de référence (caractéristiques à adapter)

N°	Usage (unique / réutilisable)	Composition principale biosourcée	Composition principale pétrosourcée	Part de biosourcée	Caractéristiques des sacs					Critères de sélection		Image
					Masse contenue	Volume utile ²⁴	Masse du sac	Épaisseur	Mode de distribution	Bretelles	Importance sur le marché français	
Les sacs plastiques biosourcés et compostables domestiquement												
1	Usage unique	Amidon de maïs	PBAT	40% (Prise en compte des obligations réglementaires)	2 kg	≈ 4 L	2,03 g	10 µm	Liasses	non	+++ Très présent sur le marché notamment dans les grandes surfaces	
2	Usage unique	PBAT (mix pétrosourcé / biosourcés + PLA (<10%))		40% (Prise en compte des obligations réglementaires)	2 kg	≈ 4 L	2,24 g	10 µm	Liasses	non	++ Présent sur le marché notamment dans les grandes surfaces	
3	Usage unique	Amidon de pomme de terre	PBAT	40% (Prise en compte des obligations réglementaires)	2 kg	≈ 4 L	2,07 g	10 µm	Liasses	non	++ Présent sur le marché notamment dans les grandes surfaces	
Les sacs papier ²⁵ ou hybrides												
4	Usage unique	Papier Kraft non blanchi (vierge)	0%	100%	2 kg	≈ 4 L	5,85 g	36 g/m²	Liasses	non	++ Présent sur le marché notamment dans les moyennes surfaces, les petits commerces de proximité et les marchés	
5	Usage unique	Papier Kraft non blanchi (vierge)	Fenêtre plastique OPP sur 30% de la surface totale du sac	Papier sur 70% de la surface totale du sac	2 kg	≈ 4 L	5,63 g	36 g/m²	Liasses	non	+ Présent sur le marché notamment dans les moyennes surfaces et les commerces de proximité	
Les sacs réutilisables												
6	Réutilisable	-	PE (résine de polymère 100% en PE vierge)	0%	2 kg	≈ 4 L	7,45 g	50 µm	Liasses	Oui	+ Présent uniquement dans certains commerces de proximité et sur les marchés	
7	Réutilisable	Coton	0%	100%	2 kg	≈ 4 L	12,15 g	Fibre de coton lavage toutes les 5 utilisations	Vrac	non	+ Répandu uniquement dans certains commerces de proximité	

Exemple de rapport – Sac d'emballage [ADEME]

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises



[ADEME, 2019]

TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

I. Objectifs

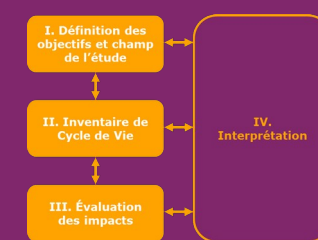
- Évaluer et comparer les impacts environnementaux des différents types de sacs sur le marché hors sacs de caisse ;
- Déterminer les conditions dans lesquelles chacun des sacs évalués peut présenter une plus-value environnementale par rapport aux autres ;
- Identifier les pistes d'améliorations environnementales et d'éco-conception par type de sac.

I. Différents scénarios

- Sacs en différentes matières ;
- À usage unique ou réutilisable.

Exemple de rapport - Sac d'emballage [ADEME]

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises



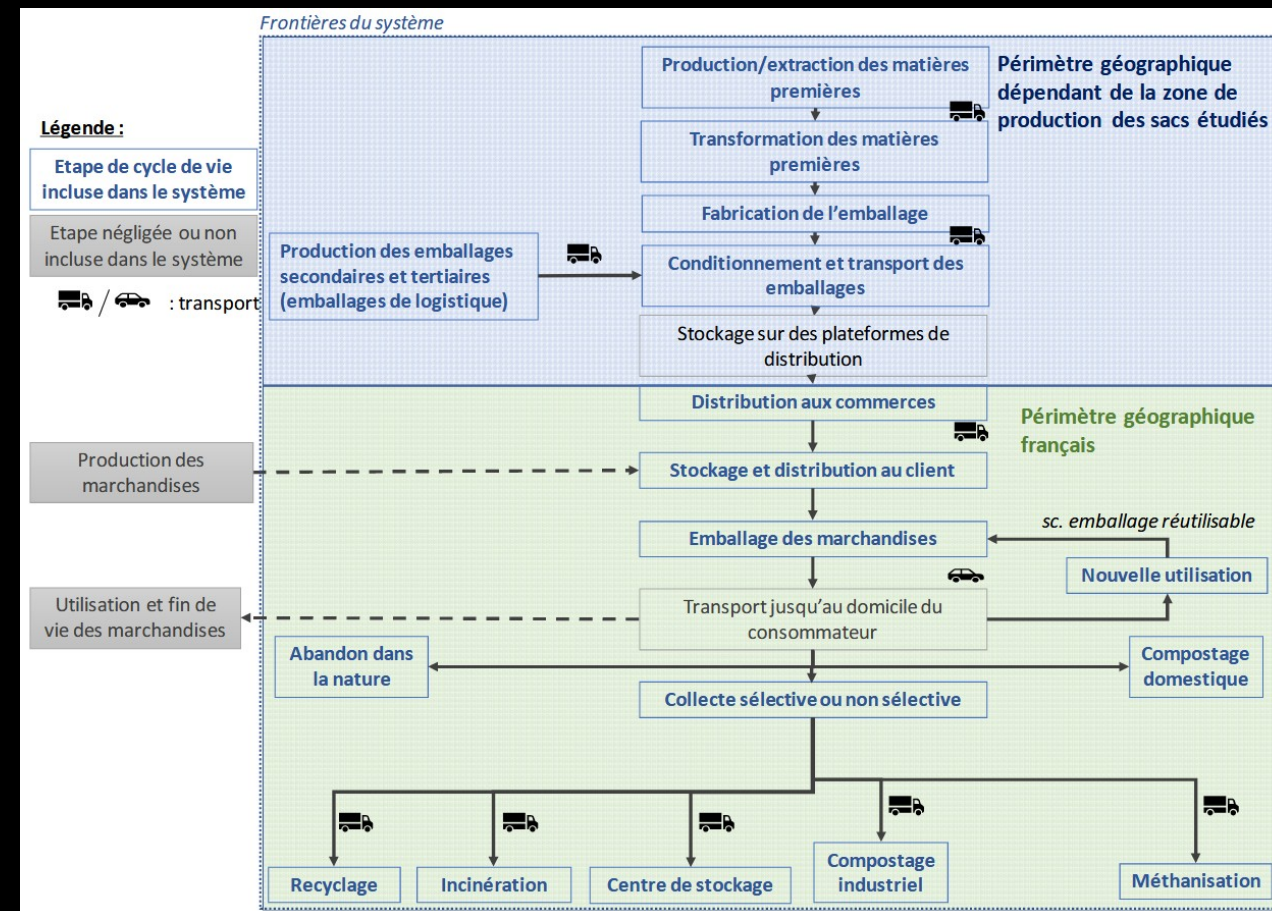
[ADEME, 2019]

TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

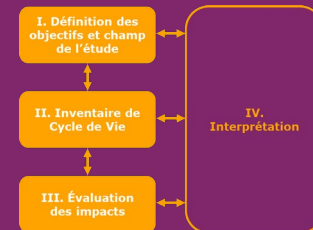
ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

I. Frontières du système



Exemple de rapport - Sac d'emballage [ADEME]

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises



[ADEME, 2019]

II. Production des matières premières (extrait 1)

TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

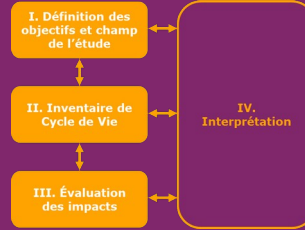
ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

Tableau 4-2 : Description des matières premières principales utilisées

Scénario	Composition	Poids ³³	Inventaire de cycle de vie utilisé	Périmètre géographique, temporel
Sac PBAT/amidon de maïs	Confidentiel	2.03 g	ICV fourni par le producteur	Europe, 2018
Sac à base d'un mix PBAT et PLA pétrosourcé/biosourcés	Confidentiel	2.24 g	ICV fourni par le producteur	Europe, 2018
Sac PBAT/amidon de pomme de terre	Confidentiel	2.07 g	Amidon : inventaire Ecoinvent v3.5 PBAT : inventaire de cycle de vie fourni par le producteur (composition confidentielle)	Spécifique au pays de production ou à l'Europe dans la mesure du possible
Sac en Papier Kraft	Papier 100%	5.85 g	ICV du papier Kraft fourni par EUROSAC / CEPI Eurokraft	Europe, 2017 et représente 82% de la production totale de papier kraft brun
Sac hybride	Papier	4.09 g	ICV du papier Kraft fourni par EUROSAC / CEPI Eurokraft	Europe, 2017 et représente 82% de la production totale de papier kraft brun
	Fenêtre en PP	1.53 g	Polypropylène granulés (PP), PlasticsEurope 2014 (données 2011). + Extrusion plastic film, RER, Ecoinvent v3.5	Europe, 2014 (données 2011 collectées auprès de 35 sites)
Sac PE réutilisable	PEBD	7.45 g	LDPE granulés, PlasticsEurope	Europe, 2014 (Données 2011 collectées auprès de 22 sites)
Sac en coton	Coton (sac + fil)	12.15 g	market for cotton fibre, EcoInvent 3.4	Global, 2011

Exemple de rapport - Sac d'emballage [ADEME]

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises



[ADEME, 2019]

II. Production des matières premières (extrait 2)

TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

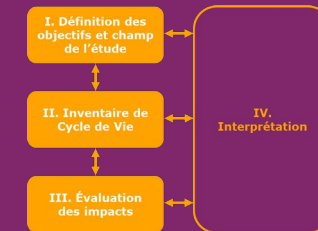
ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

Tableau 4-4 : Données utilisées pour la composition de l'encre et de la colle

	Composition	%	Inventaire de cycle de vie	Source
Encre	Nitrocellulose	12.5 %	Nitrocellulose	ACV des procédés de mise en forme d'emballage souple complexe, 2010
	Pigments	7.5 %	market for carbon black, EcolInvent 3.4 (50%) market for titanium dioxide, EcolInvent 3.4 (50%)	
	Polyuréthane	4 %	Polyurethane production, EcolInvent 3.4	
	Cire	3 %	market for paraffin, EcolInvent 3.4	
	Éthanol	24 %	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from ethylene, EcolInvent 3.4	
	Acétate d'éthyle	49 %	market for ethyl acetate, EcolInvent 3.4	
	Électricité	0.35 kWh	Annexe 7	
	Gaz Naturel	0.875 MJ	Annexe 7	
Colle	Acétate d'éthyle	25%	market for ethyl acetate, EcolInvent 3.4	
	MDI	1.5%	market for methylene diphenyldiisocyanate, EcolInvent 3.4	
	Éthanol	3.5 %	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from ethylene, , EcolInvent 3.4	
	Polypropylène glycol	50%	market for propylene glycol, liquid, EcolInvent 3.4	
	3-aminopropyltriethoxy silane	20%	market for silicone product, EcolInvent 3.4	

Exemple de rapport - Sac d'emballage [ADEME]

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises



[ADEME, 2019]

II. Transport

Figure 4 : Distance de transport de matières premières vers l'usine de transformation

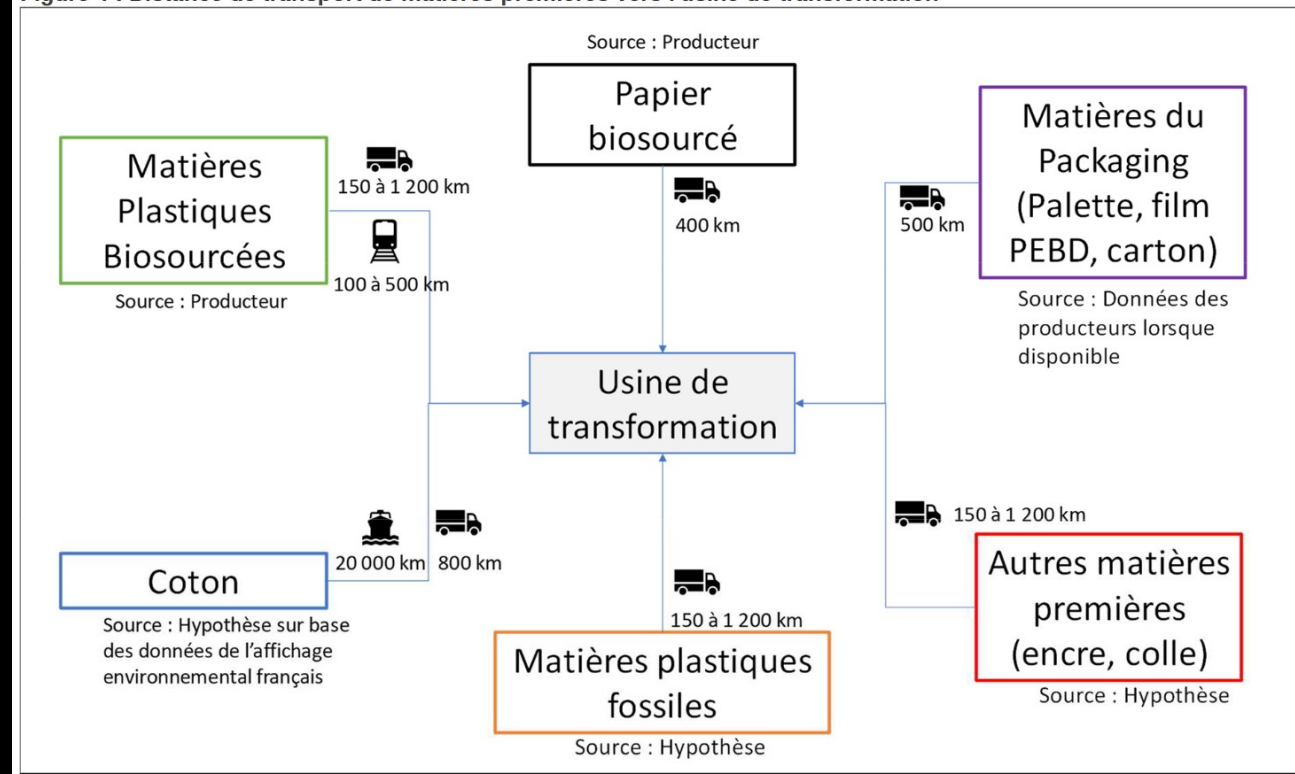


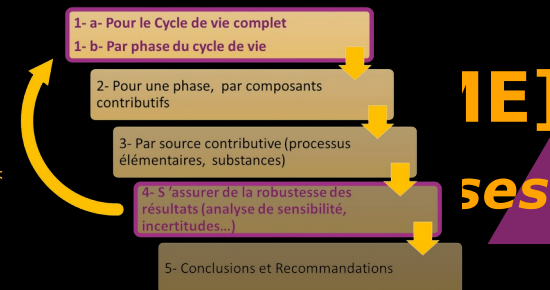
TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

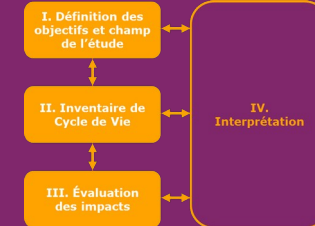
Exemple de rapport - Sac d'emballage

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage

Processus itératif, validation des hypothèses



IE] ses



[ADEME, 2019]

III. Changement climatique (usage unique)

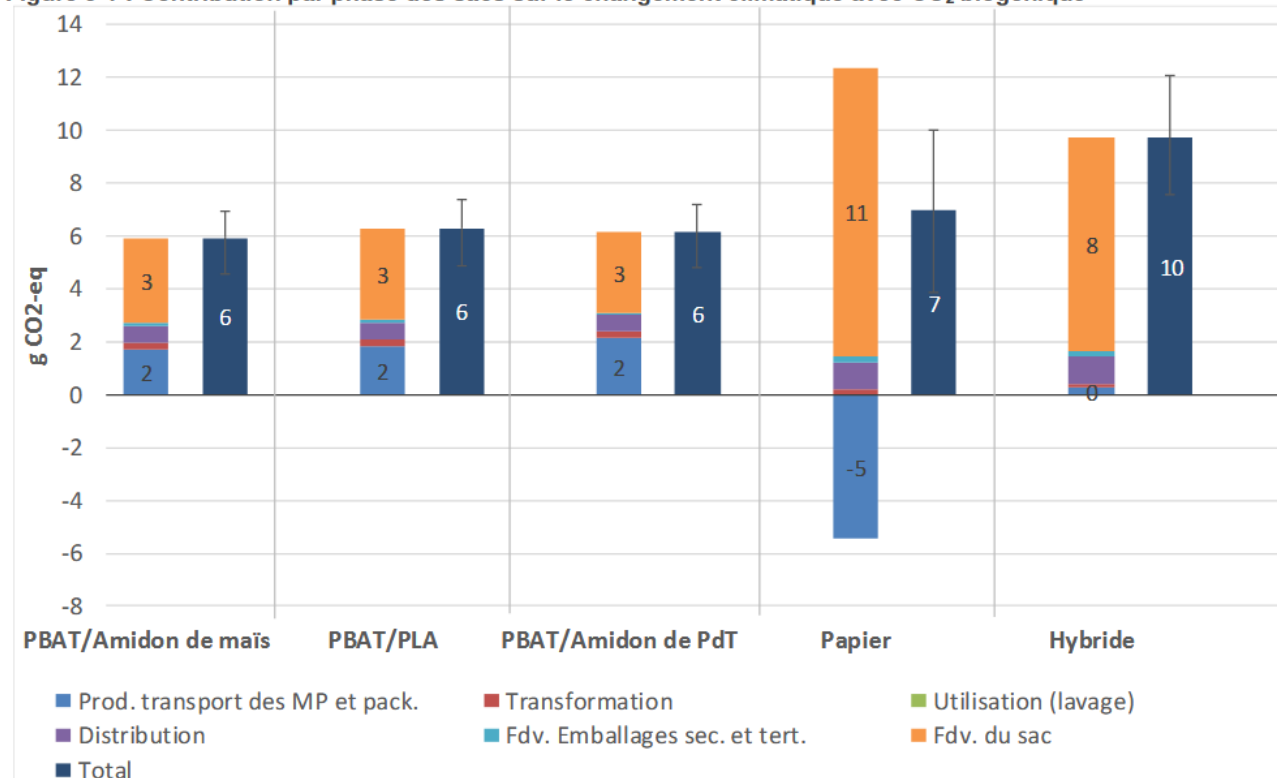
TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

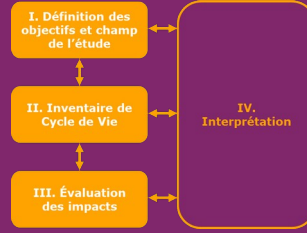
III.

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

Figure 5-1 : Contribution par phase des sacs sur le changement climatique avec CO₂ biogénique



À quel point les résultats sont considérés comme significatifs ?



Pour la méthode de calcul 'IMPACT 2002+', d'après son guide d'utilisateur·trice :

“For a very initial discussion, **any difference lower than 10% is not considered significant for the energy and global warming scores.**

The difference needs to be **higher than 30% to be significant for respiratory inorganics or acidification and eutrophication.**

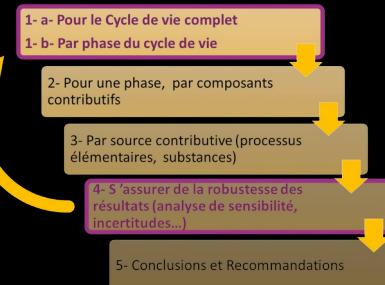
For the **toxicity categories, an order of magnitude (factor 10)** difference is typically required for a difference to be significant, especially if the dominant emissions are different between scenarios or are dominated by long-term emissions from landfill that can be highly uncertain.”

[Jolliet et al. 2003]

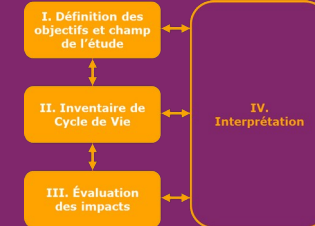
Exemple de rapport - Sac d'emballage

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage

Processus itératif,
validation des
hypothèses



1E]
ses



[ADEME, 2019]

III. Émissions de particules (usage unique)

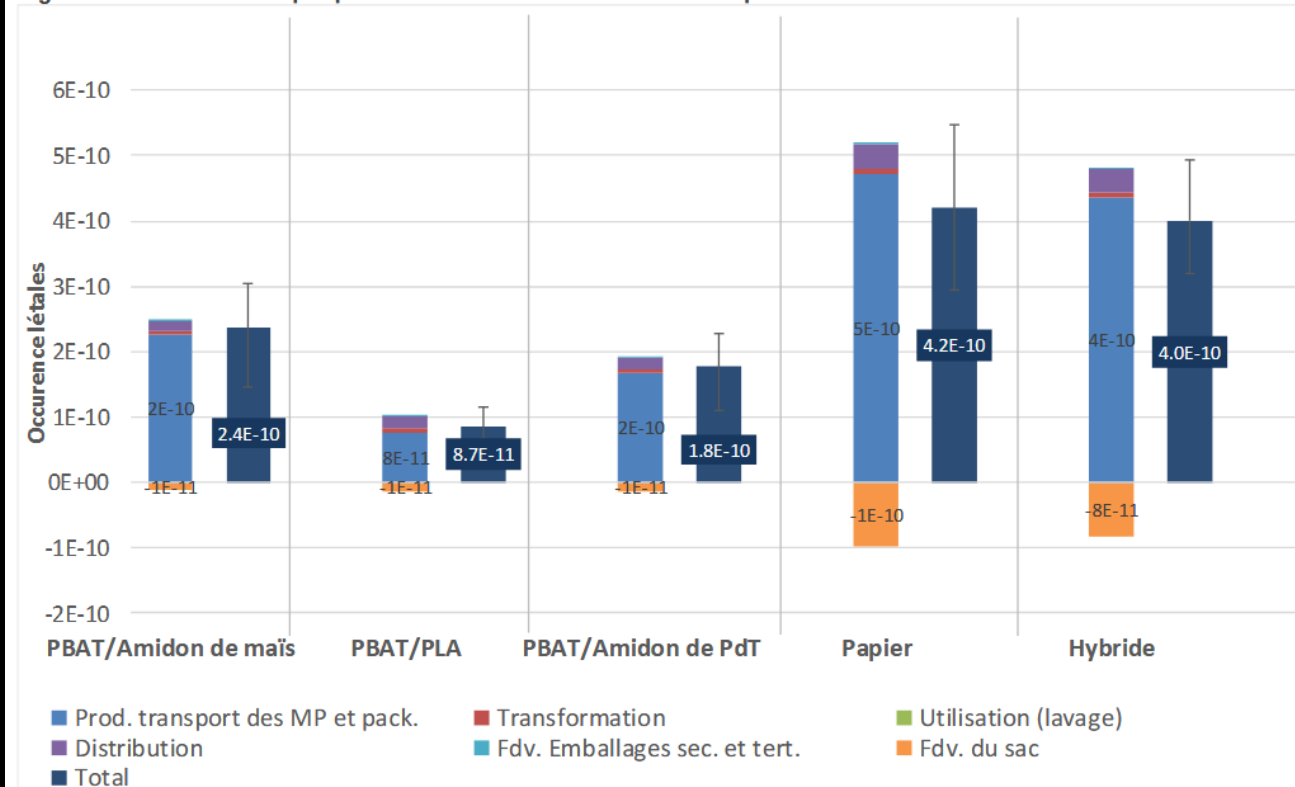
TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

III.

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

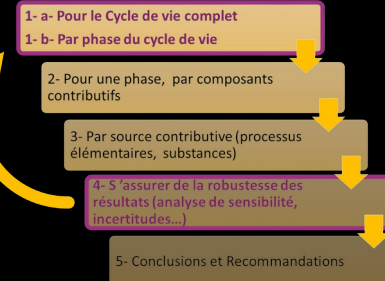
Figure 5-4 : Contribution par phase des sacs sur les émissions de particules



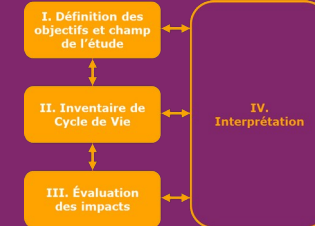
Exemple de rapport - Sac d'emballage

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage

Processus itératif,
validation des
hypothèses



1E]
ses



[ADEME, 2019]

III. Ozone photochimique (usage unique)

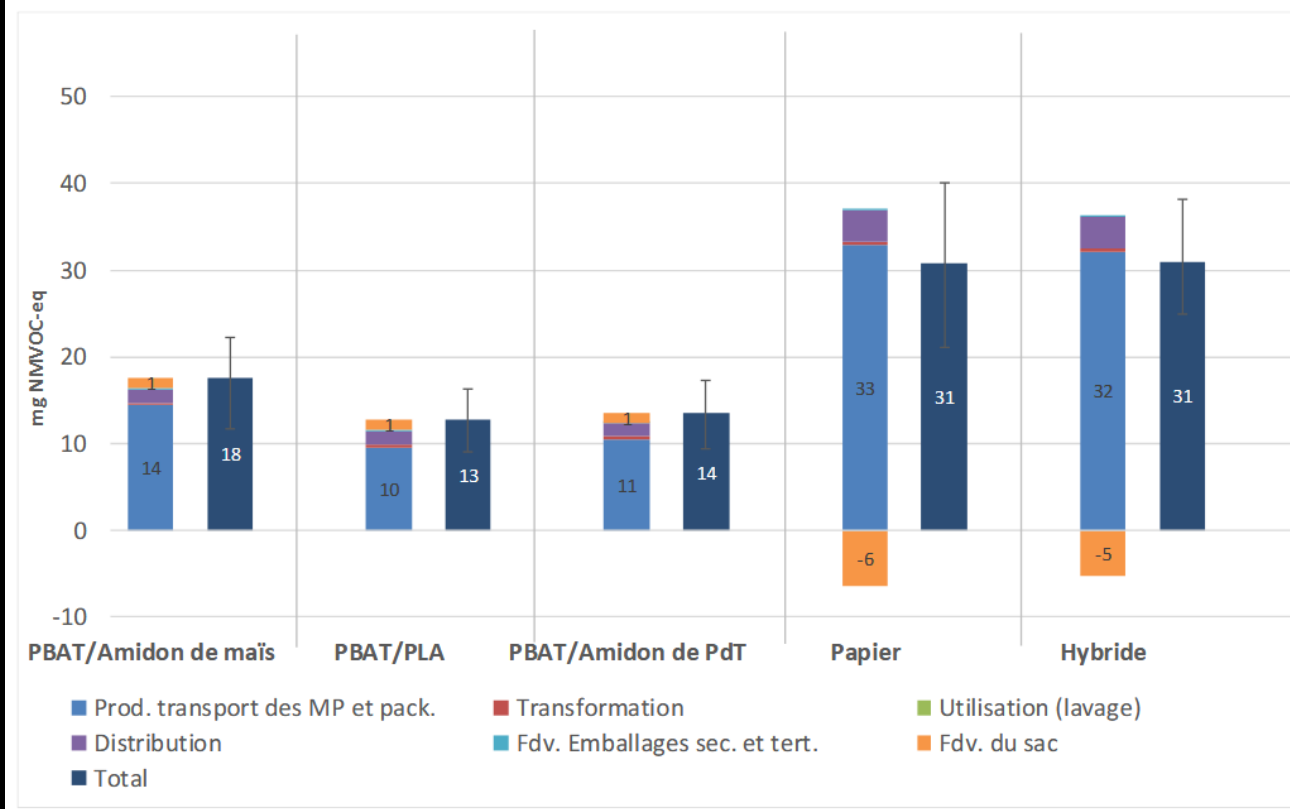
TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte et objectifs de l'étude	10
1.1. Contexte	10
1.2. Objectifs	10
2. Abandon dans la nature	12
2.1. Contexte	12
2.2. Évaluation des impacts des sacs abandonnés dans la nature dans la bibliographie	14
2.3. Évaluation du risque lié à l'abandon dans la nature	15
3. Méthodologie ACV	21
3.1. Description de la méthode d'analyse de cycle de vie	21
3.2. Définition des scénarios étudiés	22
3.3. Unité fonctionnelle et flux de référence	27
3.4. Frontière du système	28
3.5. Exigence sur la qualité des données	29
3.6. Critères de coupure	31
3.7. Règles d'allocation	31
3.8. Catégories d'impacts	32
3.9. Carbone biogénique	36
3.10. Modélisation de la fin de vie	37
3.11. Public cible	40
3.12. Revue critique	40
4. Données utilisées pour l'ACV	41
4.1. Dimensions des sacs	41
4.2. Production des matières premières	42
4.3. Packaging	43
4.4. Transport des matières premières	44
4.5. Transformation	45
4.6. Distribution	46
4.7. Utilisation	46
4.8. Fin de vie	47
5. Résultats	51
5.1. Sélection des indicateurs	52
5.2. Analyse des contributions des sacs à usage unique pour les indicateurs pertinents	53
5.3. Analyse des contributions des sacs réutilisables pour les indicateurs pertinents	71
6. Analyses de sensibilité	82
6.1. Influence des types de fin de vie	82
6.2. Influence de la masse des sacs	96

III.

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 3

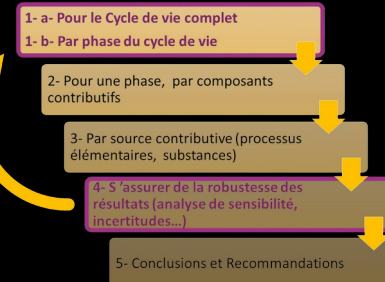
Figure 5-6 : Contribution par phase des sacs sur la formation d'ozone photochimique



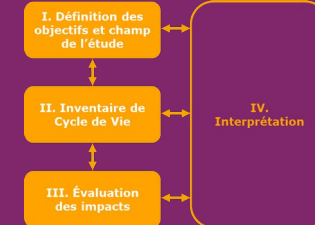
Exemple de rapport - Sac d'emk

ACV comparative de sacs destinés à l'emballa

Processus itératif,
validation des
hypothèses



IE]
ses

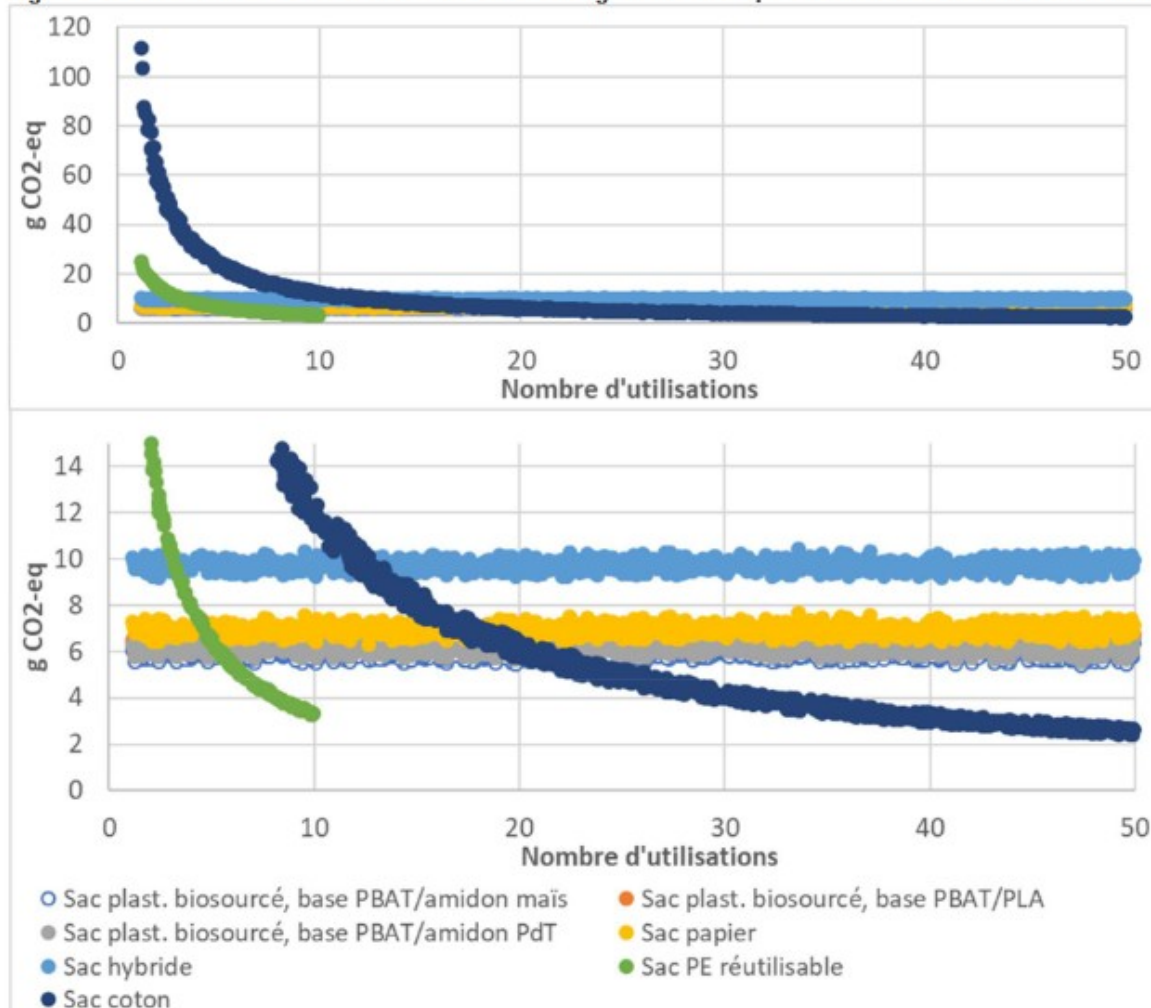


[ADEME, 2019]

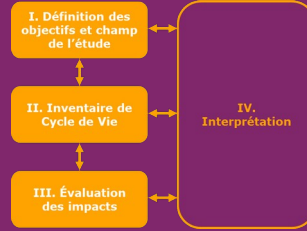
IV. Analyse de sensibilité (nb réutilisations → 5.3.2)

6.3.	Réutilisation en sac de pré-collecte des biodéchets	101
6.4.	Influence de la consommation électrique de l'extrusion pour les sacs issus de plastique biosourcé	103
7.	Évaluation de la qualité des données	104
7.1.	Méthode	104
7.2.	Évaluation	107
8.	Modélisation d'un plastique biosourcé « starch blend »	110
8.1.	Introduction	110
8.2.	Données de modélisation	111
8.3.	Composition du granule	111
8.4.	Inventaires de cycle de vie des matières premières	112
8.5.	Production du granule starch blend	113
8.6.	Résultats	113
8.7.	Analyse de sensibilité	116
8.8.	Évaluation de la qualité des données	117
9.	Limites de l'étude	118
9.1.	Limites intrinsèques à l'approche ACV	118
9.2.	Limites liées aux données	118
9.3.	Limites liées aux indicateurs d'impacts	119
9.4.	Limites liées au champ de l'étude	120
10.	Conclusions	121
10.1.	Résultats de l'analyse de risque lié à l'abandon dans la nature	121
10.2.	Principaux résultats de l'ACV pour les différents types de sac à usage unique	122
10.3.	Principaux résultats ACV pour les sacs réutilisables	124
10.4.	Les résultats sont sensibles à différents paramètres qui peuvent faire changer la position relative des sacs les uns par rapport aux autres :	124
10.5.	La fin de vie	124
10.6.	La masse des sacs	125
10.7.	Le nombre d'utilisations	126
10.8.	Des pistes d'éco-conception	127
11.	Recommandations pour approfondir le sujet	129
11.1.	Recommandations techniques	129
11.2.	Recommandations méthodologiques	129
12.	Annexes	130
12.1.	Annexe 1 : Comité de pilotage et comité technique	130
12.2.	Annexe 2 : Analyse bibliographique	131
12.3.	Résultats pour les sacs à usage unique	146
12.4.	Contribution des étapes du cycle de vie	147
12.5.	Annexe 3 : Résultats détaillés sur la normalisation pondération	154

Figure 5-16 : Résultats des sacs réutilisables sur le changement climatique en fonction du nombre d'utilisations



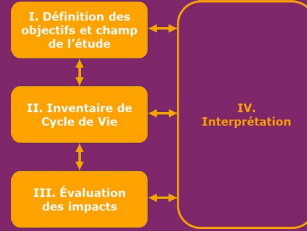
Quelques précisions sur les analyses de sensibilité



- Objectif : évaluer la fiabilité des résultats et des conclusions
- Procédure systématique pour estimer les effets sur les résultats d'une étude, des choix concernant les méthodes et les données.
- Elle doit prendre en considération
 - les problèmes prédéterminés par les objectifs et le champ de l'étude,
 - les résultats de toutes les autres phases de l'étude,
 - les appréciations d'expert et les expériences précédentes.

[ISO 14040-44, 2006 +A2]

Quelques précisions sur les analyses de sensibilité

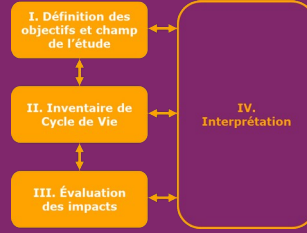


L'analyse de sensibilité peut concerner :

- règles d'affectation ;
 - critères de coupure ;
 - établissement de la frontière et définition du système ;
 - appréciations et hypothèses concernant les données ;
 - sélection des catégories d'impact ;
 - calcul des résultats d'indicateurs de catégorie (caractérisation) ;
 - données normalisées et/ou pondérées ;
 - méthode de pondération ;
 - qualité des données.
-)} Périumètre France ou UE
Nombre de réutilisations, localisation, mode de transport

[ISO 14040-44, 2006 +A2]

Comment choisir les paramètres de sensibilité ?



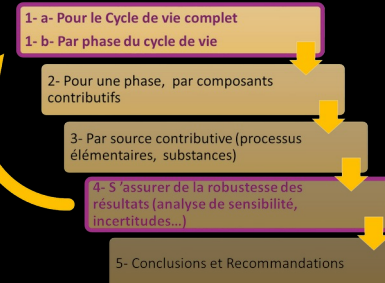
- Enjeux les plus significatifs ;
- Hypothèses fortes :
 - Scénarios non maîtrisés (tq usage, lieu d'utilisation)
 - Valeurs estimées, avec beaucoup d'incertitudes
- Données initiales (de BdD) modifiées

[ISO 14040-44, 2006 +A2]

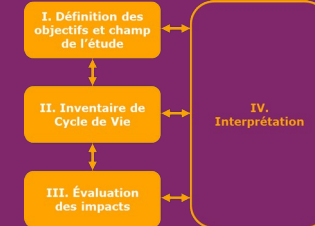
Exemple de rapport - Sac d'emk

ACV comparative de sacs destinés à l'emballa

Processus itératif,
validation des
hypothèses



IE] ses

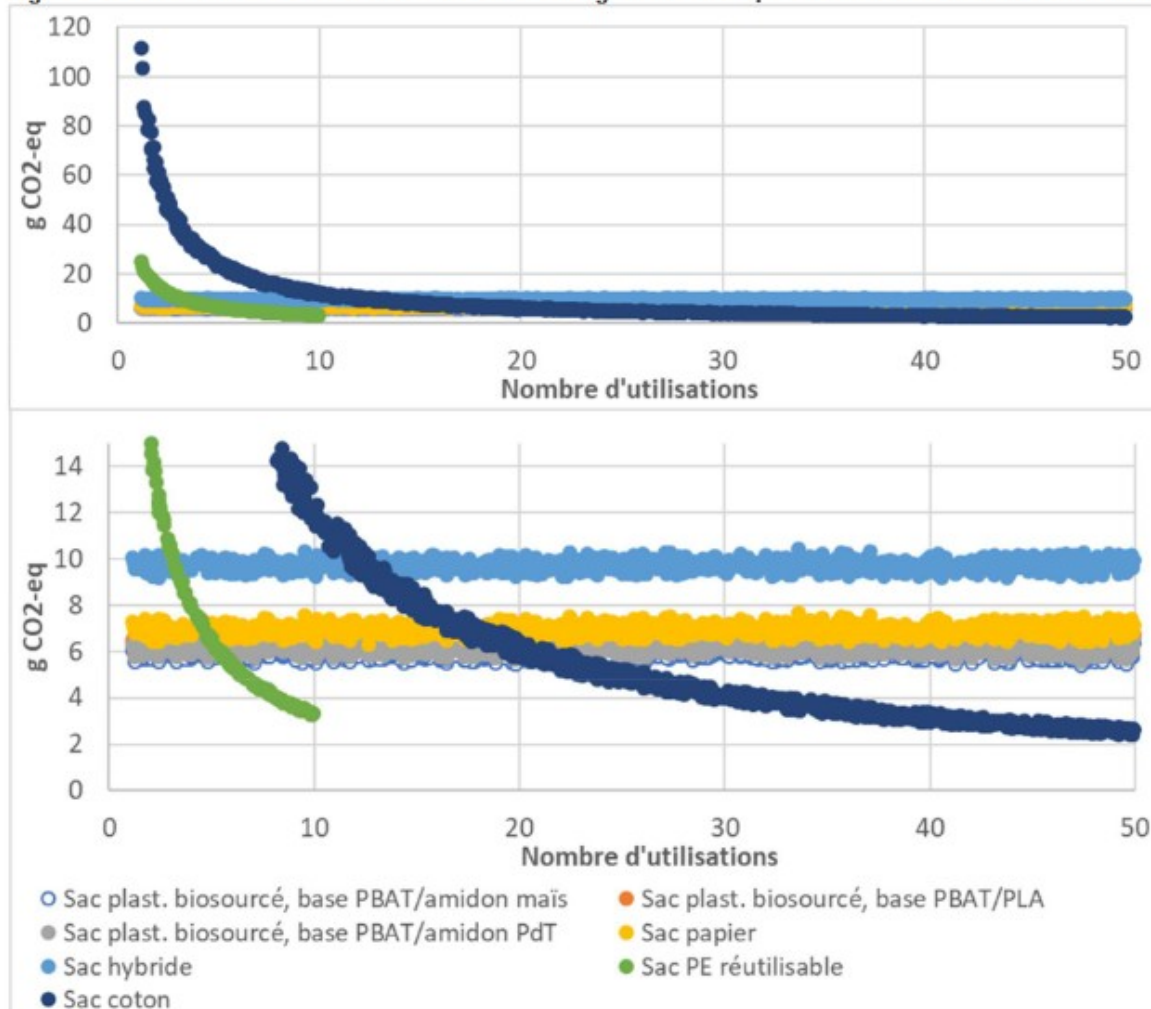


[ADEME, 2019]

IV. Analyse de sensibilité (nb réutilisations → 5.3.2)

6.3.	Réutilisation en sac de pré-collecte des biodéchets	101
6.4.	Influence de la consommation électrique de l'extrusion pour les sacs issus de plastique biosourcé	103
7.	Évaluation de la qualité des données	104
7.1.	Méthode	104
7.2.	Évaluation	107
8.	Modélisation d'un plastique biosourcé « starch blend »	110
8.1.	Introduction	110
8.2.	Données de modélisation	111
8.3.	Composition du granule	111
8.4.	Inventaires de cycle de vie des matières premières	112
8.5.	Production du granule starch blend	113
8.6.	Résultats	113
8.7.	Analyse de sensibilité	116
8.8.	Évaluation de la qualité des données	117
9.	Limites de l'étude	118
9.1.	Limites intrinsèques à l'approche ACV	118
9.2.	Limites liées aux données	118
9.3.	Limites liées aux indicateurs d'impacts	119
9.4.	Limites liées au champ de l'étude	120
10.	Conclusions	121
10.1.	Résultats de l'analyse de risque lié à l'abandon dans la nature	121
10.2.	Principaux résultats de l'ACV pour les différents types de sac à usage unique	122
10.3.	Principaux résultats ACV pour les sacs réutilisables	124
10.4.	Les résultats sont sensibles à différents paramètres qui peuvent faire changer la position relative des sacs les uns par rapport aux autres :	124
10.5.	La fin de vie	124
10.6.	La masse des sacs	125
10.7.	Le nombre d'utilisations	126
10.8.	Des pistes d'éco-conception	127
11.	Recommandations pour approfondir le sujet	129
11.1.	Recommandations techniques	129
11.2.	Recommandations méthodologiques	129
12.	Annexes	130
12.1.	Annexe 1 : Comité de pilotage et comité technique	130
12.2.	Annexe 2 : Analyse bibliographique	131
12.3.	Résultats pour les sacs à usage unique	146
12.4.	Contribution des étapes du cycle de vie	147
12.5.	Annexe 3 : Résultats détaillés sur la normalisation pondération	154

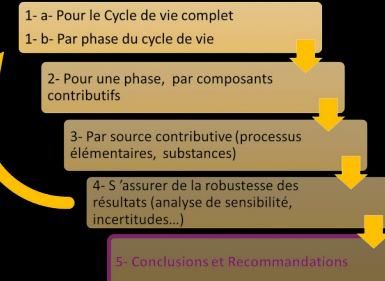
Figure 5-16 : Résultats des sacs réutilisables sur le changement climatique en fonction du nombre d'utilisations



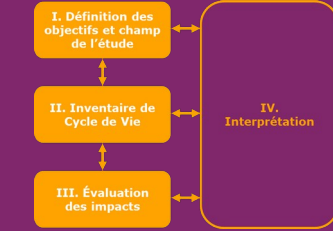
Exemple de rapport - Sac d'emk

ACV comparative de sacs destinés à l'emballa

Processus itératif, validation des hypothèses



IE] ses



[ADEME, 2019]

V. Conclusions (nb réutilisations → 5.3.3)

IV

6.3.	Réutilisation en sac de pré-collecte des biodéchets	101
6.4.	Influence de la consommation électrique de l'extrusion pour les sacs issus de plastique biosourcé	103
7.	Évaluation de la qualité des données	104
7.1.	Méthode	104
7.2.	Évaluation	107
8.	Modélisation d'un plastique biosourcé « starch blend »	110
8.1.	Introduction	110
8.2.	Données de modélisation	111
8.3.	Composition du granule	111
8.4.	Inventaires de cycle de vie des matières premières	112
8.5.	Production du granule starch blend	113
8.6.	Résultats	113
8.7.	Analyse de sensibilité	116
8.8.	Évaluation de la qualité des données	117
9.	Limites de l'étude	118
9.1.	Limites intrinsèques à l'approche ACV	118
9.2.	Limites liées aux données	118
9.3.	Limites liées aux indicateurs d'impacts	119
9.4.	Limites liées au champ de l'étude	120
10.	Conclusions	121
10.1.	Résultats de l'analyse de risque lié à l'abandon dans la nature	121
10.2.	Principaux résultats de l'ACV pour les différents types de sac à usage unique	122
10.3.	Principaux résultats ACV pour les sacs réutilisables	124
10.4.	Les résultats sont sensibles à différents paramètres qui peuvent faire changer la position relative des sacs les uns par rapport aux autres :	124
10.5.	La fin de vie	124
10.6.	La masse des sacs	125
10.7.	Le nombre d'utilisations	126
10.8.	Des pistes d'éco-conception	127
11.	Recommandations pour approfondir le sujet	129
11.1.	Recommandations techniques	129
11.2.	Recommandations méthodologiques	129
12.	Annexes	130
12.1.	Annexe 1 : Comité de pilotage et comité technique	130
12.2.	Annexe 2 : Analyse bibliographique	131
12.3.	Résultats pour les sacs à usage unique	146
12.4.	Contribution des étapes du cycle de vie	147
12.5.	Annexe 3 : Résultats détaillés sur la normalisation pondération	154

Tableau 5-5 : Nombre d'utilisations pour que 100% des cas analysés soient en faveur du sac coton par rapport aux sacs à usages uniques

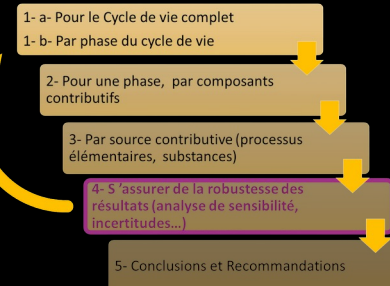
Nombre d'utilisations à partir duquel 100% des cas sont favorables au sac réutilisables			Changem ent climatique	Émissions de particules	Formation d'ozone photochimique	Acidification	Eutrophisation des eaux douces	Épuisement des ressources fossiles
Sac coton réutilisable	VS	Sac PBAT/amidon de maïs	24	28	29	35		33
		Sac issu d'un mix PBAT/PLA	23		41			31
		Sac PBAT/amidon de pomme de terre	24	38	38	47	31	39
		Sac papier	21	16	17	33	21	32
		Sac hybride	14	17	16	34	27	16

Légende

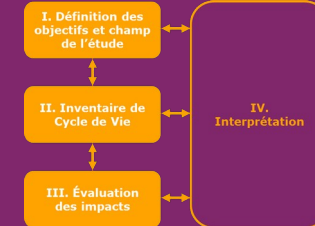
- Le sac coton est une moins bonne option
- Le sac coton est une solution équivalente à partir d'un certain nombre d'utilisation
- Le sac coton est une meilleure option à partir d'un certain nombre d'utilisations

Exemple de rapport - Sac d'emballage ACV comparative de sacs destinés à l'emballage

Processus itératif,
validation des
hypothèses



IE]
ses



[ADEME, 2019]

IV. Qualité des données (→ 7)

Voir p 104 à 109 du rapport.

IV

6.3. Réutilisation en sac de pré-collecte des biodéchets	101
6.4. Influence de la consommation électrique de l'extrusion pour les sacs issus de plastique biosourcé	103
7. Évaluation de la qualité des données	104
7.1. Méthode	104
7.2. Évaluation	107
8. Modélisation d'un plastique biosourcé « starch blend »	110
8.1. Introduction	110
8.2. Données de modélisation	111
8.3. Composition du granule	111
8.4. Inventaires de cycle de vie des matières premières	112
8.5. Production du granule starch blend	113
8.6. Résultats	113
8.7. Analyse de sensibilité	116
8.8. Évaluation de la qualité des données	117
9. Limites de l'étude	118
9.1. Limites intrinsèques à l'approche ACV	118
9.2. Limites liées aux données	118
9.3. Limites liées aux indicateurs d'impacts	119
9.4. Limites liées au champ de l'étude	120
10. Conclusions	121
10.1. Résultats de l'analyse de risque lié à l'abandon dans la nature	121
10.2. Principaux résultats de l'ACV pour les différents types de sac à usage unique	122
10.3. Principaux résultats ACV pour les sacs réutilisables	124
10.4. Les résultats sont sensibles à différents paramètres qui peuvent faire changer la position relative des sacs les uns par rapport aux autres	124
10.5. La fin de vie	124
10.6. La masse des sacs	125
10.7. Le nombre d'utilisations	126
10.8. Des pistes d'éco-conception	127
11. Recommandations pour approfondir le sujet	129
11.1. Recommandations techniques	129
11.2. Recommandations méthodologiques	129
12. Annexes	130
12.1. Annexe 1 : Comité de pilotage et comité technique	130
12.2. Annexe 2 : Analyse bibliographique	131
12.3. Résultats pour les sacs à usage unique	146
12.4. Contribution des étapes du cycle de vie	147
12.5. Annexe 3 : Résultats détaillés sur la normalisation pondération	154

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 4

La note de qualité globale obtenue à l'issue de l'évaluation permet de classer la qualité générale de l'étude en fonction des données d'inventaires utilisées :

Cote globale de la qualité des données	Niveau de qualité des données
≤ 1.6	Qualité insuffisante
>1.6 et ≤ 2.0	Qualité moyenne
>2.0 et ≤ 3.0	Bonne qualité
>3 et ≤ 4.0	Qualité satisfaisante
>4	Qualité excellente

1. Méthode

2. Répartition des contributeurs

3. Notes

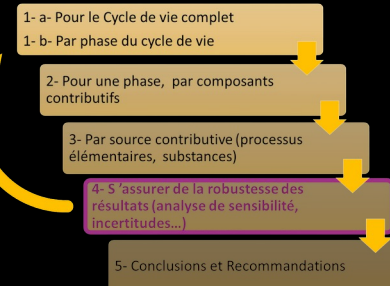
Nom de l'inventaire de cycle de vie	Source	Phase concernée	TIR - dataset validity	TIR - reference year	TIR	TeR	Gr	M	C
Ecoflex FS	BASF	Prod. des MP principales	1	2	1.5	1	1	3	3
Ecovio FT2341 - ecovio F&V bags	BASF	Prod. des MP principales	1	2	1.5	1	1	3	3
Polyester-complexed starch biopolymer (RER) / production / Altos Rec, U studio A	Novamont	Prod. des MP principales	1	1	1	1	1	3	3
European average Sack kraft paper2015	CEPI Eurokraft	Prod. des MP principales	1	2	1.5	1	1	3	2
LDPE granulates, at plant, RER	PlasticsEurope	Prod. des MP principales	1	3	2	1	2	2	1

Nom de l'inventaire de cycle de vie	Source	Phase concernée	Contribution sur les indicateurs pertinents ⁶
Ecoflex FS	BASF	Production des matières premières principales	10 à 40%
Ecovio FT2341 - ecovio F&V bags	BASF	Production des matières premières principales	25 à 60%
Polyester-complexed starch biopolymer (RER) / production	Novamont	Production des matières premières principales	30 à 80%
European average Sack kraft paper2015	CEPI Eurokraft	Production des matières premières principales	25 à 80%
LDPE granulates, at plant, RER	PlasticsEurope	Production des matières premières principales	5 à 70%
HDPE granulates, at plant, RER	PlasticsEurope	Production des matières premières principales	5 à 60%

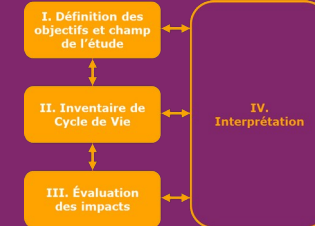
4. Évaluation de la qualité → Bonne mais disparate

Exemple de rapport - Sac d'emballage ACV comparative de sacs destinés à l'emballage

Processus itératif,
validation des
hypothèses



IE]
ses



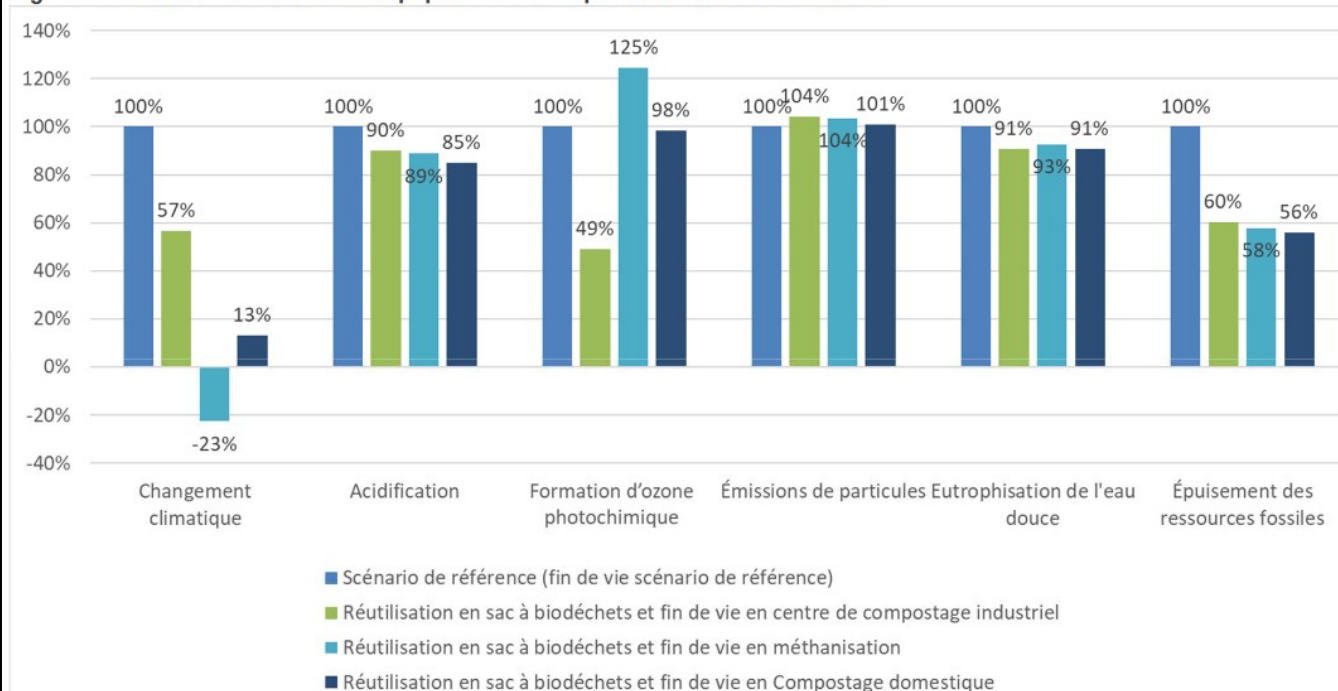
[ADEME, 2019]

IV. Analyse de sensibilité (FdV du sac en papier → 6.3.2)

6.3.	Réutilisation en sac de pré-collecte des biodéchets	101
6.4.	Influence de la consommation électrique de l'extrusion pour les sacs issus de plastique biosourcé	103
7.	Évaluation de la qualité des données	104
7.1.	Méthode	104
7.2.	Évaluation	107
8.	Modélisation d'un plastique biosourcé « starch blend »	110
8.1.	Introduction	110
8.2.	Données de modélisation	111
8.3.	Composition du granule	111
8.4.	Inventaires de cycle de vie des matières premières	112
8.5.	Production du granule starch blend	113
8.6.	Résultats	113
8.7.	Analyse de sensibilité	116
8.8.	Évaluation de la qualité des données	117
9.	Limites de l'étude	118
9.1.	Limites intrinsèques à l'approche ACV	118
9.2.	Limites liées aux données	118
9.3.	Limites liées aux indicateurs d'impacts	119
9.4.	Limites liées au champ de l'étude	120
10.	Conclusions	121
10.1.	Résultats de l'analyse de risque lié à l'abandon dans la nature	121
10.2.	Principaux résultats de l'ACV pour les différents types de sac à usage unique	122
10.3.	Principaux résultats ACV pour les sacs réutilisables	124
10.4.	Les résultats sont sensibles à différents paramètres qui peuvent faire changer la position relative des sacs les uns par rapport aux autres	124
10.5.	La fin de vie	124
10.6.	La masse des sacs	125
10.7.	Le nombre d'utilisations	126
10.8.	Des pistes d'éco-conception	127
11.	Recommandations pour approfondir le sujet	129
11.1.	Recommandations techniques	129
11.2.	Recommandations méthodologiques	129
12.	Annexes	130
12.1.	Annexe 1 : Comité de pilotage et comité technique	130
12.2.	Annexe 2 : Analyse bibliographique	131
12.3.	Résultats pour les sacs à usage unique	146
12.4.	Contribution des étapes du cycle de vie	147
12.5.	Annexe 3 : Résultats détaillés sur la normalisation pondération	154

ACV comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autres que les sacs de caisse | PAGE 4

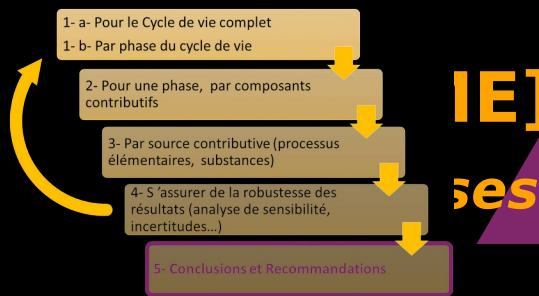
Figure 6-13 : Réutilisation des sacs papier en sac de pré-collecte des biodéchets



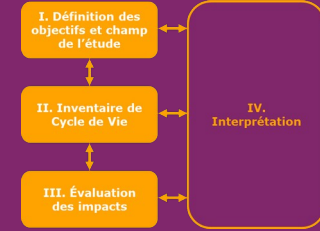
Exemple de rapport - Sac d'emk

ACV comparative de sacs destinés à l'emballa

Processus itératif, validation des hypothèses



IE] ses



[ADEME, 2019]

V. Pistes d'éco-conception (→ 10.8)

Prouvées :

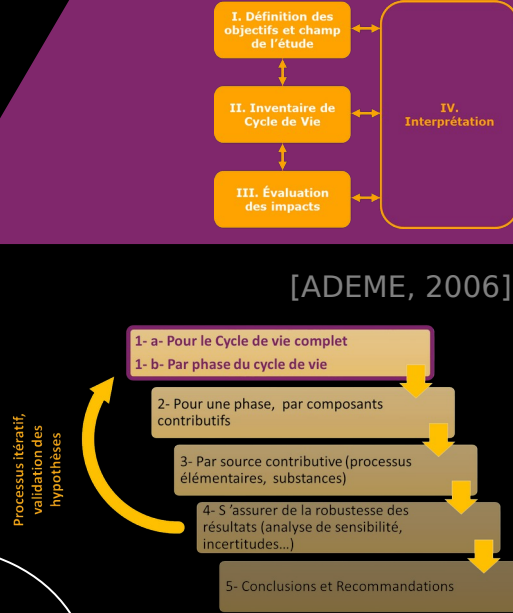
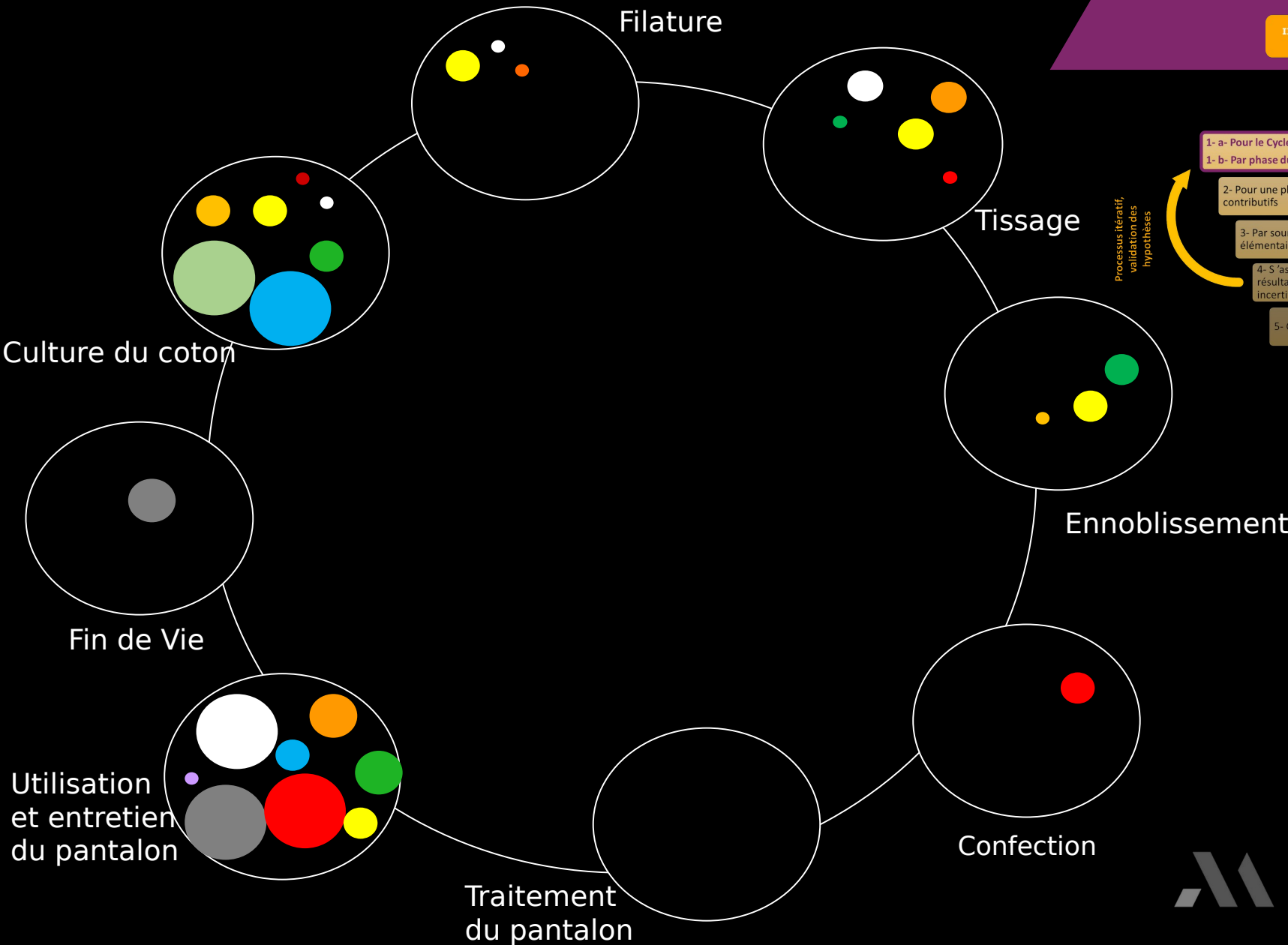
- "Réduire la masse des sacs
- Réduire la taille de la fenêtre du sac hybride
- Réutiliser le sac pour la pré-collecte des biodéchets
- Favoriser le plus grand nombre de réutilisations pour les sacs réutilisables"

À approfondir :

- "Intégrer des matières biosourcés avec des pratiques agricoles différentes
- Rendre l'étiquette de prix compostable
- Réduire la consommation d'électricité à l'extrusion ou de mise en forme
- Rendre la fenêtre du sac hybride compostable"

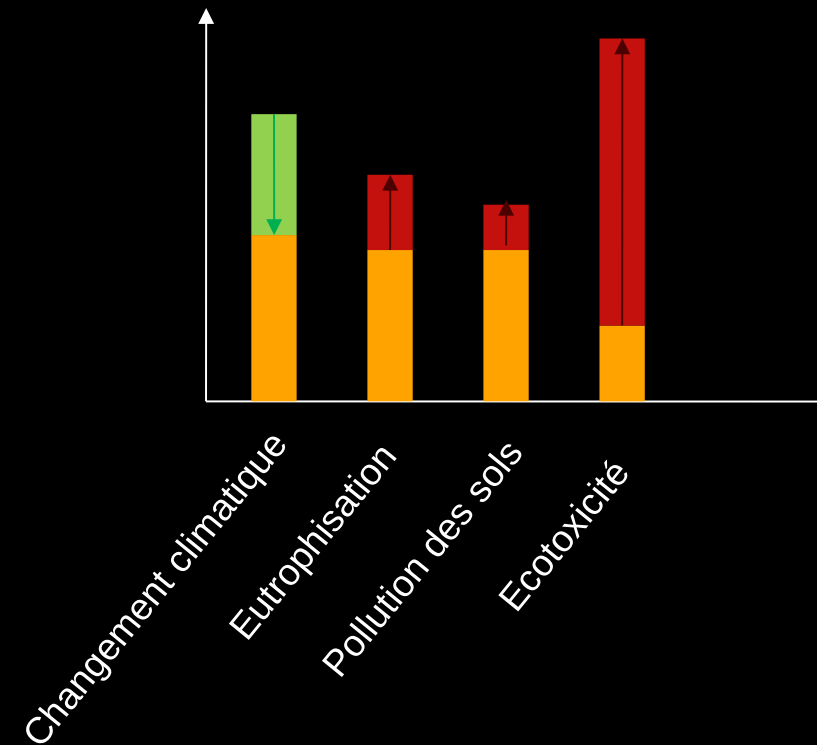
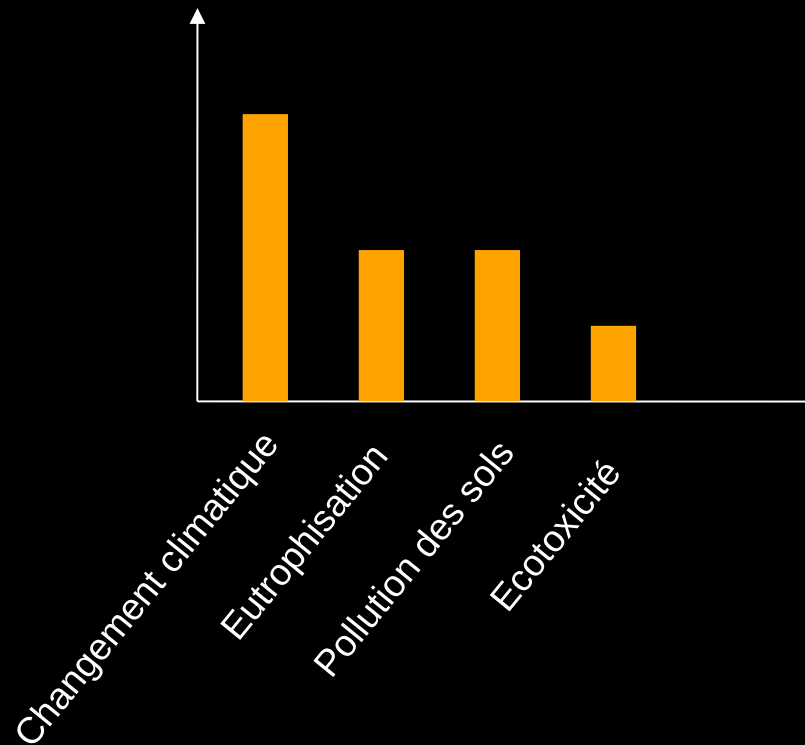
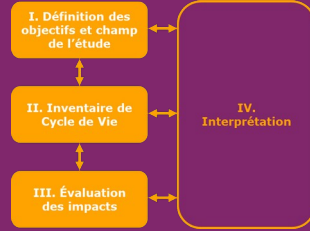
6.3.	Réutilisation en sac de pré-collecte des biodéchets	101
6.4.	Influence de la consommation électrique de l'extrusion pour les sacs issus de plastique biosourcé	103
7.	Évaluation de la qualité des données	104
7.1.	Méthode	104
7.2.	Évaluation	107
8.	Modélisation d'un plastique biosourcé « starch blend »	110
8.1.	Introduction	110
8.2.	Données de modélisation	111
8.3.	Composition du granule	111
8.4.	Inventaires de cycle de vie des matières premières	112
8.5.	Production du granule starch blend	113
8.6.	Résultats	113
8.7.	Analyse de sensibilité	116
8.8.	Évaluation de la qualité des données	117
9.	Limites de l'étude	118
9.1.	Limites intrinsèques à l'approche ACV	118
9.2.	Limites liées aux données	118
9.3.	Limites liées aux indicateurs d'impacts	119
9.4.	Limites liées au champ de l'étude	120
10.	Conclusions	121
10.1.	Résultats de l'analyse de risque lié à l'abandon dans la nature	121
10.2.	Principaux résultats de l'ACV pour les différents types de sac à usage unique	122
10.3.	Principaux résultats ACV pour les sacs réutilisables	124
10.4.	Les résultats sont sensibles à différents paramètres qui peuvent faire changer la position relative des sacs les uns par rapport aux autres :	124
10.5.	La fin de vie	124
10.6.	La masse des sacs	125
10.7.	Le nombre d'utilisations	126
10.8.	Des pistes d'éco-conception	127
11.	Recommandations pour approfondir le sujet	129
11.1.	Recommandations techniques	129
11.2.	Recommandations méthodologiques	129
12.	Annexes	130
12.1.	Annexe 1 : Comité de pilotage et comité technique	130
12.2.	Annexe 2 : Analyse bibliographique	131
12.3.	Résultats pour les sacs à usage unique	146
12.4.	Contribution des étapes du cycle de vie	147
12.5.	Annexe 3 : Résultats détaillés sur la normalisation pondération	154

Exemple de représentation - ACV d'un Jean



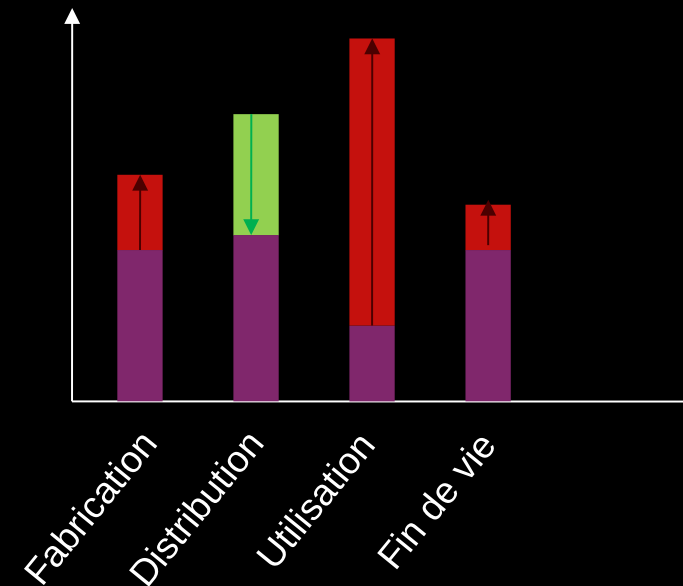
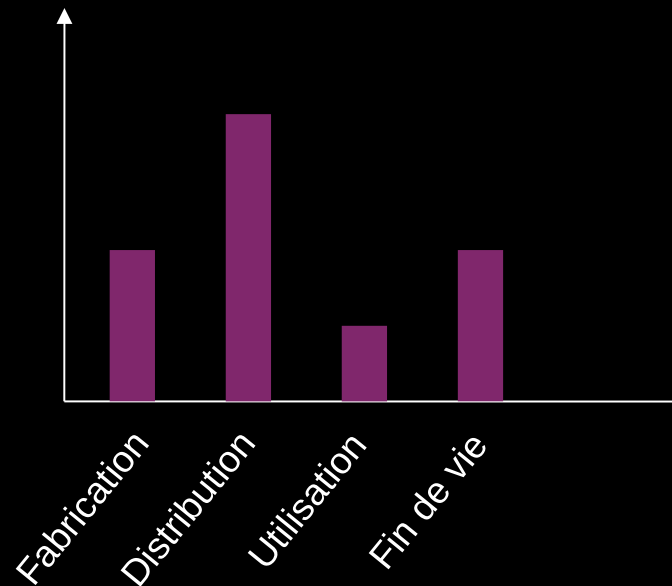
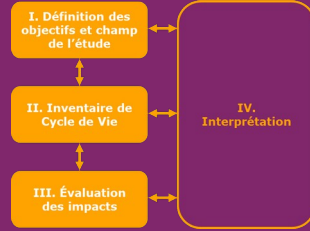
Ne pas négliger....

Le transfert d'impacts d'un indicateur à l'autre

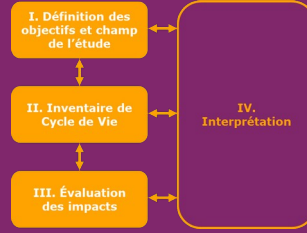


Ne pas négliger....

Le transfert d'impacts d'une phase à l'autre

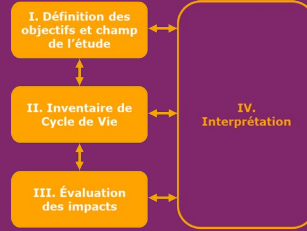


ACV : les limites méthodologiques



- Impossibilité de modéliser l'ensemble des critères d'aide à la décision : aspects environnementaux, économiques, sociétaux, techniques...
- Peut manquer d'impartialité (étude orientée par les parties prenantes) : nécessité de réaliser une revue critique par une tierce partie
- Variabilité de l'UF (durée de vie), des frontières du systèmes
- Hétérogénéité des données constituant l'ICV (origine, BdD,...)
- Risque de mauvaise interprétation, notamment par des acteurs externes à l'ACV : l'ACV traite uniquement les aspects environnementaux identifiés dans les objectifs et le champs de l'étude

ACV : les limites scientifiques

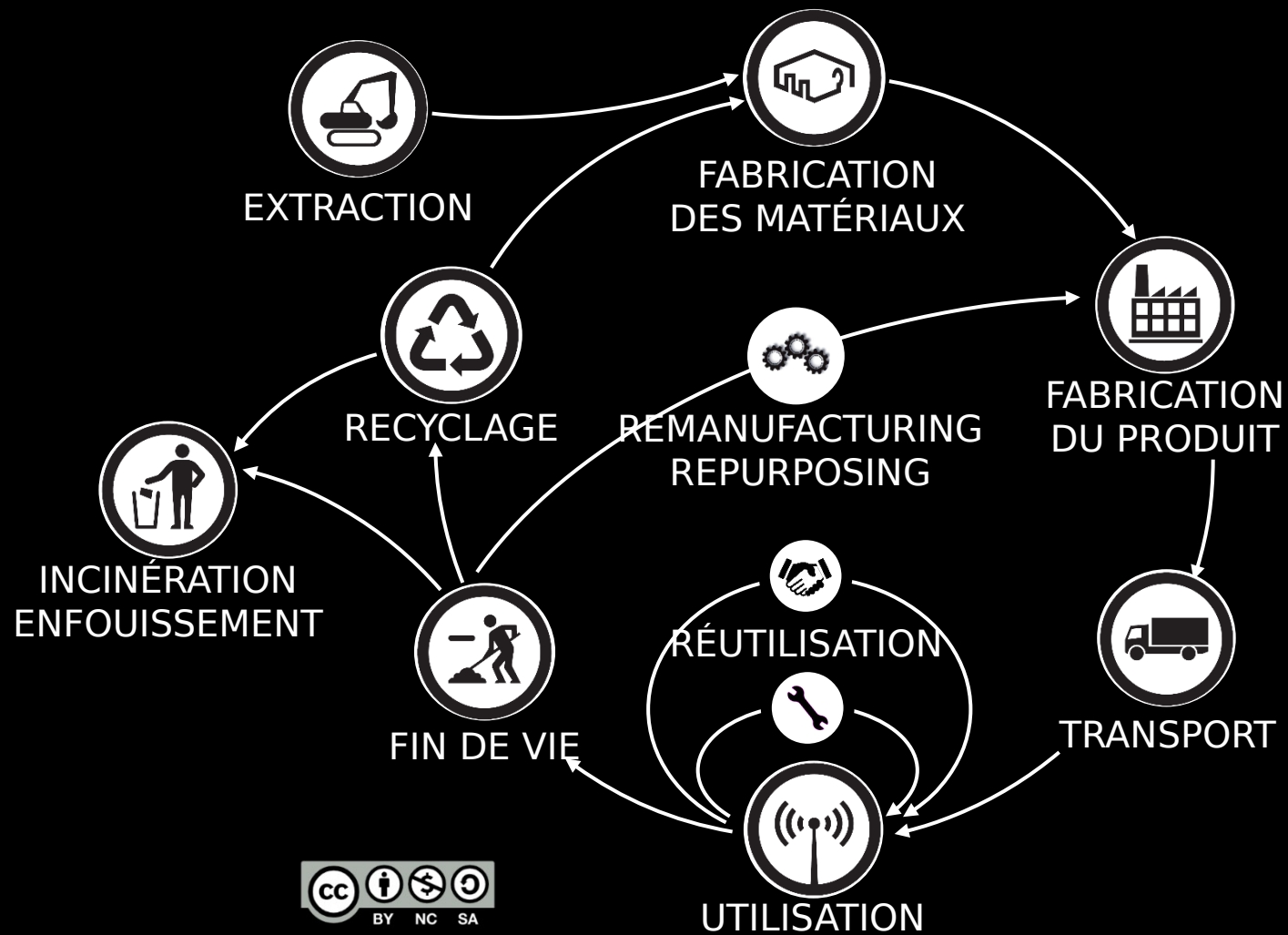


Questionner dès la phase 'Objectifs et champ de l'étude' :

- Les indicateurs pertinents
- Les méthodes permettant de les calculer

Bien considérer :

- La diversité des méthodes d'évaluation et leur validité scientifique
- La date de dernière mise à jour des méthodes
- Le logiciel d'ACV qui implémente les méthodes (cela peut influencer sur les substances considérées, les facteurs de caractérisation et/ou les sous-compartiments évalués) [Silva et al. 2019 - <https://www.sciencedirect-com.rp1.ensam.eu/science/article/pii/S2352550919301733>]



adaptée de [Bauer, 2018]

Questions ?