

ANALYSE DU CYCLE DE VIE, BILAN CARBONE ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES MATÉRIAUX

Sandrine Braymand, Adélaïde Feraille, Nicolas Serres

JOURNÉE TECHNIQUE - 21 juin 2016 LYON

Les matériaux alternatifs, des solutions environnementales et
économiques pour un avenir durable



ANALYSE DU CYCLE DE VIE OU ECOBILAN

- ACV dans quel but?

➔ Évaluation de l'éco-respectabilité d'un produit, service ou système

- Comment?

Détermination d'**impacts environnementaux**

multicritères

Épuis^t des
ressources

Déchets

Réchauf^t
climatique

Et bien
d'autres.....

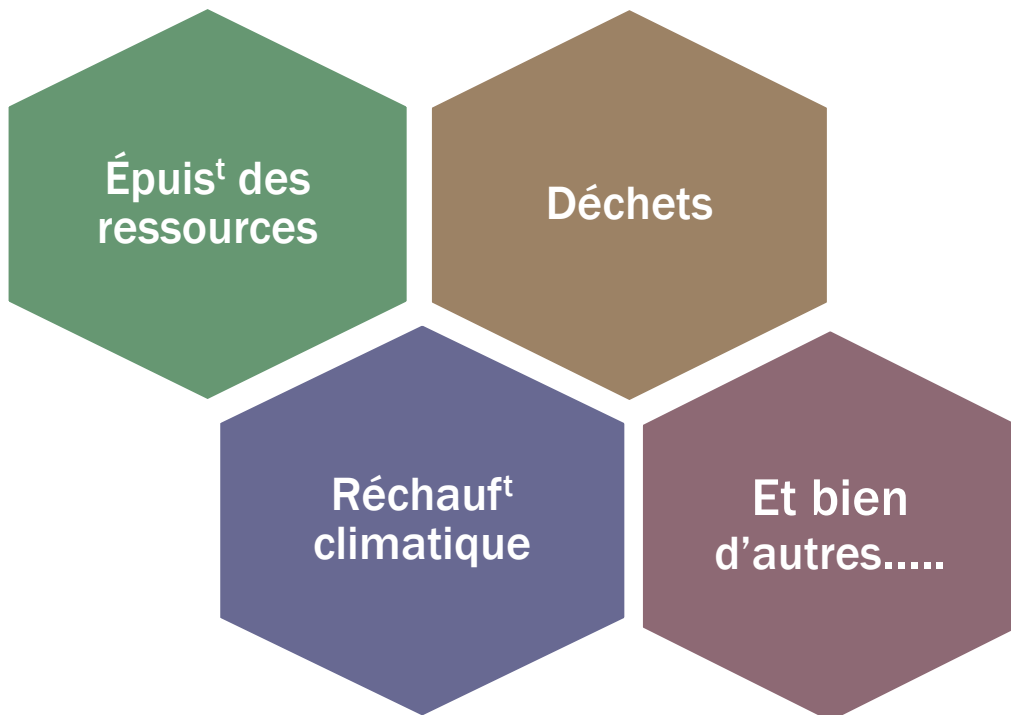
ANALYSE DU CYCLE DE VIE OU ECOBILAN

- ACV dans quel but?

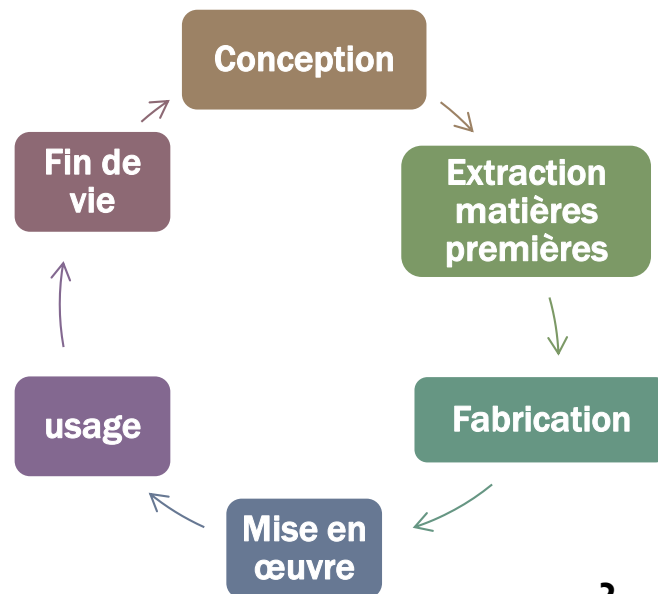
➔ Évaluation de l'éco-respectabilité d'un produit, service ou système

- Comment?

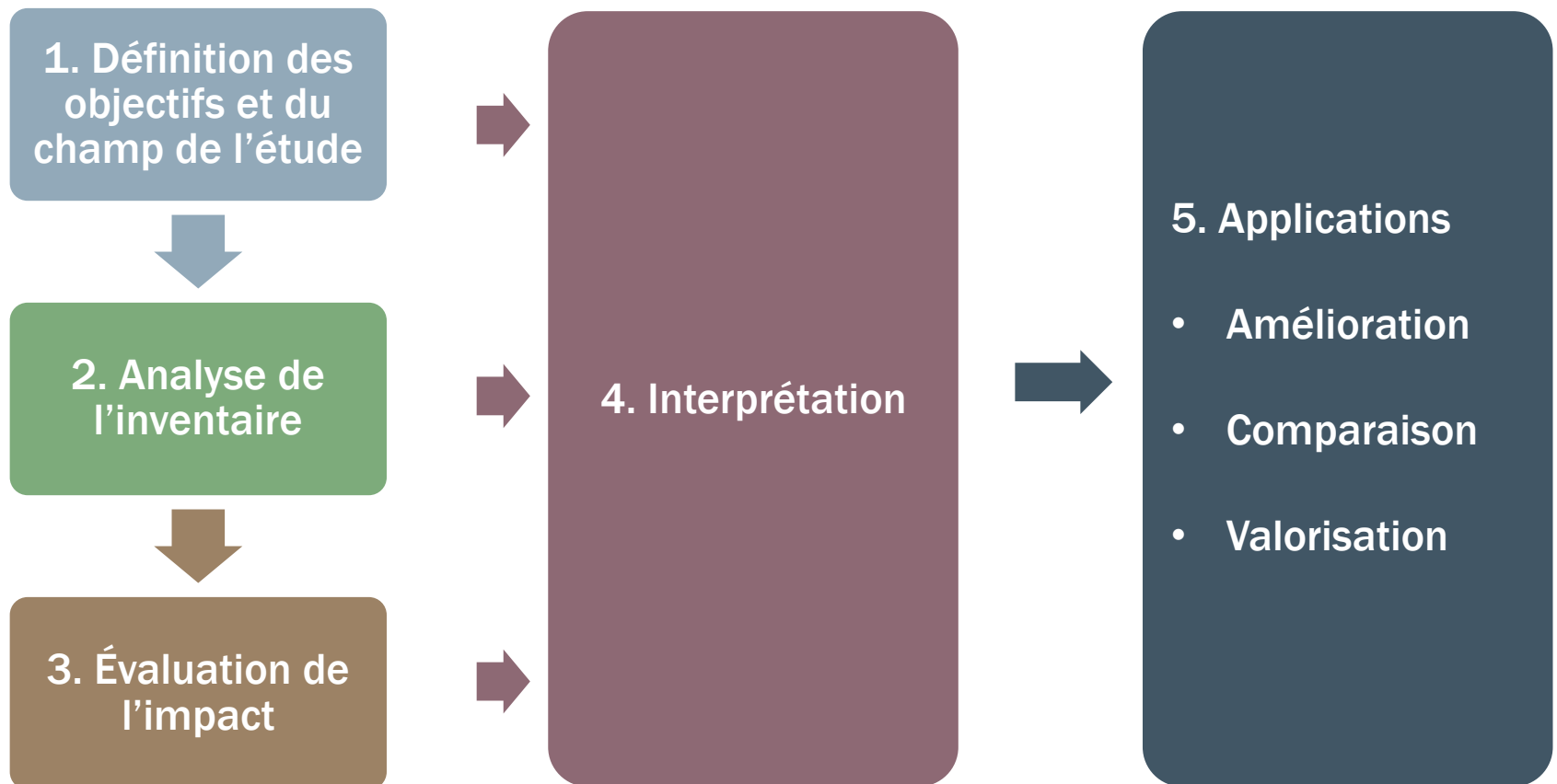
Détermination d'impacts environnementaux
multicritères



Au cours du cycle de vie
multi-étapes



■ Cadre méthodologique de l'ACV selon NF ISO 14040



1. Objectif et champ de l'étude

■ Unité fonctionnelle

Performance quantifiée associée à un flux de référence

- ➔ *assurer la fonction de*
- Mur porteur pour 1m² de paroi*
 - Isolant avec un R défini pour 1 m² de paroi*
 - Route supportant la charge de x N pour 1 km de route*
 -*

■ ou Unité déclarée

Quantité d'un produit de construction utilisée comme unité de référence et se rapportant aux application typiques des produits

- 1 tonne de granulat, 1 m³ de béton*
- 1m² de mur,.....*

■ Durée de Vie

■ Frontières du système

➔ **Description du processus
Sur le Cycle de Vie**

1. Objectif et champ de l'étude

■ Unité fonctionnelle

Performance quantifiée associée à un flux de référence

- ➔ *assurer la fonction de*
- Mur porteur pour 1m² de paroi*
 - Isolant avec un R défini pour 1 m² de paroi*
 - Route supportant la charge de x N pour 1 km de route*
 -

■ ou Unité déclarée

Quantité d'un produit de construction utilisée comme unité de référence et se rapportant aux application typiques des produits

*1 tonne de granulat, 1 m³ de béton
1m² de mur,.....*

- Durée de Vie
- Frontières du système

➔ **Description du processus
Sur le Cycle de Vie**

2. Analyse de l'inventaire

- Liste des aspects environnementaux liés à l'activité étudiée

Consommation de fioul

Rejet de CO₂

.....

- Pour chaque étape du processus décrit

Où trouver l'information ?

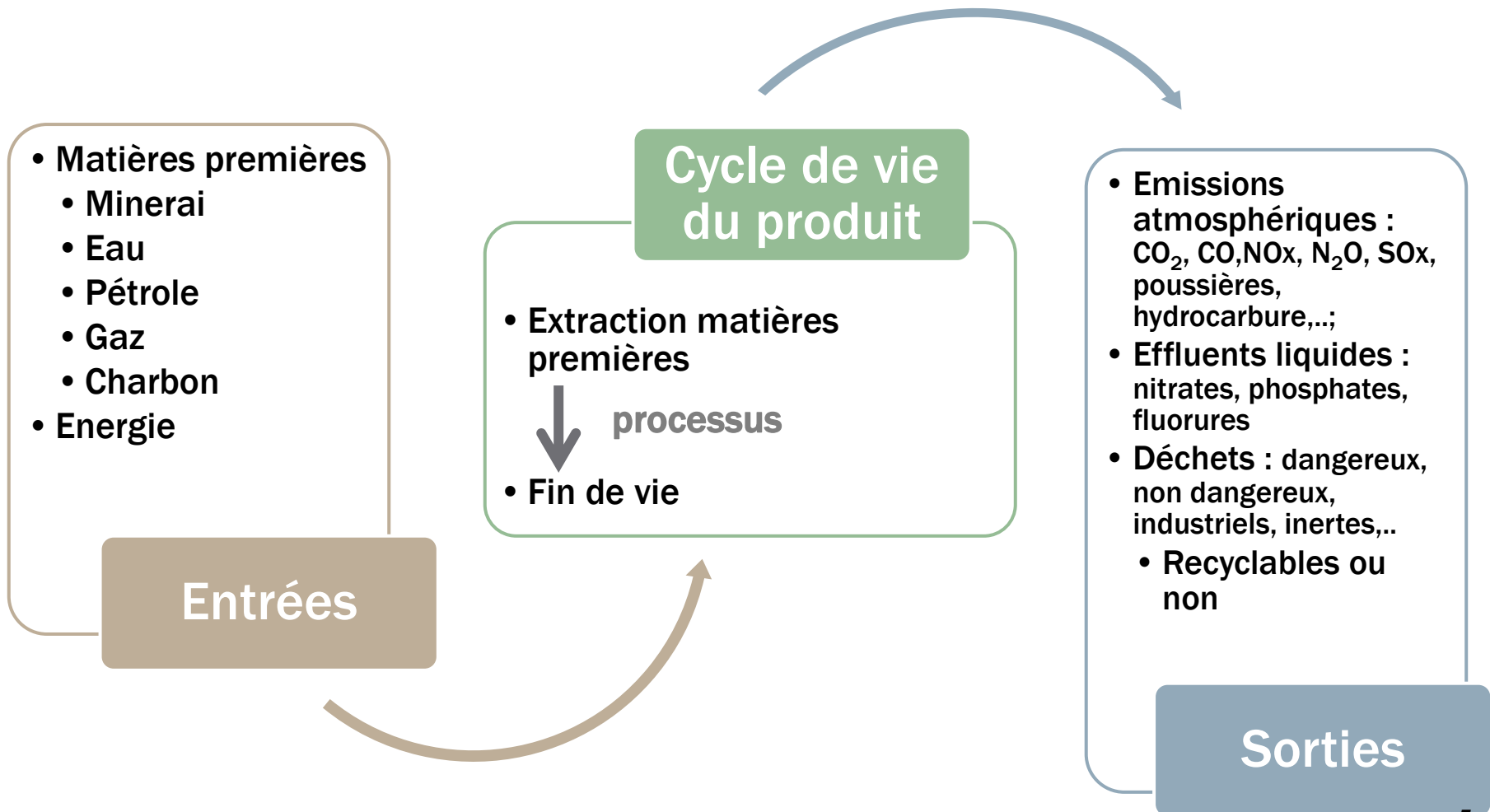
- Utilisation de bases de données d'Inventaires de Cycles de Vie des composants ou étapes du processus décrit (ICV)



ICV pour l'unité fonctionnelle étudiée
Aspects environnementaux entrants ou sortants

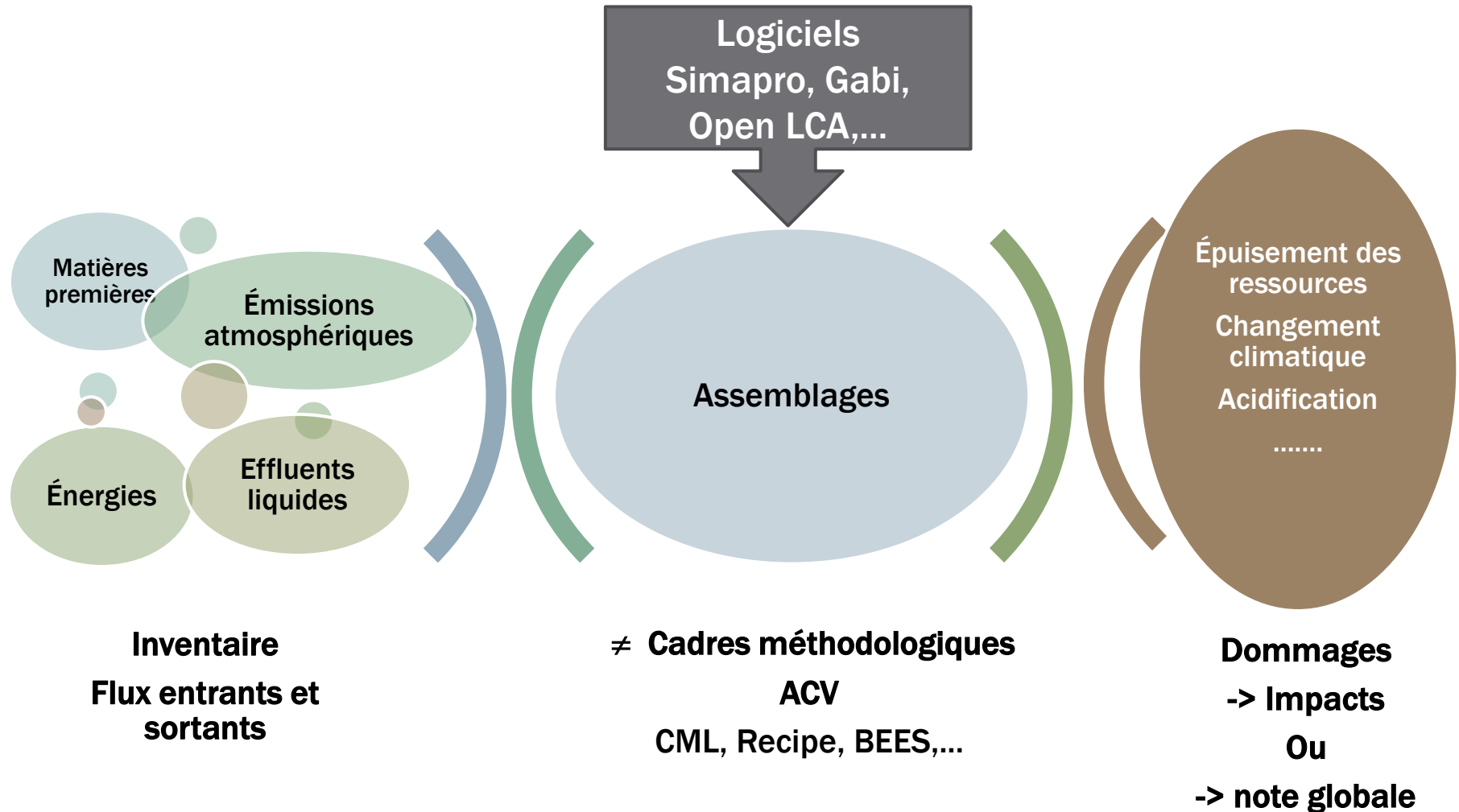
■ Base de données d'ICV :

- bases de données référencées (ex. Ecoinvent)
- ou établies directement par les producteurs de matériaux ou de systèmes



3. Évaluation de l'impact : étape cruciale

- les inventaires de flux (entrants et sortants) sont regroupés en une liste d'indicateurs d'impacts potentiels



2.1.2 Consommation des ressources naturelles non énergétiques

Flux	Unités	Production	Transport	Mise en œuvre	Vie en œuvre	Fin de vie	Total cycle de vie	
							Par annuité	pour toute la DVT
Antimoine (Sb)	kg							
Argent (Ag)	kg							
Argile	kg	3,42E-02		1,99E-02			5,41E-02	5,41E+00
Arsenic (As)	kg							
Bauxite (Al2O3)	kg	2,36E-06		1,30E-06			3,88E-06	3,88E-04
Bentonite	kg							1,38E-05
Bismuth (Bi)	kg							
Bore (B)	kg							
Cadmium (Cd)	kg							
Calcaire	kg	1,43E-01		9,58E-02		1,48E-06	2,39E-01	2,39E+01
Carbonate de Sodium (Na2CO3)	kg							
Chlorure de Sodium (NaCl)	kg	8,75E-06		3,75E-06			1,36E-05	1,36E-03
Chrome (Cr)	kg							
Cobalt (Co)	kg							
Cuivre (Cu)	kg							
Dolomie	kg							
Étain (Sn)	kg							
Feldspath	kg							
Fer (Fe)	kg	7,92E-05		2,44E-05			1,04E-04	1,04E-02
Fluorite (CaF2)	kg							
Gravier*	kg	1,42E-05	1,76E-08	6,55E-06		3,91E-06	2,64E-05	2,64E-03
Lithium (Li)	kg							
Kaolin (Al2O3, 2SiO2, 2H2O)	kg							
Magnésium (Mg)	kg							
Manganèse (Mn)	kg							
Mercure (Hg)	kg							
Molybdène (Mo)	kg							
Nickel (Ni)	kg							
Or (Au)	kg							
Palladium (Pd)	kg							
Platine (Pt)	kg							
Plomb (Pb)	kg							
Chlorure de Potassium (KCl)	kg							
Rhodium (Rh)	kg							1,12E-05
Rutile (TiO2)	kg							
Sable*	kg							
Silice (SiO2)	kg	1,02E-05		3,26E-06			1,36E-05	1,36E-03
Soufre (S)	kg							6,41E-06
Sulfate de baryum (BaSO4)	kg						1,44E-06	1,44E-04
Titane (Ti)	kg							
Tungstène (W)	kg							
Vanadium (V)	kg							
Zinc (Zn)	kg	1,52E-06					1,95E-06	1,95E-04
Zirconium (Zr)	kg							
Matières premières végétales non spécifiées avant	kg							
Matières premières animales non spécifiées avant	kg							
Produits intermédiaires non remontés (total)	kg	7,64E-05		4,35E-05			1,20E-04	1,20E-02


Exemple :
 Éléments d'inventaires rentrant dans le calcul d'assemblage pour l'indicateur « **Épuisement des ressources non abiotiques** »

Exprimés en kg d'équivalent antimoine

Exemple : silicium
 = $1,40 \cdot 10^{-11}$ kg éq antimoine

ACV APPLIQUÉE AUX MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION : EPD OU DEP

- Méthode d'assemblage « EPD »
Environmental Product Declaration ou **EPD / DEP**
- Selon la norme EN 15804 en France depuis le 1^{er} juillet 2014

- Utilisation possible des **FDES** : Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire selon le format NF P 01-010
 uniquement en application jusqu'au 30 juin 2019

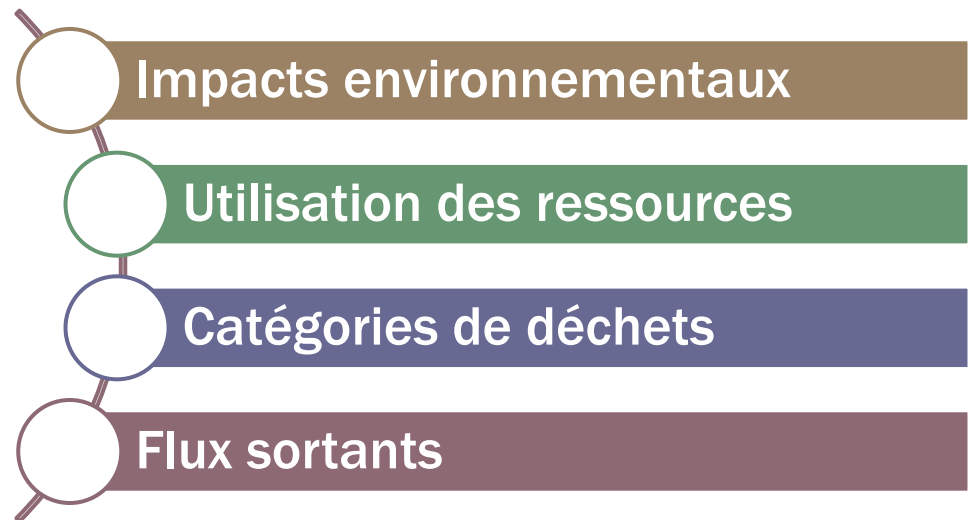
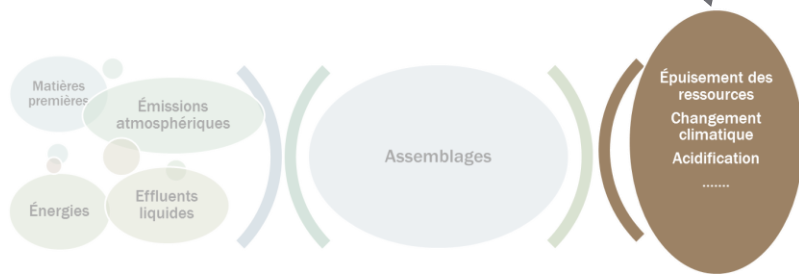
ACV APPLIQUÉE AUX MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION : EPD OU DEP

■ « Méthode » EPD »

Environmental Product Declaration ou **EPD / DEP**

■ Selon la norme EN 15804 en France depuis le 1^{er} juillet 2014

Indicateurs :
4 séries de paramètres



■ Utilisation possible des **FDES** : Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire selon le format NF P 01-010

➔ uniquement en application jusqu'au 30 juin 2019

■ Déclaration des paramètres environnementaux

Impacts environnementaux	
Catégorie d'impact	Unité /UF ou UD
Épuisement des ressources abiotiques non fossiles	kg de Sb équiv.
Épuisement des ressources abiotiques fossiles	MJ
Acidification des sols et de l'eau	kg de SO ₂ équiv.
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg de CFC 11 équiv.
Réchauffement climatique	kg de CO ₂ équiv.
Eutrophisation	kg de (PO ₄) ³⁻
Formation d'ozone photochimique	kg d'éthène équiv.

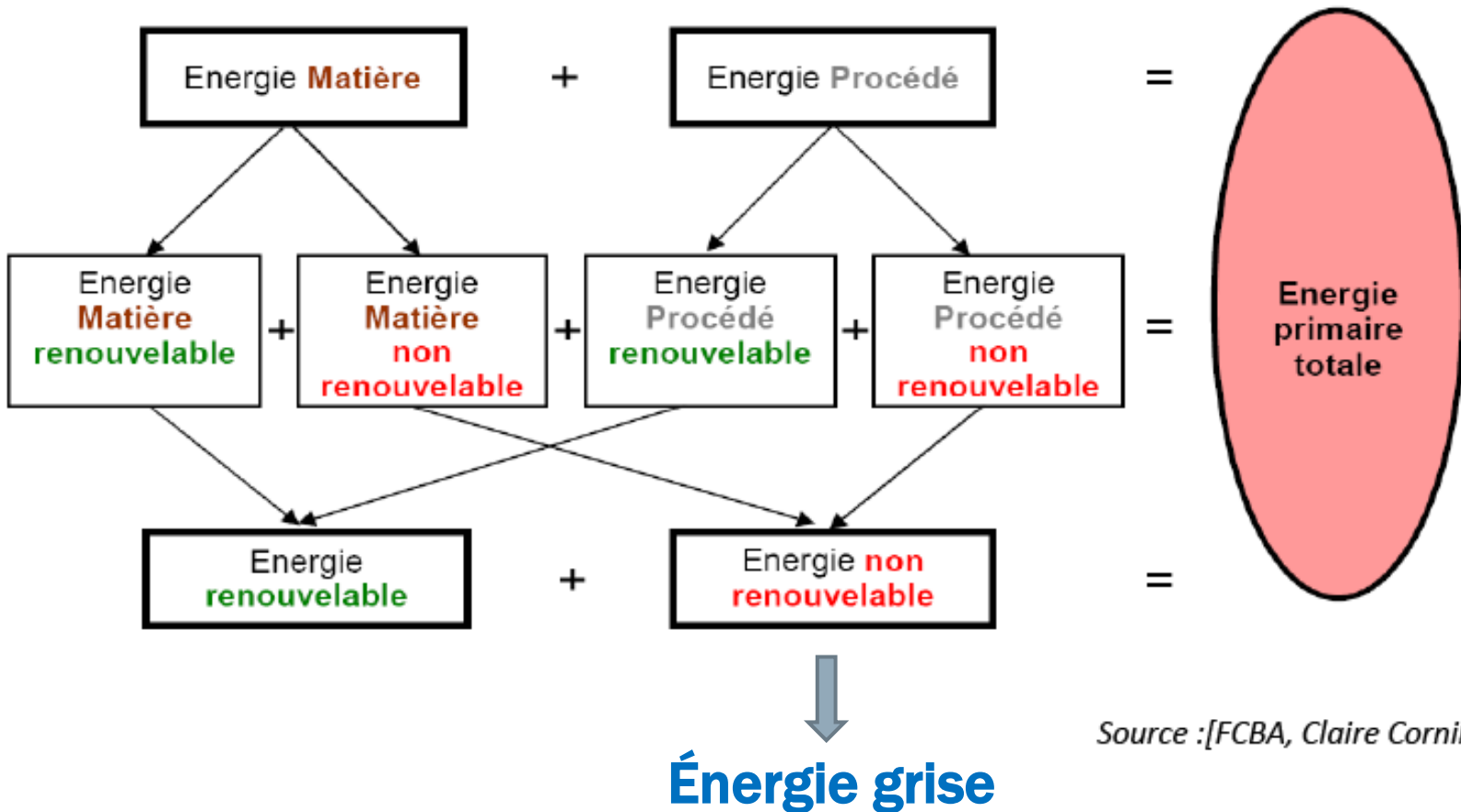
Catégories de déchets	
Paramètre	Unité /UF ou UD
Déchets dangereux éliminés	kg
Déchets non dangereux éliminés	kg
Déchets radioactifs éliminés	kg
Flux sortants	
Composants -> réutilisation	kg
Matériaux -> recyclage	kg
Matériaux récup. d'énergie	kg
Énergie fournie à l'extérieur	MJ

Utilisation des ressources	
Paramètre	Unité /Uf ou UD
E primaire renouvelable sauf utilisées mat. premières	MJ
E primaire renouvelable utilisées mat. premières	MJ
E primaire renouvelable totale	MJ
E primaire non renouvelable sauf utilisées mat. premières	MJ
E primaire non renouvelable utilisées mat. premières	MJ
E primaire non renouvelable totale	MJ
Matière secondaire	kg
Combustibles secondaires renouvelables	MJ
Combustibles secondaires non renouvelables	MJ
Eau douce	m ³

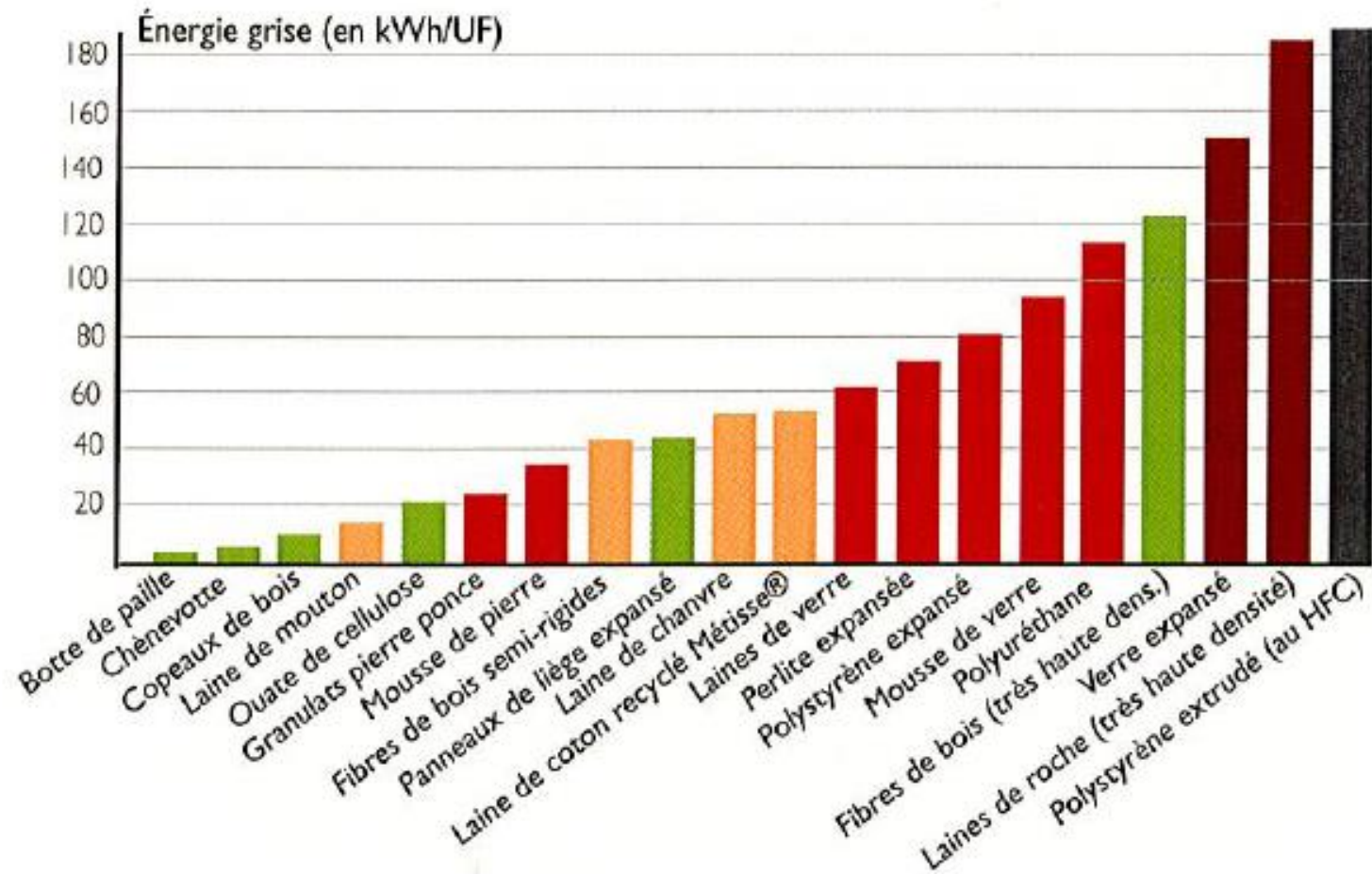
UTILISATION DE L'ENERGIE
ACIDIFICATION
UTILISATION DE MATIERE SECONDAIRE
UTILISATION DE COMBUSTIBLES SECONDAIRES
UTILISATION DE L'EAU
DECHETS
APPAUVRISSMENT DE LA COUCHE D'OZONE
EPUISEMENT DES RESSOURCES ABIOTIQUES NON FOSSILES
EPUISEMENT DES RESSOURCES ABIOTIQUES FOSSILES
EUTROPHISATION
FORMATION D'OZONE PHOTOCHIMIQUE
RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Regardons cela d'un peu plus près :
Détaillons certains indicateurs ...

■ Épuisement des ressources abiotiques fossiles (combustibles) + Utilisation de l'énergie



Source : [FCBA, Claire Cornillier]



Source : Isolation thermique et écologique J.P. Oliva et S. Courgey

■ Réchauffement climatique

■ Indicateur traduisant la contribution à l'accroissement de l'effet de serre

✓ Les contributeurs principaux parmi les GES sont :

- Dioxyde de carbone CO_2 (équivalence $\text{CO}_2 = 1$)
- Méthane CH_4 (équivalence $\text{CO}_2 = 21$)
- Protoxyde d'azote N_2O (équivalence $\text{CO}_2 = 310$)

✓ Unité : kg équivalent CO_2 (kg eq CO_2)

■ Réchauffement climatique

■ Indicateur traduisant la contribution à l'accroissement de l'effet de serre

✓ Les contributeurs principaux parmi les GES sont :

- Dioxyde de carbone CO_2 (équivalence $\text{CO}_2 = 1$)
- Méthane CH_4 (équivalence $\text{CO}_2 = 21$)
- Protoxyde d'azote N_2O (équivalence $\text{CO}_2 = 310$)

✓ Unité : kg équivalent CO_2 (kg eq CO_2)

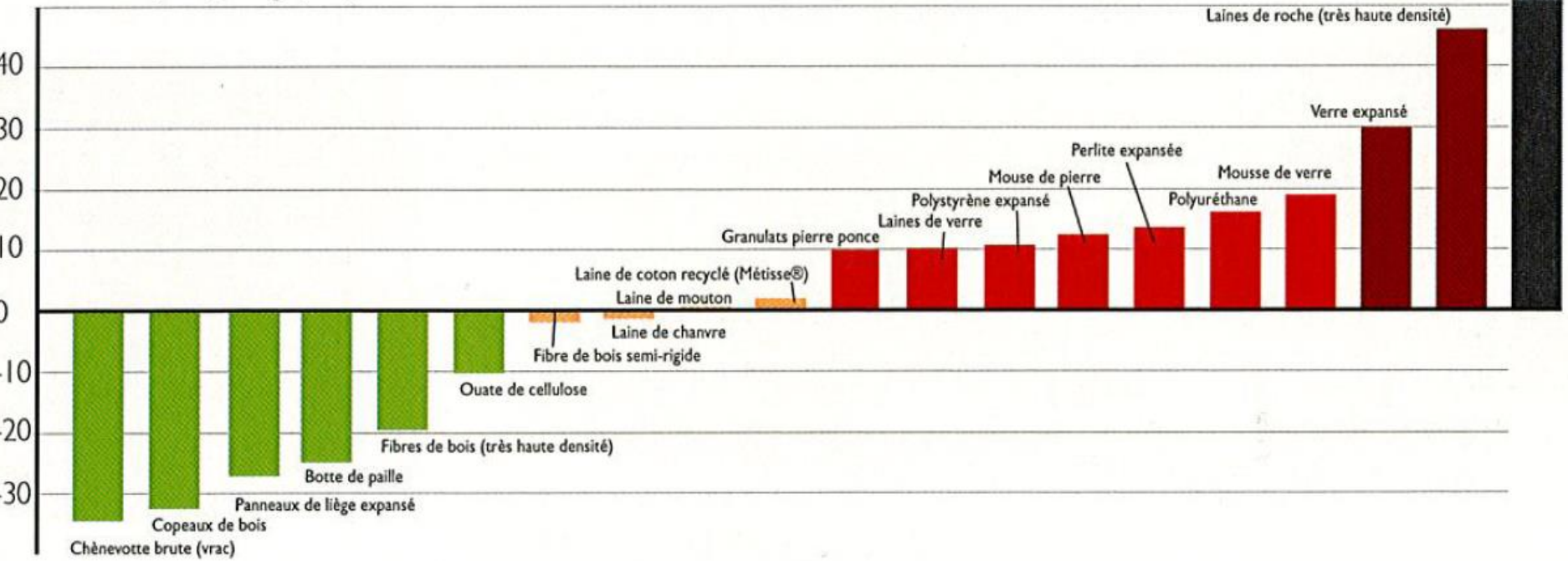
■ « correspond » au **bilan carbone** ou presque :
attention aux unités :

- Bilan GES kg éq CO_2
- Bilan carbone Kg éq C

Voir présentation d'Aurélie WOLFF
Bilan Carbone et matériaux de substitution

Source : Isolation thermique et écologique J.P. Oliva et S. Courgey

Bilan carbone (en kg CO₂eq/UF)



« Bilan CO₂ » de 1 m² de divers isolants pour une épaisseur correspondant à une résistance thermique de 5 m²K/W.

En vert : isolants « puits de carbone » peu transformés ou denses

En jaune : isolants neutres : laines végétales

En rouge : isolants au bilan carbone très défavorable : minéraux et synthétiques

Pour mémoire : indicateurs d'impacts environnementaux de la norme NF P 01-010

N°	Impact environnemental		Unité	
1	Consommation de ressources énergétiques :			
	Énergie primaire totale		MJ	
	dont énergie récupérée ⁽³⁾		MJ	
	Énergie renouvelable		MJ	
	Énergie non renouvelable		MJ	
2	Indicateur d'épuisement de ressources (ADP)		kg équivalent antimoine	
3	Consommation d'eau		litres	
4	Déchets solides	Valorisés	kg	
		Éliminés	Déchets dangereux	kg
			Déchets non dangereux (DIB)	kg
			Déchets inertes	kg
			Déchets radioactifs	kg
5	Changement climatique		kg éq CO ₂	
6	Acidification atmosphérique		kg éq SO ₂	
7	Pollution de l'air		m ³	
8	Pollution de l'eau		m ³	
9	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique		kg CFC-11 éq.	
10	Formation d'ozone photochimique		kg d'éthylène éq.	

réorganisation

Épuisement + Utilisation

Détail fossile ou non

Dans utilisation

N'est pas comptabilisé

**QUELQUES POINTS
ESSENTIELS AVANT DE
CONCLURE**

Revenons à l'étape 4 de l'ACV : l'interprétation



Comment représenter de manière **simple** mais **non simpliste** l'analyse multicritères et multi étapes ?

Revenons à l'étape 4 de l'ACV : l'interprétation



Comment représenter de manière **simple** mais **non simpliste** l'analyse multicritères et multi étapes ?

Moyenne pondérée entre indicateurs,
Valeurs relatives, valeurs absolues,
Valeurs de références,
etc



Selon l'application de l'ACV
Mais
Attention à l'objectivité 17

■ Un exemple de moyenne pondérée

Poutres de planchers portants
portée 5 m, longueur 6.5 m, intervalle 3 m

Plancher portant: charge + charge supplémentaire 5 kN/m²



béton armé
(0.30x0.48 m)



acier
(HEA 280)



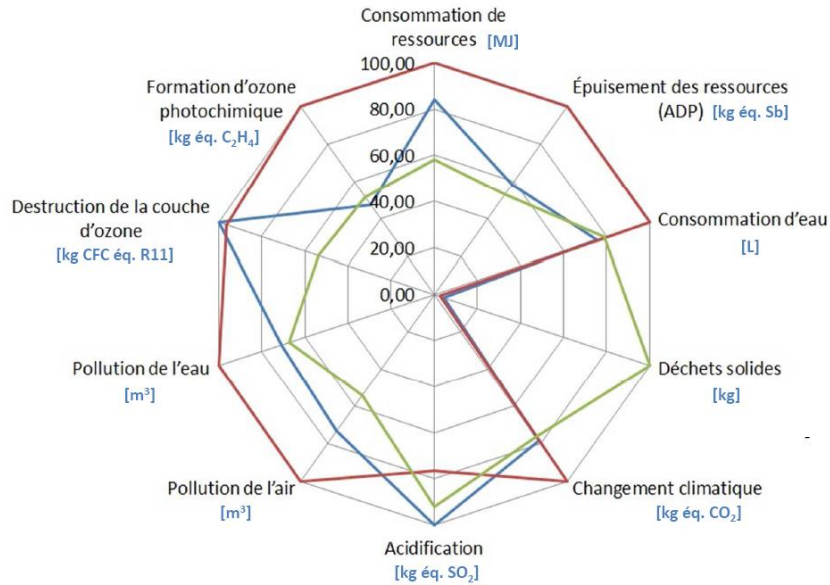
bois stratifié
(0.30x0.52 m)

	quantité nécessaire	points environnementaux (Pt)
béton C25/30	0.94 m ³	15 Pt
acier d'armature	100 kg	20 Pt
poutre en béton armé		35 Pt
poutre en acier	515 kg	171 Pt
poutre en bois stratifié	1.01 m³	111 Pt

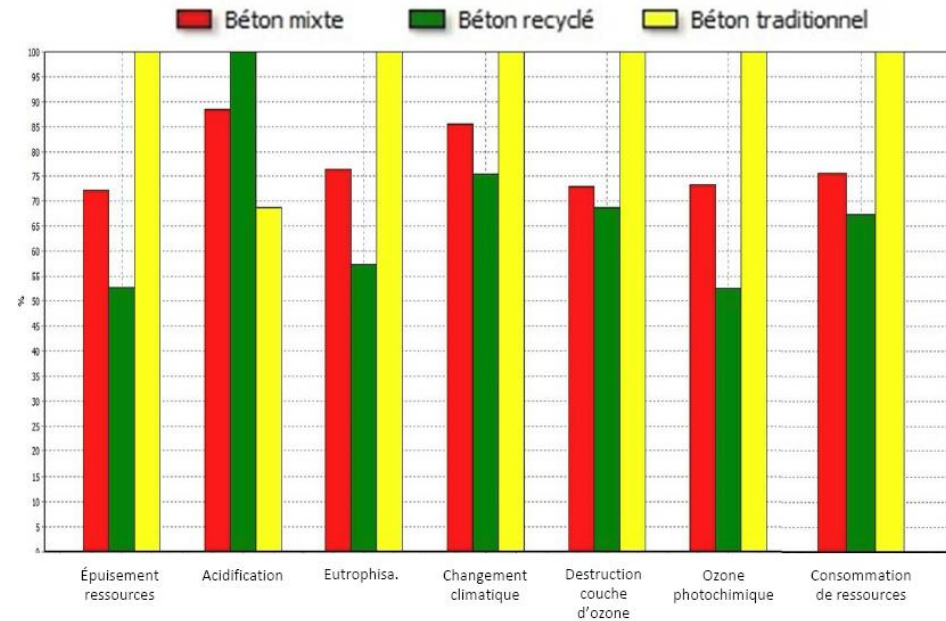
ReCiPe Endpoint (H) V 1.07 / Europe ReCiPe (H/A)

Comparaison de l'impact sur l'environnement (exprimé en points environnementaux ReCiPe (Pt)) d'une poutre en béton armé, d'une poutre en acier et d'une poutre en bois stratifié, compte tenu des dimensions (travée et intervalles) et de la charge du plancher portant (exemple et dimensions basés sur KBOB, Données des écobilans dans la construction, 2007/1, 2007

■ Un exemple de comparaison en valeur relative par indicateur

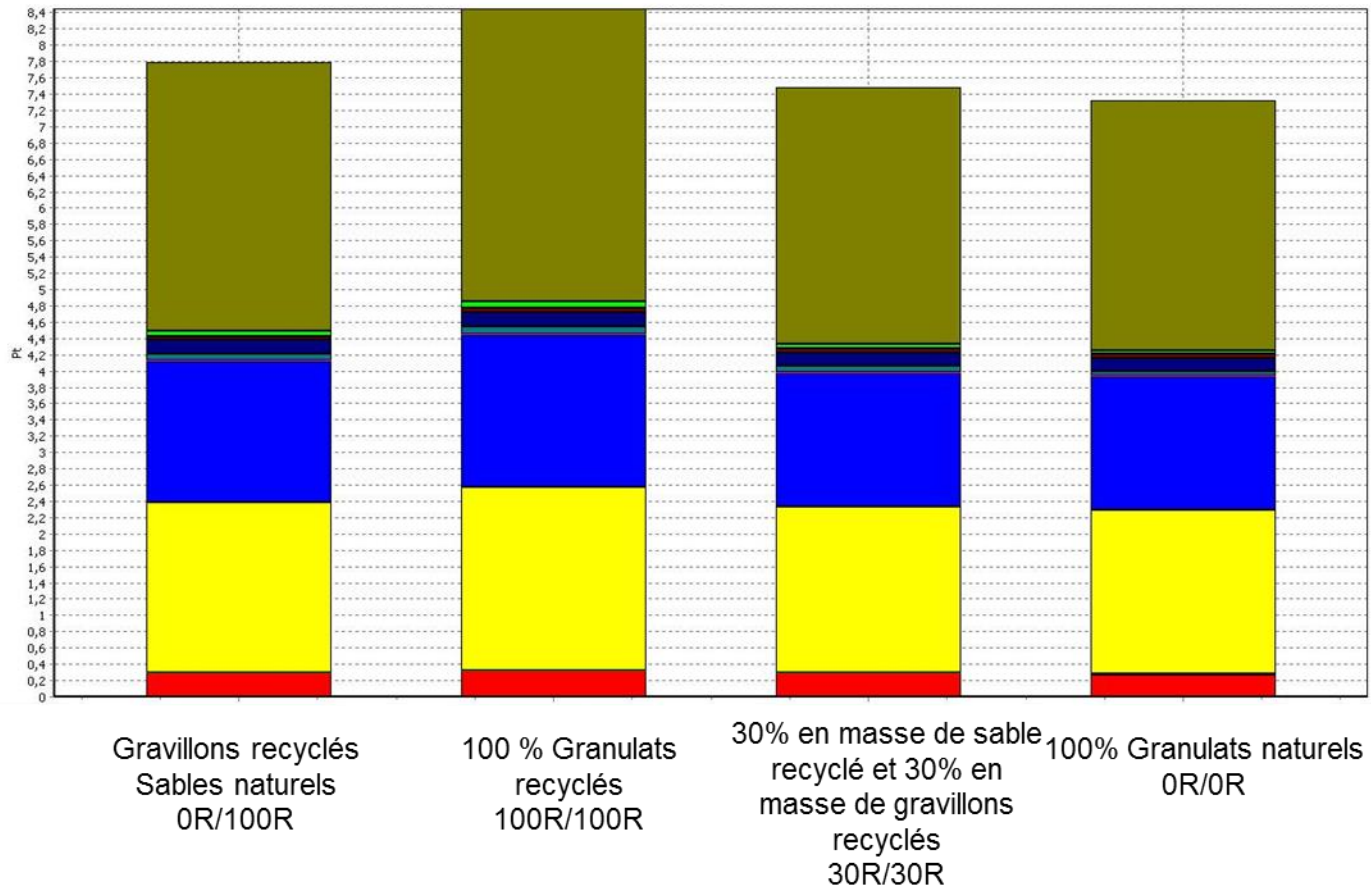


Représentation des indicateurs d'impacts des micro-bétons selon la norme ↴



N. Serres, S. Braymand, F. Feugeas, *Matériaux 2014 & Journal of Building Engineering, Elsevier, Vol. 5:24-33, March 2016*

■ Un exemple de comparaison en points cumulés



N. Serres, A. Ferraille, S. Braymand, R. Idir, Recybéton 2013

Comment passer d'une ACV « constituant »

-> à une ACV « matériau composite »

-> puis à une ACV « élément »

-> puis à une ACV « ouvrage »

Exemple : Granulat

-> Béton

-> Chaussée

-> Autoroute

Comment passer d'une ACV « constituant »

-> à une ACV « matériau composite »

-> puis à une ACV « élément »

-> puis à une ACV « ouvrage »

Exemple : Granulat

-> Béton

-> Chaussée

-> Autoroute

- Pour réaliser une ACV, la connaissance des ICV des constituants et des ICV des sous process est indispensable.
- Une ACV complète d'un process ne se fait pas en additionnant les indicateurs d'impacts des constituants du process mais en **renseignant les ICV.**

Sinon

- ACV partielle ou étude d'impact isolé
 - somme des effets des constituants ou des effets des étapes du process mais le système complet n'est pas pris en compte.

➔ Existe outils logiciel ouvrage :

béton (Betie), bâtiment (Equer), ou route (Sève)

- Une application ACV sera présentée par Walid CHEBBI
«Approche environnementale par analyse du cycle de vie de l'emploi des granulats à base de laitiers dans la route »

Merci pour votre attention

Sandrine Braymand

Maître de Conférences

Laboratoire Icube – IUT Génie Civil

72 route du Rhin, 67411

Illkirch Cedex, France

s.braymand@unistra.fr