

VERS UNE ACV COMPARATIVE DE MATERIAUX RECYCLES

**Neuman ELOUARIAGHLI¹, Ahmed WERFALI¹, Michal KOZDERKA², Bertrand ROSE²
and Nicolas SERRES³**

Icube 24 Bld de la Victoire
67084 Strasbourg Cedex
Tél : +33(0)3 88 14 47 00

1 RESUME

La préparation et la construction d'une Analyse de Cycle de Vie (ACV) d'un produit exige beaucoup de temps, notamment et surtout lors de l'insertion des données et des composantes de produit dans les logiciels d'ACV. C'est pour cela qu'il est nécessaire de trouver des solutions qui permettent d'économiser temps et efforts. Nous avons aussi observé que beaucoup de produits, dans leur cycle de vie, ont des parties communes qu'on pourrait paramétrer. D'autres factorisations nous ont été possibles comme par exemple les énergies utilisées, les transports et les processus, etc...

Dans une première partie, le travail consistait à utiliser le logiciel Simapro pour concevoir notre cycle de vie du béton et béton recyclé tout en établissant un scénario réaliste et adaptable à un plus grand nombre de cas réels. Le béton que nous étudions est recyclé à 30% afin d'analyser ses impacts environnementaux, en prenant en compte les processus de recyclage.

Le travail suivant est basé principalement sur le cycle de vie du béton / béton recyclé précédemment effectué, pour obtenir un modèle cartographique établie tout en schématisant et simplifiant chaque procédé. La même démarche a été appliquée sur le polyéthylène ou sur le polypropylène, pour pouvoir ensuite comparer les cheminements et les résultats. Dans ce contexte de recherche, nous allons finalement réussir à réduire le temps d'insertion des données dans les logiciels et donc le temps de construction des analyses de cycle de vie des produits.

Mots clés : ACV paramétrique ; modélisation ; matériau béton/béton recyclé

2 ABSTRACT

The preparation of the product life cycle requires much time, especially insertion of data and product components part. For that it was necessary to find solutions that save time and effort. From what it was observed the most of the products share and have the same parametrical part, this is the Common part between all the product which includes energy, transportation, and process, etc...

This work it was translating of product life cycle starting from visual streaming mapping (VSM) by developing, simplifying it up to elicitation the general concrete parametrical graph, and applying the same thing with plastic. In this context of solution research will eventually leading to reduce of insertion and analyze product life cycle time.

In another part of this work by using Simapro software to design our concrete life cycle with respect all aspects to have a scenario somehow more real. We used 30% of recycled concrete to see how much the impact that will produced from recycling process. At the same time the (VSM) general used to have global view of concrete.

Keywords: ACV parametric; modelisation; material concrete, recycled concrete

3 INTRODUCTION

Dans le cadre d'un projet internet au laboratoire Icube, nous travaillons sur le processus d'Analyse du Cycle de Vie du béton et du béton recyclé. Nos travaux, globalement, consistaient à retracer l'ensemble du parcours de toutes les composantes du béton et béton recyclé, pour en ressortir une cartographie précise du produit, où nous pourrions récupérer des parties réutilisables pour d'autres ACV. L'ensemble des informations que nous avons recensées ont été récupérées dans toutes les ressources disponibles actuellement, à notre porté et proviennent majoritairement des articles scientifiques. C'est à partir de cette base d'informations que l'ensemble des travaux s'appuieront.

Présentement, nous savons que les granulats recyclés de béton, issus de la démolition, constituent de nos jours l'un des plus grands flux de déchets dans les pays développés (Serres&Braymand&Feugeas, 2014)[6] afin d'obtenir des résultats indiquant leurs niveaux d'impacts environnementaux. Nous nous analysons l'ensemble du cycle de vie du matériau pour réaliser une des ACV des plus génériques et plus complète possible. Pour ce faire, nous avons réalisé les différentes modélisations des ACV sur le logiciel SimaPro, de tous les processus intervenants sur les produits.

Une problématique majeure résulte du fait qu'il y a de très nombreuses méthodes de procéder afin de fabriquer du béton et du béton recyclé et implique l'unicité de l'analyse du même cycle de vie particulier. Ensuite nous avons analysé les possibilités potentielles de pouvoir factoriser différents modules communs entre plusieurs ACV pour gagner en temps et en efficacité lors de la génération d'une analyse ACV future.

Donc deux axes se dessinent ; le premier traite l'expression et l'analyse des ACV est d'exprimer et d'analyser l'ensemble des impacts environnementaux de tous les processus engendrés, tout en prenant en compte ceux du recyclage (Huntzinger&Eatmonb, 2008) [4]. Le deuxième objectif est de trouver une méthode qui simplifierait la réalisation d'une ACV simple ou complexe afin de réduire significativement son temps de production tout en gardant une efficacité raisonnable, en fonction des ACV étudiés.

4 ETAT DE L'ART ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

La production du béton recyclé atteint 21 millions de tonne en France, en 2009, dont 15 millions provient de démolition, 6 millions de granulats artificiels : 2M laitiers de sidérurgie, 2M de schistes houillers, 2M de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (unpg.fr, s.d.) [1]. Nous confirmons alors que le besoin de recyclage du béton est important et urgent. Après avoir modélisé l'ensemble de l'ACV du béton et du béton recyclé, le premier objectif est de mener une analyse ACV classique en identifiant les consommations et les impacts environnementaux relatifs au matériau considéré. Une particularité de notre analyse de l'état de l'art est d'utiliser des outils bibliométriques permettant de considérer de manière factuels les nombreuses publications récemment parues sur les sujets touchant à l'ACV.

Un second objectif s'intéresse à analyser et factoriser différentes briques de processus pour pouvoir accélérer l'ACV d'autres études lors de prochaines modélisations ou utilisations du béton et du béton recyclé. Ensuite, nous avons comme objectif de visualiser graphiquement, facilement les différents résultats des impacts environnementaux des différentes ACV.

5 MODELE OU METHODE

5.1. Première prémisse

Dans une perspective de recyclage, nous nous sommes inspiré de quelques méthodes de recyclage disponibles dans des logiciels de modélisation, comme Ecoinvent ou ELCD, ou encore plusieurs études de cas à notre disposition issues de la littérature.

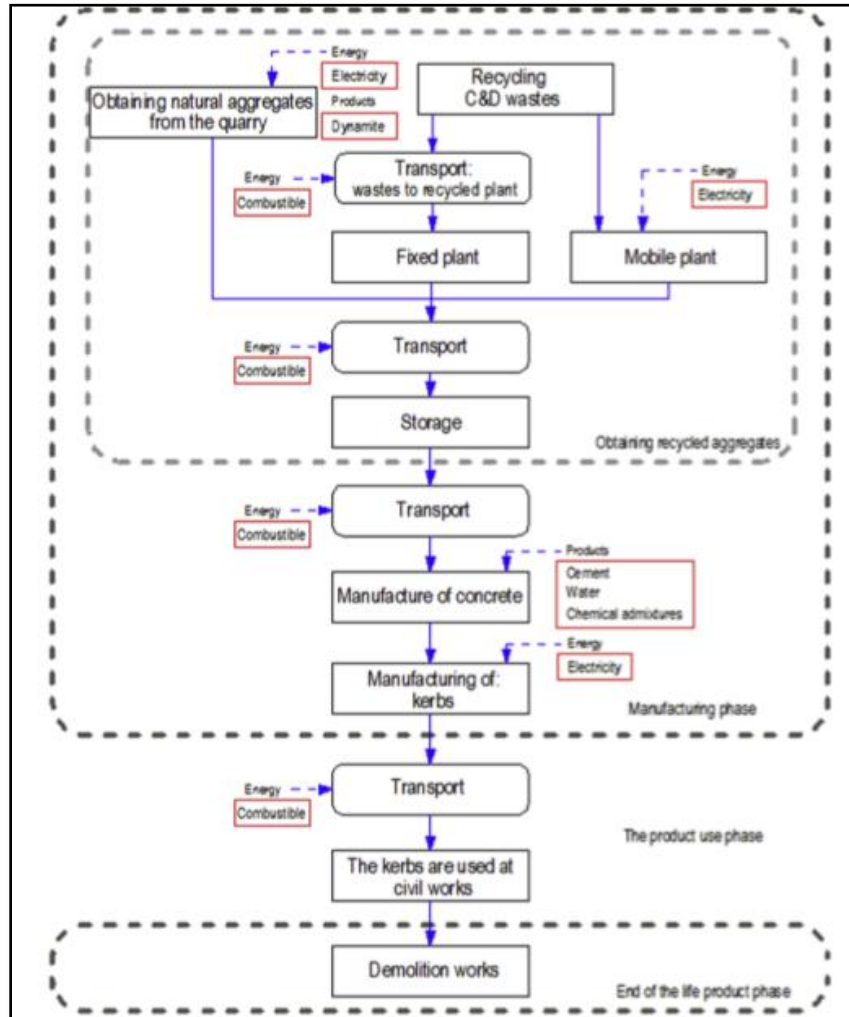


Figure 1: Life cycle sketch for the whole kerb manufacturing process, using recycled aggregates

Nous avons commencé par partir des méthodes et définitions classiques d'ACV pour ensuite aller à la recherche de toutes les informations dont nous avons besoin pour réaliser notre ACV.

Le recueil des données a été réalisé à partir de cas réels précédemment menés au laboratoire à partir de granulats de béton recyclés :

Indicateurs d'impacts	Unité	Norme		Méthodes			
		NF P 01-010	EN 15804	EDP	CML	EDIP	BEES
Consommation des ressources énergétiques	MJ	X	X	X			X
Épuisement des ressources (ADP)	kg éq. Sb	X	X		X		
Consommation d'eau	L	X					X
Déchets solides	kg	X				X	
Changement climatique	kg éq. CO ₂	X	X	X	X	X	X
Acidification atmosphérique	kg éq. SO ₂	X	X	X	X		
Eutrophisation	kg éq. PO ₄ ³⁻		X	X	X		
Pollution de l'air	m ³	X			X	X	
Pollution de l'eau	m ³	X				X	
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC éq. R11	X	X	X	X	X	X
Formation d'ozone photochimique	kg éq. C ₂ H ₄	X	X	X	X		

Figure 2 : Indicateurs d'impact évalués en fonction des méthodes d'analyse

En supplément des bases de données disponibles dans le logiciel utilisé. En visualisant toutes les parties de cette dernière étude, par identification, nous pouvons comparer les différentes liaisons, étapes et processus. Le modèle attendu n'aura pas forcément une forme identique mais pourrait être assez similaire en utilisant des briques génériques facilitant la comparaison et la mise en œuvre de démarches ACV dans le cadre de produits recyclés.

5.2. Second prémisses

Après avoir analysé les différents procédés existant pour la fabrication du béton et béton recyclé, nous avons conclu sur un schéma global, que nous pouvons appeler une « cartographie », permettant de visualiser facilement l'ensemble du workflow de ce produit. La carte n'est qu'une représentation définitive, parmi d'autres, afin d'illustrer une façon de faire, bien précise (Fan&Huang&Hwang&Chao, 2015)[2] (VanDerHarst&Potting&Kroeze, 2016) [7].

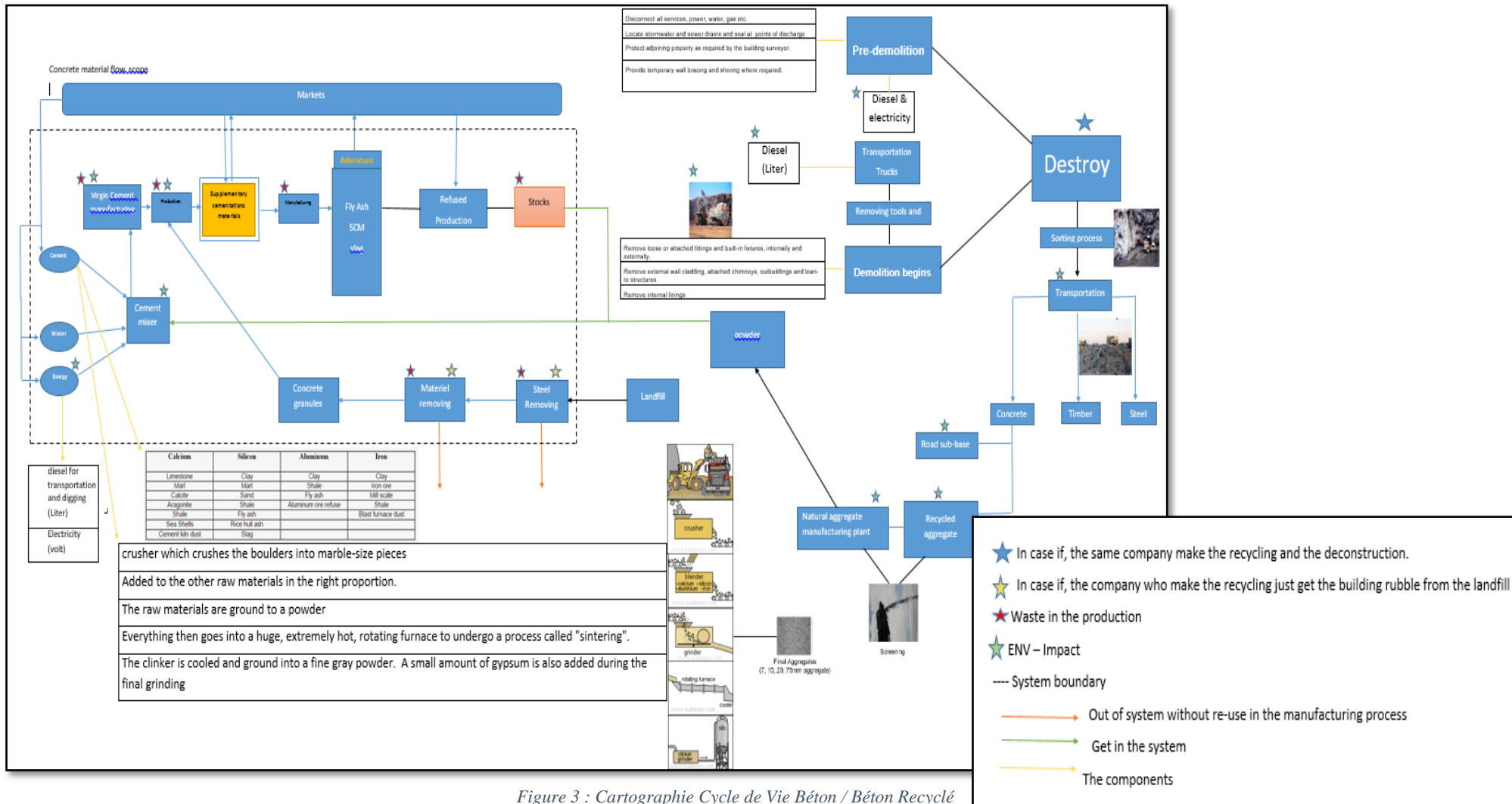


Figure 3 : Cartographie Cycle de Vie Béton / Béton Recyclé

Nous pouvons remarquer que le schéma est assez complexe et nécessite des simplifications pour pouvoir le modéliser. Nous avons alors factorisé chaque sous partie en partie que l'on nomme globalement en fonction de la nature des processus contenues dans les sous parties. Cela nous donne un schéma global mais simplifié : il permet d'être plus général et peut donc intégrer beaucoup plus de schémas de production de béton et béton recyclé.

Cette simplification permet d'avoir une meilleure vision sur la production du béton / béton recyclé :

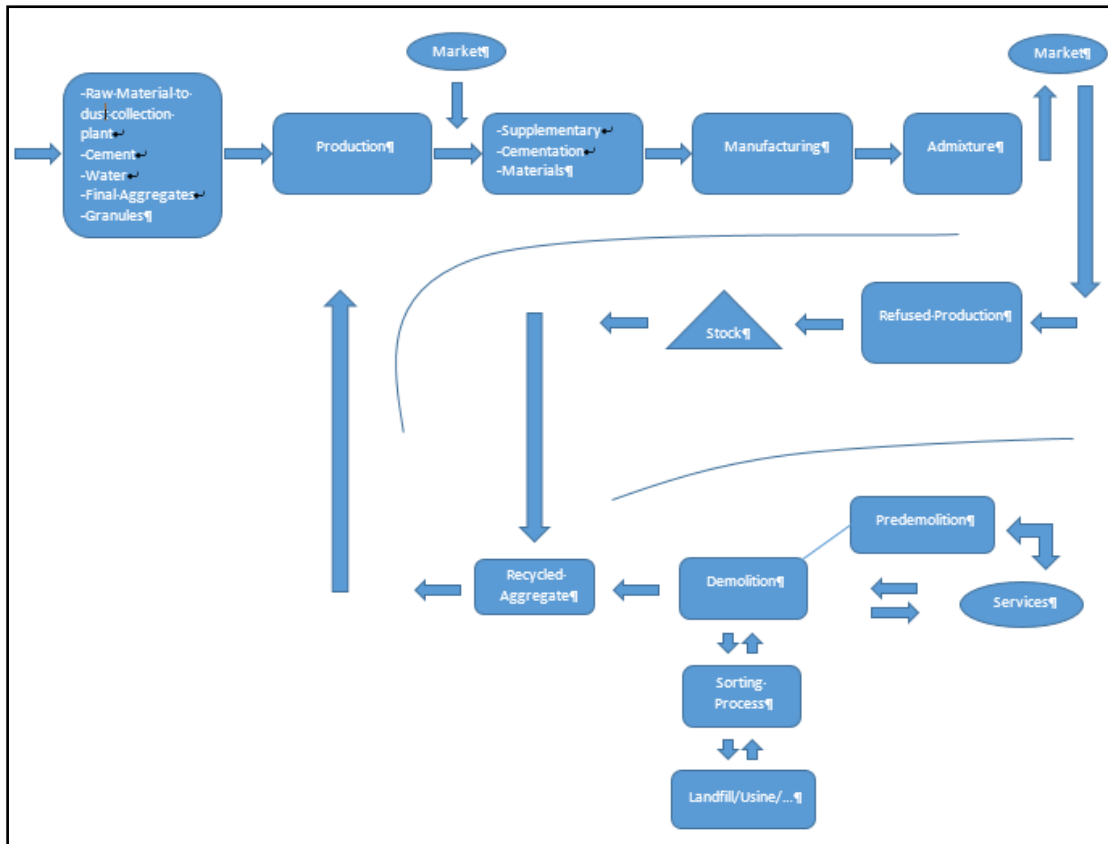


Figure 4 : Schéma Béton / Béton Recyclé Simplifié

Des lors que nous avons l'ensemble des informations des procédés, nous nous sommes lancés sur la modélisation de l'Analyse du Cycle de Vie du béton et du béton recyclé. Avec le logiciel SimaPro, la démarche était longue car il fallait construire à neuf le scénario du béton / béton recyclé, et renseigner chaque « in put » et « out put » de chaque procédé et d'autres tâches de création de processus et autres...

Les résultats obtenus sont tout de même efficient :

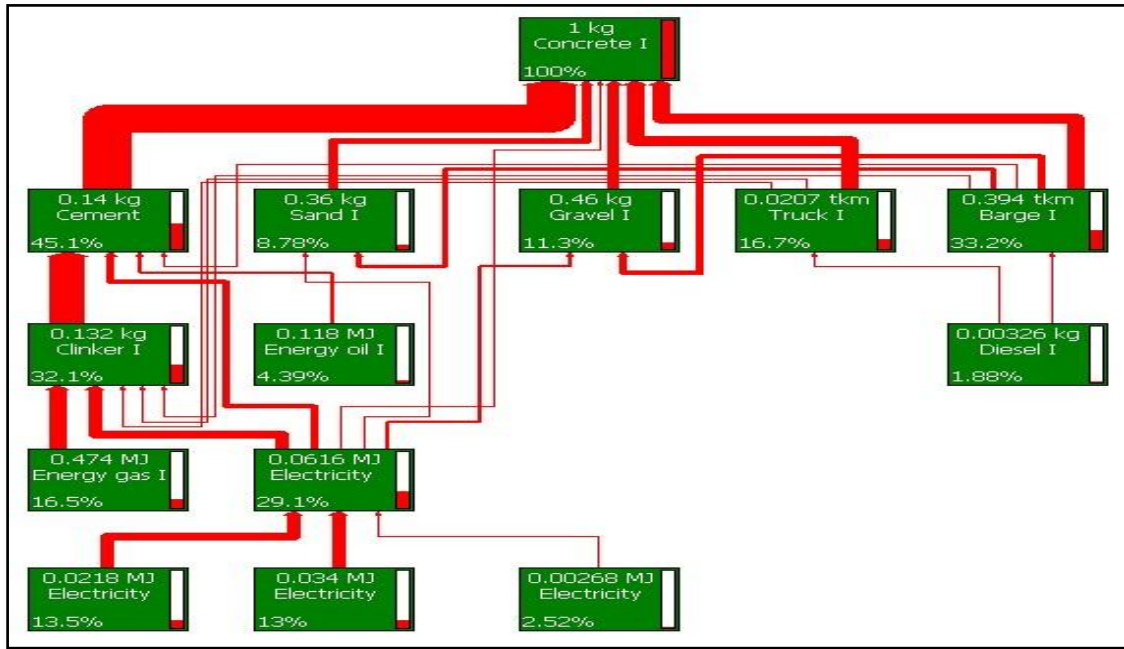


Figure 5 : Workflow Béton

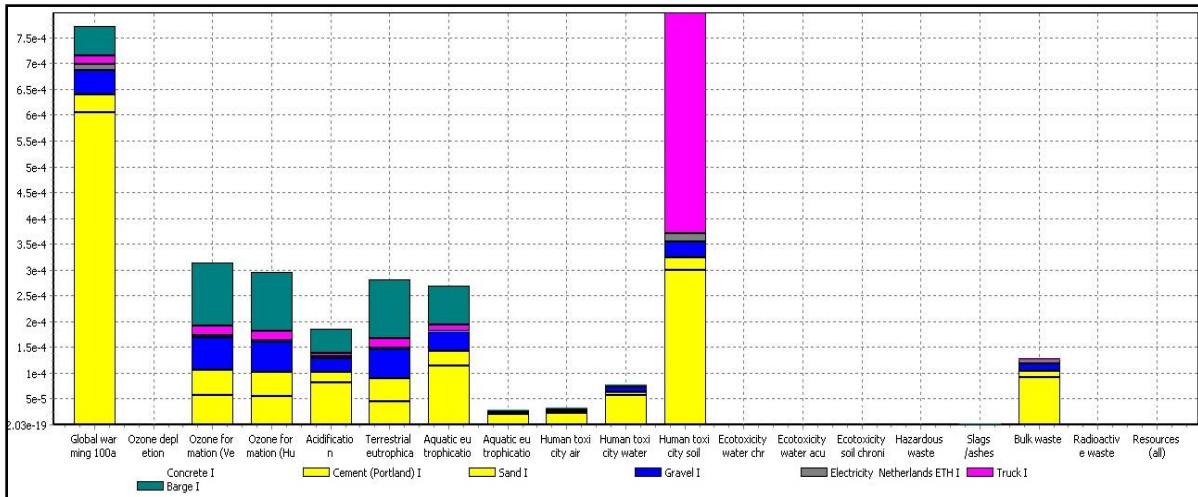


Figure 6 : Impact assessment – normalisation

Les résultats sont remarquables et en disent beaucoup sur les impacts environnementaux que certains procédés développent mais ce n'est pas l'objet de notre étude. Nous devons prendre ces résultats et les comparer à d'autres résultats d'un tout autre produit similaire.

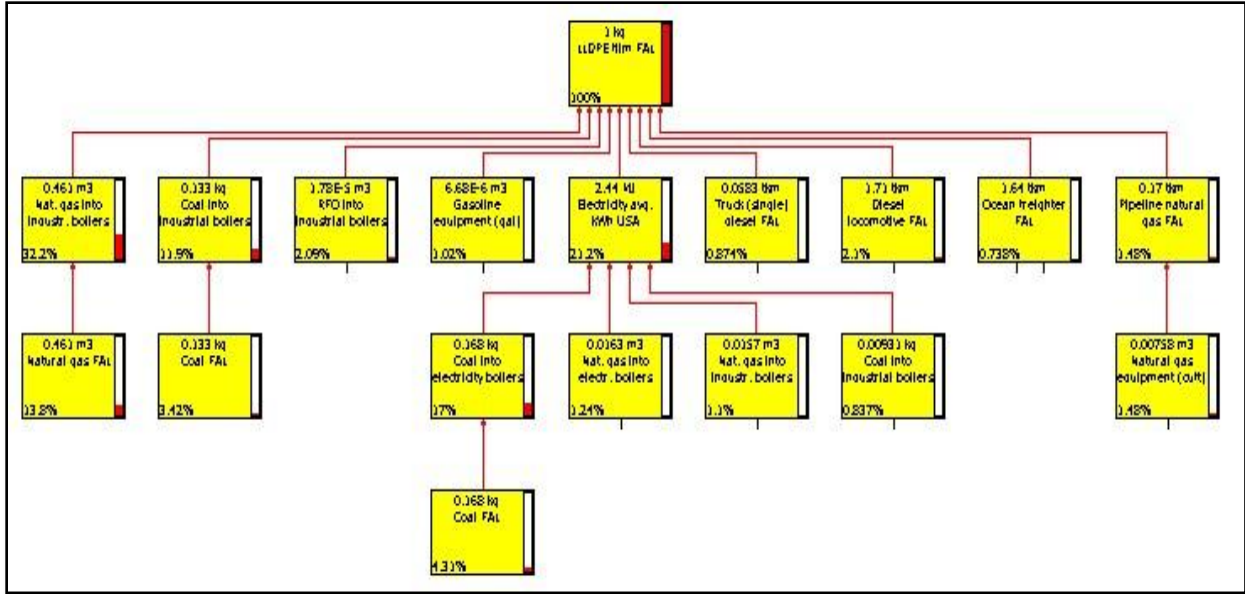


Figure 7 : Workflow Plastique

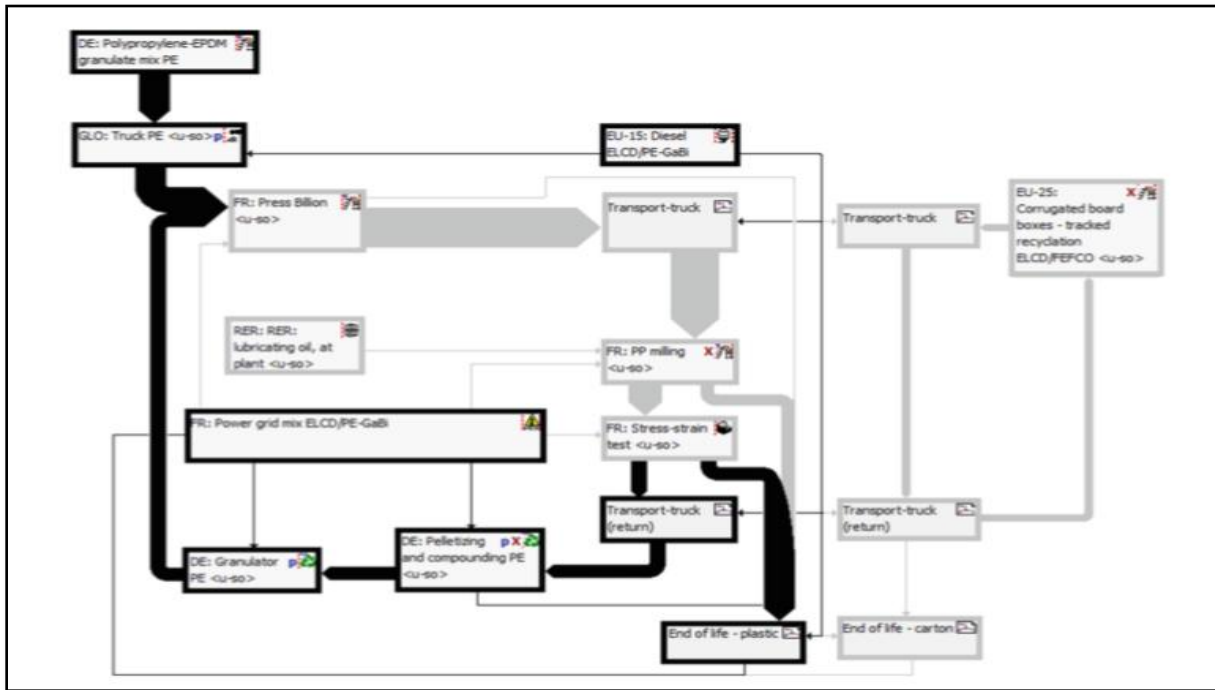


Figure 8 : Workflow Plastique Recyclé (Kozderka&Rose&Koci&Caillaud&Bahlouli, 2016)

En comparant les deux cycles de vie, nous arrivons à trouver des parties communes qui sont factorisables. Et en regroupant toutes ces parties, nous remarquons que dans chaque partie nous retrouvons généralement les mêmes composantes ; les énergies, les transports et les processus. La factorisation de « l'infiniment petit », et ce sur tous les plans, jusqu'à « l'infiniment grand », nous donne accès à une factorisation très simple, à « l'infiniment grand ». De ce principe, nous avons obtenu, dès le cycle de vie, en passant par le cycle de vie simplifié, une simplification directement sur l'ACV.

Sur un fond identique au cycle de vie du béton / béton recyclé, et au cycle de vie du plastique, nous avons remarqué qu'il y avait des ressemblances dans les différentes catégories, après les avoir simplifié.

Alors, nous avons obtenu ce schéma :

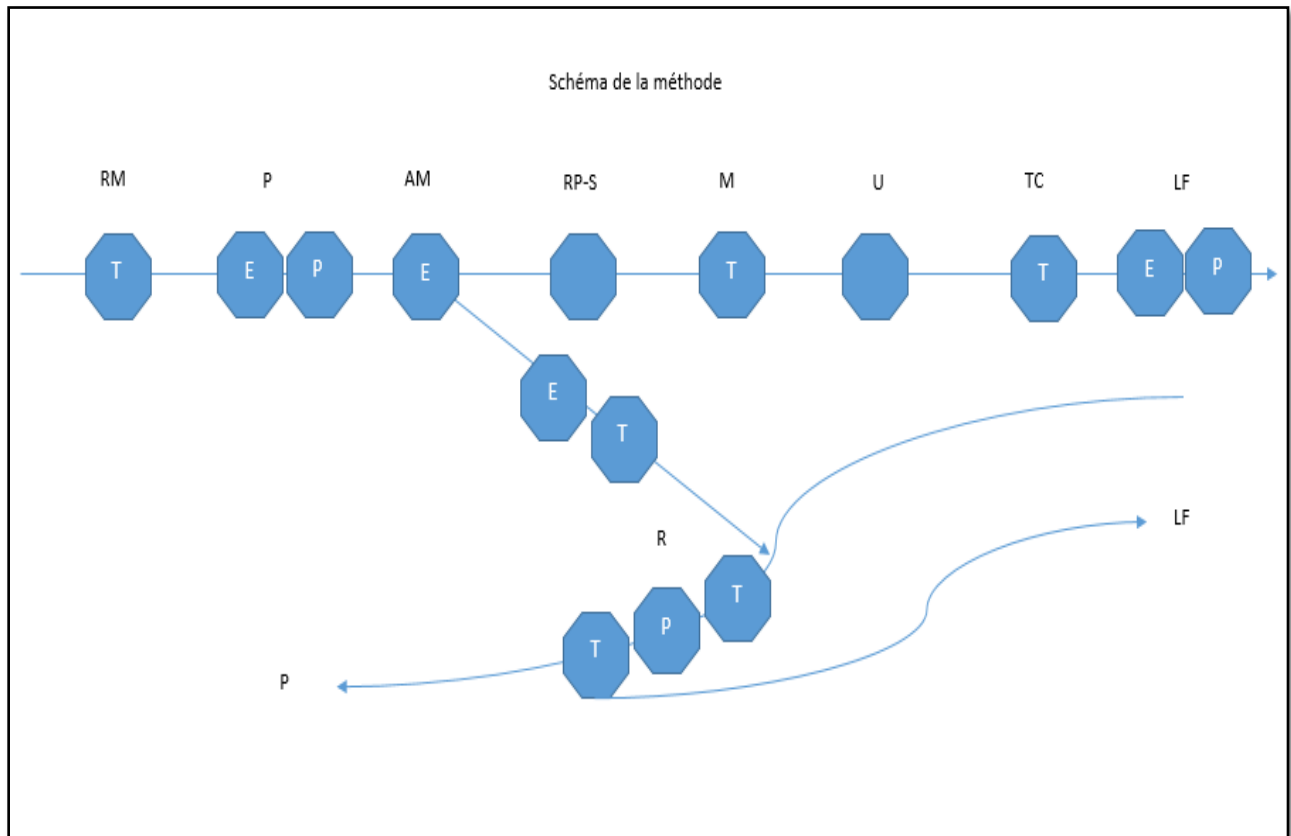


Figure 9 : Schéma Cycle de Vie Paramétrique Simplifié

Légende :

RM : Raw Material

Pt : Production

AM : Add Mixtures

RP-S : Refused Production – Stock

M : Markets

U : Utilization

TC : Trash Collecting

LF : Land Fill

R : Recycling

T : Transports

E : Energies

Ps : Processes

Nous voyons alors que dans chaque partie factorisée, nous avons identiquement des sous-parties factorisées en Energies, Transports ou Process, et le tout, sur un fond identique des deux cycles de vie. Nous en concluons qu'avec n'importe quel autre produit, son cycle de vie est calculable sur ce modèle schématisé, ce qui ouvrira d'autres possibilités en termes de comparaison ou d'autres analyses. Grâce à ce modèle, nous avons réussi à développer des résultats provenant d'une matrice représentative du schéma construit et qui, encore, ouvre d'autres portes à des analyses.

6 PREMIERS RESULTATS

Après avoir établie l'inventaire des données requis et après avoir schématisé et simplifié les cycles de vie, nous avons établi une méthode pour retransmettre les informations du schéma simplifié en une matrice caractéristique :

LCA Parametric degre n°1									
	RM	Pt	AM	RP-S	M	U	TC	LF	R
T	1	0	0	1	1	0	1	0	2
E	0	1	1	1	0	0	0	1	0
Ps	0	1	0	0	0	0	0	1	1
Cd : T100110102 E011100010 Ps010000011									

RM : Raw Material
 Pt : Production
 AM : Add Mixtures
 RP-S : Refused Production - Stock
 M : Markets
 U : Utilization
 TC : Trash Collecting
 LF : Land Fill
 R : Recycling
 T : Transports
 E : Energies
 Ps : Processes

Figure 10 : Matrice caractéristique du béton / béton recyclé

Sur cette matrice, nous avons exprimé les énergies, transports, process, en fonctions des étapes du cycle de vie. L'objectif actuel est de pouvoir comparer deux matrices différentes, provenant de deux cycles de vie de produit différent, afin de localiser des modules identiques pour que, lors d'une nouvelle construction d'ACV, nous puissions récupérer ces modules, les assembler et faciliter cette dernière ACV.

Nous avons utilisé la méthode d'implantation de ligne de production qui, généralement, est utilisé pour construire des îlots de production afin de rassembler des éléments pour en faire plusieurs catégories. Cette solution pourrait nous aider à rendre nos ACV paramétrique.

Nous avons utilisé la méthode King pour redessiner le schéma général du produit (Workflow) prenant en compte tous les composants du cycle de vie du produit, à partir d'une seule et même matrice. Cette matrice donne la possibilité de relier chaque produit/processus/transport entre eux en affectant un « 1 » lorsqu'il y a un lien et « 0 » lorsqu'il n'y en a pas, ce qui nous permet d'appliquer un réarrangement via la méthode King.

Voici la matrice et le schéma résultants du béton, de la méthode King :

	RM _{crude oil}	RM _{Diels}	P _{Heavy oil}	RM _{Electricity}	TR _{Barge}	P _{clinker}	P _{oement}	P _{slage}	P _{cours slage}	TR _{Truc}	TR _{Trailer}	P _{scrap iron}	TR _{Train}
P _{Heavy oil}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TR _{Barge}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TR _{Train}	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TR _{Trailer}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TR _{Truc}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P _{oement}	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
P _{concrete}	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
P _{scrap irone}	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
P _{gravle}	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P _{clinker}	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
P _{cours slage}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1

Figure 11: Matrice béton méthode King

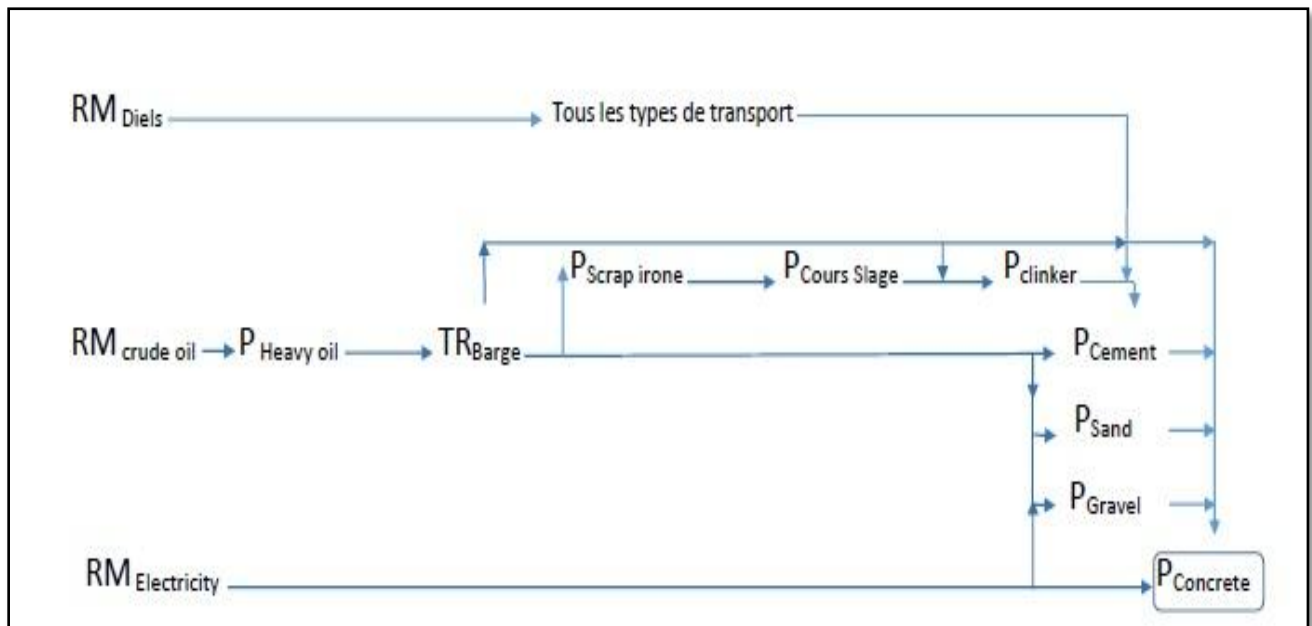


Figure12: Schéma béton méthode King

Et voici la matrice et le schéma résultants du plastique, de la méthode King :

	RM-electricity	P-coalintro	P-Natu gas into electrici	P-LPG into	P-pipe line	P-Gasoil	P-DFD into electricity boiler	TR-truck	TR-Barage	P-ocean	P-RFO in	RM-urani	P-residuel	RM-distillate	P-Coal F	P-natu gas	P-lpg fall
LPDC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
P-pipe line	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-elec2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
TR-Barage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
TRP-ocean	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
P-lpgfall	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P-dfo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
TR-truck	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P-diesle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P-coalintro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
P-LPGintro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figure13: Matrice plastique méthode King

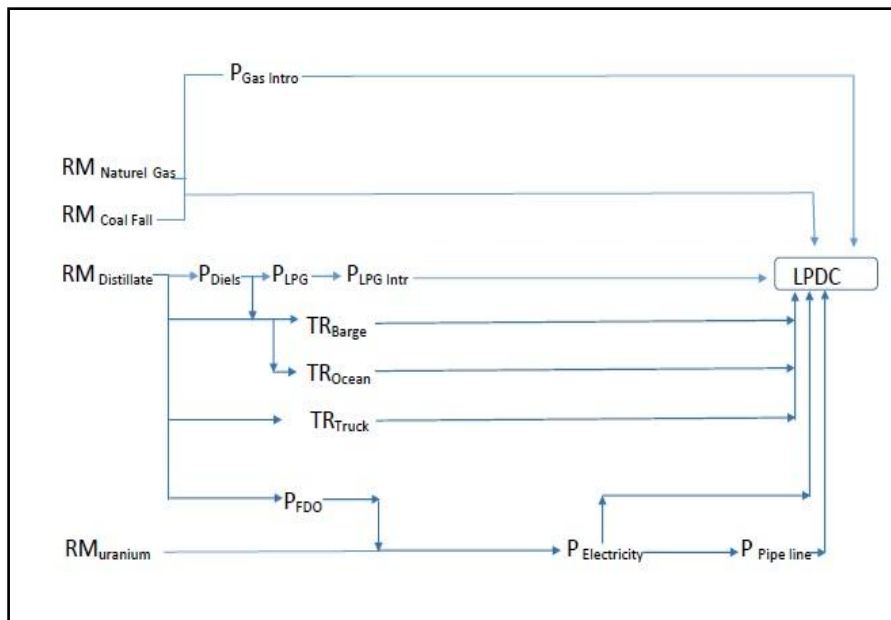


Figure14: Schéma plastique méthode King

Les résultats sont peu probants, la méthode regroupe des éléments mais ce tri n'est pas suffisant. En analysant le schéma, nous pouvons tout de même remarquer que les étapes les plus sollicités sont les parties ayant le plus d'impacte carbone. De cette manière, nous pouvons dire que cette méthode peut nous faire gagner entre 20% et 30% de temps car elle nous épargne la recherche des composants du produit.

Les résultats obtenus, qui sont généralement basés sur des approximations, ne renvoient qu'à des interprétations de résultats, sur les impacts environnementaux (midpoint), en impact carbone exprimé en CO2 et CO2 équivalent ou alors mesurer directement les consommations et émissions, ou les calculer (endpoint). Nous pouvons le voir sur les résultats de l'ACV qui met en évidence l'utilisation de sable et/ou de granulats recyclés et réduit les impacts environnementaux des échantillons de béton et de microbétons, même si l'utilisation de matériaux recyclés impose différentes opérations par rapport à l'extraction (Serres&Braymand&Feugeas, 2014) [6]. Plus l'ACV est précise dans ses étapes, dans les phases du cheminement du produit et dans les processus, plus les résultats seront aussi précis, complets et fiables, même si des données sont manquantes (Kozderka&Rose&Koci&Caillaud&Bahlouli, 2016) [5]. Par contre, le cadre doit être conservé et resté lié aux résultats pour garder une bonne interprétation par rapport aux autres chercheurs qui les consulteraient. Ainsi, nous obtenons des résultats efficaces dus à la méthodologie trouvée, des gains de temps en R&D pour ensuite conserver des résultats fidèles aux travaux réalisés. En analysant les résultats, nous concluons alors sur des satisfactions par rapport aux faibles consommations/utilisations des ressources. Mais nous savons que chaque étude unique en son genre et qu'il est impossible de prédire un rapport universel de gain de temps ou sur d'autres bénéfices (Kozderka&Rose&Koci&Caillaud&Bahlouli, 2016) [6]. Finalement, les perspectives d'utilisation augmentent et élargies aussi la productivité potentielle en écoconception.

7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les objectifs fixés, les méthodes utilisées et les expériences nous renvoient vers d'autres besoins qui demandent expertise et recherche pour déboucher sur des résultats encore plus efficaces et utiles dans leurs domaines d'application. Une fois que les AVC seront effectuées, efficaces, tout en ayant des données d'entrée précises et justes, tout en sachant que des erreurs peuvent être commises sur certains niveaux du programme de modélisation (Herrmann&Moltesen, 2015) [3], nous pourrions améliorer les processus du produit, réduire les impacts environnementaux, obtenir une nouvelle base de données fiable, améliorer la démarche paramétrique et avoir encore d'autres gains potentiels. Il pourrait aussi être utile dans le cas des systèmes basés sur les Product Category Rules (PCR). Les PCR donnent des cadres afin de construire des ACV des produits similaires. Pour les représentations graphiques, nous pouvons aussi montrer quels bénéfices nous avons obtenus de l'ACV et aussi, montrer les opportunités que nous pourrions offrir, avec ce genre de travaux, en lien avec d'autres domaines. L'étude pourrait alors se mêler à ces différents secteurs et facilitera largement les recherches. Ainsi, nous pouvons déduire que l'étude globale permettra alors les réalisations d'autres ACV en partant de modules de travaux complets. Finalement, nous observons aussi, depuis nos résultats, un besoin de faciliter les analyses comparatives pour accélérer l'uniformisation des démarches de l'ACV et des ACV.

8 REFERENCES

- [1] (s.d.). Récupéré sur unpg.fr:
www.unpg.fr/dossiers/economie/les_granulats_recyclés#chiffres_cles
- [2] Fan&Huang&Hwang&Chao. (2015). The effects of Different Fine Recycled Concrete Aggregates on the Properties of Mortar. *Materials Science Journal*, 8, 2658-2672.
- [3] Herrmann&Moltesen. (2015). Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Clean. Prod.* 86, 163-169.
- [4] Huntzinger&Eatmonb. (2008). A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies.
- [5] Kozderka&Rose&Koci&Caillaud&Bahlouli. (2016). High Impact Polypropylene Recycling – Mechanical Resistance and LCA Case Study with Improved Efficiency by Preliminary Sensitive Analysis. *Springer International Publishing Switzerland*, pp. 541-553.
- [6] Serres&Braymand&Feugeas. (2014). Evaluation environnementale de bétons de granulats recyclés de béton et de béton de granulats recyclés de terre cuite à partir d'analyses de cycle de vie. *HAL, conférence Matériaux*, hal-01144339.
- [7] VanDerHarst&Potting&Kroeze. (2016). Comparison of different methods to include recycling in LCA of aluminium cans and disposable polystyrene cups. *Science Direct* 48, 565-583.

Contact principal: **BertrandROSE**

Coordonnées
Icube 24 Bld de la Victoire
67084 Strasbourg Cedex
Bertrand.Rose@unistra.fr
+33 6 07 11 97 39