



HAL
open science

Etude des représentations des résultats d'ACV dans les phases critiques d'interaction

Théo Charbonnel, Cédric Masclet, Guillaume Mandil

► **To cite this version:**

Théo Charbonnel, Cédric Masclet, Guillaume Mandil. Etude des représentations des résultats d'ACV dans les phases critiques d'interaction. 14ème colloque national AIP-Primeca, Mar 2015, La Plagne, France. hal-01467934

HAL Id: hal-01467934

<https://hal.science/hal-01467934>

Submitted on 2 Apr 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude des représentations des résultats d'ACV dans les phases critiques d'interaction

Théo CHARBONNEL

Laboratoire G-SCOP, INP-Grenoble
46, Avenue Félix Viallet
38000, Grenoble, France
charbonnel.theo@gmail.com

Cédric MASCLET, Guillaume MANDIL

Univ. Grenoble Alpes, G-SCOP, F- 38000 Grenoble, France
CNRS, GSCOP, F38000 Grenoble, France
guillaume.mandil@g-scop.eu
cedric.mascler@g-scop.eu

Résumé:

Les enjeux d'une production plus durable n'étant plus à démontrer, les entreprises se doivent d'intégrer la dimension environnementale dans leur processus de conception. En effet les concepteurs ont un poids important dans le développement de "produits verts" par leurs choix de conception. Ils peuvent, grâce à des outils comme l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) évaluer l'impact environnemental d'un produit ou d'un service existant afin de les aider dans leurs prises de décisions conceptuelles. Dans cet article nous nous focaliserons sur l'étude des représentations des résultats d'ACV dans les moments critiques d'interaction entre les experts environnementaux et les autres acteurs de la conception. Pour cela nous identifierons les moments critiques d'interaction dans un processus de conception actuel, et étudierons les représentations et l'interprétation des résultats d'ACV qui leur sont associés.

Mots-clés: éco-conception, analyse de cycle de vie, représentation.

I. INTRODUCTION

L'analyse de cycle de vie est une méthodologie d'évaluation environnementale d'un produit ou d'un service, définie par les normes ISO 14040 à ISO 14044 [1], [2]. Elle permet une étude quantitative de l'impact potentiel sur l'environnement d'un produit tout au long de son cycle de vie. L'importance des choix de conception sur les impacts environnementaux d'un produit impose l'intégration des aspects environnementaux le plus en amont dans le processus de conception [3]. Les nombreux travaux sur les outils d'analyse environnementale ont permis une large accessibilité à l'éco-conception ; néanmoins l'intégration de ce domaine d'expertise n'est pas encore chose acquise [4]. L'une des raisons de cette non-intégration s'explique notamment par une difficulté de reconnaissance et d'interprétation des informations multicritères présentées lors de la représentation des résultats d'Analyse de Cycle de Vie [5]. Dans ce contexte nous nous posons la question de l'influence des représentations utilisées lors de l'affichage des résultats d'ACV auprès des utilisateurs non experts et plus précisément sur l'utilité d'une représentation synthétique des résultats d'ACV.

La première partie de cet article s'attachera à rappeler le paradoxe de l'intégration de l'analyse de cycle de vie au plus

tôt dans le processus de conception. De plus nous identifierons les moments critiques d'interaction entre l'expert environnemental et les autres acteurs de la conception et analyserons les représentations des résultats d'ACV associées. Une seconde partie sera dédiée à la construction d'une enquête visant à identifier l'impact des différentes représentations des résultats d'ACV sur leurs interprétations. Pour finir nous présenterons les résultats de l'enquête et les analyserons.

II. INTEGRATION DE L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE

A. Le paradoxe d'une intégration au plus tôt de l'ACV

La principale problématique émise lors de l'utilisation de l'ACV est le paradoxe que soulève l'intégration de l'ACV tout au long du processus de conception. Comme l'affirme la norme ISO 14062 [3] l'intégration de l'ACV au plus tôt dans le processus de conception permettrait une meilleure prise en compte des aspects environnementaux lors du cycle de vie du produit. Néanmoins, selon D. Millet, et al. [6], l'ACV se limite à l'analyse de produits existants, ou aux produits définis en fin de processus de conception. Ils expliquent cette limitation par une disponibilité des données très faible dans les premières étapes de conception, un temps de réalisation important et une expertise nécessaire pour la construction et l'interprétation de l'ACV. Pour pallier cela, P. H. Nielsen et H. Wenzel [7] proposent d'intégrer l'ACV tout au long du processus de conception. Cette procédure permet étape par étape, d'optimiser un produit en se basant sur la définition d'un produit de référence, sur l'identification des "Hot spots" et sur la comparaison du produit de référence au produit développé.

B. Les besoins des acteurs de la conception

En se basant sur la littérature nous pouvons isoler deux besoins explicites des concepteurs. Le premier étant une représentation des résultats d'ACV explicite afin d'évaluer rapidement et facilement la crédibilité et la légitimité des résultats d'ACV, comme le souligne D. Millet, [6], et P. Uchil et A. Chakrabarti, [8]. Le second besoin ressortant de l'étude de la littérature est une visualisation des paramètres de conception liée à la multi dimensionnalité de l'évaluation de l'impact du cycle de vie (ACVI) afin d'interpréter rapidement

leurs relations dans chaque phase du cycle de vie du produit [5], [9].

III. MOMENT D'INTERACTION CRITIQUE ET REPRESENTATIONS ASSOCIÉES

A. Processus de conception

En se basant sur le processus de conception de Faber s.p.a, établi dans le projet GENESI [10], et en y ajoutant les étapes suggérées par P. H. Nielsen et H. Wenzel [7] pour intégrer l'ACV dans le processus de conception, nous avons pu identifier le moment d'interaction critique. Nous avons fait l'hypothèse que le moment où l'interaction est la plus importante se situe au plus tôt dans le processus de conception, lorsque les données d'ACV sont imprécises. En effet l'un des verrous identifié dans la littérature est le manque de crédibilité et la légitimité des résultats d'ACV [6], [8]. Ce manque de crédibilité pourrait être renforcé par la création d'une ACV se basant sur des données floues.

Afin d'identifier les problèmes liés à l'exploitation des résultats d'ACV par les acteurs de la conception, nous proposons de construire un cas d'étude simplifié ayant comme objectif la comparaison de plusieurs structures fonctionnelles (grâce à une ACV). Celles-ci devront avoir des exigences couplées entre chaque acteur de la conception afin de pouvoir répondre à la problématique de communication. Dans ce contexte nous avons choisi d'étudier et de comparer un système de verrouillage de bâton de ski pliable. L'objectif de cette analyse environnementale est d'apporter des arguments environnementaux aux acteurs de la conception, lorsqu'ils devront choisir la structure fonctionnelle à développer pour la suite du projet. L'une des principales difficultés dans l'analyse et le choix des structures fonctionnelles est liée à l'imprécision des données, notamment lors de la modélisation de la matière. Cela s'explique par l'obligation d'intégrer l'analyse de cycle de vie au plus tôt dans le processus de conception, avant même que le choix de matière soit défini. Pour pallier ce problème nous avons défini un degré de flexibilité sur le choix de la matière à modéliser lors de l'analyse de cycle de vie.

B. Les représentations

Lors de l'analyse environnementale des structures fonctionnelles nous retenons trois paramètres ; les indicateurs environnementaux, les structures fonctionnelles et la flexibilité sur le choix de la matière lors de la modélisation. Plusieurs représentations sont alors utilisées lors de cette analyse.

Une première représentation globale de tous les indicateurs environnementaux (Figure 1) est réalisée en utilisant une normalisation en pourcentage des indicateurs. Pour chacun d'entre eux, la valeur la plus importante est associée à 100%. Le résultat pour chacune des structures fonctionnelles est recalculé proportionnellement à cette valeur afin de les représenter, tous, sur un même graphique. En effet, chaque indicateur (axe des abscisses) ayant une unité différente, il est obligatoire de leur associer une unité commune. Une seconde comparaison des structures fonctionnelles peut-être réalisée indicateur par indicateur.

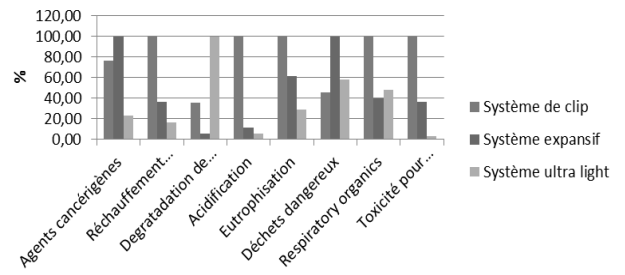


FIGURE 1. HISTOGRAMME NORMALISE

Afin d'identifier les facteurs les plus dégradants, pour chaque indicateur et chaque structure fonctionnelle une représentation dite diagramme de flux est utilisée (Figure 2). Cela permet d'identifier si l'indicateur est dégradé par le choix de la matière ou plutôt par le processus de fabrication des pièces. De plus la représentation en réseau permet une lecture et une représentation de l'inventaire.

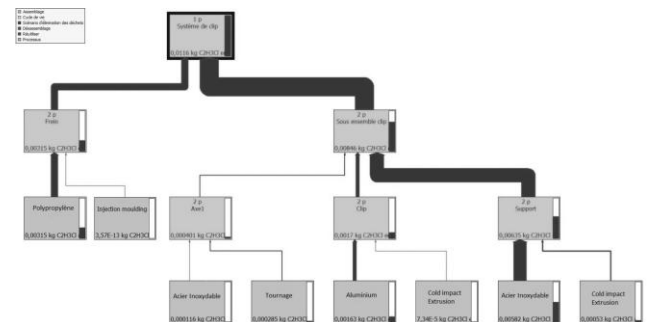


FIGURE 2. DIAGRAMME DE FLUX

Une troisième représentation (Figure 3), utilisée dans les travaux de G. Rasoulifa [11], permet de mettre en évidence les liens entre les informations relatives au cahier des charges, aux structures fonctionnelles, ainsi qu'aux aspects de fabrication.

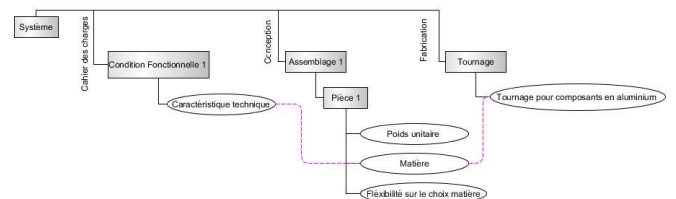


FIGURE 3. MODEL PRODUIT

Enfin nous proposons une quatrième représentation (Figure 4) visant à mettre en parallèle pour chaque indicateur, la ou les structure(s) fonctionnelle(s) les plus dégradantes, leurs facteurs dégradants (la matière ou le procédé de fabrication), et la flexibilité matière. Pour chacune de ces structures fonctionnelles nous mettons en évidence la cause principale de dégradation de l'indicateur environnemental : la matière ou le processus de fabrication. En complément du nom de la matière la plus dégradante, nous affichons sa flexibilité par un code couleur sur le nom de la pièce. Les cases grisées signifient que l'indicateur, associé à la structure fonctionnelle,

est faible en comparaison des autres. Les nuances de gris affiliées à chacune des pièces correspondent à la flexibilité associée à celles-ci.

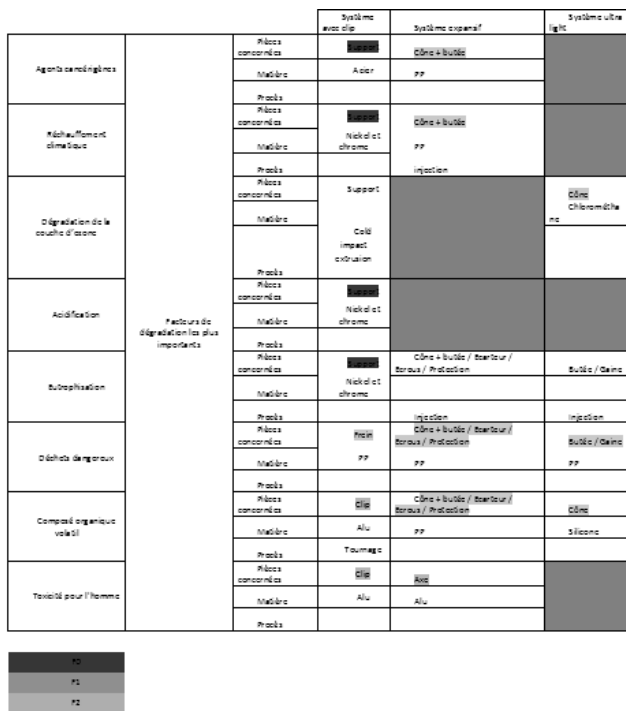


FIGURE 4. REPRESENTATION SYNTHETIQUE

IV. ENQUÊTE

Les objectifs de la présente enquête étaient triples : le premier était d'étudier les biais engendrés par l'histogramme normalisé ; le second, de caractériser les différences d'interprétation des représentations actuelles et le troisième, d'étudier la pertinence d'une représentation reliant les indicateurs, la flexibilité et les structures fonctionnelles. Les hypothèses que nous avons cherché à vérifier étaient les suivantes:

Hypothèse n°1 : L'histogramme normalisé peut entraîner des biais d'interprétation, notamment en offrant la possibilité de comparer des niveaux d'indicateurs n'ayant pas d'unité en commun.

Hypothèse n°2 : La représentation que nous présentons (Figure 4), permet une synthèse plus simple des données à prendre en considération.

Hypothèse n°3 : L'ordre dans lequel sont présentées les différentes représentations des résultats d'ACV, influe sur leur interprétation.

A. Construction

Afin de valider les hypothèses décrites ci-dessus, nous avons proposé deux scénarios. Ces scénarios se différencient par l'ordre d'affichage des représentations des résultats d'ACV afin d'étudier leur influence. Le premier présente une représentation globale de tous les indicateurs

environnementaux en début de scénario, tandis que le second le présente à la fin. Chacun des scénarios inclut le renseignement séquentiel d'un questionnaire que nous détaillons ci-après.

1) Scénario I

La première étape du scénario (Figure 5) consistait à exposer aux personnes interrogées un histogramme normalisé présentant trois structures fonctionnelles et huit indicateurs environnementaux, afin qu'ils déterminent la structure fonctionnelle la plus néfaste pour l'environnement. Cette première question (A) avait comme objectif l'observation des différences d'interprétation causées par la normalisation en pourcentage de l'histogramme. Dans la suite de ce questionnaire (B1 et B2), nous présentions les mêmes données que dans l'histogramme normalisé mais sous une forme différente. Une représentation des résultats sous forme de diagramme de flux a été utilisée, indicateur par indicateur et structure fonctionnelle par structure fonctionnelle. Comme pour la première question, nous demandions de faire un choix de la structure fonctionnelle la plus impactante pour l'environnement. Cela avait pour objectif d'évaluer la difficulté de prise en considération de tous les résultats lors du choix de structure fonctionnelle. Dans les questions (C1 et C2) il était demandé aux personnes interrogées de prendre en considération les erreurs de modélisation des matières, grâce à un niveau de flexibilité sur le choix de celles-ci. Ces questions nous permettaient d'observer les difficultés de prise de décision en fonction de résultats multicritères (indicateurs environnementaux, matière/process, flexibilité). Pour finir, nous avons indiqué aux personnes interrogées que nous nous intéressions à second cas d'étude. Nous leur avons présenté l'outil de synthèse que nous avons réalisé. Celui-ci était déjà implémenté par les données de l'étude de cas précédente. Comme dans les questions précédentes, il était demandé aux personnes interrogées de prendre en considération les indicateurs environnementaux, la matière ou process de fabrication modélisé et la flexibilité associée à la matière. Cette question (D) nous a permis d'observer si l'outil de synthèse engendre des réponses moins disparates qu'avec les représentations précédentes.

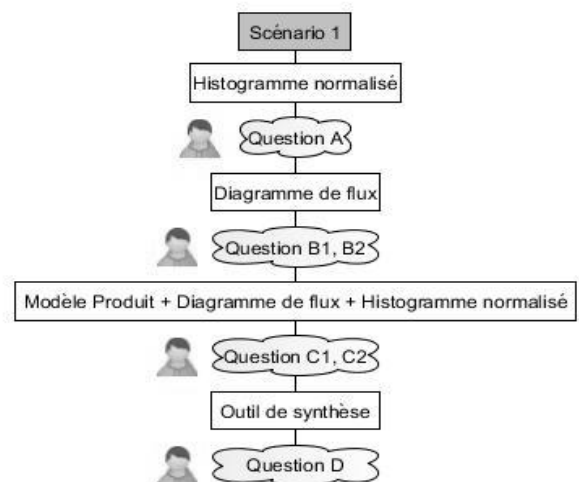


FIGURE 5. SCENARIO I

2) Scénario II

Le second scénario (Figure 6) commence par les diagrammes de flux. Cela nous a permis d'observer l'influence de l'ordre d'affichage des différentes représentations des résultats d'ACV. Dans un souci de comparaison des résultats, nous avons utilisé les mêmes données que dans le premier scénario pour construire les différentes représentations. Les questions A, B1, B2, C1, C2 et D sont inchangées, seul l'ordre d'affichage diffère.

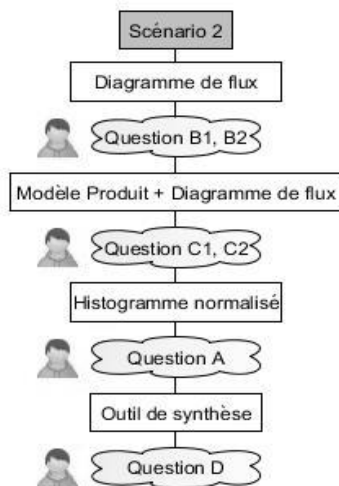


FIGURE 6. SCENARIO 2

B. Participants

Cette enquête a été diffusée à un public d'ingénieurs mécaniciens et producticiens. Huit des seize personnes interrogées ont répondu au premier scénario, les huit autres au second. Pour chaque personne interrogée, nous avons fourni le questionnaire au format informatique. Afin d'évaluer seulement l'interprétation des résultats environnementaux, nous avons répondu aux diverses interrogations concernant les sens des questions posées pour limiter le biais lié à l'interprétation de ces questions.

V. RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Hypothèse 1

Cette hypothèse concerne la représentation des résultats d'ACV sous forme d'histogramme normalisé. Elle est évaluée par la question (A) pour les deux scénarios. Nous pouvons observer que la plupart des réponses découlent de l'analyse de l'histogramme et notamment du score des structures fonctionnelles pour chaque indicateur. En se fiant non pas au nombre d'indicateurs pour lesquels une structure fonctionnelle affiche un score maximal mais au nombre d'indicateurs pour lesquels une structure fonctionnelle affiche un score élevé, les répondants comparent des indicateurs n'ayant aucune unité commune. Cela nous permet de valider cette première hypothèse, et nous amène à penser que l'utilisation de l'histogramme normalisé peut être une source de biais d'interprétation.

B. Hypothèse 2

En alliant les trois variables de décision (flexibilité, indicateurs environnementaux et structures fonctionnelles) dans l'outil de synthèse, nous nous attendions à une réponse unanime des participants. Or dans les réponses du scénario 1 (Figure 7) nous pouvons observer une disparité dans les réponses à la question (D). Cela nous amène à penser que cet outil de synthèse pourrait être utilisé comme outil de collaboration pour le choix d'une structure fonctionnelle. En effet dans cette enquête nous n'avons pas considéré l'aspect collaboratif que doit avoir cette phase de conception. Si l'outil de synthèse est rédigé par l'ensemble des collaborateurs et en prenant en compte le point de vue de chaque acteur de la conception, il serait d'autant plus facile d'en obtenir une interprétation unique. Cette interprétation unique ne pourra être effective que si la construction de cet outil découle d'un consensus de chaque acteur de la conception.

Personne interrogée	Profil	Question A	Question B1	Question B2	Question C1	Question C2	Question D	Temps
Répondant n°1	Ingénieur mécanique	aucune	sc	se	se	se	sc2	1h03min
Répondant n°2	Ingénieur mécanique	sc	su	se	su	se	sc2	1h12min
Répondant n°3	Ingénieur mécanique	sc	sc	su	su	se	sc3	1h27min
Répondant n°4	Ingénieur mécanique	sc	sc	se	su	se	sc3	1h05min
Répondant n°5	Expert environnemental	sc	sc	sc	aucune	sc	sc2	42min
Répondant n°6	Expert environnemental	aucune	aucune	aucune	su	sc	sc3	1h39min
Répondant n°7	Ingénieur mécanique	se	sc	aucune	su	se	sc3	59min
Répondant n°8	Ingénieur productique	sc	sc	se	aucune	se sc	aucune	1h03min
système de clip		63%	75%	13%	0%	25%	0%	
système expansif		13%	0%	50%	13%	63%	38%	
système ultralight		0%	13%	13%	63%	0%	50%	
autre		25%	13%	25%	25%	13%	13%	

FIGURE 7. REPONSES DU SCENARIO 1

C. Hypothèse 3

Les réponses que nous avons obtenues ne permettent pas de répondre avec précision quant à l'influence de l'ordre d'affichage des différentes représentations des résultats d'ACV. En effet dans la plupart des cas, et dans les deux scénarios, les personnes interrogées se sont servies des données brutes présentes dans les représentations pour construire leurs propres représentations. Or l'hypothèse que nous avons formulée s'appuyait sur les représentations actuelles des résultats d'ACV et non pas sur des représentations propres à chacun. Nous proposons donc d'étudier les différentes stratégies mises en place pour répondre aux différentes questions posées dans les deux scénarios.

Pour établir un ordre hiérarchique des structures fonctionnelles les moins dégradantes pour l'environnement, plusieurs stratégies ont été mises en place. Elles se basent toutes sur l'analyse du score global pour chaque indicateur de chaque structure fonctionnelle. La première des stratégies consiste à créer sa propre échelle de valeurs ou de pondération pour chaque indicateur, afin d'établir un classement des structures fonctionnelles les plus dégradantes pour l'environnement. Cette stratégie a été utilisée par cinq personnes sur les seize interrogées. La seconde stratégie consiste à créer un classement des structures fonctionnelles afin d'en établir un ordre hiérarchique en fonction de leur impact pour chaque indicateur. Le (Tableau 1) présente un exemple de classement des structures fonctionnelles.

Seulement trois des personnes interrogées se sont servies uniquement des représentations proposées dans l'enquête. Ces différentes stratégies témoignent de la difficulté de l'utilisation des diagrammes de flux dans un objectif de comparaison de structures fonctionnelles. Néanmoins cette représentation permet d'accéder facilement aux données brutes dont les personnes ont besoin pour construire leurs représentations.

Indicateurs	S1	S2	S3
Agent cancer	0,0116	0,0149	0,00356
Réchauffement	0,654	0,12	2,4502
Ozone	1,14E-08	1,6E-09	3,83E-08
Acide	0,0165	0,00195	0,000635
Eutrophisation	0,000222	0,00023	0,0000428
Déchets	0,0000841	0,000483	0,000133
COV	0,0000329	0,000012	0,0000186
Toxicité homme	0,422	0,126	0,0145
nb de max	3	3	2
nd 2nd max	4	2	2

TABLEAU 1. EXEMPLE DE CLASSEMENT DES STRUCTURES FONCTIONNELLES

Nous avons pu observer des stratégies identiques dans les réponses aux questions (C1 et C2). Les personnes interrogées ont eu d'autant plus de mal à répondre à ces questions que nous leur imposons un paramètre supplémentaire: la flexibilité matière. Une représentation (Tableau 2) a été utilisée afin de mettre en parallèle la masse de matière associée à une flexibilité (0, 1, ou 2) pour chaque structure fonctionnelle, en fonction de la masse totale de la structure. Cette représentation a été construite en récupérant les données (poids et flexibilité) dans les modèles produits. Comme dans le cas précédant, nous avons pu observer l'accessibilité des données brutes dans les représentations actuelles des résultats d'ACV.

	S1	S2	S3
Masse F2	35	8	0
Masse F1	9,5	13	8
Masse F0	0,5	0,05	9
Masse totale	45	21,05	17
%f2	78%	38%	0%
%f1	21%	62%	47%
%f0	1%	0%	53%

TABLEAU 2. EXEMPLE DE PRISE EN CONSIDERATION DE LA FLEXIBILITE

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Deux points clé sont à retenir de cette enquête : la représentation des résultats d'ACV avec un histogramme normalisé conduit dans la plupart des cas à comparer des indicateurs n'ayant aucune unité en commun, et les représentations actuelles des données d'ACV sont utilisées par les ingénieurs pour récupérer les données brutes de chaque contributeur. Ces données seront par la suite réutilisées pour construire une représentation des résultats d'ACV qui leur sont propres. Cela nous amène à penser que les différentes

représentations des résultats d'ACV influent peu sur leurs interprétations, mais plutôt sur la facilité de visualisation des données brutes de l'ACV.

L'une des premières perspectives que nous entrevoyons après ce travail de recherche est d'étudier l'aspect collaboratif dans la construction d'une représentation synthétique commune, ainsi que son utilisation par l'ensemble des acteurs de la conception. En effet, l'enquête a été seulement réalisée sur un public d'ingénieurs mécaniciens et producticiens. Il serait intéressant d'élargir nos observations de l'utilisation des représentations de résultats d'ACV en impliquant les métiers du marketing ou des achats. Il serait également intéressant d'affiner notre analyse des interactions autour des représentations. Méthodologiquement, nous avons identifié quelques marges de manœuvre dans la mise en œuvre d'un protocole plus rigoureux, notamment lors de la mise à disposition des documents dans le scénario proposé. Nous envisageons également une vérification, par des moyens d'observation directs et indirects, de l'exploitation faite de ces représentations. La compréhension plus fine de ces mécanismes pourra, à terme, aboutir à la construction d'une représentation mêlant impacts environnementaux, flexibilité matière et visualisation commune à l'équipe de conception.

VII. References

- [1] ISO 14040, "Management environnemental Analyse du cycle de vie Principes et cadre." 2006.
- [2] ISO 14044, "Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines." 2006.
- [3] ISO/TR 14062, "Environmental management - Integrating environmental aspects into product design and development." 2002.
- [4] R. B. Handfield, S. A. Melnyk, R. J. Calantone, S. Curkovic, "Integrating environmental concerns into the design process: the gap between theory and practice," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 48, 2001, no. 2, pp. 189–208.
- [5] H. E. Otto, K. G. Mueller, F. Kimura, "Efficient Information Visualization in LCA," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 8, 203, no. 4, pp. 183–189.
- [6] D. Millet, L. Bistagnino, C. Lanzavecchia, R. Camous, et T. Poldma, "Does the potential of the use of LCA match the design team needs?," *J. Clean. Prod.*, vol. 15, 2007, no. 4, pp. 335–346.
- [7] P. H. Nielsen, H. Wenzel, "Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment," *J. Clean. Prod.*, vol. 10, 2002, no. 3, pp. 247–257.
- [8] P. Uchil, A. Chakrabarti, "Communicating life cycle assessment results to design decision makers: need for an information visualization approach.," Actes de :International_Conference_on_Engineering_Design, Seoul, 2013.
- [9] J.-H. Park, K.-K. Seo, "A knowledge-based approximate life cycle assessment system for evaluating environmental impacts of product design alternatives in a collaborative design environment," *Adv. Eng. Inform.*, vol. 20, 2006, no. 2, pp. 147–154.

- [10] M. Germani, M. Dufrene, M. Mandolini, M. Marconi, et P. Zwolinski, “Integrated Software Platform for Green Engineering Design and Product Sustainability,” in *Re-engineering Manufacturing for Sustainability*, A. Y. C. Nee, B. Song, and S.-K. Ong, Eds. Springer Singapore, 2013, pp. 87–92.
- [11] G. Rasoulifar, “Conception Intégrée de Produits de Marque,” Thèse de doctorat : Génie Industriel. Grenoble : Université de Grenoble, Laboratoire G-SCOP) 2014.