



**HAL**  
open science

## Evaluation environnementale des coproduits : cas d'études ACV

Walid Ijassi, Helmi Ben Rejeb, Peggy Zwolinski

► **To cite this version:**

Walid Ijassi, Helmi Ben Rejeb, Peggy Zwolinski. Evaluation environnementale des coproduits : cas d'études ACV. CONFERE 2020 27ème colloque des Sciences de la conception et de l'innovation, Jul 2020, Virtuel, France. hal-02916907

**HAL Id: hal-02916907**

**<https://hal.science/hal-02916907v1>**

Submitted on 4 Dec 2024

**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.

# ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES CO-PRODUITS : CAS D'ETUDES ACV

Walid IJASSI<sup>1</sup>, Helmi BEN REJEB<sup>1</sup>, Peggy ZWOLINSKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> G-SCOP, walid.ijassi@grenoble-inp.org

<sup>2</sup> G-SCOP, helmi.benrejeb@grenoble-inp.fr

<sup>3</sup> G-SCOP, peggy.zwolinski@grenoble-inp.fr

*Résumé : Dans le contexte du développement durable, l'analyse du cycle de vie (ACV) est l'outil indispensable pour évaluer les impacts des systèmes de production. Lorsque ceux-ci incluent des processus multifonctionnels, la problématique d'allocation des impacts se présente. Plusieurs approches ont été introduites, chacune aboutissant à des résultats différents. Une question majeure à laquelle les experts sont confrontés est le choix de la méthode d'allocation. La revue de littérature réalisée a permis d'identifier les principales méthodes. Une analyse croisée a révélé un fort lien entre le choix de la méthode d'allocation et les objectifs des décideurs. Par conséquent, cet article propose un outil pour orienter ce choix. Le premier niveau identifie le contexte, puis plusieurs questions mènent à la méthode d'allocation convenable. L'outil a été testé sur deux études ACV impliquant des co-produits: les pommes détériorées et la paille. L'outil a été validé et discuté avec les directives de l'ISO 14044: 2006.*

*Mots clés : co-produit, analyse de cycle de vie, allocation, impact environnemental, études de cas*

## 1 INTRODUCTION

Au cours des dernières années, l'évaluation de l'impact environnemental des produits a été un problème très fréquent pour les chercheurs, les praticiens et les décideurs [1]. L'outil de référence pour mener cette évaluation est l'analyse du cycle de vie (ACV). Selon ISO 14044:2006, l'ACV est une compilation et une évaluation des entrées, des sorties et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits tout au long de son cycle de vie [2]. Le cycle de vie étudié peut s'étendre de la production des ressources aux phases de consommation et d'élimination dans le cas d'une étude « du berceau à la tombe ». Une autre forme courante appelée du « berceau à la porte » dans laquelle les limites du système sont limitées au produit final [3]. L'ACV peut être utilisée à de nombreuses fins telles que la gestion des performances environnementales, la conception de produits et la commercialisation [4]. Dans de nombreux systèmes de production, certaines étapes du cycle de vie comprennent des processus multifonctionnels dans lesquels plusieurs produits ou services sont obtenus simultanément. Cela se produit généralement dans le secteur agroalimentaire, en particulier lorsque les ressources naturelles qui étaient considérées comme des déchets sont valorisées en co-produits à valeur ajoutée au stade de la récolte des produits végétaux, y compris les fruits, les légumes et les plantes [5]. Tous les extraits qui ont une valeur ajoutée telle qu'une valeur économique considérable sont appelés co-produits [6]. Ils peuvent être obtenus à partir de productions combinées, ce qui signifie que les volumes de co-produits sont indépendants ou conjoints, arbitrant les volumes de co-produits dépendants [7,8]. Dans ce type de processus multi-co-produits, les praticiens de l'ACV doivent faire face à une préoccupation majeure sur la manière dont les impacts environnementaux des intrants et des extraits doivent être répartis entre les co-produits. Il s'agit de l'allocation, qui a été définie par l'ISO (2006) comme le partage des impacts et de la consommation de ressources entre les co-produits [2]. L'allocation de co-produits est l'un des sujets les plus difficiles de l'ACV et nécessite des recherches supplémentaires pour déterminer comment le partitionnement doit être effectué [7]. L'objectif principal de cette étude est de fournir aux praticiens une approche opérationnelle pour aider à surmonter les défis d'allocation. Ceci sera mené à travers une étude exhaustive de l'état de l'art sur les différentes approches utilisées pour manipuler les co-produits dans les études ACV. Un nouvel outil sera présenté à la suite de la revue de la littérature, ainsi que de nouvelles méthodes d'allocation. Cet outil sera testé sur deux études ACV afin d'être validé avec la participation d'un expert ACV.

## **2 ÉTAT DE L'ART – METHODES D'ALLOCATION**

De nombreuses méthodes ont été introduites dans la littérature pour s'attaquer au problème d'allocation environnementale dans l'ACV. Cette section donne un aperçu des méthodes d'allocation les plus utilisées et les plus citées dans la bibliographie. L'une des méthodes d'allocation les plus utilisées dans la littérature est l'allocation économique qui considère que la distribution des impacts environnementaux devrait être entièrement basée sur la valeur brute des ventes, car c'est la principale cause pour laquelle le processus multi-produits a été conçu [9]. En d'autres termes, le pourcentage attribué à chaque co-produit sera défini par sa part dans les ventes totales [10]. Une autre méthode d'allocation très récurrente dans la littérature est l'allocation biophysique. Cette forme d'allocation est basée sur des relations physiques entre les co-produits et les extrants [11], poussant les impacts environnementaux à se répartir selon des propriétés physico-chimiques telles que la masse, le contenu énergétique ou l'information stœchiométrique [12]. Selon la norme ISO 14044 (2006), à chaque fois qu'il est impossible d'éviter l'allocation, le praticien de l'ACV doit privilégier l'allocation biophysique à travers une propriété physico-chimique qui reflète une relation de changement quantitatif entre les entrées et les sorties du système étudié [2, 13]. L'application de l'allocation basée sur l'énergie conduit à répartir les sorties en fonction de la quantité d'énergie stockée dans les co-produits. Cette forme d'allocation serait plus précise en raison de son association directe avec les écoulements biophysiques [14]. Bien que de nombreux auteurs aient critiqué l'allocation basée sur l'énergie en raison du manque de causalité, Ayer (2007) a révélé sa pertinence dans le contexte des systèmes de production alimentaire [15]. L'allocation massique définit les masses proportionnelles des co-produits comme critère de répartition des impacts environnementaux [16]. Lors d'une étude sur l'empreinte carbone et la consommation d'énergie menée par Winter (2009) sur les produits de la mer norvégiens, il a été démontré que l'allocation de masse est stable au fil du temps, contrairement à l'allocation économique qui varie avec les éventuelles fluctuations de prix [16, 17]. Étant donné que de nombreuses industries dotées de processus multi-produits sont obligées de respecter certaines exigences de politique, Gnansounou (2018) a introduit une approche d'allocation plutôt non conventionnelle appelée allocation « claiming-based » qui prend en compte la conformité de chaque co-produit aux exigences de la politique [18, 19]. Une autre façon d'évaluer l'impact environnemental d'un co-produit consiste à étendre le système. Le principe de cette méthode est d'allouer la totalité des impacts au produit étudié, qui est la plupart du temps le produit principal pour lequel le produit a été initialement conçu [20]. Ensuite, le système est élargi pour prendre en compte tous les impacts évités qui devaient se produire si les autres co-produits n'étaient pas produits en trouvant un système de production de substitution des co-produits et en soustrayant leurs impacts du produit étudié [20]. Svanes (2011) a introduit une combinaison de méthodes d'allocation telles qu'une allocation de masse et une allocation économique dans le contexte des produits alimentaires, dans laquelle la masse de chaque co-produit peut être prise telle quelle, si le co-produit est destiné à être consommé par l'homme, réduit de moitié dans le cas des animaux, et réduit d'un quart s'il est prévu de l'incinérer [14]. Le recyclage et la réutilisation dans un système de production sont des formes courantes d'approches de récupération en fin de vie qui réinjectent une fonction spécifique dans le système d'origine dans un état de qualité différent, et donc le produit nouvellement généré doit être considéré comme un co-produit distinct du produit original lors d'une évaluation environnementale [21, 22].

## **3 PROBLEMATIQUE DU CHOIX DE LA METHODE D'ALLOCATION**

Lorsque les co-produits font partie des limites du système, les charges doivent être réparties entre ces sorties. En raison de l'existence de dizaines de méthodes d'allocation très courantes telles que présentées précédemment, le plus grand défi de l'étude ACV est le choix de la méthodologie de partitionnement. Lorsque les résultats sont légèrement ou pas sensibles à la méthode d'allocation choisie, ce dilemme devient hors de propos. Mais dans de nombreux cas, une énorme sensibilité a pu être observée sur les résultats finaux. En modifiant la méthode d'allocation, Wardenaar (2012) a observé la variation du facteur d'allocation de l'huile de colza co-produite de 70% en utilisant l'allocation économique à 55% en utilisant l'allocation biophysique [23]. Cette ambiguïté peut conduire les décideurs à prendre des mesures susceptibles d'entraver la réalisation des résultats prévus pour lesquels l'étude ACV a été lancée. Le choix de l'approche d'allocation est l'un des problèmes les plus discutés dans l'ACV [1]. Malgré l'existence des directives ISO et d'autres manuels inspirés de l'ISO [2, 21], ceux-ci n'ont pas été mis à jour depuis 2006. De plus, les directives ne prennent pas pleinement en compte le cadre de l'ACV étude telle que conçue par les décideurs et les praticiens. Cela peut conduire à des choix d'allocation arbitraires, ce qui prive cette étape de l'étude de tout sens rationnel [19, 24]. Le besoin actuel et récurrent de la bonne méthode d'allocation à choisir dans l'ACV a déclenché ce projet de recherche à travers lequel nous prévoyons de répondre à la question de

recherche suivante : quelle méthode d'allocation un praticien devrait-il choisir lors d'une étude ACV impliquant des co-produits ?

#### 4 DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL D'AIDE AU CHOIX

Étant donné que de nombreuses façons de gérer les co-produits sont possibles lors de l'évaluation des charges environnementales d'un système donné, l'analyse croisée synthétisée dans la figure 1 a révélé une forte corrélation entre l'objectif d'une étude ACV et la méthodologie d'allocation. Il est juste de juger de la pertinence d'une méthode d'allocation lorsque l'approche d'évaluation est bien définie et que les praticiens de l'ACV connaissent exactement les objectifs de leur étude.

Allocation method	Priority level	LCA context	Reference
Economic	Highest	When looking for improvement opportunities to reduce mudas related to waste.	[14]
		When the LCA practitioner believes that the main reason the process has been designed is to make profit.	[15]
	Lowest	When following the ISO guidelines.	[2]
		When doing an LCA that is focusing on finding a scientific reasoning of the impacts.	[7]
Mass	Highest	When collecting information for marketing purposes.	[14]
		When dealing with systems in forestry, sawmill, and wood industry.	[6]
Energy-based	Highest	When dealing with systems related to food production, incineration, and animal raising.	[14], [15]
Claiming-based	Highest	When doing an LCA study to comply with mandatory policies and environmental requirements.	[18], [19]
System expansion	Highest	When doing an LCA with a consequential approach	[25], [26]
		When following the ISO standards.	[2]
EOL	Highest	When dealing with co-products at the end-of-life such as recycled materials.	[9], [21], [22]

Figure 1. Analyse croisée des méthodes d'allocation, leur niveau de priorité, et les contextes ACV.

La figure 1 représente l'un des principaux résultats de l'analyse croisée de la littérature concernant les méthodes d'allocation. Il représente le niveau de priorité de chaque méthode d'allocation dans des contextes de l'ACV spécifiques selon la littérature. Sur la base de cette analyse de l'état de l'art, nous avons introduit un nouvel outil d'aide à la décision de choix qui aide les praticiens à choisir leur choix de méthodologie d'allocation comme présenté dans la figure 2.

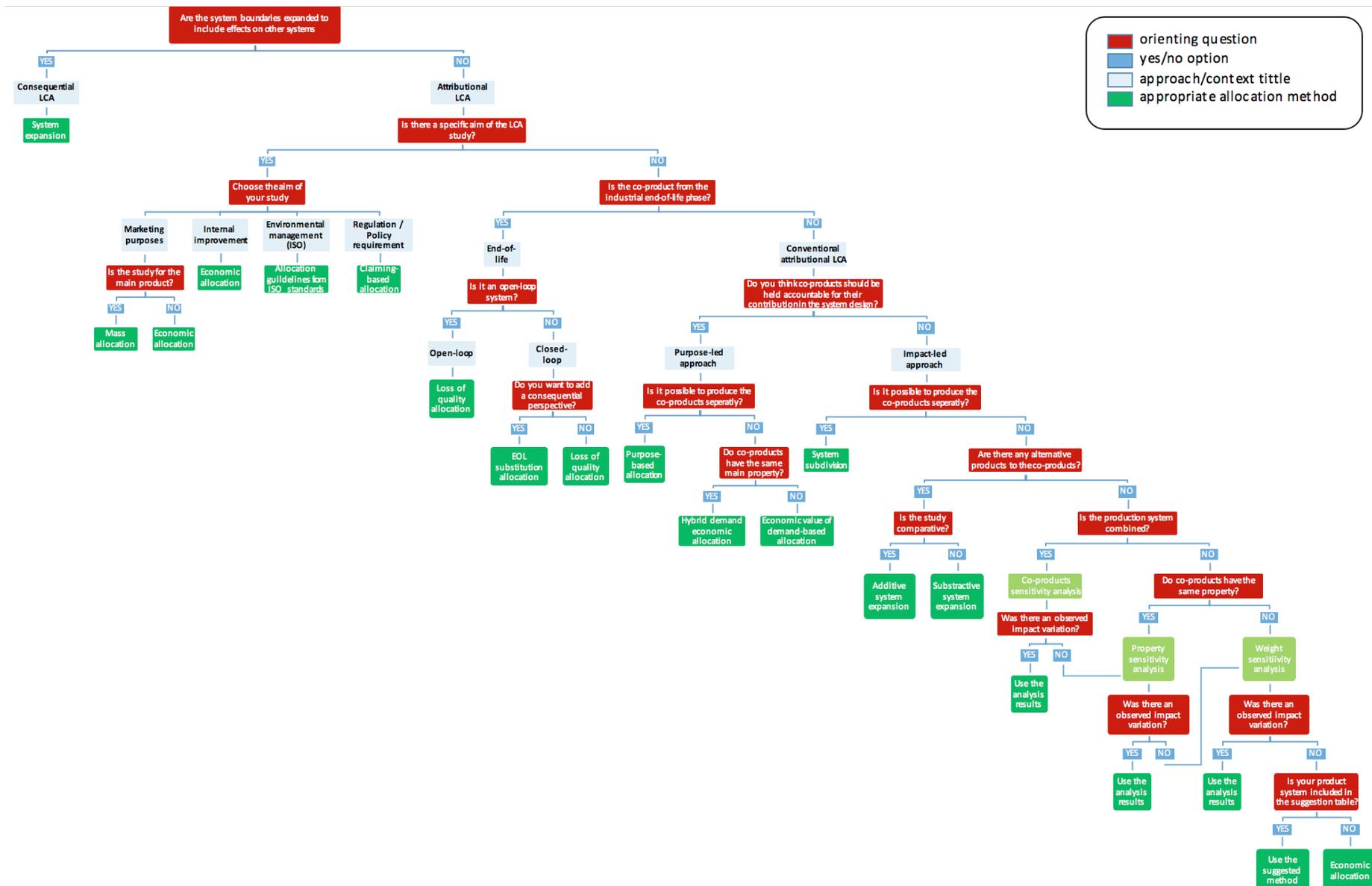


Figure 2. Arbre d'aide à la décision pour le choix d'allocation étendu.

Dans les sections suivantes, les différents niveaux et branches de l'arbre d'aide à la décision seront représentés.

#### **4.1. Attributional vs Consequential**

Au premier niveau, le choix est guidé par le type d'approche adopté dans l'étude. Lorsque le praticien a défini les limites de son étude pour inclure les effets du système de production sur d'autres systèmes, l'approche conséquentielle règne. Dans ce cas, le seul moyen pertinent de répartir les impacts environnementaux consiste à étendre le système, car il s'agit de la seule méthode pour laquelle l'étendue est étendue.

Lorsque le praticien se concentre principalement sur l'évaluation des impacts directs, l'ACV attributive est la plus pertinente. Dans ce cas, 6 voies sont possibles selon les objectifs et les contextes prédéfinis qui ont poussé les décideurs à lancer une étude d'impact. és.

#### **4.2. Contexte de Marketing**

Lorsque l'objectif de l'étude est de collecter des données environnementales pour les utiliser dans la stratégie marketing de ciblage des clients qui achètent des produits moins impactants sur l'environnement, l'allocation sera réalisée comme présenté au point 3.4 en utilisant l'allocation de masse lors de l'évaluation du produit principal [14], et l'allocation économique lors de l'évaluation du sous-produit, car son facteur d'allocation sera plus faible en raison de sa faible valeur marchande.

#### **4.3. Amélioration Continue**

Dans le cas où l'objectif de l'étude est d'identifier les opportunités d'amélioration interne dans une perspective lean, il est recommandé d'utiliser l'allocation économique. Cette méthode permet aux décideurs de valoriser au maximum leurs ferrailles et déchets afin d'équilibrer le facteur d'allocation entre les principaux produits et les nouveaux sous-produits [14]. Ce faisant, les facteurs d'allocation des principaux produits et la réduction des pertes de produits seront optimisés.

#### **4.4. Management Environnemental**

Pour les situations où l'ACV est exclusivement menée pour gérer la conformité environnementale avec les normes ISO, les praticiens doivent suivre la procédure définie en 3 étapes dans la section 4.3.4.2 des normes ISO 14044:2006. Il donne la plus haute priorité à la subdivision du système, suivie de l'expansion du système, puis de l'allocation biophysique. Lorsque tout ne peut pas être appliqué, les impacts environnementaux seront répartis en utilisant l'allocation économique [2].

#### **4.5. Conformité à une Politique/Exigence**

Un autre scénario de conformité possible est lorsque les décideurs demandent une étude ACV afin de trouver le meilleur scénario de production pour se conformer à une politique ou à une exigence environnementale obligatoire. Dans ce contexte spécifique, la manière la plus pertinente de traiter les co-produits consiste à utiliser l'allocation basée sur les revendications nommée « claiming-based ». Cette méthode a été spécialement conçue à cet effet.

#### **4.6. Étape de Fin de Vie**

Lorsque l'allocation doit être effectuée au stade de la fin de vie, deux modèles de fin de vie doivent être envisagés. Lorsqu'il s'agit d'un système en boucle ouverte (où les matériaux ou produits récupérés sont utilisés dans un système de production différent), les praticiens devraient choisir la perte de l'allocation de qualité. Cette méthode combine les deux approches de l'ISO (2006) et d'Ekvall (1997), qui ont été pionnières pour ce sujet spécifique en matière d'allocation dans la littérature [9]. Dans le scénario de boucle de fermeture, la perte d'allocation de qualité reste la plus précise pour les mêmes raisons. Dans cette nouvelle branche, les praticiens ont le choix d'ajouter une approche conséquentielle en incluant les impacts évités de l'extraction de matériaux vierges au lieu de le recycler.

#### **4.7. Conformité à une Politique/Exigence**

Lorsque l'objectif de l'étude ACV ne correspond à aucune des cinq voies précédentes, cette recherche propose de traiter une ACV attributive conventionnelle. Dans ce cas, nous avons introduit

deux voies en fonction de ce que les praticiens considèrent comme la base de leur évaluation : l'approche dirigée par l'objectif et l'approche dirigée par l'impact.

Dans la même approche normative présentée par les directives ISO, la première étape consiste à tester s'il existe une possibilité de subdiviser le système multifonctionnel en un processus mono-produit.

#### 4.7.1. Approche Orientée Causes

Avec ce type d'approche, les praticiens utilisent un état d'esprit ascendant avec lequel ils croient que chaque produit devrait être tenu responsable de la contribution qu'il a apportée à la conception du système de production multifonctionnel. Cela sert de système de sanction pour sanctionner les produits qui ont déclenché la création de l'impact global. Cette approche converge avec l'allocation économique où la plus grande attention est accordée au produit et à la manière dont il contribue à la viabilité économique du système, plutôt qu'à l'impact des produits sur l'environnement.

Lorsque la subdivision n'est pas possible, la bonne chose à faire est d'analyser les raisons de produire chaque co-produit. Étant donné que la demande et l'offre sont les principaux déclencheurs de chaque système de production, nous avons décidé de prendre en compte non seulement les raisons économiques qui poussent les décideurs à concevoir le système, mais aussi la demande du marché qui soutient la chaîne d'approvisionnement et pousse les producteurs à améliorer leurs produits grâce à la compétitivité. Pour équilibrer les incitations économiques et fonctionnelles, une nouvelle méthode d'allocation hybride a été introduite dans la section suivante. Étant donné que l'applicabilité de cette méthode nécessite que les deux co-produits aient la même propriété principale, nous avons introduit une autre méthode d'allocation pour relever ce défi.

#### 4.7.1. Approche Orientée Effets

L'approche axée sur l'impact doit être choisie lorsque les praticiens de l'ACV ont pour objectif d'estimer les impacts réels des co-produits. Cette approche prend ses racines dans les directives ISO et donne l'arbre de décision illustré à la figure 2. Si le système peut être subdivisé, la méthode d'évaluation la plus précise consiste à évaluer séparément le système de chaque co-produit et à normaliser les résultats. Lorsque cela ne peut pas être réalisé, une extension du système doit être testée dans le cas où les co-produits remplacent d'autres produits. Dans une étude comparative ACV, plutôt que d'appliquer l'expansion classique du système soustractif, une approche additive peut être menée en ajoutant les fonctions des autres co-produits dans l'unité fonctionnelle pour faire plus de lumière sur l'aspect conséquent de la méthode. Lorsqu'aucun autre produit ne peut être substitué par des co-produits, une allocation biophysique doit être effectuée en utilisant l'une des méthodes présentées ci-dessus en fonction des situations des co-produits.

Si aucune variation significative des impacts n'a pu être observée, l'étape suivante consisterait à rechercher dans la figure 3 si une méthode de répartition était suggérée pour l'industrie liée au système étudié.

Industry/Origins	Suggested allocation	Reference
Forestry	Mass allocation	[6]
Sawmill	Mass allocation	[6]
Wood industry	Mass allocation	[6]
Food production	Energy-based allocation	[15]
Animal raising	Energy-based allocation	[14]
Incineration	Energy-based allocation	[14]

Figure 3. Méthodes d'allocation suggérées à appliquer pour des industries de systèmes données.

La figure 3 propose toutes les méthodes d'allocation qui ont été suggérées par certains praticiens de l'ACV lorsqu'ils traitent d'industries de systèmes de production spécifiques. Cela reste plus préférable que l'allocation économique en raison de l'expertise des auteurs à la fois dans l'allocation et dans les industries données. Si aucune méthode d'allocation n'a été suggérée pour le système étudié, le dernier choix restant est de procéder à une allocation économique comme suggéré par l'ISO 14044.

## 5 TEST DE L'OUTIL ET RESULTATS

Pour tester la validité de l'arbre proposé et le rendre plus pratique pour les praticiens de l'ACV, l'outil d'aide à la décision a été appliqué sur deux études de cas. Un expert ACV a été impliqué dans l'étude pour jouer le rôle du praticien au niveau de l'allocation. Cette expérimentation nous a permis de tester l'arbre d'allocation proposé et d'avoir des retours sur sa robustesse.

### 5.1. Cas d'Étude 1 – Pommes Détériorées

Dans la première étude de cas d'une ACV de vinaigre de cidre de pomme produit à partir de pommes détériorées, la répartition doit être effectuée au niveau de la production de pommes entre les pommes normales et les pommes détériorées. Tout en jouant le rôle du praticien, notre expert ACV a utilisé l'arbre de choix d'allocation. Deux paramètres principaux ont guidé le choix: l'approche ACV et l'objectif de l'étude. L'expansion du système était le choix donné. Comme l'étude n'était pas comparative, l'expansion du système soustractif classique a été préférée comme par le décideur, car la subdivision n'était pas possible. En raison de la demande du marché local des fruits, les pommes normales peuvent être remplacées par des poires produites comme seuls produits à valeur ajoutée dans leur système de production.

Nous avons analysé l'impact défini de l'unité fonctionnelle à l'aide de la méthode d'évaluation Impact 2002 version 2.14. Quatre catégories principales d'impact ont été considérées : le changement climatique, la qualité de l'écosystème, les ressources et la santé humaine. Comme le montre la figure 4, les deux principaux processus qui ont des impacts considérables sur les quatre catégories sont la production et l'emballage des pommes.

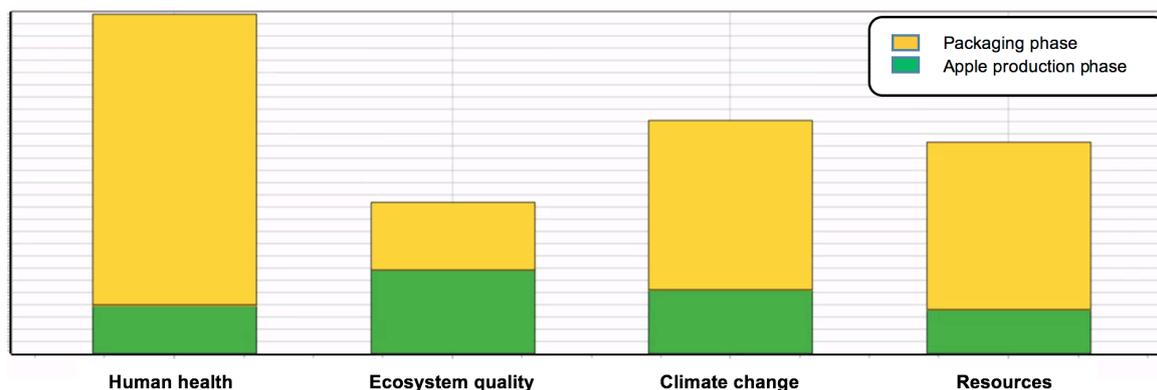


Figure 4. Analyse de l'évaluation d'impact du système de production de vinaigre de cidre de pomme à l'aide de l'expansion du système.

En raison du faible impact environnemental, les décideurs ont pensé à l'utiliser pour cibler des clients sensibles aux enjeux du changement climatique. Comme l'objectif de l'étude a changé, nous avons décidé d'utiliser à nouveau l'arbre d'aide à la décision pour le choix de l'allocation afin de tester son adaptabilité et d'analyser comment les nouveaux résultats pourraient aider à atteindre cet objectif. En utilisant l'outil avec la même approche, l'allocation économique était le choix donné. Puisque la valeur marchande locale des pommes normales est de 0,8 \$ / kg et celle des pommes détériorées de 0,4 \$ / kg, nous avons trouvé un facteur d'allocation de 36,8% pour les pommes détériorées. L'impact nouvellement obtenu dans la catégorie des changements climatiques est de 1,55 kg CO<sub>2</sub>eq. Une diminution considérable des impacts du changement climatique de 22,3% peut être observée sur la figure 5.

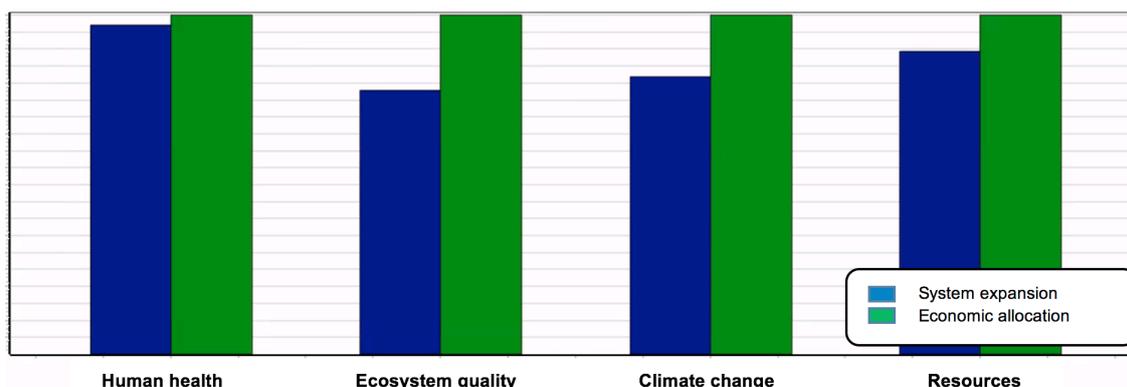


Figure 5. Comparaison des résultats d'impact pour l'étude de cas sur la pomme en utilisant à la fois l'allocation économique et l'expansion du système.

## 5.2. Cas d'Étude 1 – Paille de Blé

Dans la deuxième étude de cas d'une ACV où les briques de boue sont produites à partir de paille de blé, un facteur d'allocation doit être défini pour la paille de blé à la fin du système de production de blé. Puisque l'objectif principal était de trouver des opportunités d'amélioration pour les matériaux de construction respectueux de l'environnement, la méthode suggérée est l'allocation économique. Nous avons trouvé un facteur d'allocation de près de 5%.

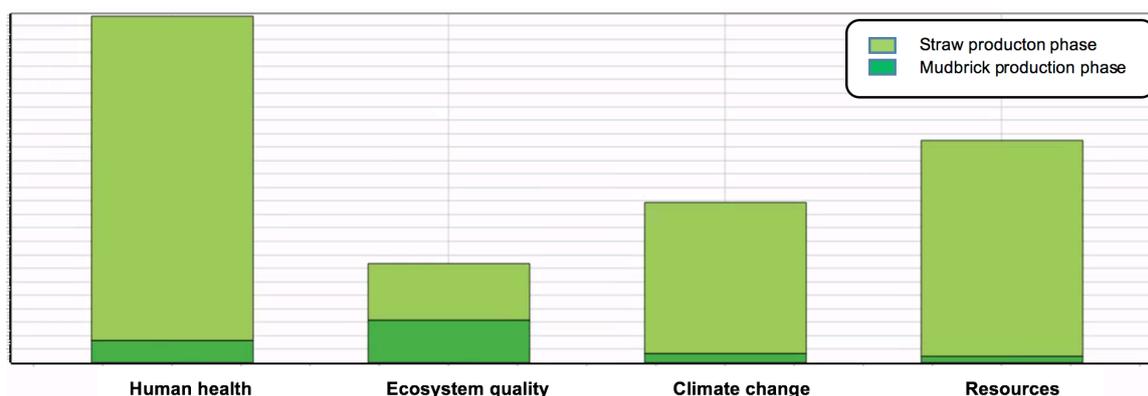


Figure 6. Analyse de l'évaluation de l'impact du système de briques de boue de paille de blé en utilisant l'allocation économique.

Notre expert ACV a simulé un contexte dans lequel une ACV attributive conventionnelle a été menée avec un état d'esprit axé sur le but, car les deux co-produits n'ont pas la même propriété fonctionnelle principale. Le manque de données dans les études de marché sur la paille nous a poussés à supposer un scénario de demande du marché. En un an, les clients demanderaient 5 tonnes de grains de paille pour la production de farine et 2 tonnes de paille de blé pour les matières premières vivantes. En utilisant la valeur de marché de chacun comme présenté précédemment, le nouveau facteur d'allocation équivaut à près de 5,2%. Cette stabilité est due à la faible valeur marchande de la paille par rapport au grain. Même avec un facteur d'allocation plus élevé, les résultats restent stables en raison de la faible quantité de paille utilisée dans le système de production. Par conséquent, les résultats finaux ne sont pas sensibles au choix des méthodes d'allocation.

## 6 DISCUSSION

Comme présenté dans la section 2, de nombreuses façons de gérer les co-produits lors de la réalisation d'une étude ACV sont possibles. Bien que les directives ISO soient bien décrites et largement utilisées, elles ne relient pas les objectifs de l'étude à la méthode d'allocation choisie [2]. Cette lacune a été soulevée dans de nombreuses études de cas et les auteurs ont recommandé d'inclure l'objectif du décideur dans la méthode d'allocation. Cela représente la principale force de notre arbre d'allocation tel. Bien que de nombreux chemins soient possibles, une seule méthode d'allocation peut être donnée en sortie du nouvel outil d'aide à la décision. Pour le comparer avec les

directives ISO, les deux procédures critiquent durement l'allocation économique et la façon dont ses données peuvent changer radicalement au fil du temps, ce qui pousse les praticiens à investir plus de temps dans le traitement des données. Néanmoins, cette méthode reçoit des éloges partiels lorsque les praticiens adoptent un état d'esprit dirigé par un objectif. Pour donner plus de valeur à l'aspect contextuel de la méthode « claiming-based », celui-ci a été séparé de tout autre contexte car aucune mise à jour n'a été effectuée sur les normes ISO ni sur d'autres documents bien référencés en raison de sa récente introduction par Gnansounou (2018) [18]. Avant de finaliser l'arbre d'allocation, des applications ont été menées sur deux études de cas pour valider l'outil et le rendre plus adapté à l'usage des praticiens de l'ACV. Dans la première étude de cas, la modification du contexte de l'étude ACV a entraîné une diminution de 22,3% des effets du changement climatique sur le vinaigre de cidre de pomme. Cette baisse soutient l'objectif des décideurs de commercialiser le vinaigre de cidre de pomme. Une attention particulière devrait être accordée au système de coproduction normal de pomme afin que ses performances durables ne soient pas entravées. Cela prouve à quel point notre outil peut être dynamique et soutient les affirmations de Sandin (2015) et Parsons (2020) sur le contrôle du contexte décisionnel de l'ACV et les objectifs sur le choix de la méthodologie de partitionnement [27,28]. Cependant, dans la deuxième étude de cas, le choix de l'allocation n'a eu aucun effet sur les résultats finaux en raison de la faible quantité utilisée de paille de blé qui ne pèse que 1,4% du total des ressources utilisées. Pour cette raison, l'allocation n'a pas nécessairement aidé à atteindre les objectifs définis par les décideurs. Comme le souligne l'état de l'art, le choix de l'allocation ne peut être un problème que lorsque les résultats peuvent être durement affectés par les méthodes d'allocation. Par conséquent, et sur la base des résultats des deux études de cas de cette recherche, il est recommandé d'utiliser l'outil d'aide à la décision pour le choix de l'allocation uniquement pour les études ACV où les co-produits ont une influence considérable. Une force observée de l'approche par l'impact définie dans notre arbre d'aide à la décision pour le choix de l'allocation est qu'elle prend en compte la catégorie d'impact étudiée. Cela renforce la relation causale entre les co-produits et leurs charges. Dans toutes les branches de l'outil proposé, les origines et les industries du co-produit étudié n'ont été prises en compte qu'à la fin de l'approche d'impact tel que présenté dans la figure 2. Comme cela a été explicitement rapporté dans la figure 3, nous pouvons en déduire que l'arbre d'aide à la décision pour le choix de l'allocation ne se limite pas aux seuls co-produits d'origine végétale. Il peut être utilisé pour des co-produits de toutes origines.

## **7 CONCLUSION**

Un arbre d'aide à la décision a été présenté pour aider les praticiens à choisir la méthode d'allocation à utiliser dans leurs études ACV. L'outil crée une forte corrélation entre les objectifs de l'étude tels que définis par les décideurs et le choix d'allocation. Cela permet aux praticiens à la fois de justifier leur choix et de discuter des résultats avec des scénarios alternatifs pour l'analyse de sensibilité. L'outil a été testé par un expert externe de l'ACV sur deux études de cas ACV impliquant des co-produits comme intrants du système. Lorsque les décideurs ont décidé de mener une évaluation pour recueillir des informations à des fins de marketing, l'impact final sur le changement climatique du vinaigre de cidre de pomme a diminué de 22,3% par rapport au scénario d'attribution classique. Cela souligne l'importance du choix de la méthode d'allocation dans la réalisation des objectifs de l'ACV. Pour la deuxième étude de cas, la méthode d'allocation n'a eu aucun effet sur les résultats en raison de la faible quantité de paille de blé utilisée. Lorsque la sensibilité ne peut pas être observée sur les résultats lors de la modification de la méthode d'allocation, la question du choix d'allocation devient hors de propos. Pour utiliser tout le potentiel de cet outil et lui permettre d'aider les praticiens à surmonter le défi d'allocation, il sera inclus dans l'outil d'accès ouvert développé par le projet de recherche PlayRoom qui fournit à la communauté LCA les meilleures pratiques graphiques pour faciliter la prise de décision. Cela nous permettra de compléter la mission de PlayRoom au niveau de la prise de décision concernant le choix de l'allocation. Ce sera également l'occasion pour l'outil d'être testé sur plus d'études de cas afin que plus d'ajustements puissent être faits.

Je tiens à remercier l'équipe de conception produit-processus (CPP) à G-SCOP pour avoir soutenu les idées développées dans ce projet, en particulier M. Florent Blondin pour avoir joué le rôle du praticien ACV dans les études de cas. Ce projet a été réalisé dans le cadre de mon stage de fin d'études de master recherche financé par Grenoble INP.

## 8 REFERENCES

- [1] Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M., Ledgard, S., How Does Co-product Handling Affect the Carbon Footprint of Milk? Case study of Milk Production in New Zealand and Sweden, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5, 16, p420-430, 2011
- [2] International Organization for Standardization, *Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework*, ISO, Geneva, 2006
- [3] Azapagic, A., Clift, R., Allocation of Environmental Burdens in Co-product Systems: Product-related Burdens (Part 1), *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 4, p357-369, 1999
- [4] Schau, E. M., Fet, A. M., LCA Studies of Food Products as Background for Environmental Product Declarations, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 3 13, p255-264, 2007
- [5] Serena, A., & Knudsen, K. B., Chemical and Physicochemical Characterisation of Co-products from the Vegetable Food and Agro Industries, *Animal Feed Science and Technology*, 1, 139, p109-124, 2007
- [6] Jungmeier, G., Werner, F., Jarnehammar, A., Hohenthal, C., Richter, K., Allocation in LCA of Wood-based Products Experiences of Cost Action E9, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 7, p369-375, 2002
- [7] Weidema, B., Avoiding Co-Product Allocation in Life-Cycle Assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 3, 4, p11-33, 2000
- [8] Huppes, G., Allocating Impacts of Multiple Economic Processes in LCA, SETAC-Europe Life-cycle assessment, SETAC-Europe, p 57-70, Brussels, 1992
- [9] Ekvall, T., Tillman, A. M., Open-loop Recycling, Criteria for Allocation Procedures, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 3, 2, p155, 1997
- [10] Guinée, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Economic allocation: Examples and Derived Decision Tree, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1, 9, p23, 2004
- [11] Mackenzie, S. G., Leinonen, I., Kyriazakis, I., The Need for Co-product Allocation in the Life Cycle Assessment of Agricultural Systems—is “Biophysical” Allocation Progress?, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2, 22, p128-137, 2017
- [12] Heijungs, R., Guinée, J. B., Allocation and ‘What-if’ Scenarios in Life Cycle Assessment of Waste Management Systems, *Waste Management*, 8, 27, p997-1005, 2007
- [13] Kodera, K., Analysis of Allocation Methods of Bioethanol LCA, MSc Internship report, Faculty of Earth and Life Science of Amsterdam, 2007
- [14] Svanes, E., Vold, M., Hanssen, O. J., Effect of Different Allocation Methods on LCA Results of Products from Wild-caught Fish and on the Use of Such Results. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 16, p512-521, 2011
- [15] Ayer, N. W., Tyedmers, P. H., Pelletier, N. L., Sonesson, U., Scholz, A., Co-product Allocation in Life Cycle Assessments of Seafood Production Systems: Review of Problems and Strategies, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7, 12, p480, 2007
- [16] Esteban, B., Baquero, G., Puig, R., Riba, J. R., Rius, A., Is it Environmentally Advantageous to Use Vegetable Oil Directly as Biofuel Instead of Converting it to Biodiesel?, *Biomass and Bioenergy*, 3, 35, p1317-1328, 2011
- [17] Winther, U., Ziegler, F., Hognes, E. S., Emanuelsson, A., Sund, V., Ellingsen, H., Carbon Footprint and Energy Use of Norwegian Seafood Products, Technical report, SINTEF Fisheries and Aquaculture, 2009
- [18] Gnansounou, E., Raman, J. K., Environmental Performances of Coproducts: Application of Claiming-Based Allocation Models to Straw and Vetiver Biorefineries in an Indian Context *Bioresource Technology*, 1, 262, p203-211, 2018
- [19] Gnansounou, E., Coproducts Performances in Biorefineries: Development of Claiming-based Allocation Models for Environmental Policy, *Bioresource*

- Technology, 1, 254, p31-39, 2018
- [20] Dalgaard, R., Schmidt, J., Halberg, N., Christensen, P., Thrane, M., Pengue, W. A., LCA of Soybean Meal, The International Journal of Life Cycle Assessment, 3, 13, p240, 2008
  - [21] Wolf, M. A., Chomkham Sri, K., Brandao, M., Pant, R., Ardente, F., Pennington, D. W., Goralczyk, M., ILCD Handbook-General guide on LCA-Detailed guidance, Joint Research Centre European Commission, Ispra, 2010
  - [22] Koltun, P., Tharumarajah, A., Ramakrishnan, S., An Approach to Treatment of Recycling in LCA Study, The fourth Australian LCA Conference, CSIRO Division of Manufacturing and Infrastructure Technology, Sydney, 2005
  - [23] Wardenaar, T., van Ruijven, T., Beltran, A. M., Vad, K., Guinée, J., Heijungs, R., Differences Between LCA for Analysis and LCA for Policy: a Case Study on the Consequences of Allocation Choices in Bio-Energy Policies, The International Journal of Life Cycle Assessment, 8, 17, p1059-1067, 2012
  - [24] Stamp, A., Althaus, H. J., Wäger, P. A., Limitations of Applying Life Cycle Assessment to Complex Co-product Systems: the Case of an Integrated Precious Metals Smelter-refinery, Resources, Conservation and Recycling, 1, 80, p85-96, 2013
  - [25] Thomassen, M. A., Dalgaard, R., Heijungs, R., De Boer, I., Attributional and Consequential LCA of Milk Production, The International Journal of Life Cycle Assessment, 4, 13, p339-349, 2008
  - [26] Weidema, B. P., Market information in life cycle assessment, Miljøstyrelsen, København, 2003
  - [27] Sandin, G., Røyne, F., Berlin, J., Peters, G. M., Svanström, M., Allocation in LCAs of Biorefinery Products: Implications for Results and Decision-making, Journal of Cleaner Production, 1, 93, p213-221, 2015
  - [28] Parsons, S., Allen, M. J., Chuck, C. J.: Coproducts of Algae and Yeast-derived Single Cell Oils, A Critical Review of Their Role in Improving Biorefinery Sustainability, Bioresource Technology, 1, 303, p122862, 2020

Contact principal : IJASSI Walid

Coordonnées : [walid.ijassi@grenoble-inp.org](mailto:walid.ijassi@grenoble-inp.org), [wijassi@hotmail.com](mailto:wijassi@hotmail.com)