

PRISE EN COMPTE DES PRODUITS RESIDUAIRES ORGANIQUES (PRO) EN ACV

Etude de modélisation des PRO
en Analyse de Cycle de Vie :
rapport pour la consultation publique

RAPPORT FINAL



EXPERTISES

Déc.
2023

REMERCIEMENTS

Contributeurs :

- Mélissa Cornéus – INRAE
- Laure Nitschelm – ARVALIS
- Sylvain Rullier – ADEME
- Hayo van der Werf – INRAE
- Les membres du GT PRO du GIS REVALIM :
 - Emilie Adoir – IFV
 - Joël Aubin – INRAE
 - Vincent Blazy – ITAVI
 - Sylvie Dauguet – TERRES INOVIA
 - Elise Dubois – ITAVI
 - Laura Farrant – CTCPA
 - Ariane Grisey – CTIFL
 - Malou Mireur – CTIFL
 - Audrey Rimbaud – ADEME
 - Anthony Rouault – ACTALIA
- Les participants au comité de suivi élargi :
 - Lynda Aissani – INRAE
 - Angel Avadi – CIRAD
 - Catherine Brocas – IDELE
 - Maguelonne Joubin – Ministère de la Transition écologique
 - Hélène Lagrange – ARVALIS
 - Florent Levavasseur – INRAE
 - Cécile Poulain – Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire

CITATION DE CE RAPPORT

A. Moreno, M. Chartier Kastler, M. Kiener, C. Dizien (Agrosolutions), GIS REVALIM, 2023. Rapport pour la consultation publique de l'étude sur la modélisation des Produits Résiduaire Organiques en Analyse de Cycle de Vie, application à la base de données Agribalyse 3.1.1. 91 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2023003698

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Agrosolutions

Coordination technique - ADEME : Sylvain RULLIER

Direction/Service : DBER / SAFA

SOMMAIRE

SOMMAIRE	4
RÉSUMÉ	6
1. INTRODUCTION	11
1.1. Contexte et objectif de l'étude	11
1.2. Méthodologie globale de l'étude	11
1.3. Problématique de prise en compte des impacts environnementaux des PRO en ACV	11
2. TOUR D'HORIZON DES APPROCHES	13
2.1. Description générale des approches	13
2.2. Recommandations issues des standards internationaux	14
2.3. Application dans la littérature scientifique	15
2.4. Utilisation dans les bases de données ACV	16
2.4.1. Prise en compte des PRO dans Agribalyse	17
2.4.2. Prise en compte des PRO dans les autres bases de données ACV	17
2.5. Approches retenues pour l'étude	18
3. ANALYSE CRITIQUE DES APPROCHES DE PRISE EN COMPTE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES PRO	20
3.1. Critères d'évaluation des approches	20
3.2. Présentation et analyse critique des approches	20
3.2.1. Coupure fardeau Amont	22
3.2.2. Coupure fardeau Aval	24
3.2.3. Coupure post-stockage	27
3.2.4. Coupure économique	30
3.2.5. Allocation économique	32
3.2.6. Allocation matière sèche	35
3.2.7. Circular footprint formula	37
3.2.8. Approches par substitution	42
4. TESTS DES APPROCHES SUR LES INVENTAIRES DE PRO	45
4.1. Méthodologie	45
4.2. Résultats	47
4.2.1. Coupure fardeau Amont	47
4.2.2. Coupure fardeau Aval	48
4.2.3. Coupure économique	49
4.2.4. Allocation économique	51
4.2.5. Circular Footprint Formula simplifiée	53
4.2.6. Substitution amont	54
4.2.7. Substitution aval	56
4.2.8. Comparaison globale de l'impact des PRO modélisés par approche d'allocation	57
5. INFLUENCE DU CHOIX DE L'APPROCHE SUR L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DES INVENTAIRES AGRICOLES	59
5.1. Méthodologie	59

5.2. Résultats	60
5.2.1. Blé tendre	60
5.2.2. Maïs	61
5.2.3. Tomate	61
5.2.4. Pomme	62
5.2.5. Raisin	63
5.2.6. Pêche	63
6. BILAN DE LA CONSULTATION PUBLIQUE.....	65
7. CONCLUSION INTERIM.....	65
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	66
ANNEXES	68
Annexe 1 : Présentation d’Agrosolutions.....	68
Annexe 2 : Arbre de décision d’approches à utiliser pour gérer la multifonctionnalité proposé le LEAP .	69
Annexe 3 : Littérature consultées	70
Annexe 4 : Tour d’horizon des approches (compléments).....	71
Annexe 5 : Scénarios hypothétiques pour les approches par substitution	75
Annexe 6 : Comparaison des PRO et des approches sur des unités fonctionnelles agronomiques	78
Annexe 7 : Facteur d’émissions sur le changement climatique par PRO en fonction des approches.....	84
Annexe 8 : Intrants de fertilisation organique utilisés par Agribalyse 3.1.1 pour les cultures de blé tendre, maïs, pomme bio, raisins du beaujolais, tomate bio et pêche bio	85
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	86
SIGLES ET ACRONYMES.....	88
GLOSSAIRE.....	88

RÉSUMÉ

Contexte

Le Groupe de Travail « Produits Résiduels Organiques » (GT PRO) du GIS REVALIM s'est fixé l'objectif de mettre à jour l'approche de prise en compte des Produits Résiduels Organiques pour la Base de Données Agribalyse, en cohérence avec le cadre conceptuel de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV). La présente étude, réalisée par Agrosolutions pour le compte du GIS REVALIM, a pour objectif d'aboutir à des règles de prise en compte des impacts environnementaux associés à la production, la transformation et la mise à disposition des PRO pour Agribalyse cohérentes avec le cadre méthodologique de l'ACV, les travaux internationaux en ACV et pertinentes d'un point de vue faisabilité technique.

Etant donné le caractère transversal de la prise en compte des impacts des PRO au sein de différents secteurs (productions agricoles végétales et animales, industriels, collectivités), les résultats de cette étude ont pour vocation d'être partagés dans le cadre d'une consultation publique, afin de recueillir les avis des différentes parties prenantes et de les intégrer dans les recommandations finales faites au GIS. L'objet du rapport est le suivant :

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de la consultation publique organisée par le GIS REVALIM. Cette consultation publique est ouverte du 04 décembre 2023 au 02 janvier 2024. Cette consultation porte sur le contenu de ce rapport qui présente la méthodologie et les résultats de l'étude sur la modélisation des PRO (Produits Résiduels Organiques) en ACV (Analyse de Cycle de Vie), réalisée par Agrosolutions pour le GIS REVALIM.

Matériel et méthode

L'étude s'est déroulée en plusieurs phases incluant :

- Une revue de la caractérisation des PRO dans la littérature, alimentée par une phase d'entretiens. Cette revue introductive au projet ne fait pas partie du présent rapport ;
- Une revue des approches pour prendre en compte les impacts environnementaux des PRO dans les ACV, notamment la gestion de la fin de vie en ACV. Cela se traduit par une revue des approches de gestion de la fin de vie en ACV et du partage de l'impact entre producteur des matières résiduelles et producteur du PRO utilisé à des fins fertilisantes ;
- Une revue de l'application de ces approches dans la littérature scientifique, dans les recommandations et travaux internationaux (PEF, LEAP, etc.) et dans les bases de données ACV (Agribalyse 3.1.1, Agrifootprint 6.3,ecoinvent 3.9, World Food Database 3.5) ;
- Une analyse critique de ces approches sur différents critères de notation détaillés ci-après dans la partie 4 du rapport ;
- Une série de tests de faisabilité réalisés avec le logiciel expert ACV Simapro (version 9.6) des approches les plus pertinentes sur 8 types de PRO issus de la base de données Agribalyse version 3.1.1 ;
- Une application de ces approches à 6 productions agricoles (blé, maïs, vigne, pêche, pomme, tomate).

Résultats

Dans un premier temps, les approches identifiées ont fait l'objet d'une notation selon différents critères et dont les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

- **Degré d'adoption de l'approche ;**
- **Précision et cohérence scientifique de l'approche ;**
- **Variabilité dans le temps de l'approche ;**
- **Faisabilité d'intégration dans Agribalyse.**

Tableau 1 Synthèse de la notation des approches

Type d'approche	La matière résiduaire est considérée comme :	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Facilité d'intégration dans Agribalyse
Coupure fardeau Amont	Attributionnelle	Un déchet	1 (Sans impact : Utilisé dans la plupart des BDD et proposé par les cadres internationaux concernant les effluents d'élevage)	1 (Aucune)	4 (Approche peu précise, non modulable si appliqué à tous les PRO)	1 (Aucune) 1 (Déjà intégré dans Agribalyse)
Coupure fardeau Aval	Attributionnelle	Un résidu	2 (Approche courante hors PRO, utilisé dans la littérature pour les effluents d'élevage)	1 (Aucune)	4 (Approche peu précise, non modulable si appliqué à tous les PRO)	1 (Tous les ICV de PRO sans impact)
Coupure post stockage	Attributionnelle	Un déchet	3 (Proche du Coupure fardeau Amont pour les chaînes courtes, proche du Coupure fardeau Aval pour les chaînes longues, mais aucune mention dans les standards internationaux et la littérature)	1 (Aucune)	3 (Non modulable si appliqué à tous les PRO, mais prend en compte le fait que le stockage est souvent géré par le producteur du déchet)	1 (Modification simple des ICV Agribalyse)
Coupure avec allocation économique	Attributionnelle	Un déchet ou un résidu	3 (Approche non mentionnée dans la norme ISO14044, peu retrouvée dans la littérature)	2 (Volume déchet et Tarif payé par les producteurs du déchet + Volume et prix du PRO en sortie de traitement)	1 (Logique économique proposant une allocation entre producteur déchet et producteur PRO, ne fonctionne que si valeur économique négative pour le déchet)	2 (Prix de traitement des déchets et de vente des PRO fluctuants) 2 (Besoin d'intégrer des allocations pour l'ICV du processus qui redonne de la valeur à la matière organique)
Allocation économique	Attributionnelle	Un co-produit	1 (Approche très utilisée pour gérer la multifonctionnalité de productions agricoles à fonction et valeurs économiques très différentes)	2 (Volume et Prix de la matière résiduaire ainsi que ceux de ses coproduits)	4 (Logique économique, si le prix de la matière résiduaire est nul, ne règle pas l'allocation entre le producteur du déchet et le producteur du PRO)	2 (Prix des PRO et de ses-coproduits fluctuants) 3 (Besoin d'intégrer des allocations économiques entre les produits animaux et les effluents)
Allocation MS	Attributionnelle	Un co-produit	2 (Utilisé par certains secteurs dans le cadre du PEF, moins utilisé que l'alloc économique)	2 (Volume et Taux de MS de la matière résiduaire ainsi que ceux de ses coproduits)	4 (Logique purement physique, aucune matière résiduaire n'est un déchet, impact conséquent alloué aux PRO)	1 (Taux de MS de la matière résiduaire assez stable) 4 (Nécessite de modifier toutes les allocations existantes, entre culture/ résidus de culture et effluents d'élevage/ produits animaux)
Circular Footprint formula	Attributionnelle/ Conséquentielle	Un résidu ou un déchet	2 (Proposé par le JRC dans le cadre du PEF)	4 (Choix du produit de substitution, Coût du produit de substitution, Coût du PRO, Qualité (Qsin, Qsout, Qp), Scénario de fin de vie si matière orga réutilisé hors filière engrais)	1 (Prend en compte, les logiques de tension sur le marché, le devenir en fin de vie de la MO, la baisse en qualité de la matière recyclée)	3 (Prix des PRO fluctuants, Prix des engrais minéraux très variables en fonction d'enjeux géopolitiques et de ressources) 4 (Intégration de beaucoup de paramètres au sein des ICV de PRO, structure des ICV à largement modifier)
Circular Footprint formula simplifiée	Attributionnelle	Un résidu ou un déchet	2 (Similaire à la CFF avec quelques hypothèses en plus)	2 (Choix du produit de substitution, Coût du produit de substitution, Coût du PRO)	2 (Même chose que pour la CFF mais avec des hypothèses simplificatrices)	3 (Prix des PRO fluctuants, Prix des engrais minéraux très variables en fonction d'enjeux géopolitiques et de ressources) 1 (Appliquer un simple facteur aux ICV de PRO)
Substitution	Conséquentielle	Un résidu ou un déchet	2 (Utilisé dans la littérature. Très peu utilisé dans les Bases de données)	3 Choix du produit ou du scénario de traitement de substitution, caractéristiques agronomiques, impacts indirects potentielles)	1 (Approche conséquentielle, prend en compte la logique de substitution sur le marché)	2 (Les scénarios de substitution pour la gestion des déchets et les engrais minéraux peuvent évoluer dans le temps) 3 (Pas difficile à intégrer aux ICV existants, mais besoin de modéliser des ICV de substitution complexe)

Dans un second temps, une série de tests de faisabilité a été réalisée avec le logiciel expert ACV Simapro pour évaluer l'impact du choix des approches sur le Changement Climatique. Les deux figures ci-dessous présentent une synthèse des résultats de modélisation des PRO considérés selon les différentes approches d'allocation des impacts, sur l'indicateur changement climatique, et ceci pour plusieurs unités fonctionnelles (par kilogramme de PRO, par kg de N efficace pour les fertilisants et ISMO (Indice de Stabilité de la Matière Organique) pour les amendements, et Equivalent à l'hectare : à partir des doses moyennes appliquées des différents produits, issus de la statistique agricole). Les résultats par kilogramme de PRO sont présentés dans les deux figures ci-dessous : pour les fertilisants d'un côté et pour les amendements de l'autre. Les résultats pour les autres unités fonctionnelles sont consultables dans l'Annexe 6 de ce rapport.

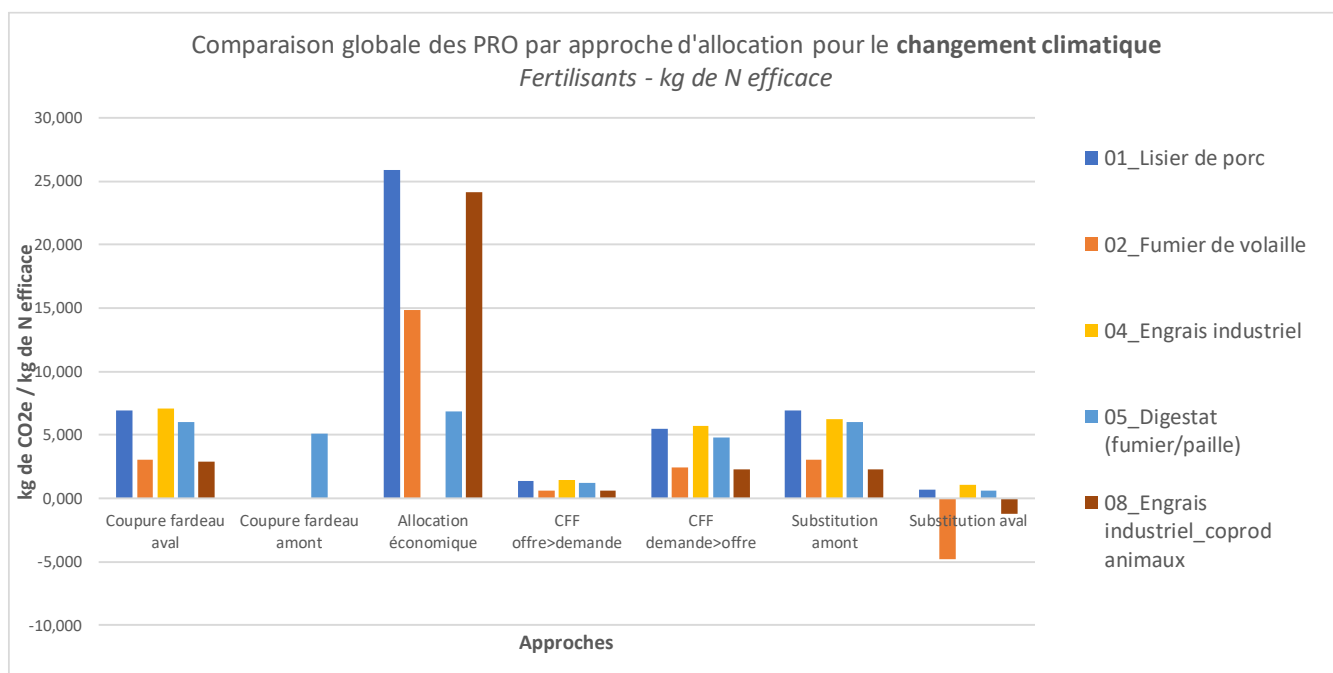


Figure 1: Comparaison globale des PRO par approche pour le changement climatique - Fertilisants - kg de N efficace

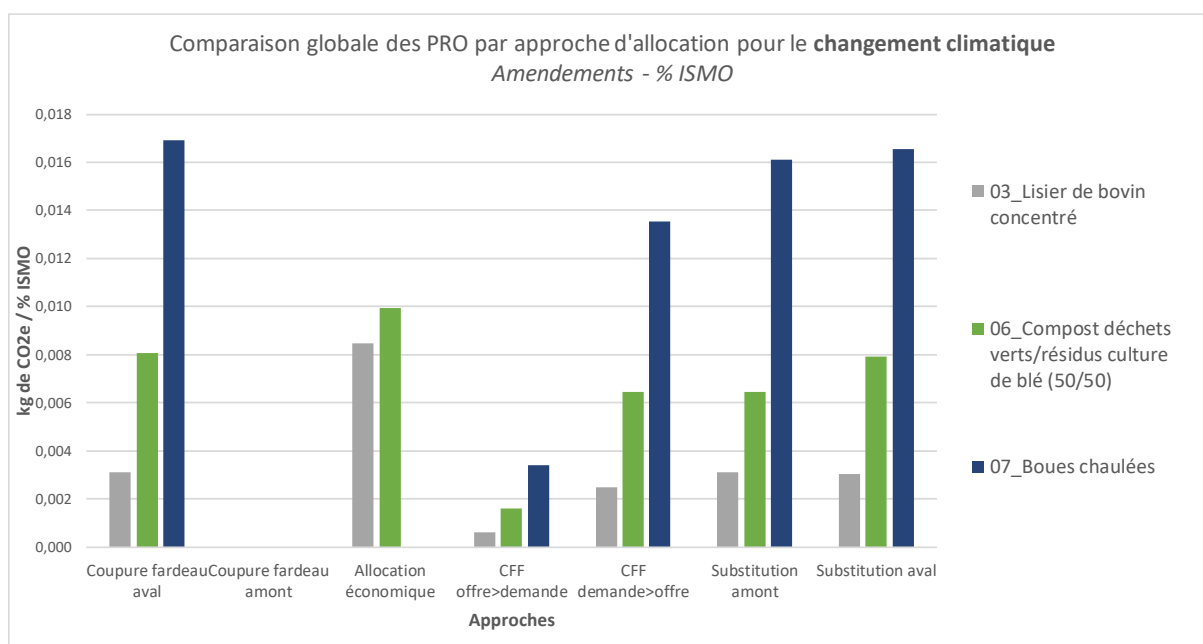


Figure 2: Comparaison globale des PRO par approche pour le changement climatique - Amendements - % ISMO

Conclusions

Suite à l'analyse de ces résultats, le GT PRO du GIS REVALIM propose les règles d'affectations suivantes, suivant la nature de la matière résiduaire et du PRO :

Tableau 2 Proposition du GT PRO du GIS REVALIM

PRO / MR	Déchets	Résidus	Produits
Déchets	X	X	X
Résidus	Coupure fardeau Amont	Coupure fardeau Aval	X
Produits	Coupure économique	Coupure fardeau Aval	Allocation économique

Les justifications du GT PRO du GIS REVALIM pour le choix de chaque approche sont énoncées ci-dessous :

- **Coupure fardeau Amont** : la vocation première du traitement est de traiter un déchet (valeur économique < 0) ou un résidu qui n'a pas de valeur économique (valeur économique = 0) sans gain de valeur économique.
- **Coupure fardeau Aval** : la vocation première du traitement est de fabriquer un produit, c'est-à-dire de donner une valeur positive à un résidu sans valeur initiale.
- **Coupure économique** : la vocation première du traitement est de traiter un déchet (valeur économique < 0) pour apporter une valeur économique
- **Allocation économique** : s'applique à un co-produit qui a une valeur économique.

Cette proposition est mise à la discussion dans le cadre de la consultation publique.

Perspectives

A la suite de la consultation publique, le GIS REVALIM actera la ou les approches retenues pour intégration dans la base de données Agribalyse.

PREAMBULE

Dans l'ensemble de ce rapport et des supports émanant de ces travaux sur la prise en compte des Produits Résiduaire Organiques en Analyse de Cycle de Vie pour Agribalyse, la définition des termes « produit », « résidu » et « déchet » émanent de la **norme internationale ISO 14044**¹, et non pas du code de l'environnement de la loi française.

D'après la norme c'est la valeur économique d'un flux qui détermine son statut de déchet, de résidu ou de produit. Ainsi :

« Une matière résiduaire à valeur économique négative (il est nécessaire de payer pour la traiter) devrait être considérée comme un **déchet**. Ses impacts environnementaux seraient considérés comme nuls et les impacts de son traitement devraient être alloués au producteur du déchet ;

Une matière résiduaire à valeur économique nulle devrait être considérée comme un **résidu**. Ses impacts environnementaux seraient également considérés comme nuls et aucun traitement n'est à considérer dans le calcul d'impact environnemental ;

Une matière résiduaire à valeur économique positive devrait être considérée comme un **produit** (ou un coproduit). Ses impacts environnementaux seront donc dépendants des ressources extraites et des émissions générées par les activités à l'origine de sa production. »

Guide de lecture de ce rapport :

Les approches sont décrites de façon générale dans le chapitre 2.1, leur présentation détaillée et illustrée ainsi que l'analyse critique de chaque approche sur la base de critères de notation est réalisée dans le chapitre 3.2. Les tests de faisabilité conduits sur les Produits résiduaire Organiques ainsi que sur les inventaires cultureux sont respectivement dans les chapitres 0 et 5.

¹ NF EN ISO 14044 : Management Environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices

1. Introduction

1.1. Contexte et objectif de l'étude

L'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement (INRAE), l'Agence de la transition écologique (ADEME) et les réseaux français des instituts de technologie agricole et alimentaire avec l'Association de Coordination Technique Agricole (ACTA) et le réseau français des instituts techniques de l'agro-alimentaire (ACTIA) ont lancé le Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) REVALIM, réseau pour l'évaluation environnementale des produits agricoles et alimentaires, en septembre 2021. Il fait suite à un partenariat informel sur le programme AGRIBALYSE qui préexistait depuis 2009. Les quatre membres intègrent de facto 11 instituts techniques spécialisés dans les secteurs agricoles ou alimentaires. L'objectif principal de REVALIM est de développer de nouveaux indicateurs pour l'évaluation environnementale des produits agricoles et alimentaires et d'élargir la base de données de référence AGRIBALYSE sur les impacts environnementaux de ces produits.

La feuille de route du GIS REVALIM intègre ainsi un certain nombre d'actions dont celles de réfléchir à la mise à jour de l'approche retenue pour prendre en compte les Produits Résiduaire Organiques en Analyse de Cycle de Vie (ACV) dans le cadre d'Agribalyse. Cet axe avait été priorisé du fait du contexte actuel. En effet, le Ministère de la Transition Ecologique a lancé en 2018 le dispositif Label Bas-Carbone (LBC) qui a pour objectif de contribuer à l'atteinte des objectifs de réductions des émissions de gaz à effet de serre à horizon 2050 de la France. Parmi les différentes méthodes sectorielles proposées, Arvalis, Terres Inovia, ITB, ARTB et Agrosolutions ont rédigé la méthode LBC Grandes Cultures. Cette méthode s'appuie sur des références issues de la Base de Données Agribalyse pour le calcul des émissions de Gaz à Effet de Serre, et notamment celles dues à la production des Produits Résiduaire Organiques (PRO). Un premier travail d'exploration des différentes alternatives de prise en compte des PRO a été mené par le groupe de travail PRO du GIS REVALIM.

Cette étude, qui s'inscrit dans la continuité de ce travail introductif, a pour objectif d'aboutir à des règles de prise en compte des impacts environnementaux associés à la production, la transformation et la mise à disposition des PRO pour Agribalyse cohérentes avec le cadre méthodologique de l'ACV, les travaux internationaux en ACV et pertinentes d'un point de vue faisabilité technique.

Etant donné ce contexte et le caractère transversal de la prise en compte des impacts des PRO au sein de différents secteurs (productions agricoles végétales et animales, industriels, collectivités), les résultats de cette étude ont pour vocation d'être partagés dans le cadre d'une consultation publique, afin de recueillir les avis des différentes parties prenantes et de les intégrer dans les recommandations finales faites au GIS. L'objet du rapport est le suivant :

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de la consultation publique organisée par le GIS REVALIM. Cette consultation publique est ouverte du 04 décembre 2023 au 02 janvier 2024. Cette consultation porte sur le contenu de ce rapport qui présente la méthodologie et les résultats de l'étude sur la modélisation des PRO (Produits Résiduaire Organiques) en ACV (Analyse de Cycle de Vie), réalisée par Agrosolutions pour le GIS REVALIM.

1.2. Méthodologie globale de l'étude

L'étude est actuellement en cours, elle a débuté en juillet 2023 et se terminera en février 2024. Elle s'est déroulée en plusieurs phases incluant :

- Une revue de la caractérisation des PRO dans la littérature, alimentée par une phase d'entretiens. Cette revue introductive au projet ne fait pas partie du présent rapport ;
- Une revue des approches pour prendre en compte les impacts environnementaux des PRO dans les ACV, notamment la gestion de la fin de vie en ACV. Cela se traduit par une revue des approches de gestion de la fin de vie en ACV et du partage de l'impact entre producteur des matières résiduaire et producteur du PRO utilisé à des fins fertilisantes ;
- Une revue de l'application de ces approches dans la littérature scientifique, dans les recommandations et travaux internationaux (PEF, LEAP, etc.) et dans les bases de données ACV (Agribalyse 3.1.1, Agrifootprint 6.3, Ecoinvent 3.9, World Food Database 3.5) ;
- Une analyse critique de ces approches sur différents critères de notation détaillés ci-après dans la partie 4 du rapport ;
- Une série de tests de faisabilité réalisés avec le logiciel expert ACV Simapro (version 9.6) des approches les plus pertinentes sur 8 types de PRO issus de la base de données Agribalyse version 3.1.1 ;
- Une application de ces approches à 6 productions agricoles (blé, maïs, vigne, pêche, pomme, tomate).

1.3. Problématique de prise en compte des impacts environnementaux des PRO en ACV

Les Produits Résiduaire Organiques (PRO) sont des fertilisants ou amendements organiques issus de matières organiques résiduaire pouvant être épandus au champ après divers processus de transformation. Les matières résiduaire peuvent

notamment être considérées comme des déchets issus de la biomasse, c'est-à-dire des déchets d'origine végétale ou animale. La dénomination de PRO couvre généralement des matières organiques telles que des résidus alimentaires, des déchets de jardin, des résidus agricoles, des sous-produits de l'industrie alimentaire, des boues d'épuration, etc.

Les PRO ont donc la particularité d'être principalement constitués de matière premières issues de divers processus visant à recycler ou à valoriser de la matière organique et des éléments nutritifs pour les sols et les plantes.

La question de la quantification des impacts environnementaux des PRO n'est donc pas évidente à traiter car elle doit répondre à plusieurs questions clés :

Les matières résiduaire dont sont issus les PRO sont-ils des déchets, des résidus ou des coproduits ?

D'après la norme NF EN ISO 14044, c'est la valeur économique d'un flux qui va déterminer son statut de déchet, de résidu ou de produit. Ainsi :

- Une matière résiduaire à valeur économique négative (il est nécessaire de payer pour la traiter) devrait être considérée comme un **déchet**. Ses impacts environnementaux seraient considérés comme nuls et les impacts de son traitement devraient être alloués au producteur du déchet ;
- Une matière résiduaire à valeur économique nulle devrait être considérée comme un **résidu**. Ses impacts environnementaux seraient également considérés comme nuls et aucun traitement n'est à considérer dans le calcul d'impact environnemental ;
- Une matière résiduaire à valeur économique positive devrait être considérée comme un **produit** (ou un coproduit). Ses impacts environnementaux seront donc dépendants des ressources extraites et des émissions générées par les activités à l'origine de sa production.

Il est donc évident que la notion de statut de la matière résiduaire et le choix qui en est fait ont un impact conséquent sur les approches de modélisation à utiliser en ACV, et donc sur les impacts environnementaux des PRO.

Si les matières résiduaire sont bien des résidus ou des déchets, comment les impacts des différents processus de traitement ou de valorisation doivent-ils être partagés entre le producteur de la matière résiduaire et le producteur du PRO ?

Il existe de nombreuses approches en ACV pour répartir les impacts d'une filière de traitement de déchets. Ces approches dépendent de la perspective que l'on donne à ces filières. Une filière de compostage est-elle avant tout une filière de traitement de déchets (déchets verts, boues, déchets alimentaires, etc.) ou alors plutôt une filière de production de compost ?

La perspective choisie pour évaluer les impacts environnementaux d'une filière est clé pour pouvoir répartir les impacts environnementaux des différentes activités de ces filières entre producteurs des déchets et producteur du PRO.

Si les matières résiduaire sont plutôt des coproduits, comment les impacts du processus source doivent-ils être partagés entre les matières résiduaire et leur co-production ?

La norme NF EN ISO 14044 décrit et hiérarchise différentes méthodes d'allocation permettant de gérer la production simultanée de plusieurs produits par un processus. Ces méthodes sont hiérarchisées car elles ne se valent pas en termes de robustesse scientifique, de pertinence ou de complexité de mise en œuvre.

Choix 1) Il est premièrement recommandé que l'allocation soit évitée autant que possible en :

- Divisant le processus élémentaire à affecter en deux sous-processus ou plus et en recueillant les données d'intrants et d'extrants rattachées à ces sous-processus ;
- Etendant le système de produits pour y inclure les fonctions supplémentaires des coproduits et prendre en compte les impacts environnementaux évités par ces derniers, tout en tenant compte des frontières du système (méthode par extension de système).

Choix 2) Si la mise en œuvre des choix précédents n'est pas possible, il est alors nécessaire de choisir la règle d'allocation la plus appropriée afin d'attribuer des impacts aux produits du système considéré. Il convient que les intrants et les extrants du système soient répartis entre ces différents produits ou fonctions d'une manière qui reflète les relations physiques sous-jacentes existant entre eux (ex : allocation massique, allocation matière sèche, allocation énergétique).

Choix 3) Finalement, lorsqu'une relation physique seule ne peut pas être établie ou utilisée comme base de l'allocation, il convient que les intrants soient affectés entre les produits et les fonctions d'une manière qui reflète d'autres relations mutuelles. Par exemple, des données d'intrants et d'extrants pourraient être allouées entre coproduits proportionnellement à la valeur économique des produits (allocation économique).

Faut-il intégrer des approches dites conséquentielles pour la prise en compte des impacts de la valorisation de la matière organique ?

L'objectif d'une approche conséquentielle est d'évaluer les conséquences d'un changement, et donc les impacts directs et indirects d'une évolution du système étudié. Par exemple, un acteur produisant des boues d'épuration qu'il décide de traiter en compostage, va permettre par le recyclage d'éléments fertilisants de potentiellement éviter la production de nouveaux engrais minéraux issus de ressources fossiles. De la même manière, le producteur de compost du fait du « recyclage » de matière résiduaire va potentiellement éviter un scénario d'incinération de ces boues. L'approche conséquentielle va donc répondre à la question des impacts générés ou évités par la décision de composter des boues.

Cette approche diffère de l'approche attributionnelle dont le but est d'attribuer (allouer) une part des impacts à un service donné. L'approche attributionnelle va répondre à la question de la répartition des impacts entre le producteur des boues et le producteur du compost (Figure 3).

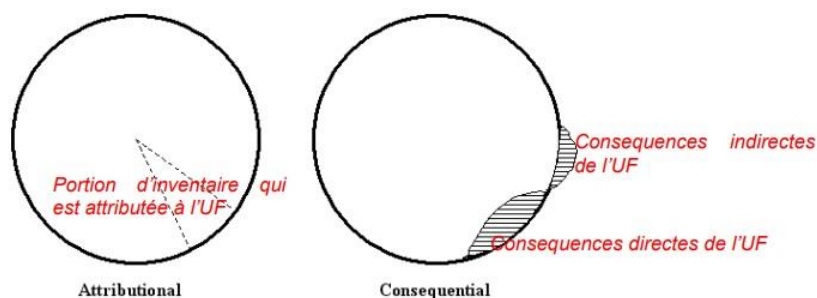


Figure 3 Représentation schématique de la prise en compte des impacts dans une approche attributionnelle et conséquentielle Source : Score LCA, Guillon et Benetto, 2013

Les approches attributionnelles et conséquentielles ne répondent donc pas aux mêmes questions mais fournissent toutefois toutes les deux à un PRO des facteurs d'émissions spécifiques. Les deux approches sont donc pertinentes à étudier dans le cadre de ces travaux.

2. Tour d'horizon des approches

L'étude a permis de faire une revue des approches recommandées ou utilisées par la communauté internationale que ce soit au niveau de la recherche, des producteurs de bases de données ou des organisations professionnelles pour le secteur des PRO.

Rappel du guide de lecture de ce rapport :

Les approches sont décrites de façon générale dans ce chapitre, leur présentation détaillée et illustrée ainsi que l'analyse critique de chaque approche est réalisée dans le chapitre 3.2. Les tests de faisabilité conduits sur les Produits résiduaires Organiques ainsi que sur les inventaires cultureux sont respectivement dans les chapitres 4 et 5.

2.1. Description générale des approches

Ce paragraphe a pour but de définir succinctement chacune des approches qui seront détaillées par la suite au chapitre 3.2. Trois grandes familles d'approches ont été identifiées et font l'objet d'analyse dans ce rapport.

Approches par les méthodes de coupure (également appelées « Cut-off »)

L'approche la plus simple pour modéliser le recyclage consiste probablement à utiliser les méthodes de coupure. Elles impliquent que les produits se voient attribuer les impacts environnementaux des activités associées à leur production, jusqu'à la fin de leur cycle de vie, donc jusqu'au début du cycle de vie d'un nouveau produit. Le seul défi est de définir la frontière entre le cycle de vie du produit générant le déchet et celui qui réutilise la matière recyclée : cette limite doit-elle être avant, au sein ou après le recyclage du matériau ?

Utilisées classiquement pour modéliser le recyclage, elles consistent à définir une frontière dans le cycle de vie concerné, à partir de laquelle les impacts environnementaux sont affectés au produit résiduaire. La distinction entre ces différentes méthodes tient dans le positionnement de cette frontière :

- **Coupure fardeau Amont** : la frontière est placée après les processus de recyclage et valorisation de la matière, en considérant que ces processus sont dédiés au traitement nécessaire d'un déchet ;

- **Coupure fardeau Aval** : la frontière est placée avant tout processus de recyclage et valorisation de la matière, en considérant que ces processus sont dédiés à la production d'un PRO ;
- **Coupure post-stockage** : la frontière est placée après le premier stockage de la matière résiduaire mais avant tout autre processus de recyclage et valorisation de cette dernière ;
- **Coupure économique** : la frontière est placée au niveau du processus considéré comme transformant le déchet en produit.

Approches par les méthodes d'allocation

L'allocation est une approche de gestion de la multifonctionnalité très utilisée en ACV pour répartir les impacts générés par un système entre différents produits et services apporté par ce même système :

- **Allocation économique** : la répartition des impacts se fait proportionnellement à la valeur économique de chaque produit ou service ;
- **Allocation matière sèche** : la répartition des impacts se fait proportionnellement à la masse sèche de chaque produit.

Approche Circular Footprint Formula (CFF)

Il s'agit d'une approche utilisée dans la méthodologie PEF (Product Environmental Footprint) pour modéliser le recyclage des matériaux ainsi que la valorisation énergétique en fin de cycle de vie du produit. Cette approche étant assez complexe à appliquer au secteur de la fertilisation, une version simplifiée a été retenue pour cette étude.

Approche par la méthode de substitution

Il s'agit d'une approche conséquentielle utilisée en ACV pour évaluer les conséquences d'un changement, et donc les impacts directs et indirects d'une évolution du système étudié. Dans le cadre de l'étude, nous avons modélisé un scénario de substitution amont de traitement des matières résiduaires de manière non-circulaire (enfouissement ou incinération) et un scénario de substitution aval de fertilisation minérale à la place de la fertilisation organique permise par les PRO.

2.2. Recommandations issues des standards internationaux

Cette partie présente l'analyse des recommandations des principaux cadres internationaux, tels que la méthode Product Environmental Footprint (PEF), le British PAS2050 for carbon footprinting, la méthode internationale Environmental product declaration (EPD) System et la méthode LEAP (Tableau 3).

Les standards internationaux proposent des recommandations principalement pour la prise en compte des impacts environnementaux des effluents d'élevage. Les autres PRO ne font quasiment pas l'objet de recommandations spécifiques concernant la répartition des impacts entre producteurs des matières résiduaires et producteur du PRO, hormis le PEF qui propose une approche de gestion de la fin de vie, appelée Circular Footprint Formula, pour les digestats et les composts.

De manière générale, les recommandations ne préconisent pas une manière de sélectionner le statut de la matière résiduaire mais plutôt proposent une approche par statut considéré.

Lorsque les effluents d'élevage sont considérés comme :

- Des résidus : l'approche coupure fardeau Amont est préconisée, c'est-à-dire que l'impact de l'effluent d'élevage est nul et que les impacts du stockage doivent être alloués à l'éleveur ;
- Des coproduits : l'allocation économique est préconisée par le PEF et la méthode LEAP ;
- Des déchets : un processus de traitement de déchets doit être pris en compte dans le calcul des impacts et être alloué à l'éleveur (incinération, enfouissement).

Tableau 3 : Recommandations des standards internationaux pour les effluents d'élevages en fonction du statut accordé à la matière résiduaire

	PEF (Product Environmental Footprint)	EPD (Environmental product declaration)	British PAS2050 for carbon footprinting	Method LEAP
Effluents d'élevage (EE)	<p>1 _ Résiduel (Option par défaut) : Pas de valeur économique à la sortie ferme</p> <p>1a _ Les émissions liées à la gestion des EE sont attribuées aux produits de l'exploitation où ils sont produits.</p> <p>1b _ Si utilisation des EE à l'extérieur de l'exploitation où ils sont produits, pas de charge environnementale amont sur les EE --> COUPURE FARDEAU AMONT.</p> <p>2 _ Coproduit : Les EE ont une valeur économique à la sortie ferme : allocation économique</p> <p>3 _ Déchet : (Ex mis en décharge) Application de la CFF (Circular Footprint formula)</p>	<p>1a _ Utilisation sur l'exploitation où les EE sont produits : les émissions liées à la gestion et l'épandage du fumier sont à considérer dans les limites du système.</p> <p>1b _ Si le fumier est utilisé à l'extérieur de l'exploitation (sur une autre exploitation) les émissions liées à sa gestion à l'intérieur de l'exploitation sont prises en compte pour l'élevage. --> COUPURE FARDEAU AMONT.</p> <p>3 _ Déchet : mise en décharge voire incinération prises en compte de ces impacts</p>	<p>1 _ Pour l'utilisation hors de l'exploitation où les EE sont produits : Pas de charges amont affecté Farmyard Manure = 0 kg CO2 eq --> COUPURE FARDEAU AMONT.</p>	<p>1 _ Résidu : aucune charge n'est portée à l'utilisation en aval. <i>C'est à dire que les émissions liées à la gestion des EE sont attribuées aux produits de l'exploitation où ils sont produits.</i> --> COUPURE FARDEAU AMONT.</p> <p>2_ Coproduit : Valorisation des EE à l'extérieur de l'exploitation par une allocation économique</p> <p>3 _ Déchet : mise en décharge ou incinération sans récupération d'énergie.</p>
Fin de vie	The Circular footprint formula : Les matières résiduaire du compost et du digestat sont considérées comme des déchets recyclables. Facteur de tension A = 0,5 pour ces deux PRO.	_	Différentes Méthodes d'allocation	_

2.3. Application dans la littérature scientifique

La présente étude n'a pas l'ambition de proposer une méta-analyse de l'ensemble des publications scientifiques sur l'ACV des PRO mais a permis de balayer un certain nombre d'études sur divers PRO ou sur des cultures utilisant des PRO. Parmi l'ensemble des études revues, certaines ont été approfondies et analysées davantage. Le Tableau 32 de l'annexe 4 présente les différentes approches appliquées dans les publications qui ont été analysées.

Au sein de la littérature scientifique, de nombreuses approches sont utilisées pour calculer les impacts environnementaux des PRO. Les publications, qui ont pu être revues, traitaient des effluents d'élevage, du compost, du digestat, des boues et des résidus de culture (Tableau 32).

Le premier constat est qu'il n'y a actuellement pas d'approche commune et standardisée claire concernant la prise en compte des impacts des PRO.

De nombreuses approches sont utilisées par la communauté scientifique avec notamment une gestion de la multifonctionnalité des PRO, selon des méthodes plus complexes telles que l'extension du système ou la substitution, qui nécessitent de questionner les fonctions agronomiques complémentaires des PRO par rapport à une fertilisation minérale (apport de matière organique, d'autres éléments fertilisants, amendement basique).

Certaines publications scientifiques vont également comparer plusieurs approches, comme la méta-étude de Pradel et al. 2016 par exemple, qui compare la vision de la filière sur plusieurs études dédiées aux boues et analyse le fait que les approches utilisées pour modéliser les boues divergent en fonction de la fonction accordée au système de production des boues. Si l'activité de traitement des boues est considérée comme une activité de valorisation de matière organique par la production de boue, alors une approche par extension de système est privilégiée. Si l'activité de traitement de boues est considérée comme une activité de traitement de déchets, alors l'approche privilégiée est le Coupure fardeau Amont.

La communauté scientifique n'a donc pas tranché sur le type d'approche à utiliser pour caractériser l'empreinte environnementale des PRO car le choix d'une approche dépend à la fois des objectifs de l'étude ainsi que des fonctions spécifiques des activités de traitement et de valorisation des différents PRO.

2.4. Utilisation dans les bases de données ACV

La présente étude a permis d'analyser les quatre bases de données disponibles sous le logiciel ACV Simapro et présentant des Inventaires de Cycle de Vie (ICV) de PRO. L'objectif a été de comprendre comment sont modélisés actuellement les PRO dans ces BDD. Les bases de données qui ont été analysées sont :

- Agribalyse 3.1.1.
- ecoinvent 3.9 ;
- World Food LCA database 3.5 (WFLDB) ;
- Agrifootprint 6.3 ;

Parmi ces bases de données, des ICV de chaque catégorie de PRO ont été analysés afin de comprendre quelle approche a été utilisée par les bases de données. Les catégories de PRO analysés sont les suivantes :

- Effluents d'élevage ;
- Composts ;
- Boues ;
- Déchets verts ;
- Biodéchets ;
- Digestats.

Au-delà de la modélisation des ICV de PRO, c'est leur utilisation par les bases de données au sein de diverses cultures, qui peut être intéressante à analyser. La fertilisation étant un poste d'impact important en agriculture. Ainsi, les approches utilisées pour intégrer les PRO dans la production agricole de maïs, du blé, de l'abricot et de la carotte ont été passées en revue (Annexe 4).

2.4.1. Prise en compte des PRO dans Agribalyse

Dans la base de données Agribalyse (v3.1.1), deux façons de prendre en compte les PRO co-existent :

- Coupure fardeau amont : Lors de la création de la base de données Agribalyse, dans les années 2010, le choix a été fait d'appliquer l'approche Coupure fardeau amont pour les effluents d'élevage. L'ensemble du fardeau environnemental de la production des effluents, jusqu'à leur traitement et/ou stockage était donc affecté aux productions animales.
- Coupure fardeau aval : Plus récemment, les travaux Avadi,2020 et Avadi and Paillat,2020 ont fourni 106 ICV de PRO en suivant l'approche Coupure fardeau aval (Projet MAFOR). L'ensemble des impacts du traitement (ou de la valorisation) des filières concernées sont inclus dans les ICV. La coupure se fait donc principalement au niveau de la production de matière résiduaire avant toute étape de stockage, de concentration ou de transformation de la matière organique, en conformité avec l'approche de Coupure fardeau Aval (voir 3.2.2).

Certains ICV, notamment de grandes cultures, font appel aux ICV « Coupure fardeau amont » où les PRO entrent sans impacts dans le cycle de vie. D'autres ICV, comme certains ICV de fruits et légumes, utilisent les ICV issus du projet MAFOR, où les PRO entrent avec l'ensemble des impacts liés à leur traitement et à leur stockage.

Par ailleurs, pour certains ICV de cultures développées au sein de projets spécifiques tels que Ecoalim (voir carotte, Annexe 4), des PRO peuvent bénéficier d'un impact environnemental qui leur est alloué. Cela est le cas de la paille de blé dont les impacts de mise en balle sont attribués à la production de carotte bio.

Par ailleurs, dans le rapport méthodologique d'Agribalyse (Koch et Salou, 2022) il est écrit : « En conséquence, les émissions liées au traitement éventuel (abattement de l'azote, compostage ou méthanisation), au stockage et au brassage des déjections ont été attribuées au système de production animale et les émissions liées au chargement, transport et épandage, au système de production végétale qui bénéficie de ces déjections. »

Le rapport méthodologique prône actuellement une approche coupure fardeau amont pour les déjections animales. Il convient aussi de noter que le choix méthodologique retenu pour les inventaires issus du projet MAFOR n'est en fait pas en accord avec la méthodologie proposée dans le rapport méthodologique Agribalyse.

2.4.2. Prise en compte des PRO dans les autres bases de données ACV

Les ICV de PRO sont présents de manière hétérogène dans les différentes bases de données incluant des productions alimentaires. L'impact environnemental de la fertilisation organique dans les cultures étudiées est généralement nul, ce qui est par exemple systématique pour Agrifootprint. La World Food Database réutilise des ICV d'ecoinvent qui peuvent être amenés à ajouter une étape de transport car les cultures vont utiliser des ICV dits de « market » qui modélisent un approvisionnement moyen du PRO considéré.

Au bilan, l'approche de Coupure fardeau Amont (voir 3.2.1 pour le détail de l'approche) pour prendre en compte l'impact environnemental des PRO reste tout de même largement privilégiée actuellement dans les différentes bases de données ACV pour les ICV de cultures.

Catégories de PRO pris en compte dans les BDD ACV

La présence des différentes catégories de PRO au sein des différentes bases de données est hétérogène (Annexe 4 voir Tableau 35).

Tableau 4 Prise en compte des PRO dans les bases de données étudiées (x : ICV présent pour cette catégorie, 0 : pas d'ICV)

Type de PRO	Effluents d'élevage	Composts	Boues	Déchets verts	Biodéchets	Digestats	Approches utilisées
Base de données							
Agribalyse 3.1.1	X	X	X	X	X	X	Coupure fardeau Amont ou Coupure fardeau Aval
Ecoinvent Cut off 3.9	X	X	X	0	X (ICV de traitement)	0	Coupure fardeau Amont
World Food LCA database 3.5	X (basé sur ICV ecoinvent)	X (basé sur ICV ecoinvent)	0	0	X (basé sur ICV ecoinvent)	0	Coupure fardeau Amont
AgriFootprint 6.3	X	0	0	0	0	0	Coupure fardeau Amont

La base de données ecoinvent comporte des ICV d'effluents d'élevage, de composts, de boues, d'une culture qui peut s'apparenter à une CIPAN et de biodéchets. Néanmoins pour cette dernière catégorie, ce sont davantage des ICV de traitement de déchets tels que l'incinération ou le compostage qui sont représentés, que des ICV de production de PRO. Il faut savoir qu'ecoinvent propose une version cut-off de sa base de données, une version APOS (at point of substitution) et une version conséquentielle². Dans la version cut-off, les ICV de PRO utilisent une approche Coupure fardeau Amont sans transport avec aucun impact, mais également une approche de Coupure fardeau Amont avec transport, prenant en compte l'approvisionnement du PRO jusqu'au champ (exemple : « Organic nitrogen fertiliser, as N {GLO} | nutrient supply from compost | Cut-off, U »).

La World Food Database ne comporte pas d'ICV de boue, de déchets verts ou de digestat, et va réutiliser des ICV produits par ecoinvent pour les effluents d'élevage, un compost, un CIPAN et des traitements de biodéchets.

La base de données AgriFootprint développée par Blonk consultant ne comporte comme PRO que des ICV d'effluents d'élevage. De manière générale, les effluents d'élevage sont considérés comme des résidus sans valeur économique et sans traitement particulier (voir 2.1 pour la définition de résidus), ils ne comportent donc aucun impact lié au système d'élevage.

En conclusion

Les bases de données ACV utilisent de manière générale des approches beaucoup plus simples que celles employées par la communauté scientifique. **Les approches de Coupure fardeau Amont sont privilégiées par l'ensemble des bases de données pour la modélisation de la fertilisation organique.** Concernant les ICV de PRO, Agribalyse utilise une approche de Coupure fardeau Aval qui diffère avec les ICV sans impact des autres bases de données, cependant peu utilisés dans les inventaires culturels. A noter que les approches de Coupure fardeau Amont adoptées par les autres bases de données peuvent également traduire un manque de données pour modéliser correctement les filières de valorisation de PRO, que les travaux d'Avadi and Paillat, 2020 ont pu combler au sein de la base de données Agribalyse.

Idéalement, une base de données devrait à la fois :

- Utiliser une approche définie pour chaque type de PRO pour permettre des comparaisons à approche égale dans les dispositifs tels que le LBC et l'affichage environnemental ;
- Laisser la possibilité à la communauté scientifique d'utiliser d'autres approches qui conviennent à des objectifs spécifiques de recherche.

2.5. Approches retenues pour l'étude

La revue des différents enjeux techniques de la prise en compte des impacts environnementaux des PRO a permis de mieux caractériser les différentes approches à étudier tout en s'appuyant sur la littérature scientifique et sur les standards nationaux

² <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models/>

européens ou internationaux. Il existe en effet plusieurs travaux d'analyse critique des approches de modélisation de la fin de vie des produits et notamment ceux de Ekvall et al., 2018 qui ont permis de caractériser certaines approches applicables aux PRO (approches de coupure, substitution). Le cadre européen du PEF (Product Environmental Footprint) utilise sa propre méthodologie de gestion de la fin de vie en ACV (Circular Footprint Formula) et permet de répartir les impacts environnementaux d'une filière de valorisation en fonction notamment de la tension sur le marché des matériaux à recycler ou à valoriser. Certains standards internationaux, tel que le Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP), préconisent des approches à utiliser sous la forme d'arbre de décision permettant d'éclairer la réflexion sur les enjeux mais également le type d'approche à analyser et à tester au sein de cette étude (Annexe 2). Enfin certaines publications scientifiques ont pu mettre en avant l'utilisation de certaines approches (substitution aval, extension de système) utilisées par la communauté scientifique pour le calcul d'impact des PRO.

Ainsi sur la base de l'ensemble de ces sources, les approches ayant fait l'objet d'une analyse critique pour la prise en compte des impacts environnementaux des PRO sont les suivantes :

- Coupure fardeau Amont ;
- Coupure fardeau Aval ;
- Coupure post-stockage ;
- Coupure avec allocation économique ;
- Allocation économique ;
- Allocation matière sèche ;
- Circular Footprint Formula ;
- Circular Footprint Formula simplifiée ;
- Substitution amont ;
- Substitution aval.

La présentation détaillée de ces approches et leur analyse critique se retrouve dans la partie 3.2 du rapport.

3. Analyse critique des approches de prise en compte des impacts environnementaux des PRO

3.1. Critères d'évaluation des approches

Les approches de prise en compte des impacts environnementaux des PRO ont été analysées et notées selon 5 critères :

- **Degré d'adoption de l'approche ;**
- **Précision et cohérence scientifique de l'approche ;**
- **Variabilité dans le temps de l'approche ;**
- **Besoin en données additionnelles ;**
- **Limite technique d'intégration dans Agribalyse.**

Les deux derniers critères concernent la facilité d'intégration dans Agribalyse.

Chaque critère est noté de 1 à 4 avec 1 la meilleure note et 4 la pire.

Le degré d'adoption de l'approche traduit le niveau d'utilisation de cette approche dans les bases de données ACV et la littérature mais également l'existence de recommandations dans les différents standards européens ou internationaux (LEAP, PEF, EPD, British PAS2050 for carbon footprint). Certaines approches sont plus novatrices que d'autres et sont encore peu utilisées ou peu recommandées.

La précision et la cohérence scientifique traduisent la capacité de l'approche à prendre en compte la complexité des enjeux de la répartition des impacts environnementaux entre les différents flux de matière organique et donc entre les différents acteurs de la chaîne de valeur. Une approche avec une bonne cohérence scientifique permet :

- De définir méthodologiquement quel flux peut être considéré comme un déchet, un résidu ou un produit ;
- De prendre en compte les spécificités de chaque filière de valorisation des PRO ;
- De prendre en considération les enjeux de tension sur les matières résiduaire ;
- De prendre en compte les différences de qualité et de valeur des différents flux de matière organique.

La variabilité dans le temps de l'approche traduit la capacité d'une approche à être dépendante ou non de données évoluant rapidement. La dépendance à des données économiques très fluctuantes peut en effet être un frein à la crédibilité de la méthode si la base de données n'est pas régulièrement mise à jour. L'importance de ce critère dépend donc du niveau de régularité de mise à jour de la base de données Agribalyse.

Besoin en données additionnelles et accessibilité, ce critère témoigne du besoin d'aller récolter des données complémentaires et du niveau de difficulté pour y accéder. Une approche nécessitant de mettre à jour régulièrement (annuellement) une masse importante de données économiques sera moins bien notée qu'une approche ne nécessitant aucune donnée supplémentaire pour être intégrée dans Agribalyse.

Limite technique d'intégration dans Agribalyse. Certaines approches si elles sont retenues pour Agribalyse nécessiteront des changements conséquents de la structure de la base de données : une moins bonne note sera attribuée à ces approches.

3.2. Présentation et analyse critique des approches

Le Tableau 5 présente la synthèse de l'analyse critique, le détail de celle-ci est repris dans le paragraphe dédié à chaque approche.

Tableau 5 : Synthèse de la notation des approches (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)

Type d'approche	La matière résiduaire est considérée comme :	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Facilité d'intégration dans Agribalyse
Coupure fardeau Amont	Attributionnelle	Un déchet	1 (Sans impact : Utilisé dans la plupart des BDD et proposé par les cadres internationaux concernant les effluents d'élevage)	1 (Aucune)	4 (Approche peu précise, non modulable si appliqué à tous les PRO)	1 (Aucune) 1 (Déjà intégré dans Agribalyse)
Coupure fardeau Aval	Attributionnelle	Un résidu	2 (Approche courante hors PRO, utilisé dans la littérature pour les effluents d'élevage)	1 (Aucune)	4 (Approche peu précise, non modulable si appliqué à tous les PRO)	1 (Tous les ICV de PRO sans impact)
Coupure post stockage	Attributionnelle	Un déchet	3 (Proche du Coupure fardeau Amont pour les chaînes chaînes « courtes », proche du Coupure fardeau Aval pour les chaînes « longues », mais aucune mention dans les standards internationaux et la littérature)	1 (Aucune)	3 (Non modulable si appliqué à tous les PRO, mais prend en compte le fait que le stockage est souvent géré par le producteur du déchet)	1 (Modification simple des ICV Agribalyse)
Coupure avec allocation économique	Attributionnelle	Un déchet ou un résidu	3 (Approche non mentionnée dans la norme ISO14044, peu retrouvée dans la littérature)	2 (Volume déchet et Tarif payé par les producteurs du déchet + Volume et prix du PRO en sortie de traitement)	1 (Logique économique proposant une allocation entre producteur déchet et producteur PRO, ne fonctionne que si valeur économique négative pour le déchet)	2 (Prix de traitement des déchets et de vente des PRO fluctuants) 2 (Besoin d'intégrer des allocations pour l'ICV du processus qui redonne de la valeur à la matière organique)
Allocation économique	Attributionnelle	Un co-produit	1 (Approche très utilisée pour gérer la multifonctionnalité de productions agricoles à fonction et valeurs économiques très différentes)	2 (Volume et Prix de la matière résiduaire ainsi que ceux de ses coproduits)	4 (Logique économique, si le prix de la matière résiduaire est nul, ne règle pas l'allocation entre le producteur du déchet et le producteur du PRO)	2 (Prix des PRO et de ses-coproduits fluctuants) 3 (Besoin d'intégrer des allocations économiques entre les produits animaux et les effluents)
Allocation MS	Attributionnelle	Un co-produit	2 (Utilisé par certains secteurs dans le cadre du PEF, moins utilisé que l'alloc économique)	2 (Volume et Taux de MS de la matière résiduaire ainsi que ceux de ses coproduits)	4 (Logique purement physique, aucune matière résiduaire n'est un déchet, impact conséquent alloué aux PRO)	1 (Taux de MS de la matière résiduaire assez stable) 4 (Nécessite de modifier toutes les allocations existantes, entre culture/ résidus de culture et effluents d'élevage/ produits animaux)
Circular Footprint formula	Attributionnelle/ Conséquentielle	Un résidu ou un déchet	2 (Proposé par le JRC dans le cadre du PEF)	4 (Choix du produit de substitution, Coût du produit de substitution, Coût du PRO, Qualité (Qsin, Qsout, Qp), Scénario de fin de vie si matière orga réutilisé hors filière engrais)	1 (Prend en compte, les logiques de tension sur le marché, le devenir en fin de vie de la MO, la baisse en qualité de la matière recyclée)	3 (Prix des PRO fluctuants, Prix des engrais minéraux très variables en fonction d'enjeux géopolitiques et de ressources) 4 (Intégration de beaucoup de paramètres au sein des ICV de PRO, structure des ICV à largement modifier)
Circular Footprint formula simplifiée	Attributionnelle	Un résidu ou un déchet	2 (Similaire à la CFF avec quelques hypothèses en plus)	2 (Choix du produit de substitution, Coût du produit de substitution, Coût du PRO)	2 (Même chose que pour la CFF mais avec des hypothèses simplificatrices)	3 (Prix des PRO fluctuants, Prix des engrais minéraux très variables en fonction d'enjeux géopolitiques et de ressources) 1 (Appliquer un simple facteur aux ICV de PRO)
Substitution	Conséquentielle	Un résidu ou un déchet	2 (Utilisé dans la littérature. Très peu utilisé dans les Bases de données)	3 Choix du produit ou du scénario de traitement de substitution, caractéristiques agronomiques, impacts indirects potentielles)	1 (Approche conséquentielle, prend en compte la logique de substitution sur le marché)	2 (Les scénarios de substitution pour la gestion des déchets et les engrais minéraux peuvent évoluer dans le temps) 3 (Pas difficile à intégrer aux ICV existants, mais besoin de modéliser des ICV de substitution complexe)

3.2.1. Coupure fardeau Amont

3.2.1.1. Présentation de l'approche

La méthode Coupure fardeau Amont implique que la frontière entre les cycles de vie se fait après le processus de recyclage et de valorisation de la matière (Figure 4).

Point de vue de l'approche : traiter un déchet

Dans le cas des PRO, utiliser l'approche Coupure fardeau Amont, c'est considérer que l'ensemble de la chaîne de valeur des PRO est dédiée au traitement de matières résiduaire en tant que déchet et que toutes les activités amenant à la production de PRO sont de la responsabilité des producteurs des matières résiduaire.

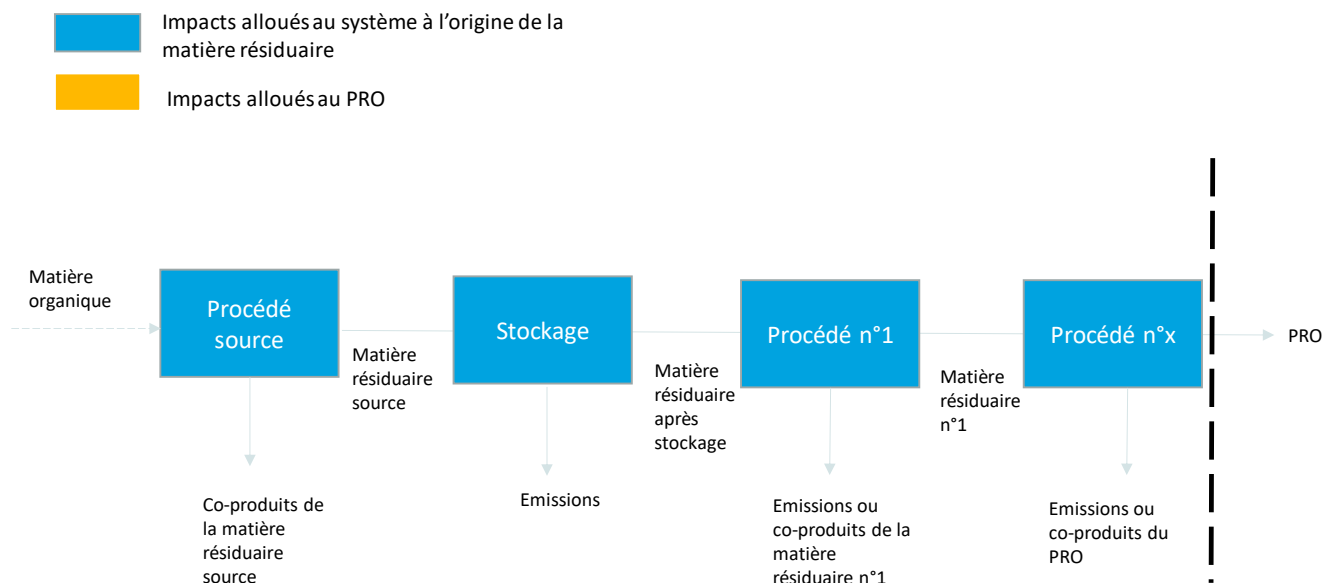


Figure 4 : Approche Coupure fardeau Amont

Exemple d'application :

Prenons l'exemple du compost produit en partie à base de lisier de bovin (Figure 5). Dans ce cas précis, toutes les émissions générées par le stockage du lisier, la concentration de ce lisier, le transport du lisier au composteur et le compostage seraient alloués à la production laitière et bovine de l'éleveur. A contrario, le compost produit est vierge d'impact, seul potentiellement le transport de ce compost vers le futur utilisateur pourrait lui être alloué.

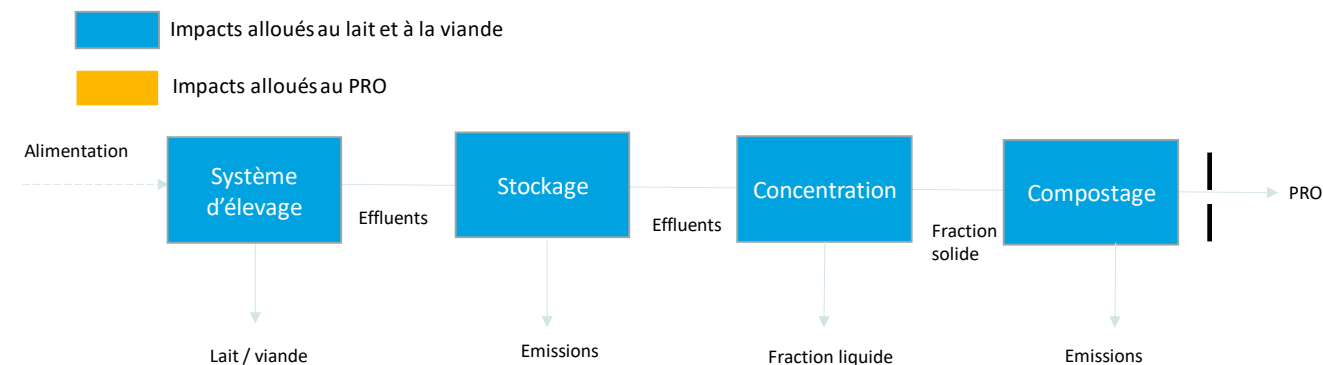


Figure 5 : Application de la méthode Coupure fardeau Amont au compost produit à partir de lisier de bovin

3.2.1.2. Degré d'adoption

Tableau 6 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche coupure fardeau amont

Coupure fardeau amont	Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche
Standards internationaux	PEF, EPD, PAS2050 : recommandation pour les effluents d'élevage LEAP : recommandation pour les résidus
Littérature scientifique	Très peu utilisée
Bases de données ACV	Largement utilisée

L'approche est recommandée pour les effluents d'élevage par le PEF, l'EPD, le British PAS2050 for carbon footprinting et la méthode LEAP pour une application directe au champ et lorsque l'effluent est considéré comme un résidu (sans valeur économique). Elle est donc bien présente dans les standards internationaux mais est recommandée uniquement pour un cas spécifique de PRO et un statut de la matière résiduaire spécifique.

La Coupure fardeau Amont est largement utilisée dans les bases de données ACV pour les PRO. Au sein d'ecoinvent, la majorité des ICV de PRO n'ont pas d'impacts environnementaux que ce soit pour les effluents d'élevage, le compost ou les boues. La base de données privilégie donc une approche Coupure fardeau Amont hormis pour les CIPAN et les cultures dédiées. La World Food Database reprenant majoritairement des ICV d'ecoinvent, on retrouve donc l'approche de Coupure fardeau Amont au sein de la base de données. La base de données Agrifootprint ne possède que des ICV d'effluents d'élevage en tant que PRO. Ces derniers utilisent l'approche Coupure fardeau Amont. Enfin la base de données Agribalyse intègre majoritairement des ICV de PRO issus des travaux d'Avadi, 2020 qui sont modélisés avec une approche Coupure fardeau Aval (voir 3.2.2). Cependant, les cultures de la base de données utilisent majoritairement une approche de Coupure fardeau Amont avec une fertilisation organique sans aucun impact environnemental.

L'approche Coupure fardeau Amont ne se retrouve généralement pas dans la littérature scientifique qui met en avant des approches plus complexes de modélisation pour les PRO.

3.2.1.3. Avantages et limites

Précision et cohérence scientifique de l'approche :

Elle donne un avantage concurrentiel en termes de facteur d'émission au PRO par rapport aux engrais issus de ressources fossiles en attribuant l'ensemble des impacts environnementaux des filières de valorisation aux producteurs des matières résiduares. Du strict point de vue de la comptabilité carbone, un industriel pourrait avoir plus d'intérêt à incinérer ses sous-produits organiques qu'à les faire composter ou digérer dans un méthaniseur.

La condition pour appliquer cette méthode est de considérer que l'ensemble des matières résiduares dont sont issus les PRO soient considérées comme des déchets. Cette condition peut poser une difficulté d'application pour le digestat qui peut être produit à partir de cultures dédiées sur lequel la coupure ne peut s'appliquer.

Du point de vue de la cohérence scientifique, la perspective de considérer l'ensemble des filières de production de PRO comme du traitement de déchet est discutable. Il est en effet admis que les PRO ont bien une valeur économique et qu'ils ne sont plus des déchets en tant que tel qui seraient réutilisés et épandus. Cependant, là où les effluents d'élevage sont en excédant, il est nécessaire d'en traiter une partie, dans ce cas les effluents sont des déchets (valeur économique <0). De plus, l'utilisation de cette approche revient à égaliser les facteurs d'émissions de l'ensemble des PRO sans distinction (facteur d'émission nul) malgré la diversité des chaînes de valeur et des caractéristiques agronomiques des catégories de PRO.

Variabilité dans le temps de l'approche : aucune

Facilité d'intégration dans Agribalyse : L'approche est extrêmement simple à appliquer et facile à comprendre.

3.2.1.4. Bilan et notation

En synthèse, l'approche de Coupure fardeau Amont est une méthode reconnue qui s'applique très aisément au sein de la base de données Agribalyse et qui ne nécessite pas de données complémentaires. Les impacts resteraient stables dans le temps pour les PRO, c'est-à-dire nuls.

Néanmoins, l'approche souffre d'une cohérence scientifique discutable car elle reviendrait à considérer que l'ensemble des PRO sont des déchets sans aucune valeur ajoutée, ce qui n'est pas le cas pour de nombreuses filières. La notation de la méthode est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Notation de l'approche Coupure fardeau Amont (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)

Coupure fardeau Amont	Type d'approche	La matière résiduaire est considérée comme :	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles et accessibilité	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Facilité d'intégration dans Agribalyse
Caractéristiques et notation	Attributionnelle	Un déchet	1 (Sans impact : Utilisé dans la plupart des BDD et proposé par cadres internationaux concernant les effluents d'élevage)	1 (Aucune)	4 (Approche peu précise, non modulable si appliqué à tous les PRO)	1 (Aucune)	1 (Tous les ICV de PRO sans impact)

3.2.2. Coupure fardeau Aval

3.2.2.1. Présentation de l'approche

L'approche Coupure fardeau Aval implique que la frontière entre les cycles de vie se fait avant tout processus de recyclage et de valorisation de la matière (Figure 6).

Point de vue de l'approche : Apporter une valeur positive à un déchet ou à un résidu.

Dans le cas des PRO, utiliser l'approche Coupure fardeau Aval c'est considérer que l'ensemble de la chaîne de valeur des PRO est dédiée à la valorisation de matière résiduaire dans l'objectif de produire un PRO. Ainsi toutes les activités amenant à la production de PRO sont de la responsabilité des acteurs de cette chaîne de valeur et du futur utilisateur du PRO.

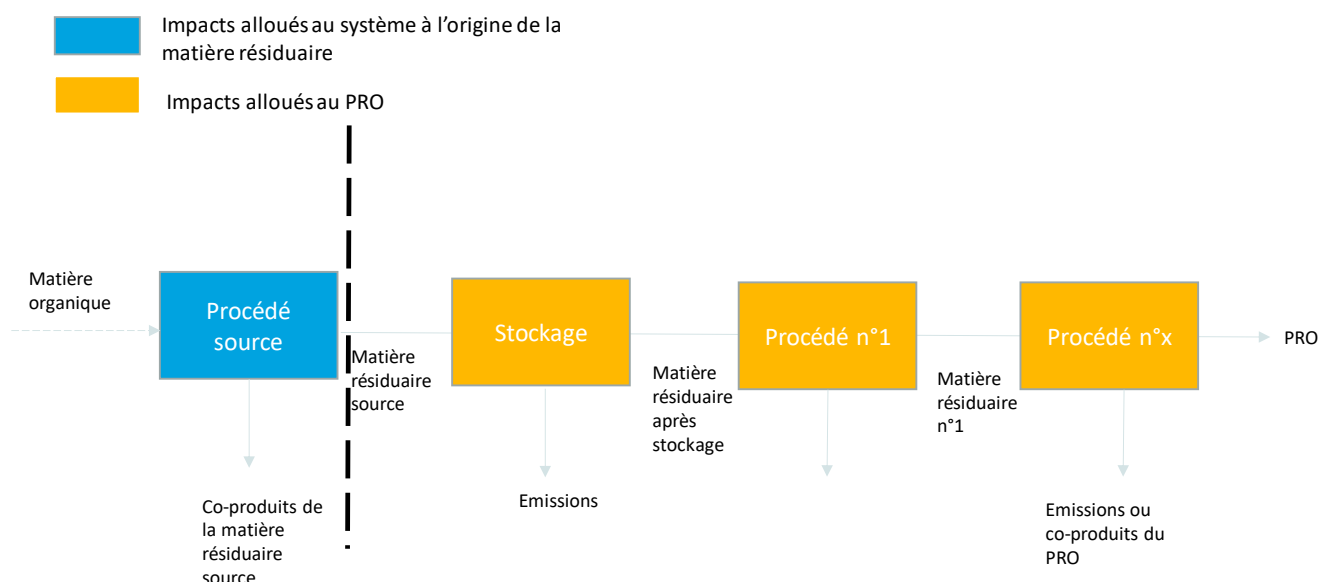


Figure 6 : Approche générale du Coupure fardeau Aval

Exemple d'application :

Prenons l'exemple du compost produit en partie à base de lisier de bovin (Figure 7). Dans ce cas précis, toutes les émissions générées par le stockage du lisier, la concentration de ce lisier, le transport du lisier au composteur et le compostage seraient

alloués au PRO donc au compost. A contrario, les productions de l'élevage (viande, lait) ne bénéficieront d'aucun impact supplémentaire lié à la gestion et à la transformation du lisier généré. Le lisier est alors considéré comme un résidu dont les impacts générés en aval (s'il est réutilisé) ne concernent plus l'éleveur, mais les utilisateurs de ce lisier.

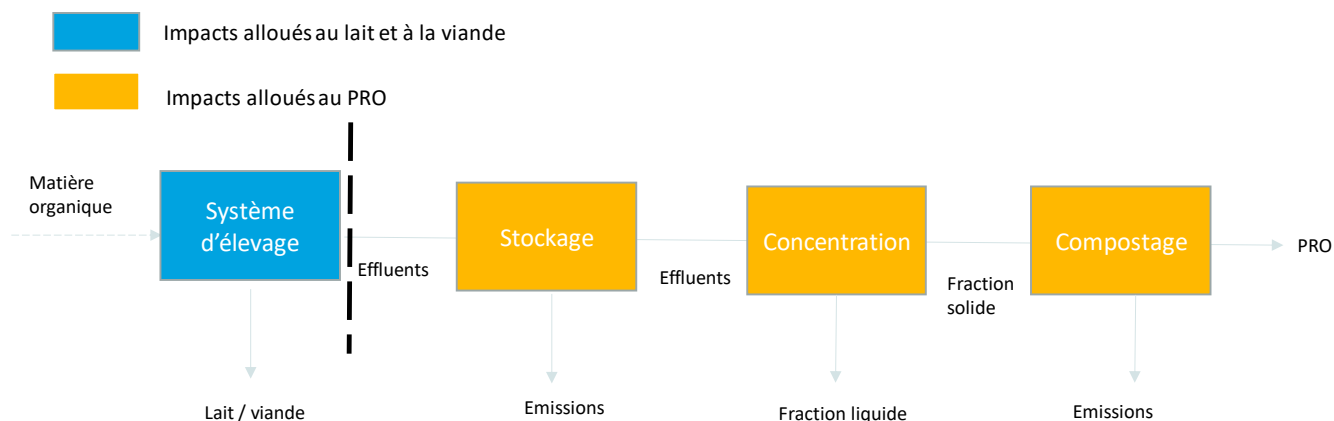


Figure 7 : Application de l'approche coupure fardeau aval au compost produit à partir de lisier de bovin

3.2.2.2. Degré d'adoption

Tableau 8 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche Coupure fardeau aval

Coupure fardeau aval	Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche
Standards internationaux	Pas préconisée pour les effluents d'élevage PAS 2050 , EPD : recommandé dans certains cas pour d'autres secteurs que les PRO
Littérature scientifique	Est utilisée (ex : pour le fumier)
Bases de données ACV	Très rarement utilisée

Comme vu en 2.1, les standards internationaux préconisent plutôt d'allouer les émissions de gestion des effluents d'élevage au producteur lorsque ces derniers n'ont pas de valeur économique. La Coupure fardeau Aval n'est donc en général pas préconisée dans ce cas. Il n'y a pas de préconisations particulières pour les autres types de PRO.

Concernant d'autres secteurs, le British Standard for carbon footprint (PAS 2050) recommande l'approche Coupure fardeau Aval pour les cas où les matières recyclées ne conservent pas les mêmes propriétés inhérentes au matériau vierge qu'elles sont censées substituer (Ekvall et al. 2018). De manière générale, la méthode de coupure est recommandée par le système international pour les « Environmental Product Déclarations » (EPD), qui définissent la frontière entre les cycles de vie comme le point où le matériau a sa plus faible valeur marchande. Cela se produit généralement avant que les déchets ne soient collectés pour être recyclés. Les instructions générales du programme dans l'EPD précisent également que les procédés de recyclage doivent être inclus dans l'EPD du produit où le matériau recyclé est utilisé.

Concernant la présence dans les bases de données, l'approche de Coupure fardeau Aval n'est que très rarement utilisée dans les ICV de culture agricole, à l'exception d'inventaires d'Agribalyse (ex : 47 ICV fruits et légumes). Agribalyse est la seule base de données ayant proposé des ICV de PRO avec une approche de Coupure fardeau Aval qui intègrent les impacts de l'ensemble de la filière de traitement et valorisation des matières organiques.

L'approche Coupure fardeau Aval se retrouve par exemple dans la publication « LCA of fertilisation of Corn and Corn - Soybean rotation with swine manure and synthethic fertiliser in Iowa (Griffing et al. 2014) ». C'est donc une approche qui a déjà été utilisée par la recherche pour le fumier.

3.2.2.3. Avantages et limites

Précision et cohérence scientifique de l'approche :

Elle donne un avantage concurrentiel en termes de facteur d'émission aux producteurs de déchets organiques souhaitant recycler leurs matières résiduelles par rapport à ceux qui ne les valoriseraient pas (en les faisant par exemple incinérer). La contrepartie est qu'elle attribue l'ensemble des impacts environnementaux de la filière de valorisation aux producteurs des PRO et donc à leurs utilisateurs.

Du strict point de vue de la comptabilité carbone, certains exploitants agricoles pourraient potentiellement avoir plus d'intérêt à utiliser des engrais minéraux produits à partir de ressources fossiles qu'un compost. La méthode LBC GC mobilisant des facteurs d'émissions d'Agribalyse, reprend de manière indirecte une approche de Coupure fardeau Aval, qui peut donc amener certains exploitants agricoles à ne pas utiliser de compost pour ne pas alourdir leur bilan carbone.

La condition pour appliquer cette approche est de considérer que l'ensemble des matières résiduelles dont sont issus les PRO soient considérées comme des résidus. Les résidus n'ont pas besoin de traitement et peuvent être réutilisés par des acteurs qui peuvent les valoriser. Cette condition posée, il n'existe pas de restriction pour appliquer cette approche à toutes catégories de PRO.

Du point de vue de la cohérence scientifique, la perspective de considérer l'ensemble des filières de production de PRO comme de la valorisation de matière résiduelle est discutable. Il est en effet admis que certaines matières résiduelles comme certains sous-produits issus de l'industrie par exemple, ont bien une valeur économique et qu'ils ne sont ni des déchets, ni des résidus. De plus, certaines matières résiduelles comme les boues ou les déchets verts ont des valeurs économiques négatives, c'est-à-dire que le producteur de déchet peut être amené à payer pour qu'un acteur tiers traite ses déchets. Ces matières résiduelles sont donc bien des déchets et non des résidus.

Variabilité dans le temps de l'approche : aucune

Facilité d'intégration dans Agribalyse :

L'approche est, à l'instar de la Coupure fardeau Amont, extrêmement simple à appliquer et facile à interpréter. L'utilisation de cette approche, par une base de données, a le mérite de pouvoir caractériser les impacts environnementaux des filières de production des PRO et d'être facilement adaptable. Elle laisse le choix aux producteurs d'étude ACV (consultants, chercheurs...) le choix d'appliquer la méthode de coupure qui semble la plus opportune pour leur étude.

3.2.2.4. Bilan et notation

En synthèse, l'approche de Coupure fardeau Aval est une approche utilisée en ACV et présente actuellement dans Agribalyse mais restant peu recommandée pour le secteur des PRO. Aucune donnée additionnelle n'est donc nécessaire pour appliquer cette approche bien qu'une adaptation de l'outil Means In-Out³ soit à prévoir afin que le logiciel réutilise les ICV proposés par les travaux d'Avadi, 2020. L'approche est modulable et permet aux utilisateurs de la base de données de produire des approches différentes adaptées aux études ou à la recherche.

Néanmoins, l'approche souffre d'une cohérence scientifique discutable car elle reviendrait à considérer que l'ensemble des matières résiduelles sont des résidus sans aucune valeur ajoutée qui ne nécessiteraient aucun traitement, ce qui n'est pas le cas pour de nombreuses filières. La notation de la méthode est présentée dans le tableau ci-dessous.

³ Logiciel co-développé par l'INRAE et le CIRAD et utilisé pour la création d'inventaires agricoles pour Agribalyse

Tableau 9 Notation de l'approche Coupure fardeau Aval (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)

Coupure fardeau Aval	Type d'approche	La matière résiduaire est considérée comme :	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles et accessibilité	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Facilité d'intégration dans Agribalyse
Caractéristiques et notation	Attributionnelle	Un résidu	2 (Approche courante hors PRO, utilisée dans la littérature pour les effluents d'élevage)	1 (Aucune)	4 (Approche peu précise, non modulable si appliqué à tous les PRO)	1 (Aucune)	1 (Tous les ICV de PRO avec impact, adaptation de MEANS-InOut à prévoir)

3.2.3. Coupure post-stockage

3.2.3.1. Présentation de l'approche

La méthode Coupure post-stockage implique, comme son nom l'indique, que la frontière entre les cycles de vie se fasse après le premier stockage de la matière résiduaire mais avant tout processus de recyclage et de valorisation de la matière (Figure 8).

Point de vue de l'approche : Apporter une valeur positive à un déchet ou à un résidu.

Dans le cas des PRO, utiliser l'approche Coupure post-stockage c'est considérer, d'une certaine manière, que le stockage a lieu chez l'acteur qui a généré la matière résiduaire et que ce même acteur est donc responsable des émissions générées par ce stockage. Pour le reste de la filière, la prise en compte des impacts environnementaux est similaire à l'approche de Coupure fardeau Aval. Toute transformation de la matière résiduaire est considérée comme une activité de valorisation en PRO plutôt qu'une activité de traitement de déchets. Ainsi, toutes les activités amenant à la production de PRO sont de la responsabilité des acteurs de cette chaîne de valeur et du futur utilisateur du PRO.

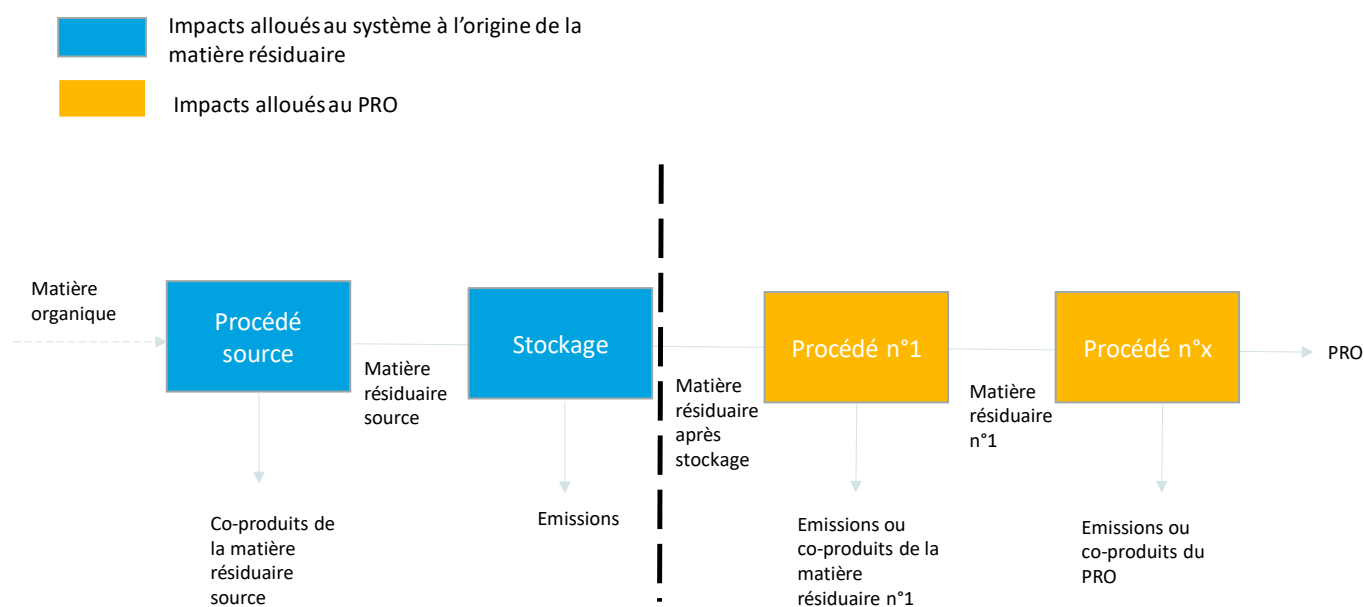


Figure 8 : Approche générale de la coupure post stockage

Exemple d'application :

Prenons l'exemple du compost produit en partie à base de lisier de bovin (Figure 9). Dans ce cas précis, toutes les émissions générées par le stockage du lisier seraient allouées au producteur du lisier, c'est-à-dire l'éleveur. La concentration de ce lisier, le transport du lisier au composteur et le compostage seraient alloués au PRO, donc au compost. Le lisier une fois stocké est alors considéré comme un résidu dont les impacts générés en aval (s'il est réutilisé) ne concernent plus l'éleveur, mais les utilisateurs de ce lisier.

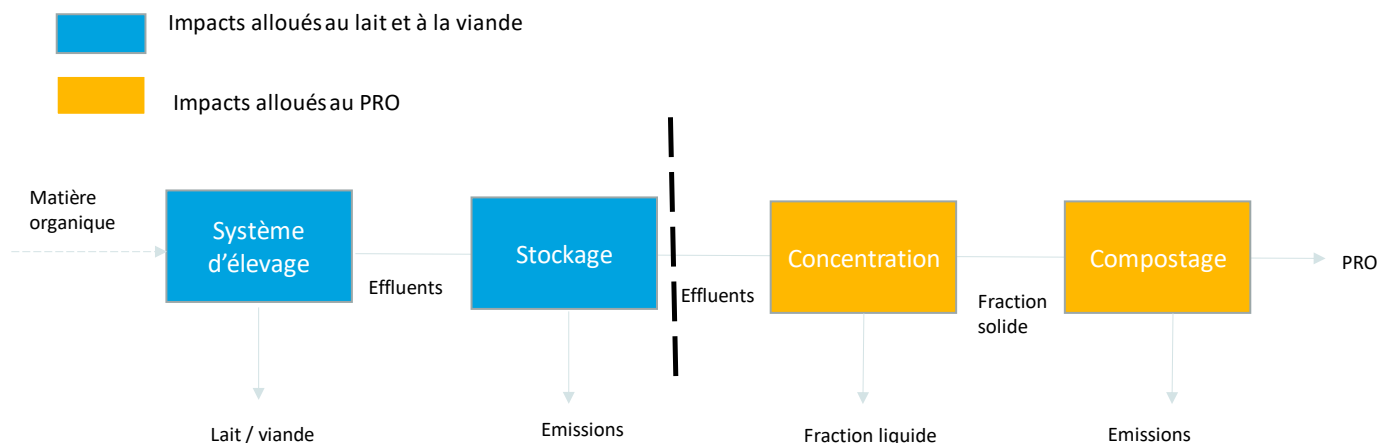


Figure 9 : Application de l'approche de coupure post-stockage au compost produit à partir de lisier de bovin

3.2.3.2. Degré d'adoption

Tableau 10 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche coupure post-stockage

Coupure post-stockage	Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche
Standards internationaux	Aucune recommandation
Littérature scientifique	Non utilisée
Bases de données ACV	Non utilisée

La Coupure post-stockage est un exemple de coupure dite intermédiaire (entre la Coupure fardeau Amont et la Coupure fardeau Aval) qui peut être utilisée dans les études ACV. Elle n'est pas en tant que telle présente dans les recommandations des standards internationaux. Le PEF, l'EPD et le LEAP recommandent toutefois que les émissions générées par la gestion des effluents d'élevage soient allouées aux productions de l'élevage. Aucune recommandation n'est donnée concernant la considération des impacts hors du périmètre de l'exploitation, pour un effluent d'élevage n'étant pas directement épandu.

L'approche de Coupure post-stockage n'est présente ni dans les bases de données, ni dans la littérature scientifique. Néanmoins, pour le cas spécifique des effluents d'élevage directement épandus, l'approche de Coupure post-stockage se retrouve dans des outils d'ACV filière comme GEEP⁴ ou CAP2ER⁵, où la gestion et le stockage des effluents d'élevage sont alloués aux productions animales, alors que le transport et l'acheminement des effluents sont alloués aux cultures utilisant ce lisier comme fertilisant. Ce type de répartition est conforme à une approche de coupure post-stockage.

⁴ <https://geep.ifip.asso.fr/>

⁵ <https://idele.fr/detail-article/cap2err>

3.2.3.3. Avantages et limites

C'est une méthode qui, appliquée aux chaînes de valeur de PRO courtes (effluents d'élevage directement épandu après stockage, résidus de culture mis au champ dans une exploitation environnante, etc.) se calque avec le Coupure fardeau Amont, mais qui est proche d'un Coupure fardeau Aval pour les chaînes de valeur faisant intervenir davantage de transformation de la matière résiduaire (digestat, compostage, engrais commerciaux, etc.). Elle possède donc les mêmes avantages et limites que ces méthodes en fonction des catégories de PRO considérées.

L'avantage de cette méthode par rapport à la Coupure fardeau Aval est l'introduction de la responsabilité des impacts générés par la gestion et le stockage des matières résiduaire par l'acteur qui les produit.

Précision et cohérence scientifique de l'approche :

La condition pour appliquer cette méthode est de considérer que l'ensemble des matières résiduaire dont sont issus les PRO, soient considérées en sortie de stockage comme des résidus. Les résidus n'ont pas besoin de traitement et peuvent être réutilisés par des acteurs qui peuvent les valoriser. Cette condition posée, il n'existe pas de restriction pour appliquer cette approche à toutes catégories de PRO.

La cohérence scientifique de l'approche est similaire à celle d'une Coupure fardeau Aval. Elle peut toutefois sembler plus pertinente pour certaines catégories de PRO comme les effluents d'élevage, en apportant une responsabilité aux producteurs de matières résiduaire, dans les émissions associées à leur gestion du stockage.

Variabilité dans le temps de l'approche : aucune

Facilité d'intégration dans Agribalyse : L'approche est simple à appliquer et facile à interpréter, tout comme les approches coupure fardeau amont ou coupure fardeau aval.

3.2.3.4. Bilan et notation

La méthode de coupure post stockage possède des avantages et inconvénients proches des Coupure fardeau Amont et Coupure fardeau Aval. L'approche est simple à appliquer et ne nécessiterait pas de modifier les périmètres d'attribution des impacts de l'élevage. Elle ne nécessite pas de données additionnelles et peut s'intégrer facilement à Agribalyse.

Cependant, cette approche n'est pas recommandée dans les standards internationaux et n'est pas utilisée dans les bases de données ACV. La notation de la méthode est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11 : Notation de l'approche Coupure post-stockage (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)

Coupure post stockage	Type d'approche	La matière résiduaire est considérée comme	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles et accessibilité	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Facilité d'intégration dans Agribalyse
Caractéristiques et notation	Attributionnelle	Un déchet	3 (Proche du Coupure fardeau Amont pour les chaînes courtes », proche du Coupure fardeau Aval pour les chaînes « longues », mais aucune mention dans les standards internationaux et la littérature	1 (Aucune)	3 (Non modulable si appliqué à tous les PRO, mais prend en compte le fait que le stockage est souvent géré par le producteur du déchet)	1 (Aucune)	1 (Modification simple des ICV Agribalyse)

L'approche n'a pas été retenue pour intégrer le processus de tests de la présente étude par les membres du GIS Revalim (voir 4.1).

3.2.4. Coupure économique

3.2.4.1. Présentation de l'approche

La méthode Coupure économique implique que la frontière entre les cycles de vie se fasse au niveau du processus transformant le déchet en produit (Figure 10).

Point de vue de l'approche : traiter un déchet ET apporter une valeur positive à un déchet ou à un résidu.

Dans le cas des PRO, utiliser l'approche Coupure économique, c'est considérer que certains processus de la chaîne de valeur sont dédiés au traitement de déchet, que certains sont dédiés à la valorisation par la production de PRO et enfin, que certains ont la double fonction. Cette approche va donc induire un partage des responsabilités des émissions entre les acteurs de la chaîne de valeur en fonction de la nature des flux qu'ils réceptionnent et qu'ils produisent (déchet, résidu ou produit).

Pour déterminer la nature des différents flux de la chaîne de valeur, l'approche s'appuie sur la valeur économique du flux :

- Si la valeur économique du flux est positive, alors le flux en question est un produit et les impacts des processus en aval doivent être alloués à la production de PRO ;
- Si la valeur économique du flux est nulle, alors le flux est un résidu. Les impacts des processus en aval doivent être alloués à la production de PRO et les impacts des processus en amont, au producteur de la matière résiduaire ;
- Si la valeur économique du flux est négative, alors le flux est un déchet et les impacts des processus en aval doivent être alloués à la production de PRO. Une valeur d'impact négative pour la matière résiduaire signifie que c'est le producteur de la matière résiduaire qui doit payer pour que son déchet soit traité.

En analysant les valeurs économiques de la chaîne de valeur, il est possible de déterminer quelle activité transforme le déchet en produit et redonne de la valeur aux différentes matières résiduaires.

Enfin, en connaissant la valeur économique générée par le traitement des déchets et par la production de matière à valeur ajoutée, il est possible d'allouer une partie des impacts de l'activité entre le producteur de la matière résiduaire et la production de PRO. C'est une manière de déterminer les impacts à allouer au traitement de déchets par rapport à ceux de la production de PRO.

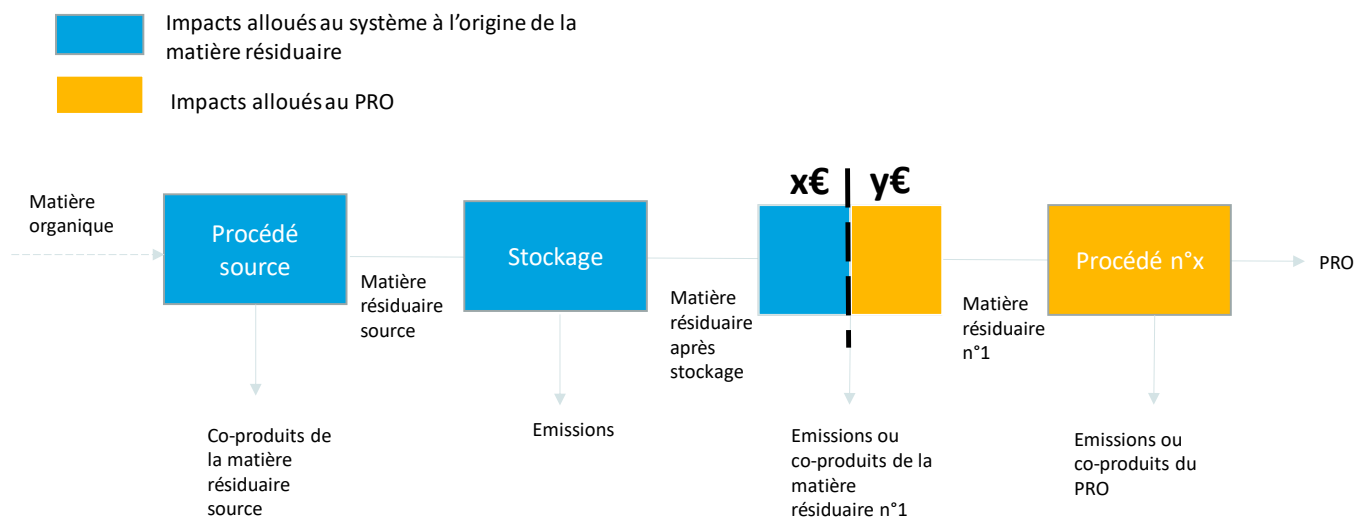


Figure 10 : Approche générale de la coupure économique

Exemple d'application :

Prenons l'exemple du digestat produit notamment à partir de boues d'épuration (Figure 11). Les boues sont générées par un industriel, qui possède différents procédés de concentration. Elles sont ensuite envoyées à un méthaniseur qui va produire à la fois du digestat et du biogaz. Le digestat est ensuite concentré avant d'être épandu au champ.

Partons également du postulat que l'industriel générant les boues séchées doit payer le gérant du méthaniseur pour traiter ces boues et que le digestat en sortie de méthaniseur a une valeur économique.

Dans ce cas précis, toutes les émissions générées par :

- La station d'épuration, par les processus de concentration des boues seraient alloués à l'industriel, car considérés comme du traitement de déchet ;
- La concentration du digestat serait allouée à la production de digestat ;

- Les impacts de la méthanisation seraient partagés entre l'industriel, l'utilisateur du PRO et l'utilisateur de biogaz en fonction des gains économiques générés par le traitement de boues séchées, la production de digestat et la production de biogaz.

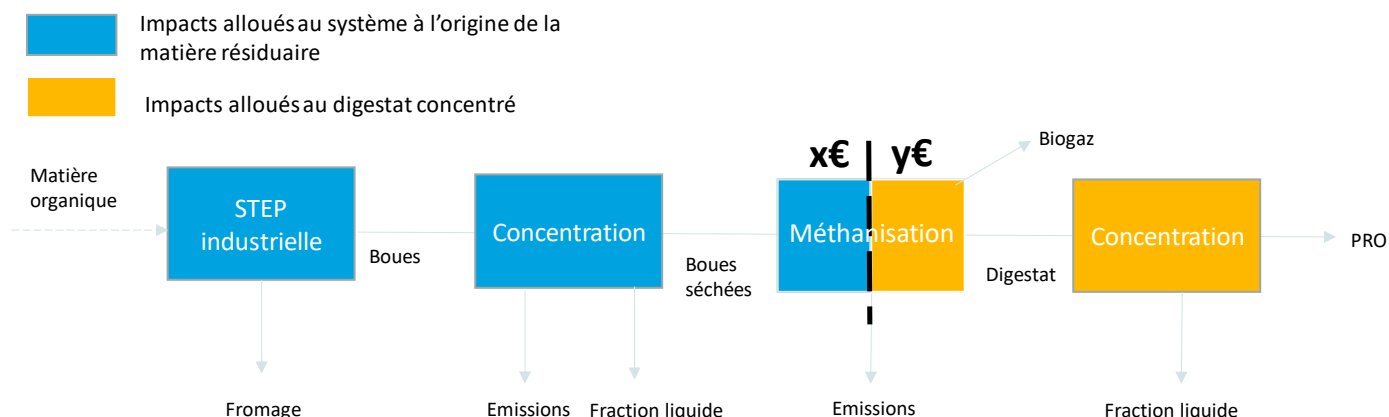


Figure 11 : Application de l'approche Coupure économique au digestat concentré

3.2.4.2. Degré d'adoption

Tableau 12 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche coupure économique

Coupure économique	Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche
Standards internationaux	Aucune recommandation
Littérature scientifique	Peu utilisée (récente)
Bases de données ACV	Non utilisée (récente)

La Coupure économique est un exemple de coupure dite intermédiaire (entre la Coupure fardeau Amont et la Coupure fardeau Aval) qui peut être utilisée dans les études ACV. Elle n'est pas en tant que telle présente dans les recommandations des standards internationaux pour les PRO car c'est une méthode employée assez récemment dans la littérature scientifique. Elle se retrouve toutefois dans le « Dutch handbook on LCA ». L'approche de Coupure économique n'est pas présente dans les bases de données pour les mêmes raisons.

L'approche a toutefois été testée pour le compost dans la publication « Conservation agriculture reduces climate change impact of a popcorn and wheat crop rotation (Guidoboni and al. 2023) ».

3.2.4.3. Avantages et limites

Précision et cohérence scientifique de l'approche :

L'approche de Coupure économique est une approche qui nécessite de connaître les valeurs économiques de certains flux pour être appliquée. La connaissance de ces valeurs économiques permet de déterminer quel flux est un déchet, un résidu et un produit, et quelle activité va transformer le déchet ou le résidu en produit, en lui donnant de la valeur. L'approche est donc beaucoup plus précise que les approches de coupure précédemment analysées car elle intègre une méthodologie pour statuer du rôle de chaque acteur dans la chaîne de valeur et rend la répartition des impacts plus juste.

Variabilité dans le temps de l'approche : Oui

Facilité d'intégration dans Agribalyse :

L'approche semble très cohérente du point de vue scientifique mais se heurte à des conditions d'application qui ne sont pas adaptées à tous les PRO.

Deux conditions d'application émergent au vu de cette étude :

- L'existence d'un acteur intermédiaire entre le producteur de la matière résiduaire et l'utilisateur du PRO, car il faut qu'un acteur soit rémunéré pour traiter les déchets ;
- La matière résiduaire doit être un déchet et donc avoir une valeur économique négative. Cela n'est pas toujours le cas pour les effluents d'élevage par exemple.

3.2.4.4. Bilan et notation

En conclusion, la méthode de Coupure économique semble intéressante pour modéliser des filières traitant à la fois des déchets et produisant des PRO. L'approche est plutôt simple à interpréter et propose une logique monétaire qui fait sens pour statuer de la valeur des différents flux et de la manière de les considérer dans l'allocation des impacts. L'approche est encore peu utilisée ou recommandée car testée assez récemment dans la littérature. Ses conditions d'application sont cependant assez restrictives et elle ne peut pas être appliquée à toutes les filières et à tous les PRO. Elle est dépendante de données économiques, qui peuvent évoluer rapidement dans le temps. Cela peut être vu comme une faiblesse, car la répartition des impacts peut rapidement être obsolète, mais également être vu comme une force, car les différentes mises à jour pourront prendre en compte le côté évolutif du marché. L'intégration dans Agribalyse n'est pas un souci du point de vue pratique mais nécessite plus de travail que les autres approches de coupure. La notation de la méthode est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13 : Notation de l'approche Coupure économique (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)

Coupure économique	Type d'approche	La matière résiduaire est considérée comme	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles et accessibilité	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Intégration dans Agribalyse
Caractéristiques et notation	Attributionnelle	Un déchet ou un résidu	3 (Approche non mentionnée dans la norme ISO14044, peu retrouvée dans la littérature)	2 (Volume déchet et Tarif payé par les producteurs du déchet + Volume et prix du PRO en sortie de traitement)	1 (Logique économique proposant une allocation entre producteur déchet et producteur PRO, ne fonctionne que si valeur économique négative pour le déchet)	2 (Prix de traitement des déchets et de vente des PRO fluctuants)	2 (Besoin d'intégrer des allocations pour l'ICV du processus qui redonne de la valeur à la matière organique)

3.2.5. Allocation économique

3.2.5.1. Présentation de l'approche

La méthode d'allocation économique implique que les matières résiduaires soient considérées comme des produits qui bénéficient d'une partie de l'impact des systèmes qui les ont générés en fonction de leur valeur économique (Figure 12).

Point de vue de l'approche : Apporter une valeur positive à un déchet ou à un résidu.

Dans le cas des PRO, l'utilisation de l'approche d'allocation économique sous-entend que l'ensemble des processus de la chaîne de valeur est considéré comme de la valorisation par la production de PRO. Avec cette approche, aucun flux n'est considéré comme un déchet.

Le PRO va donc cumuler les impacts de sa chaîne de valeur et une partie des impacts de la filière qui a généré les matières résiduaires dont est issu le PRO. Ces derniers impacts sont alloués en fonction de la valeur économique des co-productions, matière résiduaire incluse.

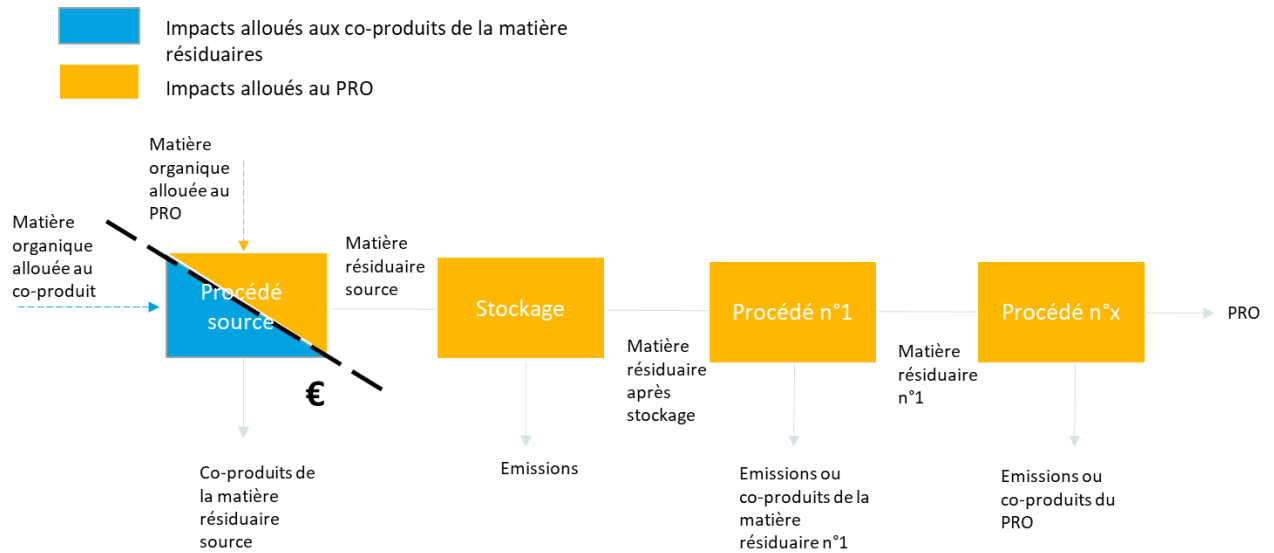


Figure 12 : Approche générale de l'allocation économique

Exemple d'application :

Prenons l'exemple du compost produit en partie à base de lisier de bovin (Figure 13). Dans ce cas précis, l'ensemble des émissions générées sur la chaîne de valeur sont attribuées au PRO, du stockage au compostage. De plus, le lisier étant considéré comme un produit avec une valeur économique, au même titre que le lait ou la viande, celui-ci va se voir attribuer une partie des impacts de l'activité d'élevage (émissions de méthane entérique, alimentation animale, séquestration carbone, déforestation, etc.). Cette allocation va donc faire diminuer les facteurs d'émission des autres co-produits de l'élevage qui vont céder une partie de leurs impacts au lisier.

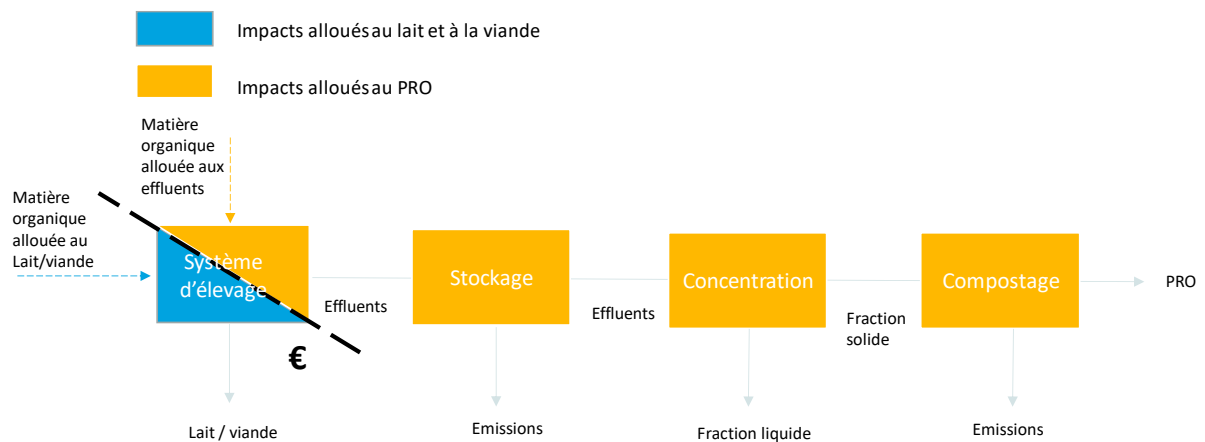


Figure 13 : Application de la méthode de l'allocation économique au compost issu en partie de fumier de bovin

3.2.5.2. Degré d'adoption

L'allocation économique est une des méthodes de gestion de la multifonctionnalité des processus cités dans la norme ISO 14044 ^{Erreur ! Signet non défini.} : « Lorsque l'allocation est inévitable et la relation physique seule ne peut pas être établie ou utilisée comme base de l'allocation, il convient que les intrants soient alloués entre les produits et les fonctions d'une manière qui reflète d'autres relations mutuelles, par exemple, la valeur économique des produits ».

Tableau 14 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche allocation économique

Coupage fardeau amont

Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche

Standards internationaux	PEF, LEAP : recommandation pour les effluents d'élevage (si €>0) LEAP : recommandation pour les résidus
Littérature scientifique	Approche couramment utilisée mais assez peu pour les PRO
Bases de données ACV	Approche couramment utilisée mais pas pour les PRO

L'allocation économique est recommandée dans le PEF et la méthode LEAP pour les effluents d'élevage lorsque ces derniers ont une valeur économique et sont donc bien considérés comme des coproduits.

L'approche est évidemment utilisée dans les publications scientifiques en ACV, mais peu représentée pour les PRO. Le monde de la recherche privilégie des modes gestion de la multifonctionnalité mieux hiérarchisés par la norme ISO 14044, comme l'approche par « extension du système » (Score LCA, Guitton et Benetto, 2013). L'approche par allocation économique est en effet l'une des approches à utiliser en dernier recours selon cette même norme.

3.2.5.3. Avantages et limites

Précision et cohérence scientifique de l'approche :

Pour peu que les matières résiduaire soient considérées comme des produits ou des résidus, l'allocation économique permet de leur allouer une certaine part d'impact par rapport aux coproduits des matières résiduaire. L'approche ne peut pas s'appliquer sur des matières résiduaire considérées comme des déchets. Cette approche est donc **utilisable dans certains cas spécifiques** et notamment lorsque aucune autre approche de gestion de la multifonctionnalité est pertinente.

Variabilité dans le temps de l'approche : Oui

L'approche d'allocation économique est une approche qui nécessite de connaître les valeurs économiques des matières résiduaire et de ses coproduits, dont la répartition des impacts dépend largement. L'approche est donc dépendante de données potentiellement variables dans le temps. L'approche est structurellement d'avantage dépendante des données économiques que la Coupure économique, car leur impact sur la répartition des impacts entre produits est plus conséquent. L'usage de cette méthode bouleverserait davantage les facteurs d'émissions des PRO, mais également ceux des coproduits associés (productions agricoles, animales, production industriels).

Facilité d'intégration dans Agribalyse :

L'application dans Agribalyse de l'approche n'est donc pas aussi simple que les approches par coupure. Il pourrait y avoir une co-existence d'approche d'allocation au sein des systèmes d'élevage :

- une allocation biophysique (comme c'est le cas actuellement dans Agribalyse) au sein des produits animaux
- une allocation économique qui serait ajoutée et qui permettrait d'allouer les impacts entre les produits animaux (viande, lait) et les effluents sur la base de leur valeur économique.

3.2.5.4. Bilan et notation

L'allocation économique est une approche « par défaut » pour répartir les impacts environnementaux d'une activité entre plusieurs coproduits. Elle est principalement utilisée pour allouer les impacts entre des produits de fonctions et de natures très différentes. C'est pourquoi elle reste une approche utilisée régulièrement en ACV, et dans les bases de données pour de nombreux produits.

Cependant, son utilisation pour les PRO nécessite de considérer les matières résiduaire comme des produits ou des résidus ne nécessitant aucun traitement, ce qui semble difficile à appliquer pour certaines filières (traitement des eaux usées pour la production de boues par exemple). Lorsque cette condition est remplie, le LEAP et le PEF recommandent son utilisation. La notation de la méthode est présentée dans le tableau ci-dessous

Tableau 15 : Notation de l'approche allocation économique (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)

Allocation économique	Type d'approche	La matière résiduaire est considérée comme	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles et accessibilité	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Intégration dans Agribalyse
Caractéristiques et notation	Attributionnelle	Un coproduit	1 (Approche très utilisée pour gérer la multifonctionnalité de productions agricoles à fonction et valeurs économiques très différentes)	2 (Volume et Prix de la matière résiduaire ainsi que ceux de ses coproduits)	4 (Logique économique, si le prix de la matière résiduaire est nul, ne règle pas l'allocation entre le producteur du déchet et le producteur du PRO)	2 (Prix des PRO et de ses coproduits fluctuants)	3 (Besoin d'intégrer des allocations économiques entre les produits animaux et les effluents)

3.2.6. Allocation matière sèche

3.2.6.1. Présentation de l'approche

La méthode d'allocation matière sèche implique que les matières résiduaire soient considérées comme des produits qui bénéficient d'une partie de l'impact des systèmes qui les ont générés en fonction de leur masse sèche (Figure 14).

L'approche est en tout point similaire à l'allocation économique (voir 3.2.5), hormis que la répartition des impacts entre coproduits se fait par rapport au contenu en matière sèche de chaque produit.

Point de vue de l'approche : Apporter une valeur positive à un déchet ou à un résidu.

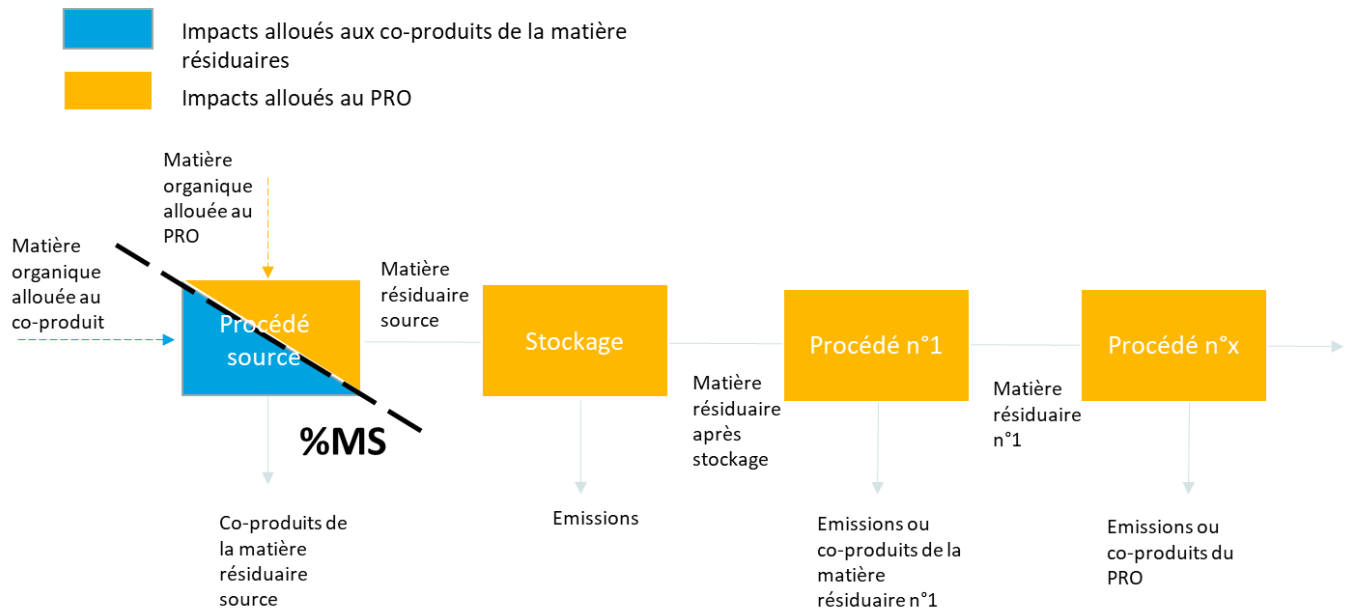


Figure 14 : Approche générale de l'allocation matière sèche

Exemple d'application :

Un exemple d'application de l'allocation matière sèche est présenté dans le cas du compost de fumier de bovin dans la Figure 15 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

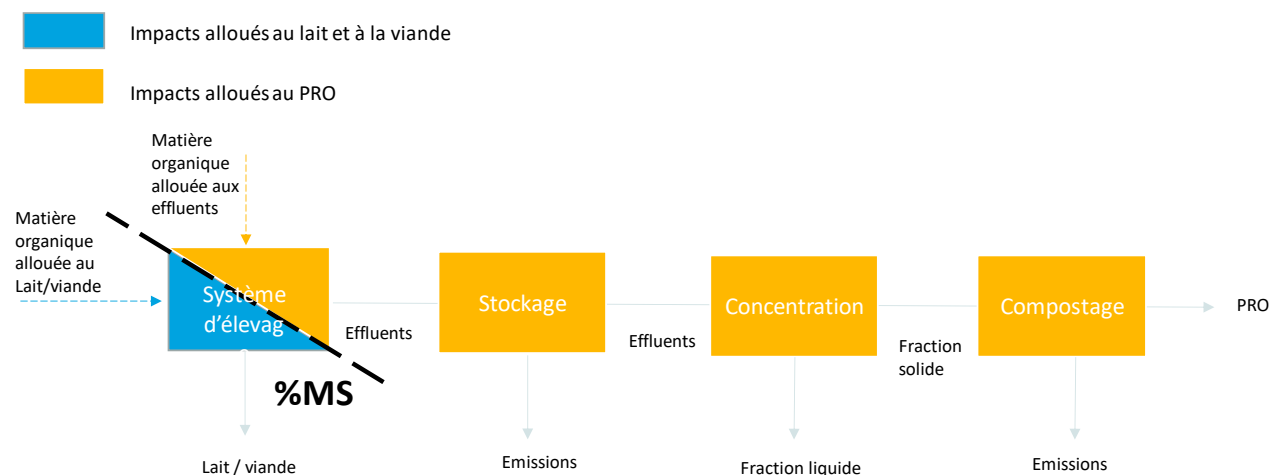


Figure 15 : Application de la méthode de l'allocation matière sèche au compost issu en partie de fumier de bovin

3.2.6.2. Degré d'adoption

L'allocation matière sèche est un dérivé de l'allocation massique qui est une des méthodes de gestion de la multifonctionnalité des processus cités dans la norme ISO 1044 **Erreur ! Signet non défini.** : « Lorsque l'allocation est inévitable, il convient que les intrants et les extrants du système soient répartis entre ses différents produits ou fonctions d'une manière qui reflète les relations physiques sous-jacentes existant entre eux ».

Tableau 16 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche allocation matière sèche

Allocation matière sèche	Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche
Standards internationaux	Aucune recommandation
Littérature scientifique	Peu utilisée
Bases de données ACV	Non utilisée

Elle n'est actuellement pas recommandée, pas présente dans les bases de données, et peu utilisée dans la littérature pour les ACV de PRO. C'est une approche qui est toutefois utilisée dans certains secteurs, et recommandée par le PEF pour le secteur laitier, qui gère beaucoup de produits avec des niveaux de teneur en matière sèche très différents (lait, beurre, fromage, sérum).

3.2.6.3. Avantages et limites

Précision et cohérence scientifique de l'approche :

Pour peu que les matières résiduelles soient considérées comme des produits ou des résidus, l'allocation matière sèche permet de leur allouer une certaine part d'impact par rapport aux coproduits des matières résiduelles. L'approche ne peut pas s'appliquer sur des matières résiduelles considérées comme des déchets. Cette approche est donc utilisable dans certains cas spécifiques et notamment lorsque aucune autre approche de gestion de la multifonctionnalité n'est pertinente.

Facilité d'intégration dans Agribalyse :

L'approche d'allocation économique est une approche qui nécessite de connaître les teneurs en matière sèche des matières résiduelles et de ses coproduits, et dont la répartition des impacts dépend largement. L'usage de cette méthode bouleverserait considérablement plus que l'allocation économique, non seulement les facteurs d'émissions des PRO mais également ceux des coproduits associés (productions agricoles, animales, production industriels).

L'approche est tout aussi complexe à appliquer que l'approche économique, car elle nécessiterait de collecter les teneurs en matière sèche de nombreuses productions agricoles et animales, bien que ces données soient moins fluctuantes dans le temps que les données économiques. Elle nécessiterait également une revue complète des approches méthodologiques d'allocation de la base de données Agribalyse.

Les fonctions et la nature des co-productions agricoles sont très différentes (alimentation humaine, fertilisation, alimentation animale, énergie, biomatériaux), il est donc très discutable du point de vue scientifique d'établir une allocation basée uniquement sur les relations physiques comme le privilégie la norme ISO 14044. C'est pourquoi cette approche semble difficilement applicable pour les PRO.

3.2.6.4. Bilan et notation

L'allocation matière sèche est une approche basée sur les relations physiques pour répartir les impacts environnementaux d'une activité entre plusieurs coproduits. Elle est privilégiée par rapport à l'allocation économique selon la norme ISO 14044 mais uniquement lorsque l'allocation n'est pas évitable et que les coproduits générés par l'activité ont des fonctions et une nature proche. Cela n'est probablement jamais le cas pour les activités qui génèrent les matières résiduelles, matières constitutives des PRO. Cela fait de l'allocation matière sèche une approche qui n'a pas beaucoup de sens pour la prise en compte des impacts environnementaux des PRO. L'approche n'a pas été retenue pour ces raisons dans la grille de test effectuée au sein de cette étude (4.1). La notation de la méthode est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17 : Notation de l'approche allocation matière sèche (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)

Allocation MS	Type d'approche	La matière résiduelle est considérée comme	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles et accessibilité	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Intégration dans Agribalyse
Caractéristiques et notation	Attributionnelle	Un coproduit	2 (Utilisé par certains secteurs dans le cadre du PEF, moins utilisé que l'allocation économique)	2 (Volume et Taux de MS de la matière résiduelle ainsi que ceux de ses coproduits)	4 (Logique purement physique, aucune matière résiduelle n'est un déchet, impact conséquent alloué aux PRO)	1 (Taux de MS de la matière résiduelle assez stable)	4 (Nécessite de modifier toutes les allocations existantes, entre culture/résidus de culture et effluents d'élevage/produits animaux)

3.2.7. Circular footprint formula

3.2.7.1. Présentation de l'approche

La méthodologie actuelle du PEF comprend une approche pour modéliser le recyclage des matériaux ainsi que la valorisation énergétique en fin de cycle de vie du produit⁶ (Figure 16). Cette approche est appelée la Circular Footprint Formula (CFF) et prend en compte la part de matière recyclée (R1), le ratio de recyclage des matériaux en fin de cycle de vie (R2), les impacts des chaînes de traitement/valorisation du matériaux recyclée (Ev) et de celle de sa fin de vie (Ev*), la qualité du matériau recyclé en entrée et en sortie du cycle de vie (QSin et Qsout, respectivement), et l'équilibre entre l'offre et la demande de matériaux recyclés (A). De ce fait, la CFF est assez complexe. Les charges environnementales liées à la production de matières vierges, au recyclage et à l'élimination des déchets pour un produit sont alors calculées avec une formule intégrant 19 paramètres.

La CFF rend compte de l'équilibre entre l'offre et la demande de matière recyclée à travers le facteur A dépendant du matériau, qui vise à refléter les réalités du marché. Ce facteur donne un poids différent à R1 et R2 dans l'équation, c'est-à-dire à l'utilisation de matériaux recyclés et à la quantité de matière recyclée apportée par le précédent cycle de vie.

En considérant la matière organique comme n'importe quel matériau recyclable d'un cycle de vie à un autre, il est théoriquement possible d'appliquer la CFF aux filières des PRO. Les filières de traitement et de valorisation des matières résiduelles peuvent être définies comme des processus de recyclage de matière organique, de carbone, d'azote et d'autres

⁶ EC 2018, pp.110-130 ; Zampori & Pant 2019, pp.65-75

nutriments pour les sols et les plantes. Le PRO est alors l'équivalent d'un matériau recyclé prêt à être de nouveau utilisé, pour intégrer une logique d'économie circulaire. Les engrais minéraux issus de ressources fossiles, donc non issus de l'économie circulaire, sont l'équivalent des matériaux vierges considérés dans l'équation en Figure 16.

L'approche telle quelle semble très complexe à appliquer pour le secteur de la fertilisation et notamment dans une base de données telle qu'Agribalyse car :

- La notion de qualité entre les matières résiduelles, les PRO et les engrais minéraux issus de ressources fossiles n'est pas facile à caractériser ;
- Il est nécessaire de connaître la fin de vie de la matière organique des cultures qui utiliserait des PRO, ce qui va bien au-delà du périmètre d'étude des impacts des PRO ;
- L'approche est plus adaptée pour une étude ACV spécifique.

3.2.7.2. Proposition d'une approche simplifiée CFF simplifiée

Hypothèses de simplification envisagées pour cette étude :

Néanmoins, sous certaines hypothèses de travail, il est possible de simplifier l'équation de la CFF et de l'appliquer aux PRO. Il faut ainsi considérer que :

- **La notion de qualité ne s'applique pas bien à de la matière organique**, d'autant que celle-ci se recycle à l'infini. Il n'y a en effet pas de perte de qualité au fil des réutilisations comme le subit le plastique. Les paramètres Q_{sin} , Q_{sout} et Q_p prennent alors une valeur identique de 1 par défaut ;
- **La matière organique reste dans un système de boucle fermée**. On considère que la matière résiduelle source n'est jamais utilisée dans d'autres secteurs que la production de PRO à viser de substitution d'engrais minéraux issus de ressources fossiles. Ainsi $E_v = E_v^*$;
- **R1=R2**. Ces facteurs de taux de recyclage et de taux de matériau recyclé ne peuvent avoir des valeurs différentes que pour une utilisation de l'équation pour une ACV spécifique. Dans un ICV de PRO, il est considéré que 100% de la matière organique intègre un processus de recyclage et que 100% du PRO sera réutilisé.

L'équation devient ainsi, filière vierge mise à part :

$$CFF = A * E_{recycled} + (1-A) * E_{recEoL}$$

Où A: allocation factor of burdens and credits between supplier and user of recycled materials.

Erecycled (Erec): specific emissions and resources consumed (per functional unit) arising from the recycling process of the recycled (reused) material, including collection, sorting and transportation process.

ErecyclingEoL (ErecEoL): specific emissions and resources consumed (per functional unit) arising from the recycling process at EoL, including collection, sorting and transportation process.

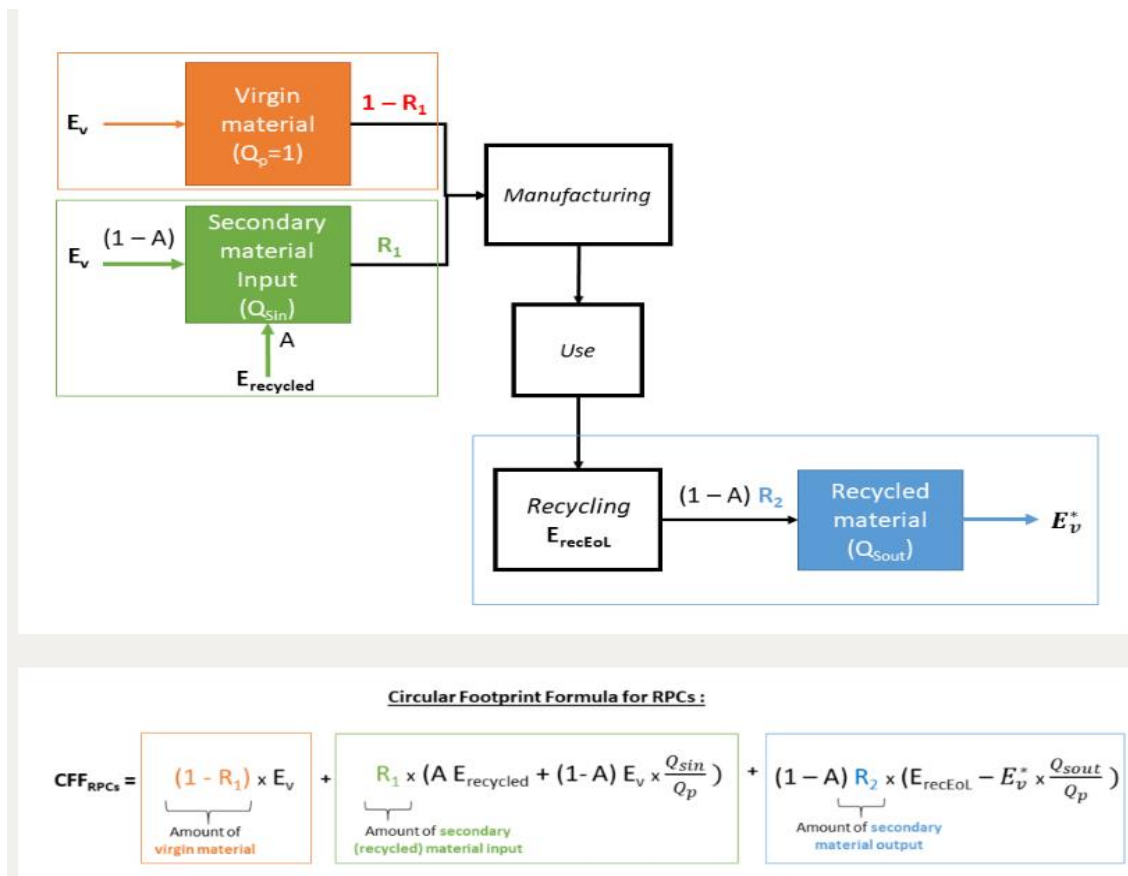


Figure 16 : Approche générale de la Circular Footprint Formula (Source : Thinkstep, Maki Consulting GmbH, SGS – Webinaire : Circular Footprint formula, Environmental footprint (EF) transition phase)

Cette simplification de l'équation montre que la répartition de l'impact entre la matière recyclée (les PRO) et la fin de vie (le producteur de matière résiduaire) ne se fait plus qu'avec le facteur A, qui traduit le différentiel d'offre et de demande entre matériaux recyclés (PRO) et matériaux vierges (engrais minéraux issus de ressources fossiles) (Figure 17).

L'approche de CFF simplifiée n'est applicable qu'en considérant la matière résiduaire comme un déchet.

Un facteur $A = 1$ correspond à une situation où l'offre est très inférieure à la demande, c'est-à-dire que le PRO a beaucoup de valeur sur le marché. Les impacts environnementaux associés seront alors identiques à ceux de l'approche Coupure fardeau Aval.

Un facteur $A = 0$ correspond à une situation où l'offre est très supérieure à la demande, c'est-à-dire que le PRO a aucune valeur sur le marché. Les impacts environnementaux associés seront alors identiques à ceux de l'approche Coupure fardeau Amont.

L'idée derrière cette approche est :

- D'abaisser la part de l'impact allouée aux producteurs de matières résiduaire et ainsi favoriser le recyclage de matière résiduaire, pour les PRO étant très demandés ;
- D'abaisser la part de l'impact allouée au PRO et ainsi favoriser leur achat, pour les PRO peu demandés.

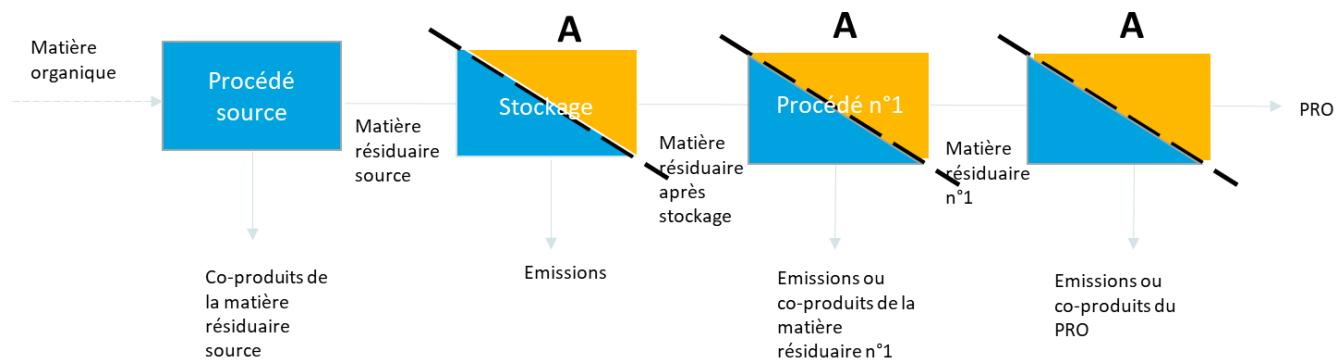


Figure 17 : Approche générale de la Circular Footprint Formula après simplification

Finale­ment, la CFF simplifiée correspond à une approche intermédiaire entre Coupure fardeau Aval et Coupure fardeau Amont où l'ensemble des impacts des procédés de traitement/valorisation sont répartis entre producteur de la matière résiduaire et utilisateur du PRO, en fonction de la tension sur le marché du PRO.

3.2.7.3. Degré d'adoption de l'approche originale vs simplifiée

Tableau 18 Synthèse sur le degré d'adoption des approches CFF originale et simplifiée

CFF	Degré d'adoption de l'approche originale	Degré d'adoption de l'approche simplifiée
Standards internationaux	PEF : recommandation	Aucune recommandation
Littérature scientifique	Non utilisée pour les PRO	Non utilisée
Bases de données ACV	Non utilisée pour les PRO	Non utilisée

La CFF a été produit par le JRC (Joint Research Center) dans le cadre du PEF. L'approche est donc reconnue au niveau européen. Elle n'est pas présente actuellement en tant que telle dans les bases de données ACV, ni même dans EF (la base de données européenne développée dans le cadre du PEF), c'est au producteur de l'étude ACV d'appliquer par lui-même la CFF en utilisant son équation. Néanmoins, l'approche sera intégrée dans Agribalyse 3.2 pour les matériaux d'emballage suite au projet Pack_AGB⁷.

Alors que la CFF est couramment appliquée à certains matériaux, aucune étude portant sur l'application de la CFF aux matières organiques n'a pu être consultée.

3.2.7.4. Avantages et limites

Précision et cohérence scientifique de l'approche CFF originale :

La CFF est une approche complexe à appliquer. L'approche prend en compte la tension sur le marché et les évolutions de valeur économique du matériau recyclée par rapport au matériau vierge, la perte de qualité du matériau au fil des cycles de réutilisation, et l'impact d'un recyclage en boucle fermée (réutilisation du matériau dans le même secteur) ou en boucle ouverte (réutilisation dans un autre secteur).

⁷ <https://www.ctcpa.org/2023/10/12/performances-environnementales-emballages-alimentaires-projet-pack-agb/>

Facilité d'intégration de l'approche CFF originale dans Agribalyse :

L'application telle quelle de la méthode au sein d'une base de données ACV généraliste nécessite de fournir des données par défaut pour l'ensemble de ces paramètres pour l'ensemble des PRO, ce qui peut poser des difficultés à l'utilisateur de la base de données qui souhaiterait spécifier certaines données pour l'appliquer à son cas d'étude.

Facilité d'intégration de l'approche CFF simplifiée dans Agribalyse :

L'un des compromis possibles est de retenir la tension sur le marché comme le seul paramètre permettant de répartir les impacts de la chaîne de valeur des PRO entre producteur de la matière résiduaire et utilisateur du PRO. Après simplification de la méthode sous certaines conditions et hypothèses mentionnées en 3.2.7.1, l'approche devient très simple à appliquer, et est modulable en fonction de la tension sur le marché du PRO considéré.

L'approche s'applique uniquement aux PRO dont la matière résiduaire est considérée comme un résidu ou un déchet. C'est une approche intermédiaire aux Coupures fardeau Amont et Aval, mais qui reste moins précise qu'un Coupure économique car le partage des impacts se fait sur l'ensemble de la filière et non spécifiquement au niveau de l'activité transformant le déchet en produit. Mais c'est ce point précis qui la rend d'autant plus simple à appliquer.

L'approche est donc entièrement dépendante du facteur de tension sur le marché A, qui s'établit entre 0,2 et 0,8 dans la méthode PEF. Elle nécessite de définir une valeur de tension sur le marché par PRO, voire peut-être par matière résiduaire, qui pourrait être amenée à évoluer dans le temps. A terme, l'application de cette méthode pourrait prendre facilement en compte des différences de tension sur le marché du point de vue géographique, si la base de données Agribalyse se dirige vers une régionalisation de ses ICV de PRO.

Précision et cohérence scientifique de l'approche CFF simplifiée :

La limite de l'approche simplifiée est qu'il faut trois conditions pour réduire le nombre de paramètres à gérer et simplifier l'équation. Ces conditions, posées sous forme d'hypothèse, peuvent être discutables scientifiquement, car il est par exemple tout à fait possible que la matière organique amenée par un PRO au niveau d'une culture ne soit pas réutilisée dans sa fin de vie pour devenir de nouveau un PRO (bois d'ameublement, énergie, incinération, enfouissement, etc.).

3.2.7.5. Bilan et notation de l'approche CFF simplifiée

En conclusion, la CFF, une fois simplifiée, est une approche simple à appliquer, nécessitant quelques données additionnelles pour établir un rapport entre offre et demande entre PRO et engrais minéral issu de ressources fossiles. Le facteur A dont dépend l'approche peut évoluer rapidement dans le temps en fonction des cours des marchés, et semble plus intéressant à appliquer du point de vue régional.

L'approche est reconnue au niveau européen, et précise sous réserve de quelques hypothèses de simplification à adopter pour le cas des PRO. La notation de la méthode est présentée Tableau 19.

Tableau 19 : Notation de l'approche circular footprint formula simplifiée (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)

Circular Footprint formula simplifiée	Type d'approche	La matière résiduaire est considérée comme	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles et accessibilité	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Application dans Agribalyse
Caractéristiques et notation	Attributionnelle	Un résidu ou un déchet	2 (Similaire à la CFF avec quelques hypothèses en plus)	3 (Choix du produit de substitution, Coût du produit de substitution, Coût du PRO)	2 (Même chose que pour la CFF mais avec des hypothèses simplificatrices)	3 (Prix des PRO fluctuants, Prix des engrais minéraux très variables en fonction d'enjeux géopolitiques et de ressources)	1 (Appliquer un simple facteur aux ICV de PRO)

3.2.8. Approches par substitution

3.2.8.1. Présentation de l'approche

L'approche par substitution est une approche conséquentielle utilisée en ACV pour évaluer les conséquences d'un changement, et donc les impacts directs et indirects d'une évolution du système étudié.

L'approche par substitution va évaluer l'impact de la valorisation de matière résiduaire en PRO en substitution à une pratique de gestion des déchets organiques et de fertilisation considérée comme initiale (Figure 18).

Utiliser cette approche c'est considérer que produire un PRO va permettre d'éviter soit :

- De traiter les matières résiduaire de manière non-circulaire (enfouissement, incinération) en amont ;
- D'utiliser une fertilisation minérale au niveau de l'exploitation agricole en aval.

La logique est différente de l'ensemble des autres approches étudiées qui sont des approches attributionnelles qui allouent les impacts entre acteurs de la chaîne de valeur dans un périmètre dédié aux PRO. Dans l'approche par substitution, le périmètre d'étude est étendu à d'autres chaînes de valeur (traitements alternatifs, fertilisation minérale) pour pouvoir évaluer les impacts évités par la production de PRO.

Prenons l'exemple de l'engrais commercial organique produit à partir de sous-produits animaux et de sels (Figure 18). Dans le cas d'une substitution amont, l'ensemble des émissions générées de la chaîne de valeur sont attribuées au PRO, du stockage à la formulation. Cependant la formulation d'engrais commercial organique permet le recyclage d'une certaine quantité de matière résiduaire et donc d'éviter à cette même quantité d'être incinérée par exemple. Ainsi les impacts générés par l'incinération de sous-produits animaux vont être substitués et donc évités. En d'autres termes, ces impacts sont soustraits à ceux générés par la filière de valorisation en PRO.

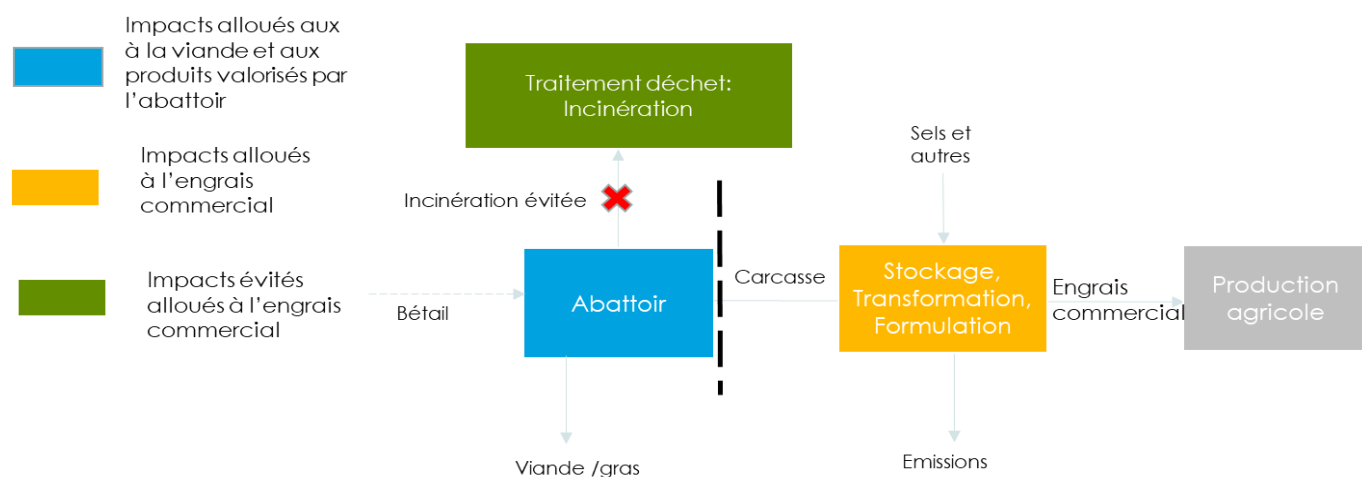


Figure 18 : Application de la méthode de substitution amont à un engrais commercial produit à partir de sous-produits animaux

Avec le même exemple, il est possible de renverser la perspective et de considérer que la production d'engrais commercial organique permet à l'exploitant agricole d'éviter d'utiliser une certaine quantité de fertilisant minéral, et donc d'éviter la production de cette même quantité (Figure 19). Ainsi, les impacts générés par la production d'engrais minéral issu de ressources fossiles vont être substitués et donc évités. En d'autres termes, ces impacts sont soustraits à ceux générés par la filière de valorisation en PRO.

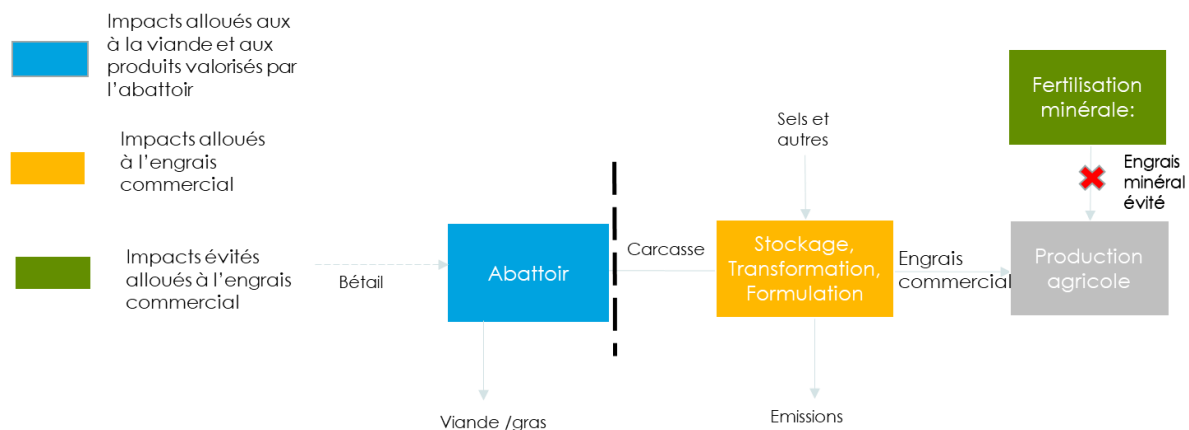


Figure 19 : Application de la méthode de substitution aval à un engrais commercial produit à partir de sous-produits animaux

3.2.8.2. Degré d'adoption

Tableau 20 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche par substitution

Approche par substitution	Degré d'adoption de l'approche originale
Standards internationaux	Aucune recommandation
Littérature scientifique	Utilisée pour évaluer les conséquences de la valorisation de certaines matières résiduelles en agriculture
Bases de données ACV	Non utilisée sauf pour la version APOS d'ecoinvent

L'approche par substitution n'est pas particulièrement recommandée par la FAO, le LEAP et le PEF. Ces instances vont plutôt privilégier des approches attributionnelles. L'approche est toutefois davantage présente dans la littérature scientifique notamment pour les études souhaitant évaluer les conséquences de la valorisation de certaines matières résiduelles en agriculture (Wiloso and al. 2015).

Les bases de données ACV ont en général des approches attributionnelles, mais il est possible avec ecoinvent d'utiliser une base de données dédiée aux approches conséquentielles et de substitution. Il est d'ailleurs prévu dans certains ICV de la base de données ecoinvent des scénarios de substitution que l'utilisateur peut appliquer, par exemple pour le recyclage de certains matériaux.

3.2.8.3. Avantages et limites

Précision et cohérence scientifique de l'approche par substitution :

La substitution est une approche qui va prendre en compte les impacts environnementaux évités par la valorisation de matière résiduelle en PRO par rapport à une situation initiale donnée (sans valorisation).

L'approche va évaluer les conséquences négatives et positives sur l'environnement de la valorisation des différentes matières résiduelles en PRO. C'est donc une approche complémentaire aux approches attributionnelles précédemment présentées, dont le rôle n'est pas d'attribuer les impacts environnementaux de la filière des PRO entre acteurs. Cette approche a donc l'avantage d'aller au-delà du périmètre de la production PRO, et d'évaluer les impacts environnementaux globaux pour la société d'une filière issue de l'économie circulaire (recyclage de matière résiduelle + production de PRO) par rapport à une filière issue de l'économie linéaire (production d'engrais minéraux issus de ressources non-renouvelables + production de déchets organiques non valorisés). L'approche par substitution est donc tout à fait pertinente du point de vue scientifique.

L'approche nécessite de répondre à ces questions :

- Quelle aurait été le devenir de la matière résiduelle, si la filière de production de PRO n'existait pas ?

- Quelle fertilisation et/ou amendement les utilisateurs du PRO auraient-ils utilisé si le PRO n'était pas disponible sur le marché ?

Répondre à ces questions permet de trancher sur un scénario de substitution. Celui-ci va structurer le calcul des impacts environnementaux du PRO considéré. Or, il est très compliqué de pouvoir statuer d'un scénario de substitution par défaut généralisable en France pour chaque type de PRO. C'est pourquoi ce type d'approche se retrouve davantage dans des études dédiées à des cultures particulières dans des contextes particuliers que dans des bases de données ACV. Intégrer ce type d'approche dans une base de données, c'est réaliser une approximation conséquente sur les scénarios de substitution, et donc augmenter l'incertitude des facteurs d'émissions des PRO.

Facilité d'intégration dans Agribalyse :

L'intégration de cette approche nécessiterait de revoir l'ensemble de la base de données Agribalyse pour la mettre en cohérence, voir proposer une version conséquente de la base telle que le fait la base de données ecoinvent avec sa version APOS. Agribalyse n'a pour l'instant pas cette volonté.

Cette approche demande donc un travail très conséquent de collecte de données pour établir des scénarios de substitution robustes et un consensus des différents acteurs sur ces scénarios, ce qui paraît plus compliqué que pour les autres approches.

Enfin l'approche par substitution est plus difficile à interpréter que les approches attributionnelles étudiées, car elle peut par exemple faire advenir des impacts environnementaux négatifs pour certains PRO.

3.2.8.4. Bilan et notation

En conclusion, l'approche par substitution apporte des informations complémentaires aux approches attributionnelles, elle prend en compte les conséquences de la production de PRO dans sa globalité, intégrant les impacts évités que ces filières génèrent sur un périmètre plus étendu. C'est une approche nécessitant des données additionnelles mais surtout le cadrage de scénario de substitution dont le consensus est difficile à adopter pour une base de données nationale. L'approche est utilisée en ACV et notamment dans la littérature scientifique mais absente des recommandations pour la prise en compte des impacts des PRO et non utilisée dans les bases de données. La notation de la méthode est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21 : Notation de l'approche par substitution (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)

Substitution	Type d'approche	La matière résiduaire est considérée comme	Degré d'adoption	Besoin de données additionnelles et accessibilité	Précision et cohérence de l'approche	Variabilité dans le temps	Intégration dans Agribalyse
Caractéristiques et notation	Conséquentielle	Un résidu ou un déchet	2 (Utilisé dans la littérature. Très peu utilisé dans les Bases de données)	3 Choix du produit ou du scénario de traitement de substitution, caractéristiques agronomiques, impacts indirects potentielles)	1 (Approche conséquente, prend en compte la logique de substitution sur le marché)	2 (Les scénarios de substitution pour la gestion des déchets et les engrais minéraux peuvent évoluer dans le temps)	3 (Pas difficile à intégrer aux ICV existants, mais besoin de modéliser des ICV de substitution complexe)

4. Tests des approches sur les inventaires de PRO

4.1. Méthodologie

L'analyse critique permet d'identifier les approches les plus pertinentes du point de vue théorique, sans pour autant comprendre les implications directes en termes d'évolution des impacts environnementaux des différentes catégories de PRO. C'est pourquoi les approches ont été testées directement dans la base de données Agribalyse 3.1.1 sur 8 ICV couvrant l'ensemble des catégories de PRO :

- Lisier de porc
- Fumier de volaille
- Lisier de bovin concentré
- Engrais industriel
- Digestat
- Compost de déchets verts
- Mix de boues plus ou moins concentré
- Engrais industriel.

Les membres du GT PRO du GIS Revalim ont été sollicités pour sélectionner les approches retenues pour les tests de faisabilité.

Approches exclues pour les tests de sensibilité :

La coupure post-stockage : cette approche est très similaire à l'approche coupure fardeau amont puisque les impacts sont attribués à la filière génératrice de la matière résiduaire. Elle a donc été exclue des tests car peu d'intérêt calculatoire.

L'allocation matière sèche : cette approche a été jugée peu appropriée aux différentes matières résiduaires pour faire l'objet d'un test spécifique, en effet l'allocation matière sèche pour certaines filières telles que l'élevage semble très questionnable. (voir 3.2.6)

Approches non applicables pour les tests de sensibilité :

Certaines approches n'ont pas pu être testées sur l'ensemble des ICV de PRO.

L'approche de coupure économique ne semble pas applicable à la majorité des ICV (voir les conditions d'applicabilité en 3.2.4.3).

L'allocation économique n'a également pas pu être testée sur l'ICV « Organic fertiliser, 7-6-8, granulate, packaged {RER} U » car reposant sur des sous-produits animaux comme la laine, dont les données économiques et de production ont manqué.

Les tests des approches ont été réalisés avec la méthode de calcul d'impact EF3.1 à l'aide du logiciel SimaPro 9.6 et centrés sur l'indicateur changement climatique. Une analyse multicritère sur l'ensemble des catégories d'impact EF3.1 est prévue en perspective de ce travail.

La liste des ICV étudiés se retrouve dans le Tableau 22.

Tableau 22 : Inventaires de PRO testés avec les différentes approches retenues

Matière résiduaire	Type de PRO	Nom des inventaires dans Agribalyse 3.1.1	Coupure fardeau Aval	Coupure fardeau Amont	Coupure post stockage	Coupure économique	Allocation économique	Allocation MS	Substitution amont	Substitution aval	CFE simplifiée
Effluent d'élevage	Lisier de porc	Slurry, from swine, stocked in silo (fertilizer) {RER} U	X	X			X		X	X	X
Effluent d'élevage	Fumier de volaille	Manure, from poultry, stocked in concrete surface or pit (fertilizer) {RER} U	X	X			X		X	X	X
Effluent d'élevage	Lisier de bovin concentré	Solid fraction of raw slurry 30-50%DM, dewatered by centrifugation (amendment) {RER} U	X	X			X		X	X	X
Biodéchets/Sous-produits animaux/Effluents d'élevage	Engrais industriel	Organic fertilizer, 7-6-8, granulate, packaged {RER} U	X	X					X	X	X
Effluent d'élevage/Culture	Digestat	Average digestate, from manure and maize silage (fertilizer) {RER} U	X	X			X		X	X	X
Déchets verts/Résidus de culture	Compost de déchets verts et de résidus de culture de blé (50/50)	Compost, of green waste (amendment) {RER} U	X	X		X	X		X	X	X
Boues	Mix de boues plus ou moins concentré	Sludge, limed (amendment) {RER} U	X	X					X	X	X
Biodéchets	Engrais industriel	Rendered animal by-products (fertilizer) {RER} U	X	X			X		X	X	X

4.2. Résultats

Les résultats présentés et l'interprétation qui en sont donnés n'ont pas pour objectif de commenter le contenu des ICV ou d'analyser les différences d'impacts entre PRO.

L'interprétation des résultats s'attarde ainsi sur l'impact de chaque approche sur la hiérarchisation des facteurs d'émissions de chaque PRO. Afin de fournir une information complémentaire, une comparaison des facteurs d'émission de chaque approche par PRO est présente en Annexe 6.

4.2.1. Coupure fardeau Amont

Pour rappel, la méthode Coupure fardeau Amont implique que la frontière entre les cycles de vie se fasse après le processus de recyclage et de valorisation de la matière. Elle s'applique donc uniquement sur les matières résiduares considérées comme des résidus ou des déchets.

Le statut considéré pour les matières résiduares utilisées comme intrant des ICV de PRO testés est précisé dans le Tableau 23.

Tableau 23 : Statut attribué à chaque type de matière résiduaire pour tester l'approche Coupure fardeau Amont

Matière résiduaire	Statut considéré
Effluent d'élevage	Déchet
Sous-produits animaux	Déchet
Biodéchets	Déchet
Culture	Produit
Déchets verts	Déchet
Résidus de culture	Déchet
Boues	Déchet

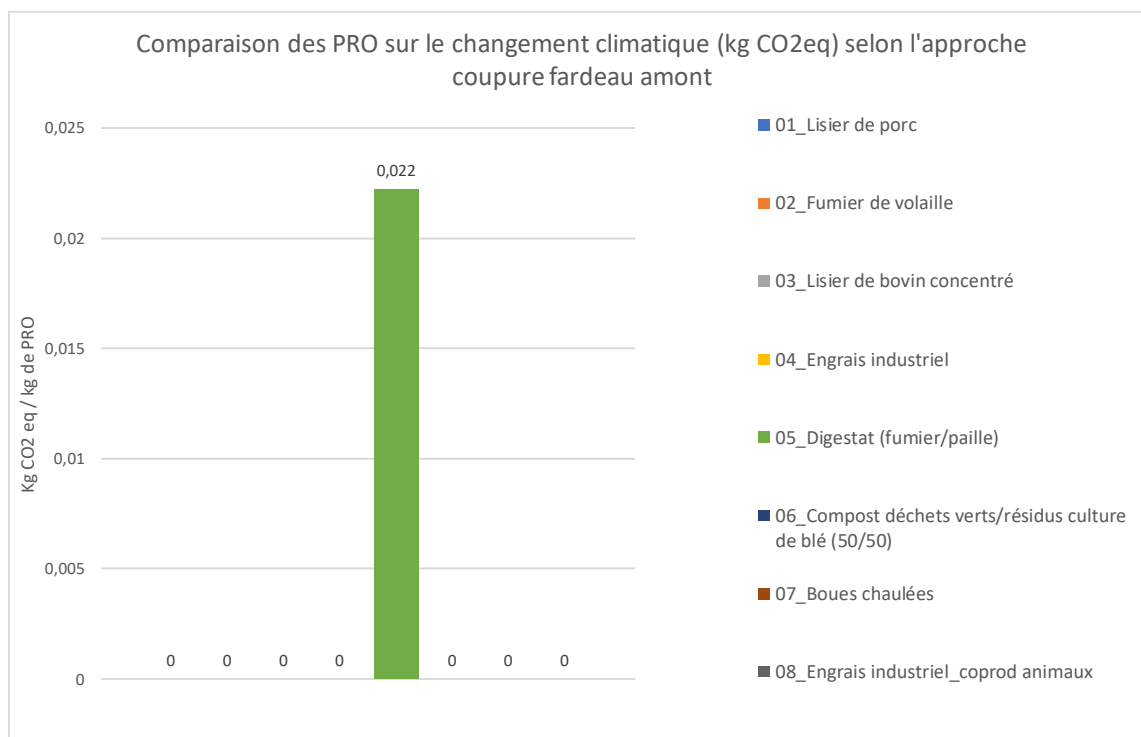


Figure 20 : Comparaison de l'impact des PRO sur le changement climatique selon l'approche Coupure fardeau Amont

L'approche Coupure fardeau Amont attribue l'ensemble des impacts environnementaux de la chaîne de valeur au producteur de la matière résiduaire considérée comme déchet, c'est pourquoi l'impact sur le changement climatique est nul pour quasiment tous les PRO (Figure 20).

L'exception repose sur le digestat, qui s'explique par une production à partir de maïs ensilage considéré comme un produit. Il n'est donc pas possible de réaliser la coupure en bout de chaîne de valeur comme pour les autres PRO. La coupure se fait donc à l'entrée du fumier dans le méthaniseur. Les impacts de l'étape de digestion sont donc pris en compte même avec l'utilisation de l'approche de Coupure fardeau Amont, si le PRO n'est pas constitué à 100% de matière résiduaire. Cela s'appliquerait de la même manière pour tout type de PRO ne provenant pas à 100% de matière résiduaire pouvant être considérés comme des déchets.

4.2.2. Coupure fardeau Aval

Pour rappel, la méthode Coupure fardeau Aval implique que la frontière entre les cycles de vie se fasse avant le processus de recyclage et de valorisation de la matière. Elle s'applique donc uniquement sur les matières résiduaire considérées comme des résidus. Le statut considéré pour les matières résiduaire utilisées comme intrant des ICV de PRO testés est précisé dans le Tableau 24.

Tableau 24 : Statut attribué à chaque type de matière résiduaire pour tester l'approche Coupure fardeau Aval

Matière résiduaire	Statut considéré
Effluent d'élevage	Résidu
Sous-produits animaux	Résidu
Biodéchets	Résidu
Culture	Produit
Déchets verts	Résidu
Résidus de culture	Résidu
Boues	Résidu

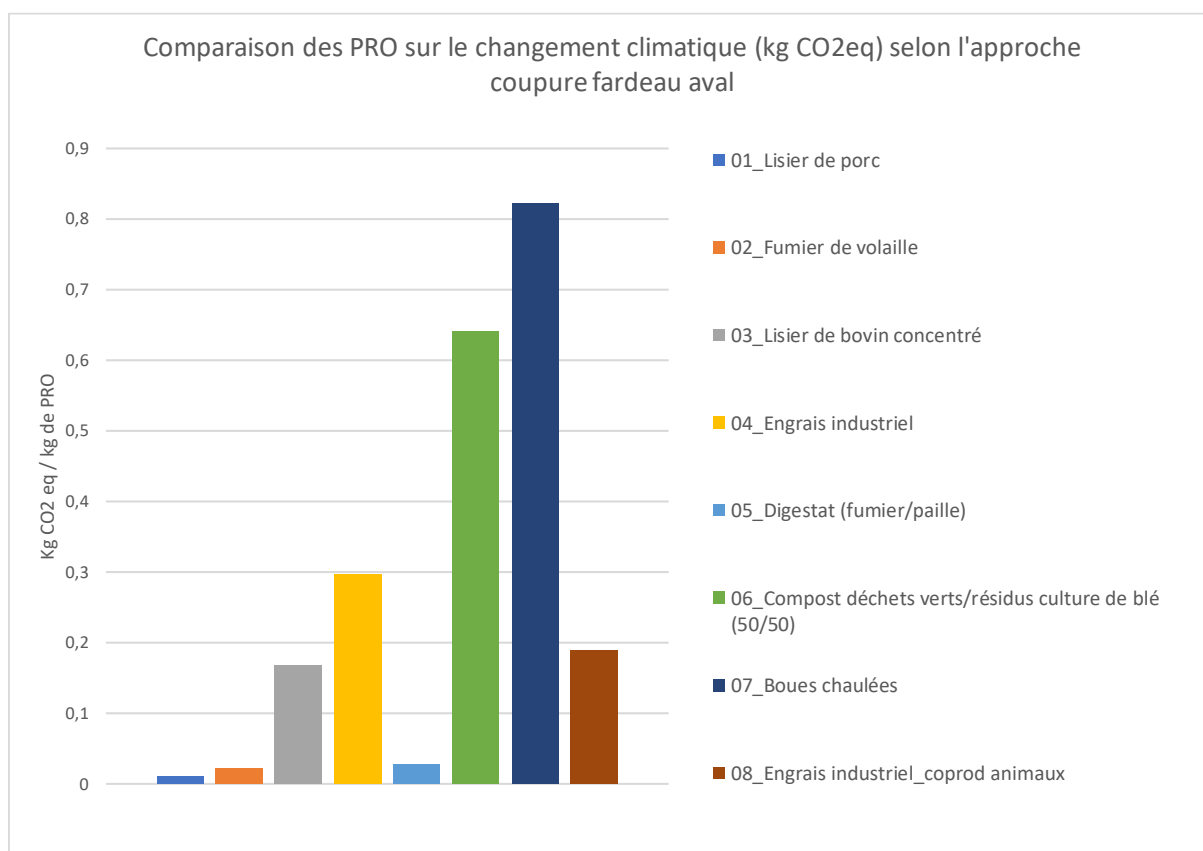


Figure 21 : Comparaison de l'impact des PRO sur le changement climatique selon l'approche Coupure fardeau Aval

L'approche Coupure fardeau Aval attribue l'ensemble des impacts environnementaux de la chaîne de valeur au producteur PRO avec des écarts de facteurs d'émission au kg entre PRO.

Les PRO peu transformés ou peu concentrés en matière sèche (ex : effluents d'élevage) ont un impact sur le changement climatique bien plus faible par rapport aux PRO faisant l'objet de concentrations (ex : boues) (Figure 21). L'approche Coupure fardeau Aval fait office de référence dans notre étude car c'est l'approche utilisée dans les ICV Agribalyse 3.1.1 actuellement.

4.2.3. Coupure économique

Pour rappel, la méthode Coupure économique implique que la frontière entre les cycles de vie se fasse au niveau du processus transformant le déchet en produit. L'approche nécessite de définir la valeur économique associée à chaque matière résiduaire afin de déterminer son statut dans la modélisation (Tableau 26Tableau 28).

Tableau 25 : Statut attribué à chaque type de matière résiduaire pour tester l'approche Coupure économique

Matière résiduaire	Valeur économique considérée	Statut considéré
Effluent d'élevage	Positive	Produit
Sous-produits animaux	Positive	Produit
Biodéchets	Positive	Produit
Culture	Positive	Produit
Déchets verts	Négative dans le cadre du compostage	Déchets
Résidus de culture	Nulle ou positive	Produit
Boues	Négative dans le cadre du compostage	Déchets

Pour appliquer l'approche sur un PRO, deux conditions doivent être remplies :

- La matière résiduaire doit passer par un acteur intermédiaire qui transforme le déchet en produit ;
- La matière résiduaire doit avoir une valeur économique négative pour être considérée comme un déchet.

Au vu des ICV sélectionnés pour l'étude, l'approche n'a pu être testée que sur le compost de déchets verts, qui est, au sein de l'ICV, composé d'un mix à 50% de déchets verts et de résidus de culture de blé (Tableau 26Tableau 28). Les producteurs de déchets verts payent pour que leur matière résiduaire soit traitée dans une filière de compostage, c'est pourquoi cette approche se prête bien au compost.

Dans ce cas d'étude, l'activité de compostage est rémunérée 70 euros / tonne de déchets verts collectés et traités, et 7,5 euros par tonne de compost de déchet vert produit. Les impacts associés à l'activité de compostage sont alloués ainsi :

- Déchets verts : 94,4% au producteur des déchets verts / 5,6% au compost ;
- Résidus de culture : 0% au producteur de résidus de culture / 100% au compost car considéré comme coproduit du blé.

Au bilan l'allocation retenue, au vu de la composition en matière résiduaire du compost, est de 47,2% pour le producteur de déchet verts et de 52,8% pour le compost. A noter qu'un ICV de compost composé à 100% de déchets verts aurait une allocation de 5,6%.

Pour les autres cas d'étude, soit :

- Il n'existe pas d'acteur intermédiaire entre le producteur de la matière résiduaire et l'utilisateur du PRO (effluents d'élevage) ;
- La valeur économique définie dans l'étude est positive ce qui ne permet pas d'appliquer l'approche.

Tableau 26 : Justification de la non applicabilité de l'approche coupure économique : données économiques

Noms des inventaires dans Agribalyse 3.1.1	Matière résiduaire	Coût de traitement (euros/tonne)	Prix du PRO (euros/tonne)
Slurry, from swine, stocked in silo (fertilizer) {RER} U	Effluent d'élevage porcins	Pas d'intermédiaire	
Manure, from poultry, stocked in concrete surface or pit (fertilizer) {RER} U	Effluent d'élevage de volaille	Pas d'intermédiaire	
Solid fraction of raw slurry 30-50%DM, dewatered by centrifugation (amendment) {RER} U	Effluent d'élevage bovins	Pas d'intermédiaire	
Organic fertiliser, 7-6-8, granulate, packaged {RER} U	Biodéchets: Os et sang issue de la filière d'abattage des bovins	Valeur économique positive donc non applicable	
	Déchets IAA : Processed residues from agrifood industries {RER} U	Valeur économique positive donc non applicable	
	Compost : Fumier Mix cattle / Poultry	Valeur économique positive donc non applicable	
	Compost : Résidu de laine	Valeur économique positive donc non applicable	
	Compost : Déchets d'industries IAA Processed residues from agrifood industries {RER} U	Valeur économique positive donc non applicable	
Average digestate, from manure and maize silage (fertilizer) {RER} U	Effluent d'élevage bovins	Valeur économique positive donc non applicable	
	Culture de maïs	Valeur économique positive donc non applicable	
Compost, of green waste (amendment) {RER} U	Déchets verts	Déchets verts: transport : 40€ /t + compostage : 30€ /t ⁸	Prix de vente du compost de déchets verts seuls (départ plateforme) : 7,5 €/t ⁸
	Résidu de culture de blé	Valeur économique positive donc non applicable	
Sludge, limed (amendment) {RER} U	Boues	Pas d'intermédiaire	
Rendered animal by-products (fertilizer) {RER} U	Biodéchets: Os et sang issue de la filière d'abattage des bovins	Valeur économique positive donc non applicable	

Cette approche abaisse le facteur d'émission du compost de déchets verts (et de résidus de culture) de 42% par rapport au facteur d'émission actuel présent dans Agribalyse 3.1.1, la base de données actuelle utilisant l'approche Coupure fardeau Aval (Figure 22). Cette réduction significative de l'impact s'explique par le fait que l'approche considère le compostage de déchets verts davantage comme activité de traitement de déchet plutôt qu'une activité de production de compost. La réduction serait encore plus conséquente pour les composts produits à partir de boues et/ou de déchets verts uniquement.

⁸ SEDE

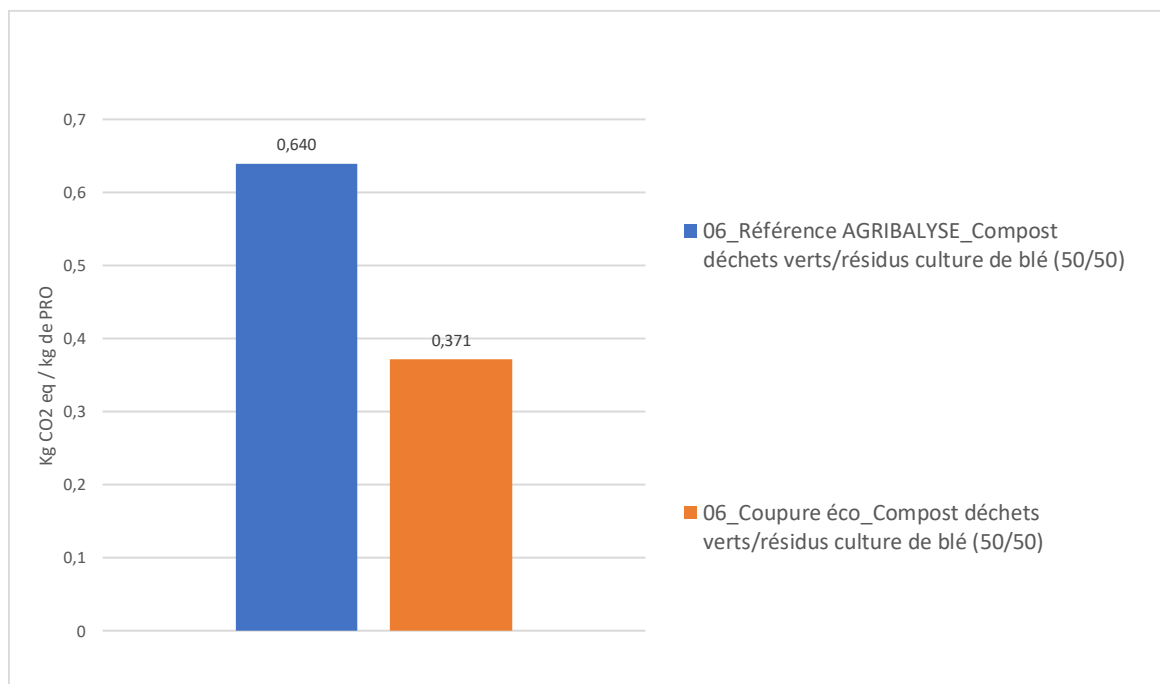


Figure 22 : Comparaison de l'impact sur le changement climatique entre la référence actuelle dans Agribalyse (approche coupure fardeau aval) et l'application de l'approche de Coupure économique pour le compost de déchet vert/résidu culture de blé

4.2.4. Allocation économique

Pour rappel, la méthode d'allocation économique implique que les matières résiduelles dont la valeur économique est positive soient considérées comme des produits et bénéficient d'une partie de l'impact des systèmes qui les ont générés en fonction de cette valeur économique.

L'approche nécessite de définir la valeur économique associée à chaque matière résiduelle afin de déterminer son statut dans la modélisation (Tableau 27). Par cohérence, les statuts choisis sont identiques à ceux choisis pour le Coupure économique (4.2.3).

Tableau 27 : Statut attribué à chaque type de matière résiduelle pour tester l'approche d'allocation économique

Matière résiduelle	Valeur économique	Statut considéré
Effluent d'élevage	Nulle ou positive	Produit
Sous-produits animaux	Nulle ou positive	Produit
Biodéchets	Nulle ou positive	Produit
Culture	Positive	Produit
Déchets verts	Négative dans le cadre du compostage	Déchets
Résidus de culture	Nulle ou positive	Produit
Boues	Négative dans le cadre du compostage	Déchets

Les valeurs économiques considérées sont présentées dans le Tableau 28 :

- L'IFIP et de la chambre d'agriculture des « Hauts de France » pour le lisier d'élevage porcins ;
- ITAVI pour le fumier de volaille ;
- La chambre d'agriculture de de « Pays de la Loire » pour le lisier de bovins ;
- Acyvia pour les biodéchets de sous-produits animaux ;
- ARVALIS pour les résidus de culture de blé.

Au vu des ICV sélectionnés pour l'étude, l'approche n'a pas pu être testée sur les boues car leur valeur économique est considérée comme négative (voir approche Coupure économique en 3.2.4). Pour l'engrais commercial organique, une absence

de données économiques pour les résidus de laine utilisés dans cet ICV a rendu impossible l'application de cette approche pour ce PRO.

Tableau 28 : Données économiques utilisées pour l'approche d'allocation économique (N.C. non concerné)

Matière résiduaire	Prix matière résiduaire (euro/tonne)	Prix coproduit 1 (euro/kg)	Ratio de production coproduits 1	Prix coproduit 2 (euro/kg)	Ratio de production coproduits 2	Allocation économique considérée
Lisier d'élevage porcins	Effluent stocké sortie ferme : 10 euros / t	Porc sortie ferme : 1268 euros / t	3,6 kg de lisier / kg de porc	Truie de réforme sortie ferme : 1268 euros / t	0,04 kg de truie de réforme / kg de porc	2,7%
Effluent d'élevage de volaille	Effluent stocké sortie ferme : 32,9 (source France Agrimer)	Volaille sortie ferme : 1031 euros /tonne	Volaille sortie ferme : 0,972 kg MR / kg de volaille	N.C.	N.C.	3,0%
Effluent d'élevage bovins	Lisier sortie ferme : 9€/t	Bétail sortie ferme : 2400 euros / t	Bétail sortie ferme : 2,9 kg de lisier / kg de vache	N.C.	N.C.	1,1%
	Fumier sortie ferme : 14€/t	Bétail sortie ferme : 2400 euros / t	Bétail sortie ferme : 5,7 kg de fumier / kg de vache	N.C.	N.C.	3,2%
Boues	Valeur économique négative					
Biodéchets : Os, gras et sang issue de la filière d'abattage des bovins	Utilisation de l'allocation économique présente dans Acyvia, déjà présente dans AGB 3.1					1,55 %
Déchets IAA : Processed residues from agrifood industries {RER} U	Non applicable car matière résiduaire trop diffuse pour établir une Valeur économique					
Résidu de laine	Données manquantes (Wool résidues provenant de l'élevage ou de l'industrie textile?)					Inconnu
Culture de maïs	Pas d'allocation prise en compte (même si en théorie, il faudrait évaluer la Valeur économique des résidus de culture de maïs)					
Déchets verts	Valeur économique négative					
Résidu de culture de blé	Paille moyenne : 42,5 €/t	190€/tonne de blé	Rendement blé : 7100 kg MF (15% d'humidité) / Biomasse paille : (2690 kg MF)	N.C.	N.C.	7,6%

L'allocation économique considérée est donc de :

- 2,7% pour le lisier de porc, c'est-à-dire que 2,7% de l'impact de l'élevage porcin est alloué au lisier de porc ;
- 3,0% pour le fumier de volaille ;
- 1,1% pour le lisier de bovin ;
- 3,2% pour le fumier de bovin ;
- 1,55% pour les os, le gras et le sang générés par la filière d'abattage bovin ;
- 7,6% pour les résidus de culture de blé.

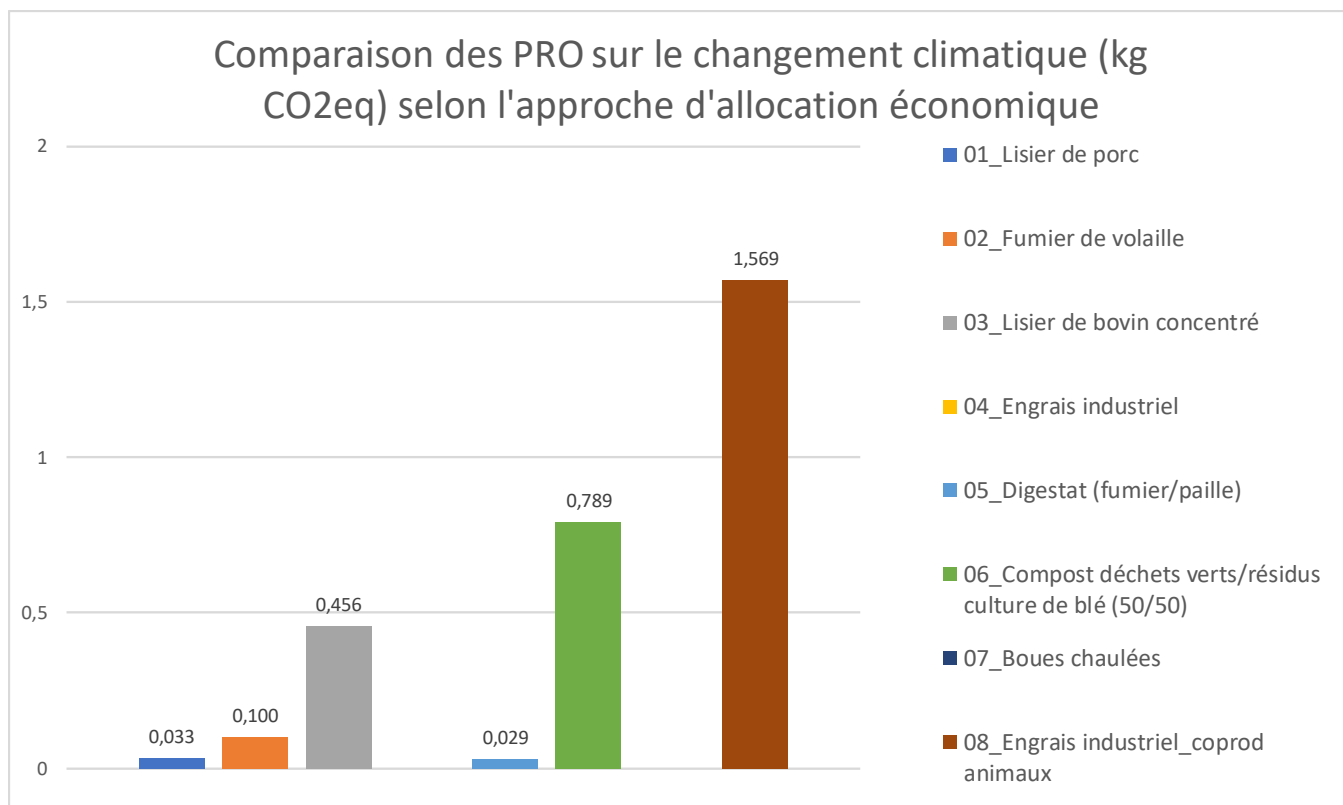


Figure 23 : Comparaison de l'impact sur le changement climatique des PRO selon l'approche d'allocation économique

L'utilisation de l'allocation économique fait augmenter les facteurs émissions de l'ensemble des PRO par rapport à l'approche Coupure fardeau Aval utilisée actuellement. Les PRO les plus impactés sont ceux utilisant des effluents d'élevage ou des sous-produits animaux comme matière résiduaire, et les chaînes de valeur les plus courtes dont l'impact sur le changement climatique est très dépendant de celui de leur matière résiduaire (Figure 23). L'augmentation est de :

- 736% pour les sous-produits animaux : Peu de transformation et grosse dépendance de l'impact à ceux des matières résiduaire qui sont issues de la filière bovine. La chaîne de valeur s'agrandit fortement et les impacts augmentent de manière conséquente.
- 386% pour le fumier de volaille : Impact du fumier de volaille plus important que d'autres effluents d'élevage expliqué par une valeur économique plus élevée et un rapport de production entre effluents et produits animaux plus faible que sur les autres filières ;
- 276% pour le lisier de porc : Impact au stockage limité par rapport à la production du lisier ;
- 172% pour le lisier de bovin concentré : Augmentation moins importante que pour le lisier de porc car les impacts de la concentration et donc de la transformation sont plus importants ;
- 23,4% pour le compost de déchet vert : Faible augmentation car les impacts se situent principalement à l'étape de compostage ;
- 13,6 % pour le digestat : Relativement faible augmentation car la majorité des impacts se situent à l'étape de méthanisation et présence d'une allocation économique en plus de 76% en faveur du biogaz produit ;

4.2.5. Circular Footprint Formula simplifiée

Pour rappel, la CFF simplifiée correspond à une approche intermédiaire entre Coupure fardeau Aval et Coupure fardeau Amont où l'ensemble des impacts des procédés de traitement/valorisation sont répartis entre producteur de la matière résiduaire et utilisateur du PRO, en fonction de la tension sur le marché du PRO. Le statut de chaque matière résiduaire, soit un produit, soit un déchet, est présenté dans le Tableau 29.

Tableau 29 : Statut attribué à chaque type de matière résiduaire pour tester l'approche Circular Footprint Formula simplifiée

Matière résiduaire	Produit ou déchet
Effluent d'élevage	Déchet

Sous-produits animaux	Déchet
Biodéchets	Déchet
Culture	Produit
Déchets verts	Déchet
Résidus de culture	Déchet
Boues	Déchet

Dans le cadre de cette étude, l'affectation de la tension sur le marché par type de PRO n'a pas été effectuée. Une valeur minimale de 0,2 et maximale de 0,8 pour le facteur de tension A a été testée pour l'ensemble des PRO.

A = 0,2 est la valeur attribuée dans la CFF aux matériaux recyclés dont la demande est inférieure à l'offre. A = 0,8 est la valeur attribuée dans la CFF aux matériaux recyclés dont la demande est supérieure à l'offre.

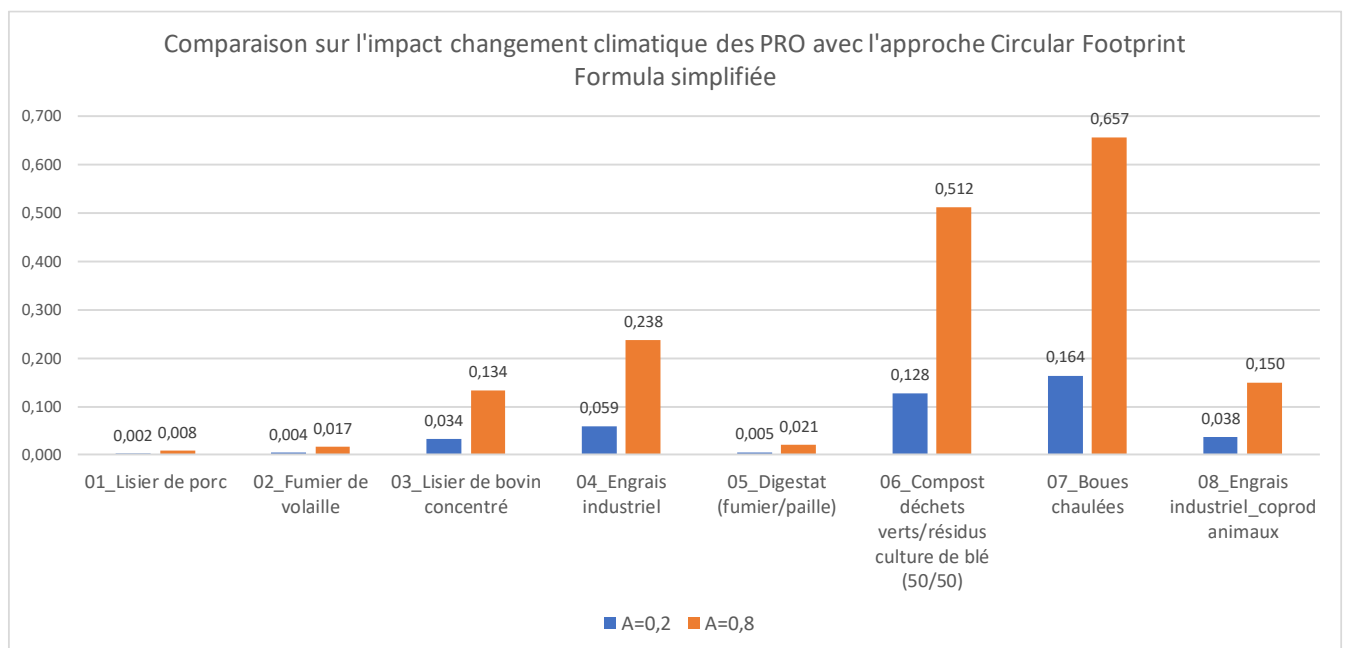


Figure 24 : Comparaison de l'impact changement climatique des PRO selon l'approche CFF simplifiée

En utilisant la CFF simplifiée, les facteurs d'émissions oscillent entre les valeurs présentées dans la Figure 24, en fonction de la tension sur le marché du PRO.

Le facteur A s'appliquant à l'ensemble de la filière de traitement/valorisation, l'impact sur le changement climatique diminue de 20% pour tous les PRO lorsque, la demande en PRO est supérieure à l'offre. Il diminue de 80% lorsque la demande en PRO est inférieure à l'offre. L'application de cette approche nécessitera de définir une valeur de A pour chaque PRO présent dans Agribalyse.

4.2.6. Substitution amont

Pour rappel, l'approche par substitution amont va évaluer l'impact de la valorisation de matière résiduaire en PRO en substitution d'une pratique de gestion des matière résiduaire alternative. Pour évaluer cet impact, il faut déterminer un scénario de fin de vie évité, pour les différentes matières résiduaire, du fait de leur valorisation en PRO.

Dans le cadre de cette étude, une approche très simplifiée de la méthode a été testée (annexe 5 Tableau 36) en prenant l'hypothèse que :

- Les matières résiduaire agricole et animale étaient par défaut toujours épandues au champ ;
- Les autres matières résiduaire issues d'industries, de collectivités locales, étaient par défaut incinérées à 100% si elles n'étaient pas valorisées en tant que PRO.

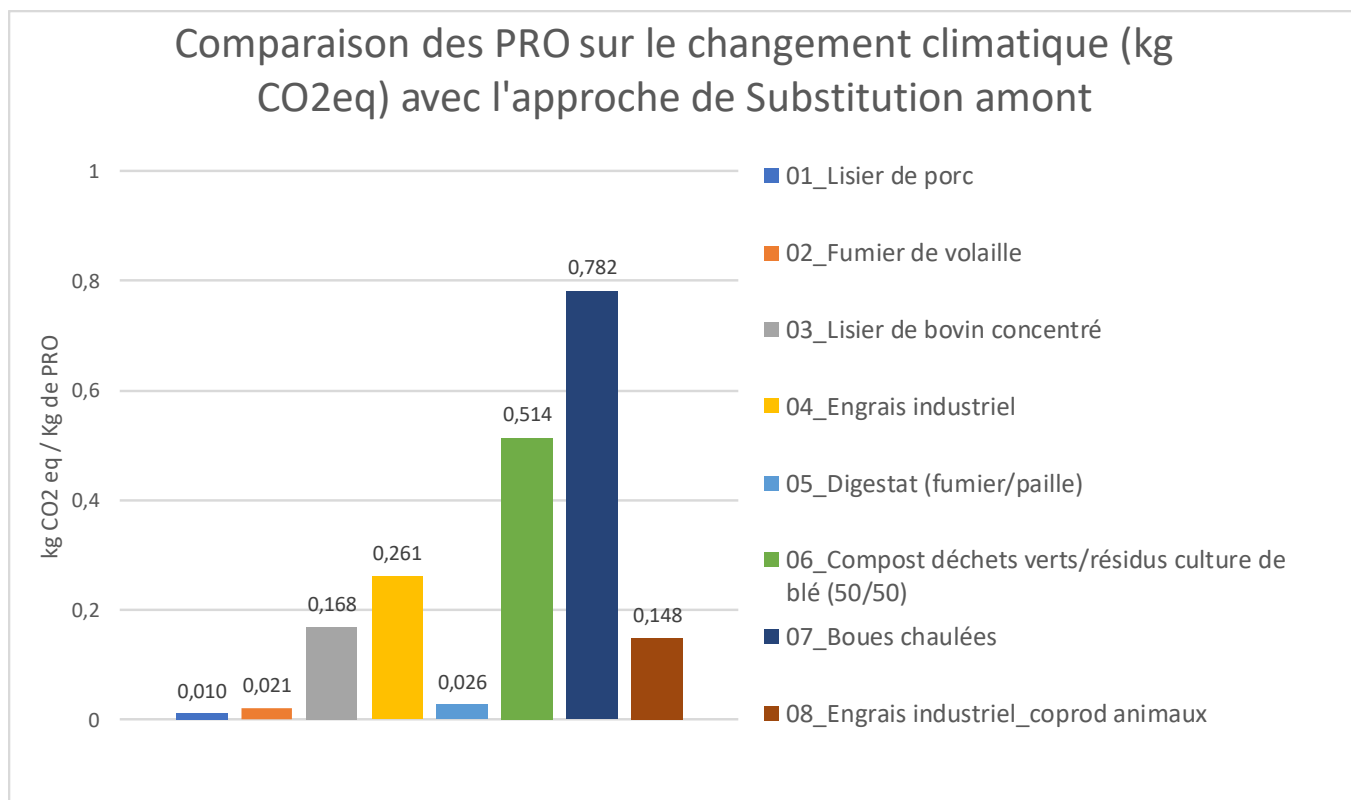


Figure 25 : Comparaison de l'impact sur le changement climatique des PRO selon l'approche de substitution amont

L'utilisation de la substitution amont, avec les hypothèses retenues de scénario évité, a un impact modéré sur le facteur d'émission du changement climatique des PRO par rapport à l'approche Coupure fardeau Aval faisant office de référence dans Agribalyse aujourd'hui (Figure 25 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tous les ICV de PRO issus d'effluents d'élevage restent inchangés, leurs facteurs d'émission sont donc inchangés. Pour les autres PRO, la diminution du facteur d'émission est de :

- 12,3% pour l'engrais commercial organique
- 19,6% pour le compost de déchets verts
- 4,8% pour les boues
- 20,9% pour les sous-produits animaux

4.2.7. Substitution aval

Pour rappel, l'approche par substitution aval évalue l'impact de la valorisation de matière résiduaire en PRO en substitution d'une pratique de fertilisation ou d'amendement alternative. Pour évaluer cet impact, il faut déterminer un scénario de fertilisation ou d'amendement au champ évités, par l'utilisation de PRO (voir détail substitution en Annexe 5).

Il est important de noter que dans ce test, uniquement la production de la fertilisation minérale est évitée. Les impacts des émissions directes au champ restent inchangés.

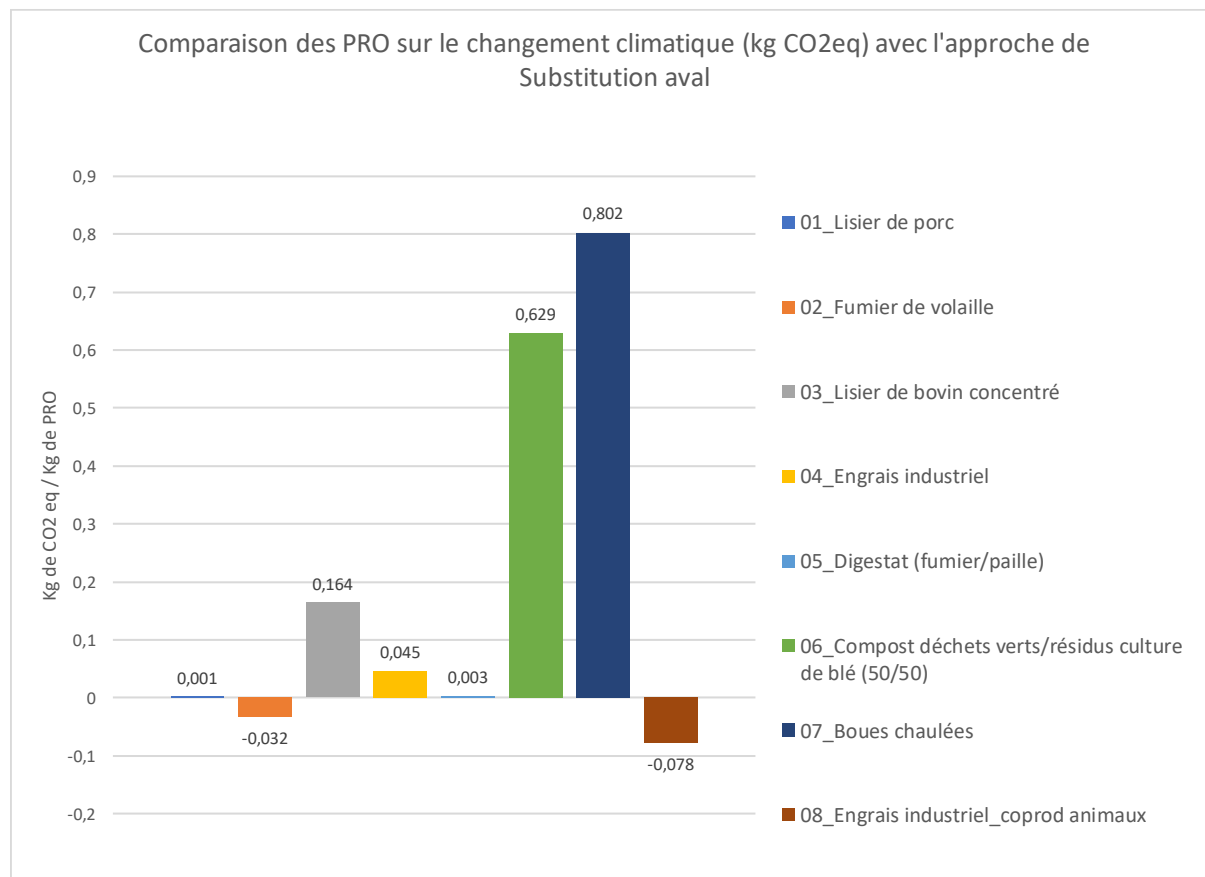


Figure 26 : Comparaison de l'impact GES des PRO selon l'approche substitution aval

En utilisant ce scénario de substitution évitée, la hiérarchisation des facteurs d'émission des PRO change complètement. Les PRO les plus impactés sont les fumiers de volaille et les sous-produits animaux, qui ont désormais un facteur d'émission négatif (Figure 26). Cela signifie que les impacts sur le changement climatique associés à la valorisation de fumier de volaille sont plus faibles que les impacts de la production minérale moyenne qu'elle permet théoriquement d'éviter.

Les facteurs d'émissions des autres PRO diminuent de :

- 89,8% pour le lisier de porc ;
- 2,4% pour le lisier de bovin concentré : Cette faible diminution par rapport au lisier de porc s'explique à la fois par l'intensité énergétique plus importante de la concentration et donc par un impact sur le changement climatique de base plus élevé, mais également par le faible coefficient d'équivalence minéral azoté de ce PRO ;
- 84,8% pour le fertilisant organique minéral ;
- 89,7% pour le digestat ;
- 1,7% pour le compost de déchet vert : L'impact sur le changement climatique du compostage est important de base, relativement aux autres PRO et le coefficient d'équivalence minéral azoté du compost de déchet vert est faible ;
- 2,3% pour les boues : L'impact sur le changement climatique de la concentration des boues est important de base et la fertilisation évitée ne permet pas de compenser cet impact.

4.2.8. Comparaison globale de l'impact des PRO modélisés par approche d'allocation

La Figure 27 et la Figure 28 ci-dessous présentent une synthèse des résultats de modélisation des PRO considérés selon les différentes approches d'allocation des impacts, sur l'indicateur changement climatique. Pour cette synthèse, nous avons séparé les PRO en deux groupes : les fertilisants et les amendements, selon la classification proposée par Avadi and Paillat, 2020.

La comparaison a été faite sur la base de l'équivalent agronomique : kg de N efficace pour les fertilisants et ISMO (Indice de Stabilité de la Matière Organique) pour les amendements, selon les données de la base de référence Avadi and Paillat, 2020.

N.B. L'approche par coupure économique n'y est pas représentée, car elle a été modélisée pour un seul PRO (compost de déchets verts – 06). D'autre part, l'approche par allocation économique n'a pas été modélisée pour le fertilisant organique normalisé (04) et les boues chaulées (07).

Plusieurs comparaisons complémentaires sont à retrouver en Annexe 6. Les unités de comparaison présentées dans cette annexe sont :

- **Au kg de produit**
- **En équivalent à l'hectare : à partir des doses moyennes appliquées des différents produits, issus de la statistique agricole (Enquête pratiques culturales 2017 – Agreste). Pour cette approche, les coproduits animaux (08) n'ont pas été inclus dans la comparaison, par manque de donnée.**

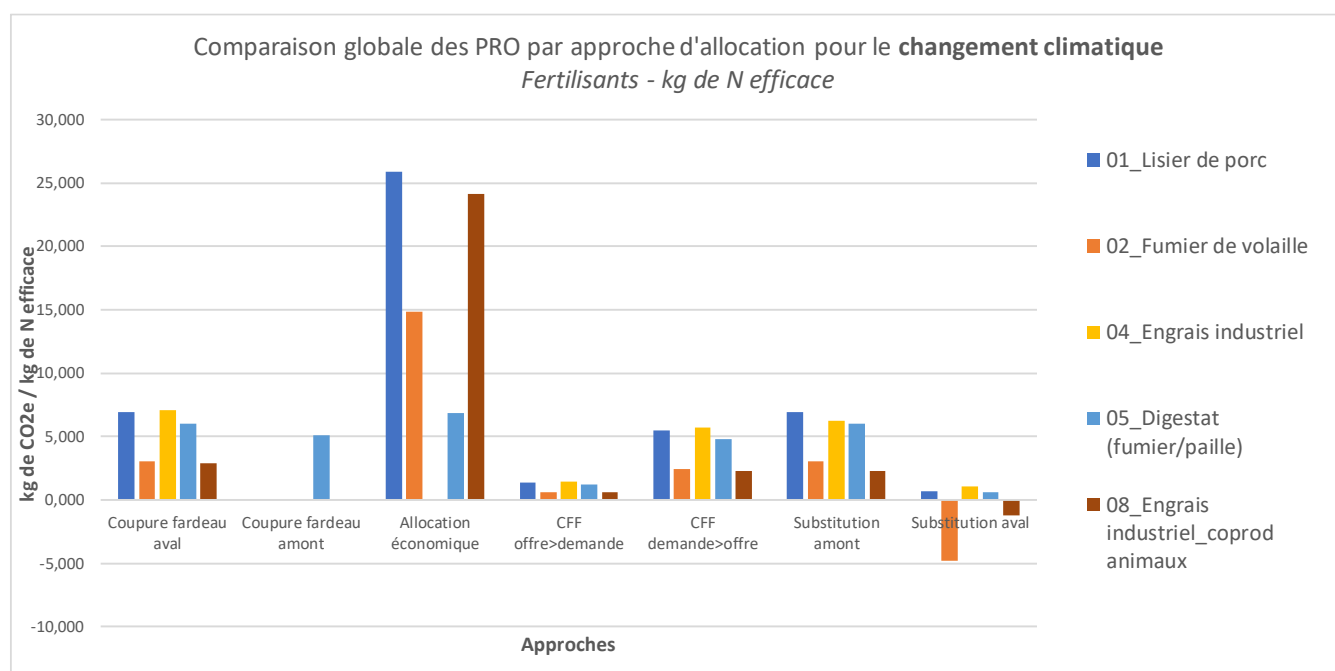


Figure 27: Comparaison globale des PRO par approche pour le changement climatique - Fertilisants - kg de N efficace

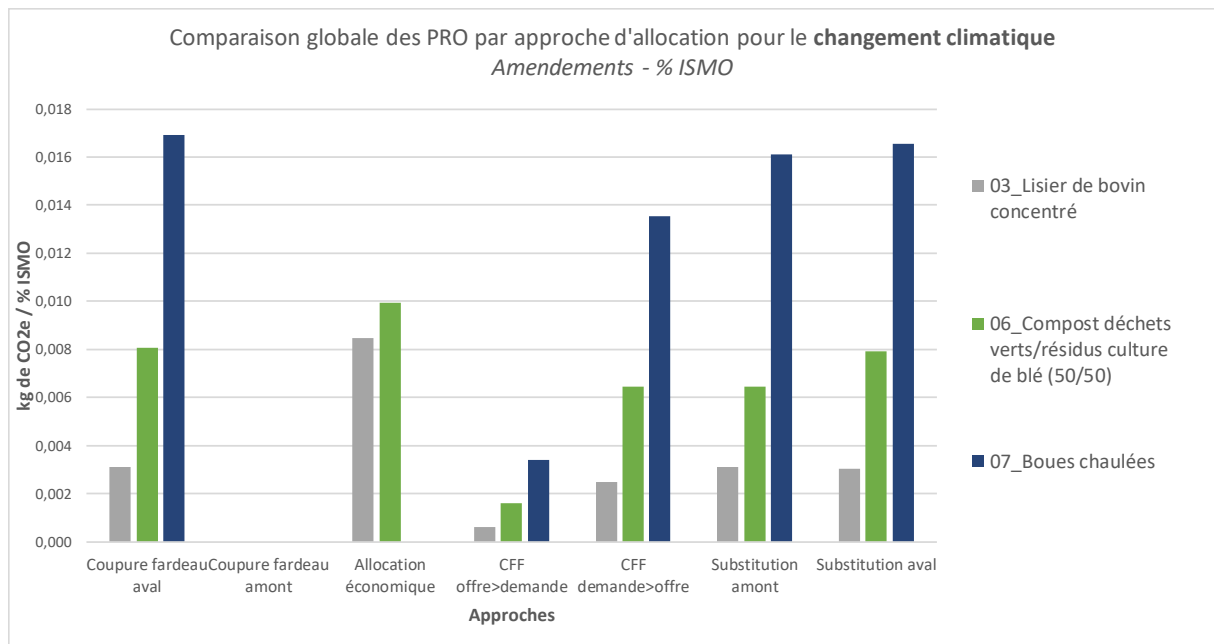


Figure 28: Comparaison globale des PRO par approche pour le changement climatique - Amendements - % ISMO

5. Influence du choix de l'approche sur l'impact changement climatique des inventaires agricoles

5.1. Méthodologie

L'objet de cette partie de l'étude a été de réutiliser les ICV de PRO testés selon la grille de test (voir 4.1) et de les appliquer à 6 inventaires de cultures issus d'Agribalyse 3.1.1. Les ICV de culture ayant fait l'objet d'une modification de la modélisation des PRO identifiés sont présent dans le Tableau 30.

Tableau 30 : Quantité et type de PRO modélisés dans les cultures de blé tendre, maïs grain, vigne du beaujolais, pêche, pomme bio, pêche bio et tomate bio (Source : Arvalis, IFV, CTIFL)

ICV	Quantité de produit (ICV culture) (kg de produit)	Slurry, from swine, stocked in silo (fertilizer) {RER} U	Manure, from poultry, stocked in concrete surface or pit (fertilizer) {RER} U	Manure, from cattle, stocked in concrete surface or pit (amendment) {RER} U	Solid fraction of raw slurry 30-50%DM, dewatered by centrifugation (amendment) {RER} U	Organic fertiliser, 7-6-8, granulate, packaged {RER} U	Average digestate, from manure and maize silage (fertilizer) {RER}	Compost, of green waste (amendment) {RER} U	Sludge, limed (amendment) {RER} U	Rendered animal by-products (fertilizer) {RER} U	VEGETHUMUS, 50% Manure, 50% Compost (fertilizer) {RER} U
Soft wheat grain, conventional, breadmaking quality, 15% moisture, at farm gate {FR} U	7 100 kg	794,29 kg	70,38 kg	1158,33 kg							
Maize grain, conventional, 28% moisture, national average, animal feed, at farm gate {FR} U	10 672 kg	5 326,07 kg (1)	-	30 637,24 kg							
Grape, integrated, AOC, Beaujolais, at vineyard {FR} U	7 800 kg					512 kg (2)					
Apple, organic, national average, at orchard {FR} U	450 500 kg			41332 kg (3)		5125 kg (4)		6250 kg		4590 kg (5)	1300 kg
Peach, organic, national average, at orchard {FR} U	224 000 kg					24600 kg		30000 kg (6)			
Tomato, organic, greenhouse production, national average, at greenhouse {FR} U	103 700 kg							5128 kg (6)			2500 kg

(1) dont 427kg de proxy de Sludge, thickened and dewatered (fertilizer) {RER} U

(2) proxy de Organic amendment, <3% N, granulate, packaged {RER} U

(3) dont 21332kg de proxy de fumier d'ovin (information issue des instituts techniques)

(4) dont 3350kg de proxy d'engrais NPK (5 unités N) (information issue des instituts techniques)

(5) dont 4338kg de proxy de farine de plumes + 252kg de proxy tourteau de ricin (information issue des instituts techniques)

(6) proxy de Average compost, from green waste, biowaste, sludge, manure, slurry (amendment) {RER} U

L'échantillon de cultures sélectionné représente à la fois des grandes cultures à forte production nationale, des productions maraîchères et arboricoles utilisant des quantités non négligeables de PRO.

La procédure pour étudier l'impact que peuvent avoir les différentes approches sur ces cultures est la suivante :

- Partage par Arvalis, l'IFV et le CTIFL des quantités et des types de PRO préalablement renseignés dans le logiciel Means In-out pour produire les ICV d'Agribalyse 3.1.1 ;
- Utilisation de ces quantités et de ces types de PRO au sein des ICV de cultures sélectionnées en remplacement des ICV d'engrais organique présents initialement dans Agribalyse 3.1.1. A noter que la fertilisation minérale initialement présente dans certains de ces ICV a été conservée ;
- Analyse comparative des différentes cultures en fonction des approches de modélisation des PRO avec la méthode de calcul d'impact EF3.1. L'analyse s'est portée uniquement sur l'indicateur changement climatique.

5.2. Résultats

Les données et les inventaires d'engrais organiques, présent initialement dans les ICV de cultures testées au sein d'Agribalyse 3.1.1 qui constituent la référence, sont donnés en Annexe 8.

5.2.1. Blé tendre

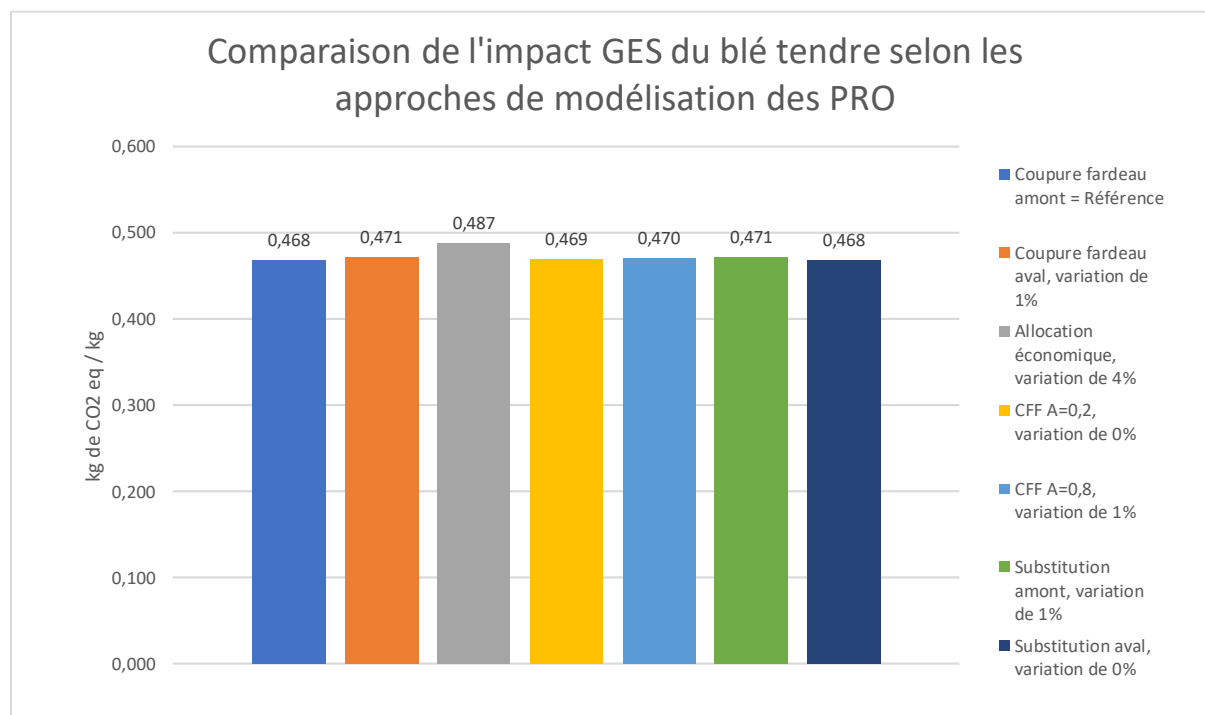


Figure 29 : Comparaison de l'impact GES du blé tendre selon les approches de modélisation des PRO

Les comparaisons entre les différentes méthodes de modélisation des engrais organiques ne mettent pas en évidence un impact important du choix de l'approche (Figure 29). Ce constat s'explique par la quantité relativement faible d'engrais organique utilisée comme intrant pour le blé tendre. Les impacts sur le changement climatique du blé tendre augmentent au maximum de 4%.

5.2.2. Maïs

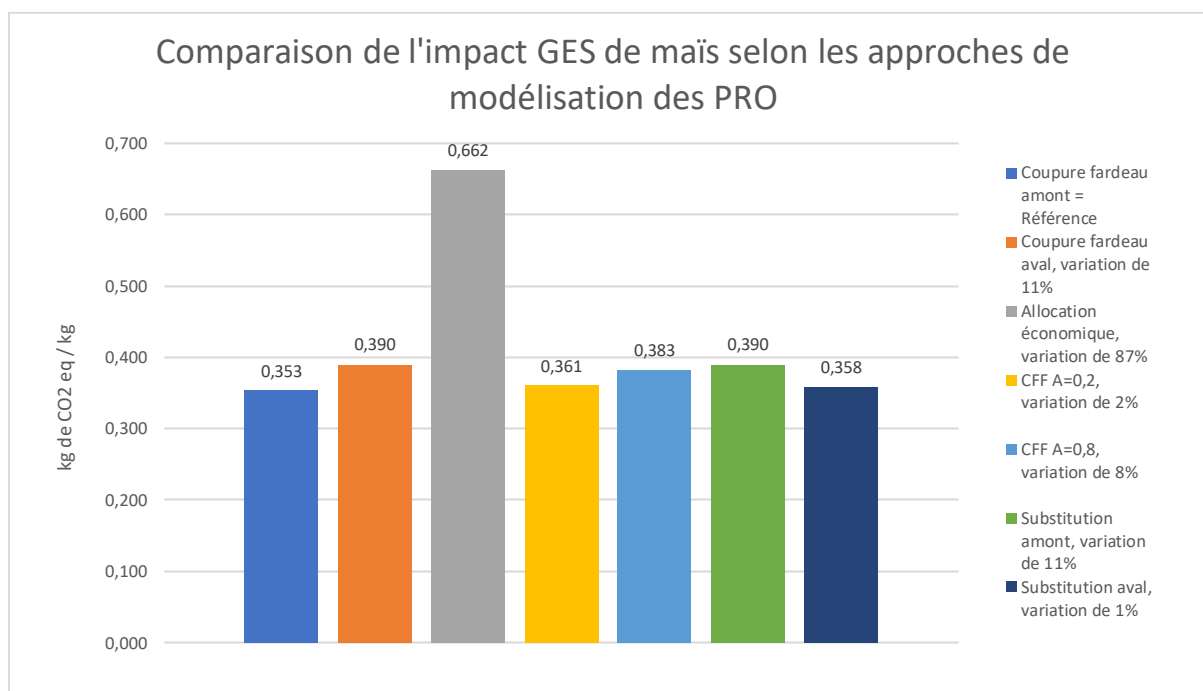


Figure 30 : Comparaison de l'impact GES du maïs selon les approches de modélisation des PRO

Les résultats de comparaisons des différentes approches de modélisations des PRO permettent d'observer un fort impact de l'approche "allocation économique" (Figure 30). L'augmentation observée est de 87% par rapport à la référence. Ce résultat peut s'expliquer par la quantité importante d'engrais organiques de type "fumier de bovin" couplée à la prise en compte d'une partie des impacts de l'élevage. Ce sont donc les émissions entériques qui participent à l'augmentation forte du facteur d'émission.

Toutes les autres approches provoquent aussi une augmentation modérée de l'impact, autour de 11% maximum pour la Coupure fardeau Aval et la substitution aval.

5.2.3. Tomate

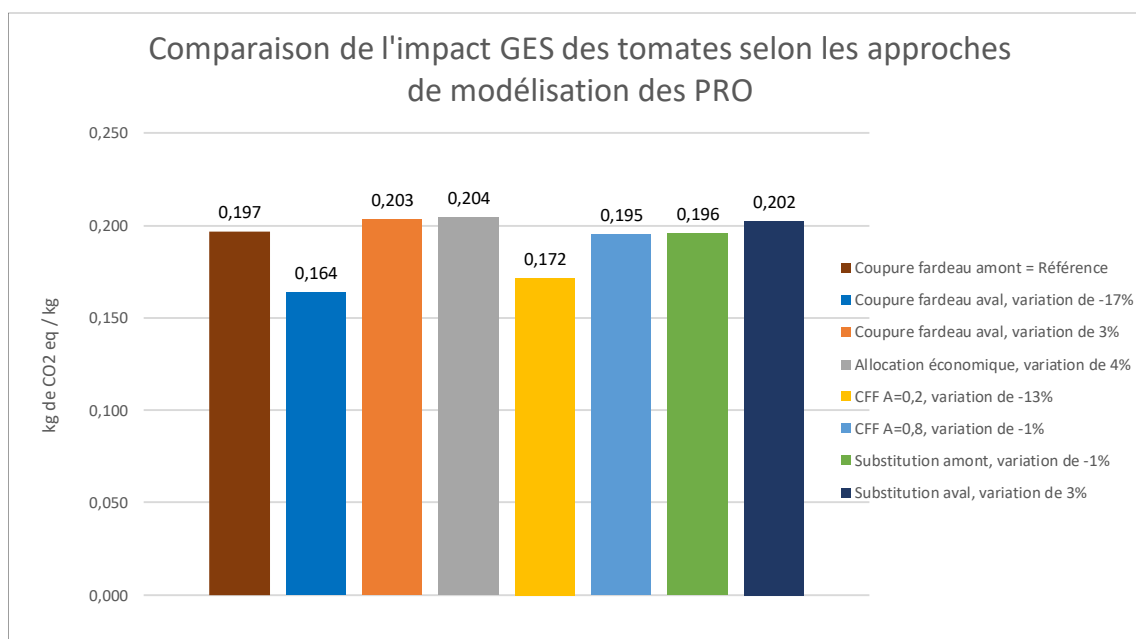


Figure 31 : Comparaison de l'impact GES de la tomate selon les approches de modélisation des PRO

Les résultats de comparaisons des différentes approches de modélisation des PRO permettent d'observer un impact selon l'approche (Figure 31). Les variations s'échelonnent de -17% à +4 %. L'impact plus faible de certaines approches s'explique par l'intégration de 5t de compost à base déchets verts et de fumier dans l'ICV de référence de la base de données Agribalyse 3.1.1. Par conséquent, les approches Coupure fardeau Amont ou CFF A=0.2 qui réduisent l'impact des engrais organiques donnent un facteur d'émission plus faible. A l'inverse les autres approches prennent en compte l'impact de tous les apports organiques, et non partiellement comme dans la référence (Annexe 6), ce qui explique un facteur d'émission plus élevé.

5.2.4. Pomme

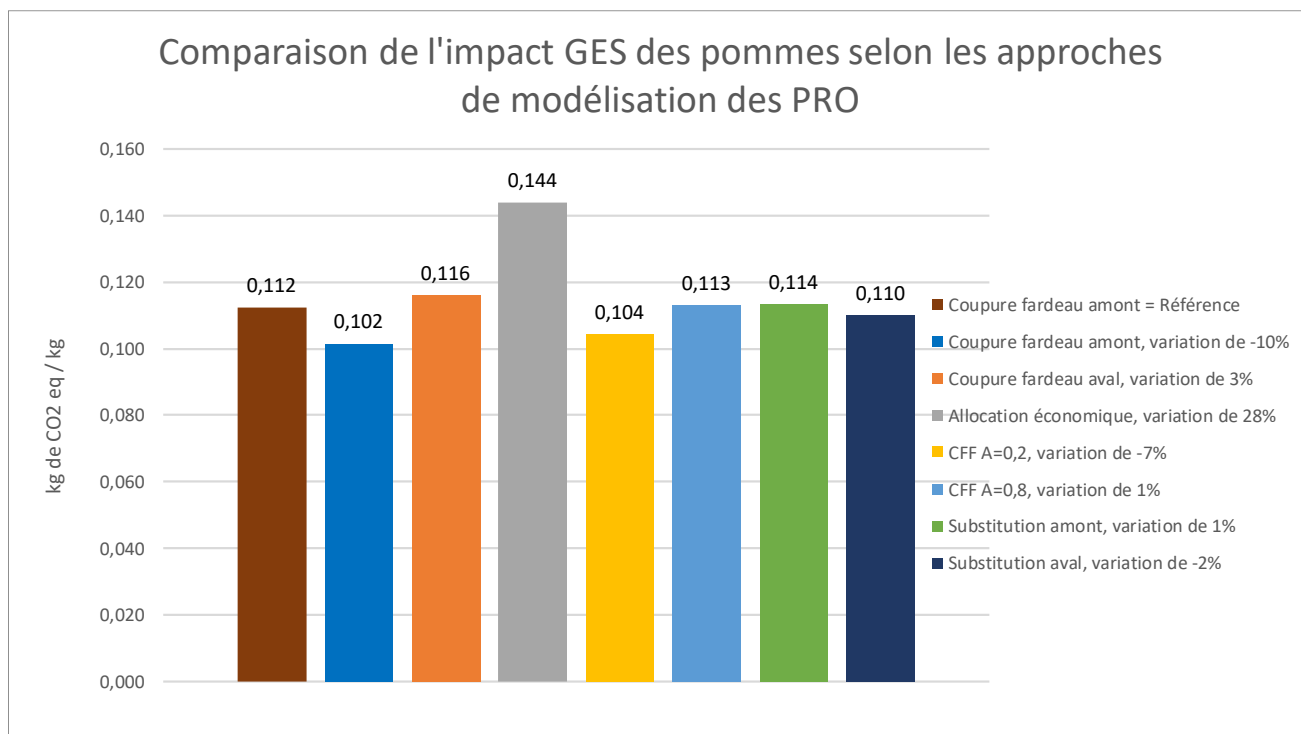


Figure 32 : Comparaison de l'impact GES de la pomme selon les approches de modélisation des PRO

Les résultats de comparaisons des différentes approches de modélisations des PRO permettent d'observer un impact significatif de l'approche "allocation économique" (Figure 32). L'augmentation observée est de 28% par rapport à la référence. Ce résultat peut s'expliquer par la quantité importante d'engrais organiques de type "fumier de bovin" couplée à la prise en compte d'une partie des impacts de l'élevage. Ce sont donc les émissions entériques qui participent à l'augmentation forte du facteur d'émission.

Pour les autres approches il est possible d'observer une variation entre -10% et +3% par rapport à la référence. Les résultats inférieurs de certaines approches s'expliquent par une prise en compte de 4t de coproduits animaux dans la référence, ce qui fait baisser l'impact dans le cas des approches minorant l'impact de ces mêmes engrais.

5.2.5. Raisin

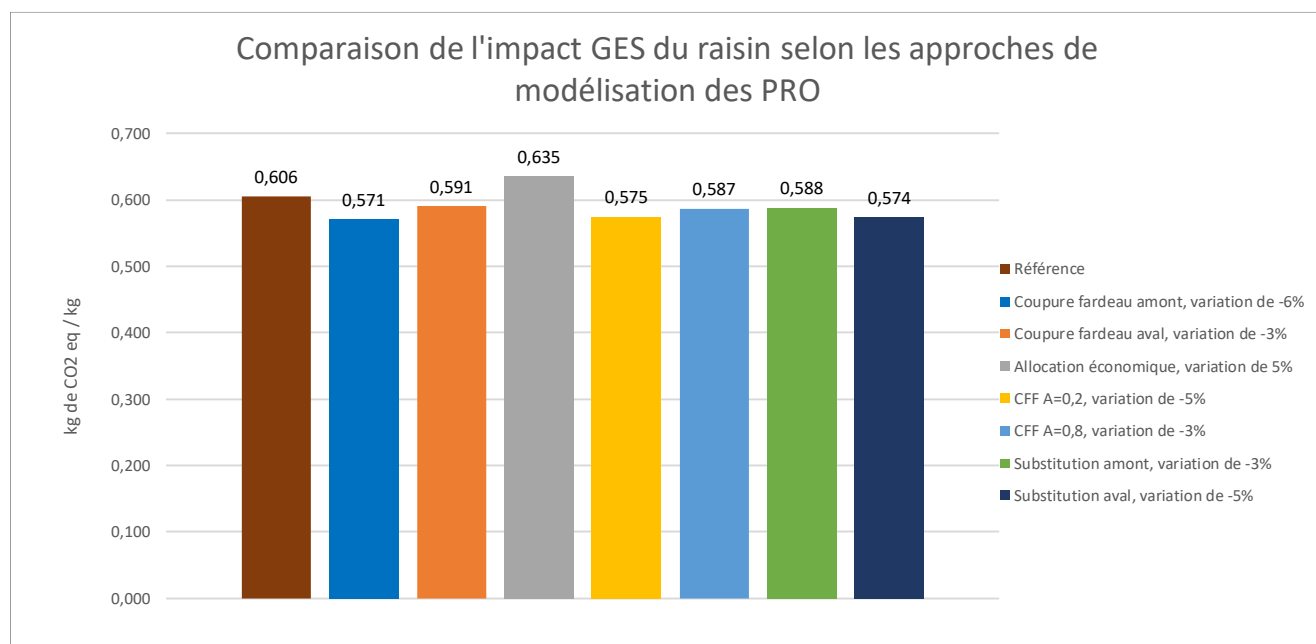


Figure 33 : Comparaison de l'impact GES du raisin selon les approches de modélisation des PRO

Les résultats de comparaisons des différentes approches de modélisations des PRO permettent d'observer un impact selon l'approche (Figure 33). Les variations s'échelonnent de -6% à +5%. Le résultat inférieur de la majorité des approches s'explique par des impacts déjà pris en compte dans la référence avec 512 kg d'engrais formulé. De plus, il est à noter que l'engrais utilisé comme proxy pour les modélisations ne correspond pas exactement à celui utilisé pour la référence, cela introduit un léger biais de comparaison.

5.2.6. Pêche

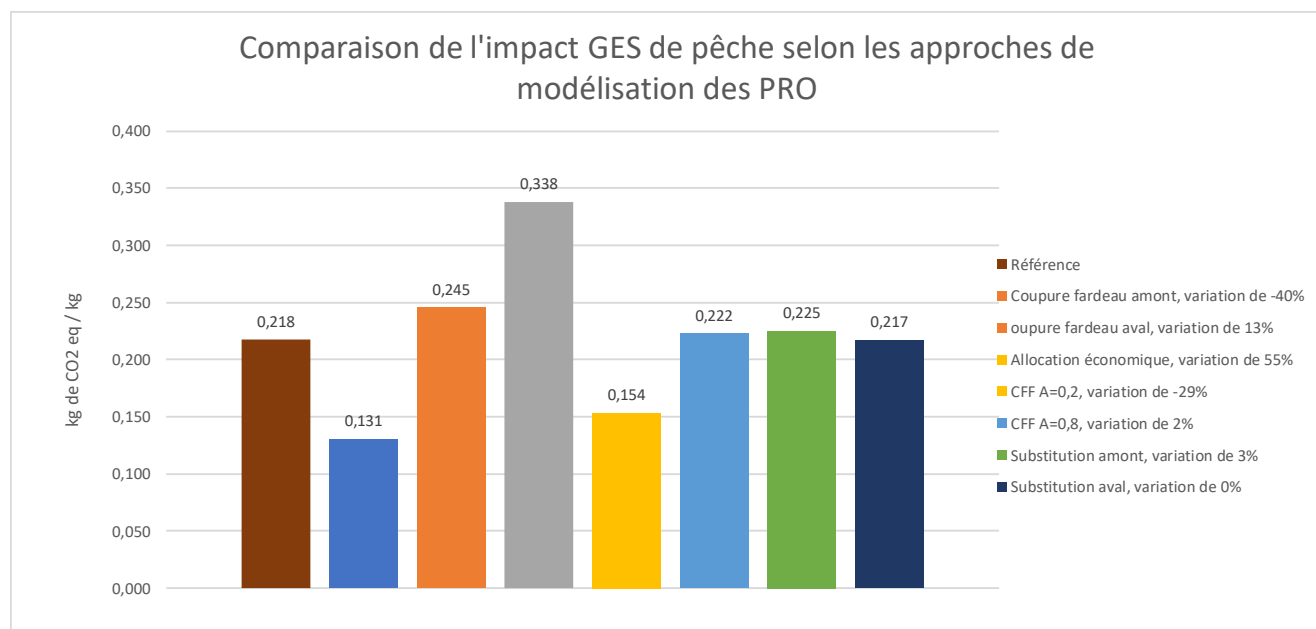


Figure 34 : Comparaison de l'impact GES de pêche selon les approches de modélisation des PRO

Les résultats de comparaisons des différentes approches de modélisations des PRO permettent d'observer un fort impact de l'approche "allocation économique" (Figure 34). L'augmentation observée est de 55% par rapport à la référence. Ce résultat peut s'expliquer par la quantité très importante d'engrais organiques et notamment en granulé commercial. En effet, l'approche économique, prenant en compte l'impact des matières résiduelles constitutives de l'engrais, va faire augmenter les impacts, comme pour les autres cultures.

Pour le reste des approches, les variations s'échelonnent de -40% à +13 %. Les résultats fortement inférieurs pour les approches Coupure fardeau Amont et CFF A=0,2 s'expliquent par une importante partie des impacts déjà pris en compte dans la référence avec 30t de compost moyen. L'utilisation de ces approches réduit fortement l'impact sur le changement climatique du compost et donc également celui de la pêche.

6. Bilan de la consultation publique

A venir suite aux retours de la consultation publique

7. Conclusion intérim

(en attente du retour de la consultation publique)

Suite à l'analyse de ces résultats, le GT PRO du GIS REVALIM propose les règles d'affectations suivante, suivant la nature de la matière résiduaire et du PRO :

Tableau 31 Proposition du GT PRO du GIS REVALIM

PRO / MR	Déchets	Résidus	Produits
Déchets	X	X	X
Résidus	Coupure fardeau Amont	Coupure fardeau Aval	X
Produits	Coupure économique	Coupure fardeau Aval	Allocation économique

Les justifications du GT PRO du GIS REVALIM pour le choix de chaque approche sont énoncées ci-dessous :

- **Coupure fardeau Amont** : la vocation première du traitement est de traiter un déchet (valeur économique < 0) ou un résidu qui n'a pas de valeur économique (valeur économique = 0) sans gain de valeur économique.
- **Coupure fardeau Aval** : la vocation première du traitement est de fabriquer un produit, c'est-à-dire de donner une valeur positive à un résidu sans valeur initiale.
- **Coupure économique** : la vocation première du traitement est de traiter un déchet (valeur économique < 0) pour apporter une valeur économique
- **Allocation économique** : s'applique à un co-produit qui a une valeur économique.

Cette proposition est mise à la discussion dans le cadre de la consultation publique.

Il est particulièrement important que l'usage d'une approche ou d'une autre puisse être justifié de façon claire et transparente afin que les utilisateurs connaissent les hypothèses et les conséquences de celle-ci sur les résultats.

D'un point de vue environnemental, quelle que soit l'approche retenue tous les impacts sont répartis et ne disparaissent donc jamais. Il ne faut pas oublier l'objectif principal de l'ACV : améliorer et donc réduire l'impact des filières, et non l'impact d'un seul coproduit dans un système à sorties multiples. Ainsi, la même approche doit être retenue pour tous les coproduits d'un processus afin de préserver et de retracer l'intégralité de l'impact et de permettre une approche d'éco-conception.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(Avadi 2020) Avadi A.. Screening LCA of French organic amendments and fertilisers, 2020. International Journal of Life Cycle Assessment, 25 (4) : p. 698-718. DOI: 10.18167/DVNI/OYD9WF

(Avadi and Paillat, 2020), Avadí, Angel; Paillat, Jean-Marie, 2020, "Dataset of organic fertilisers' characteristics - French data", <https://doi.org/10.18167/DVNI/OYD9WF>, CIRAD Dataverse, V2

(Brockman et al. 2014) Doris Brockmann, Mary Hanhoun, Ophélie Négri, Arnaud Hélias, Environmental assessment of nutrient recycling from biological pig slurry treatment – Impact of fertilizer substitution and field emissions, Bioresource Technology, Volume 163, 2014, Pages 270-279, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.032>.

(Dutch Handbook on LCA)(Guinée et al. 2002) Guinée JB (Ed.), Gorrée M, Heijung R, Huppes G, Kleijn R, Wegener Sleswijk A, Udo de Haes HA, de Bruijn JA, van Duin R, Huijbregts MAJ. 2002. Handbook on, Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands

(Ekvall et al. 2018) Tomas Ekvall, Anna Björklund, Gustav Sandin, Kristian Jelse, Jenny Lagergren, Maria Rydberg, Modeling recycling in life cycle assessment, Report No C551 from IVL Swedish Environmental Research Institute and in RE:Source project database ISBN SBN 978 -91 -7883 -226 -2

EPD International (2021) General Programme Instructions for the International EPD® System. Version 4.0. www.environdec.com. (p66-67)

(Guidoboni et al. 2023) Guidoboni MV, Duparque A, Boissy J, Mouny J-C, Auberger J, van der Werf HM (2023) Conservation agriculture reduces climate change impact of a popcorn and wheat crop rotation. PLoS ONE 18(5): e0285586. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285586>

(Griffing et al. 2014); Griffing EM, Schauer RL, Rice CW. Life cycle assessment of fertilization of corn and corn-soybean rotations with Swine manure and synthetic fertilizer in iowa. J Environ Qual. 2014 Mar;43(2):709-22. doi: 10.2134/jeq2013.04.0112. PMID: 25602672.

(Koch et Salou, 2022) Koch P. and Salou T., 2022. AGRIBALYSE®: Rapport Méthodologique- Volet Agriculture-Version 3.1 ; version initiale v1.0 ; 2014. Ed ADEME, Angers, France. 342 p.

(LEAP) LEAP Environmental performance of animal feeds supply chains: Guidelines for assessment. Standards and guideline 2016 - FAOLivestock Environmental Assessment and Performance Partnership (LEAP) Feed additives, Feed ingredients

NF EN ISO 14044 : Management Environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices

(PAS 2050) BSI. 2011. PAS 2050:2011 - Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards Institution, London, UK. <https://shop.bsigroup.com/forms/PASs/PAS-2050/>

(PEF) Recommendation on the use of Environmental Footprint methods, Details, Annex 1 to 2, 2021, Directorate-General for Environment

(Oldfield et al. 2018); Thomas L. Oldfield, Eoin White, Nicholas M. Holden, The implications of stakeholder perspective for LCA of wasted food and green waste, Journal of Cleaner Production, Volume 170, 2018, Pages 1554-1564, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.239>

(Pradel et al. 2016) Marilys Pradel, Lynda Aissani, Jonathan Villot, Jean-Christophe Baudez, Valérie Laforest, From waste to added value product: towards a paradigm shift in life cycle assessment applied to wastewater sludge – a review, Journal of Cleaner Production, Volume 131, 2016, Pages 60-75, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.076>

(Score LCA, Guitton et Benetto), 2013 : Mélanie Guitton, Enrico Benetto. Analyse du cycle de vie conséquentielle : identification des conditions de mise en œuvre et des bonnes pratiques rapport final. [Rapport de recherche] 2012-01, SCORE LCA. 2013. fihal-02883711

(Venanzi et al.2018) S. Venanzi, D. Pezzolla, L. Cecchini, M. Pauselli, A. Ricci, A. Sordi, B. Torquati, G. Gigliotti, Use of agricultural by-products in the development of an agro-energy chain: A case study from the Umbria region, Science of The Total Environment, Volume 627, 2018, Pages 494-505, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.176>

(Wiloso and al. 2015); Wiloso Edi Iswanto, Bessou Cécile, Heijungs Reinout. 2015. Methodological issues in comparative life cycle assessment: treatment options for empty fruit bunches in a palm oil system. International Journal of Life Cycle Assessment, 20 (2) : 204-216. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0815-1>

Zampori L, Pant R. 2019. Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. EUR 29682 EN. EU Joint Research Centre, Ispra, Italy

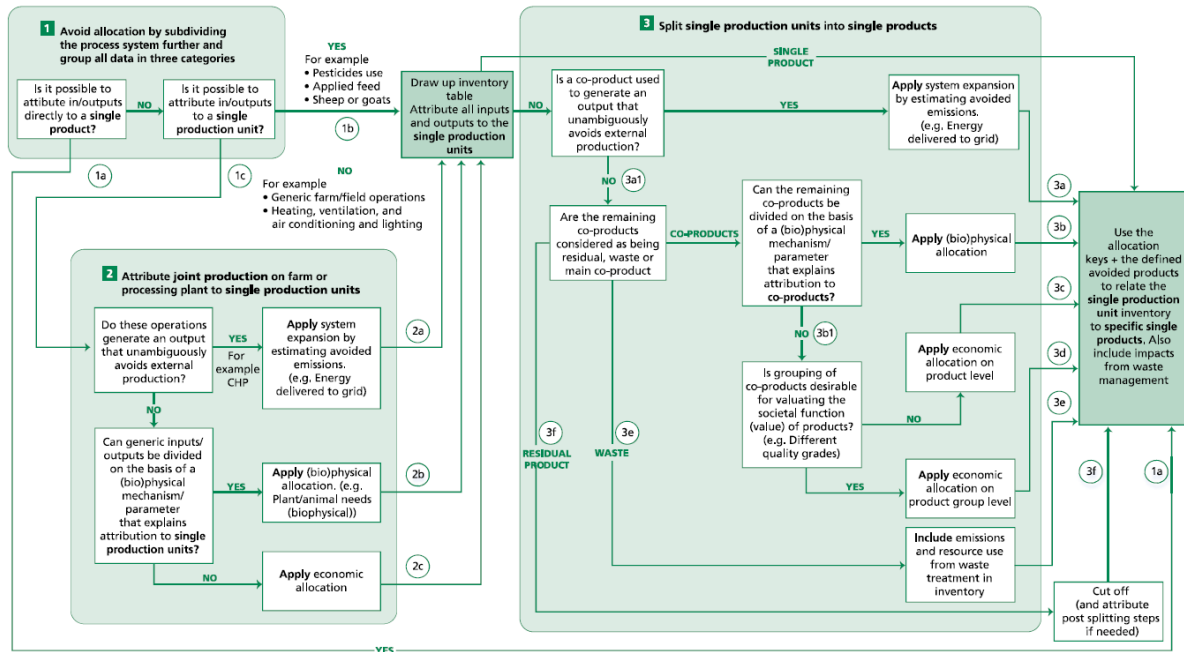
ANNEXES

Annexe 1 : Présentation d'Agrosolutions

Agrosolutions est un cabinet d'expertise conseil spécialisé dans la transition environnementale de l'agriculture. Fort d'une double compétence en Analyse de Cycle de Vie et en agronomie, Agrosolutions mène différentes études d'évaluation environnementales pour des filières, industries agroalimentaires ou coopératives agricoles. En tant qu'expert des méthodes d'évaluation carbone en agriculture (émissions de gaz à effet de serre et stockage de carbone), Agrosolutions est fortement impliqué dans le développement du Label Bas-Carbone en accompagnant le développement des nouvelles méthodes agricoles, en lien avec les instituts techniques mais également les porteurs de projets pour le montage de projets sur leurs territoires ou au sein de leur chaîne de valeur.

Annexe 2 : Arbre de décision d'approches à utiliser pour gérer la multifonctionnalité proposé le LEAP

Figure 10
Multi-functional output decision tree



Annexe 3 : Litterature consultées

- 2020 i care & consult sur commande MASA Etude prospective fixant des objectifs stratégiques d'augmentation de la part de fertilisants issus de ressources renouvelables
- 2022 AND International sur commande MASA Etude prospective sur l'estimation des besoins actuels et futurs de l'agriculture biologique en fertilisants organiques et recommandations en vue de son développement
- 2014 Expertise scientifique collective INRA-CNRS-Irstea - Houot S., Pons M., Pradel M. Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier, impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques
- 2022 FranceAgriMer Ressources en biomasse et méthanisation agricole : quelles disponibilités pour quels besoins ? Analyse des données théoriques de l'ONRB
- 2020 Avadi A. Screening LCA of French organic amendments and fertilisers
- 2020 Avadi A., Paillat J-M. Dataset of organic fertilisers' characteristics - French data
- 2022 Angouria-Tsorochidou E., Seghetta M., Trémier A., Thomsen M. Life cycle assessment of digestate post-treatment and utilization
- 2018 Brockmann D., Pradel M., Hélias A. Agricultural use of organic residues in life cycle assessment: Current practices and proposal for the computation of field emissions and of the nitrogen mineral fertilizer equivalent
- 2014 Brockmann D., Hanhoun M., Négri O., Hélias A. Environmental assessment of nutrient recycling from biological pig slurry treatment – Impact of fertilizer substitution and field emissions
- 2014 Griffing, E.M., Schauer, R.L., Rice, C.W. Life cycle assessment of fertilization of corn and corn-soybean rotations with swine manure and synthetic fertilizer in Iowa
- 2020 Pradel M., Aissani L., Canler J.-P., Roux J.-C., Villot J., et al. Constructing an allocation factor based on product- and process-related parameters to assess environmental burdens of producing value-added sludge-based products
- 2018 Olofsson J., Börjesson P. Residual biomass as resource – Life-cycle environmental impact of wastes in circular resource systems
- 2023 Egas D., Azarkamand S., Casals C., Ponsá S., Llenas L., Colón J. Life cycle assessment of bio based fertilizers production systems: where are we and where should we be heading?
- 2018 Springer N. P., Schmitt J. The price of byproducts: Distinguishing co-products from waste using the rectangular choice-of-technologies model
- 2016 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?
- 2018 Venanzi S., Pezzolla D., Cecchini L., Pauselli M., Ricci A., Sordi A., Torquati B., Gigliotti G. Use of agricultural by-products in the development of an agro-energy chain: A case study from the Umbria region
- 2015 Wiloso E.I., Bessou C., Heijungs R. Methodological issues in comparative life cycle assessment: treatment options for empty fruit bunches in a palm oil system

Annexe 4 : Tour d'horizon des approches (compléments)

Tableau 32 : Analyse des approches de prise en compte des impacts environnementaux des PRO dans les publications scientifiques revues

Publication	PRO concerné	Approche envisagée
Environmental assessment of nutrient recycling from biological pig slurry treatment – Impact of fertilizer substitution and field emissions (Brockman et al. 2014)	Lisier de porc	Substitution aval (avec production et application de fertilisants minéraux évités)
LCA of fertilization of Corn and Corn - Soybean rotation with swine manure and synthetic fertilizer in Iowa (Griffing et al. 2014)	Fumier	COUPURE FARDEAU AVAL . Gestion et stockage du fumier allouée au PRO, donc à la culture. Il est indiqué que souvent des crédits sont alloués par le biais d'un scénario de traitement des déchets évité. La substitution n'existe cependant pas pour le fumier car la réglementation implique d'appliquer annuellement le fumier au champ et le taux d'application doit correspondre aux besoins en azote des cultures. Ainsi, on ne comptabilise pas d'émissions évitées.
The implications of stakeholder perspective for LCA of wasted food and green waste (Oldfield et al. 2018)	Compost à base de déchets alimentaires	2 services rendus étudiés : Traitement d'un déchet et production d'azote. Extension du système sous l'angle du compostage comme traitement de déchet (apport en N P K évité)
	Compost à base de déchets verts	Extension du système sous l'angle du compostage comme producteur d'azote (enfouissement et production de P K évitée)
From waste to added value product: towards a paradigm shift in life cycle assessment applied to wastewater sludge - a review (Pradel et al. 2016) Méta-étude	Boues	Plutôt Extension du système pour le traitement des boues vu comme une valorisation de produit. Plutôt Coupure fardeau Amont pour le traitement des boues vu comme un traitement de déchet.
Use of agricultural by-products in the development of an agro-energy chain: A case study from the Umbria region (Venanzi et al.2018)	Méthanisation à base de culture de maïs et de fumier	Coupure post-stockage Culture dédiée : prise en compte des impacts liés à la production, du labour jusqu'à la récolte incluse. Sous-produit Agricoles et fumier : uniquement le transport Gestion de la multifonctionnalité entre biogaz/digestat : Substitution
Methodological issues in comparative LCA: treatment options for empty fruit branches in a palm oil system (Wiloso and al. 2015)	Résidus de culture pour application directe	Extension de système : le système de production d'huile de palme est étendu jusqu'au compostage des résidus de culture auquel on soustrait l'impact d'un compostage de référence.
	Compost à base de résidus de culture	Substitution : la production d'huile de palme permet la production de compost qui se substitue aux engrais inorganiques. Les impacts de ces derniers sont évités.
Conservation agriculture reduces climate change impact of a popcorn and wheat crop rotation (Guidoboni and al. 2023)	Compost à base de déchets verts	Coupure économique : partage des impacts de l'activité de compostage entre la fonction de traitement de déchets et la fonction de production de compost (allocation retenue pour le compost : 7,2% de l'activité de compostage).

Tableau 33 : Approches de prise en compte des impacts environnementaux des PRO dans les bases de données ACV pour le maïs et le blé.

Produit	ICV	BDD	PRO utilisé(s)			Source	Modélisation
Maïs	Maize, at farm {FR} Economic, U	Agrifootprint	Manure (pig), at farm {RER} Economic, U	Manure (poultry), at farm {RER} Economic, U		Blonk consultant	Coupure fardeau Amont : 0 impact
	Maize grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/ES U	WFDB	Manure, solid, cattle {GLO} market for Cut-off, S - Copied from ecoinvent			ecoinvent	Seulement transport
	Maize silage, organic {CH} maize silage production, organic Cut-off, U	ecoinvent	Green manure, Swiss integrated production, until April {CH} green manure growing, Swiss integrated production, until April Cut-off, U			ecoinvent	Considéré comme un produit (CIPAN)
	Maize grain, conventional, 28% moisture, national average, animal feed, at farm gate {FR} U	AGB	[Dummy] Organic or farm manure, as N {FR} U	[Dummy] Organic or farm manure, as P2O5 {FR} U	[Dummy] Organic or farm manure, as N {FR} U	/	Coupure fardeau Amont : 0 impact
Blé	Wheat grain, at farm {FR} Economic, U	Agrifootprint	Manure (pig), at farm {RER} Economic, U	Manure (poultry), at farm {RER} Economic, U		Blonk consultant	Coupure fardeau Amont : 0 impact
	Wheat grain, irrigated, at farm (WFLDB)/FR U	WFDB	Manure, solid, cattle {GLO} market for Cut-off, S - Copied from ecoinvent			ecoinvent	Coupure fardeau Amont : Seulement transport
	Wheat grain, organic {CH} wheat production, organic Cut-off, U	ecoinvent	Pas d'ICV mais des process de fertilisation de fumier			ecoinvent	Coupure fardeau Amont : 0 impact
	Soft wheat grain, conventional, breadmaking quality, 15% moisture, at farm gate {FR} U	AGB	[Dummy] Organic or farm manure, as K2O {FR} U	[Dummy] Organic or farm manure, as P2O5 {FR} U	[Dummy] Organic or farm manure, as N {FR} U	/	Coupure fardeau Amont : 0 impact

Tableau 34 : Approches de prise en compte des impacts environnementaux des PRO dans les bases de données ACV pour l'abricot et la carotte.

Produit	ICV	BDD	PRO utilisé(s)					Source PRO	Modélisation
Abricot	Pas d'ICV	Agrifootprint							
	Apricot, at farm (WFLDB)/FR U	WFDB	Pas d'ICV de PRO mais des ICV de procédé de fertilisation de fumier						0 impact
	Apricot {FR} apricot production Cut-off, U	ecoinvent	Manure, liquid, swine {GLO} market for manure, liquid, swine Cut-off, U	Manure, liquid, cattle {GLO} market for manure, liquid, cattle Cut-off, U	Manure, solid, cattle {GLO} market for manure, solid, cattle Cut-off, U	Poultry manure, dried {GLO} market for poultry manure, dried Cut-off, U	Poultry manure, fresh {GLO} market for poultry manure, fresh Cut-off, U	ecoinvent	Seulement transport
	Apricot {FR} apricot production Cut-off, U - Adapted from Ecoinvent U	AGB	Manure, liquid, swine {GLO} market for manure, liquid, swine Cut-off, U	Manure, liquid, cattle {GLO} market for manure, liquid, cattle Cut-off, U	Manure, solid, cattle {GLO} market for manure, solid, cattle Cut-off, U	Poultry manure, dried {GLO} market for poultry manure, dried Cut-off, U	Poultry manure, fresh {GLO} market for poultry manure, fresh Cut-off, U	ecoinvent	Seulement transport
Carotte	Carrots and turnips, at farm {NL} Economic, U	Agrifootprint	Manure (pig), at farm {RER} Economic, U		Manure (poultry), at farm {RER} Economic, U			Blonk consultant	0 impact
	Carrot, at farm (WFLDB)/CN U	WFDB	Pas d'ICV de PRO mais des ICV de procédé de fertilisation de fumier					ecoinvent	0 impact
	Carrot {CN} carrot production Cut-off, U	ecoinvent	Manure, liquid, cattle {GLO} market for manure, liquid, cattle Cut-off, U	Manure, liquid, swine {GLO} market for manure, liquid, swine Cut-off, U	Manure, solid, cattle {GLO} market for manure, solid, cattle Cut-off, U	Poultry manure, dried {GLO} market for poultry manure, dried Cut-off, U	Poultry manure, fresh {GLO} market for poultry manure, fresh Cut-off, U	ecoinvent	Seulement transport
	Carrot, organic, Lower Normandy, at farm gate {FR} U	AGB	Wheat straw, animal feed, average practices {FR} U					Ecoalim	Seulement mise en balle

Tableau 35 : Analyse des approches de prise en compte des impacts environnementaux par catégorie de PRO dans les bases de données ACV

BDD		Effluents d'élevage	Composts		Boues	Déchets verts / CIPAN		Biodéchets	Digestats	Commentaires généraux
WFDB	Exemple d'ICV	Manure, liquid, cattle {GLO} market for Cut-off, S - Copied from ecoinvent	Aucun		Aucun	Green manure, Swiss integrated production, until April {GLO} market for Cut-off, S - Copied from ecoinvent	Green manure, Swiss integrated production, until March {GLO} market for Cut-off, S - Copied from ecoinvent	Aucun	Aucun	Tous les ICV sont repris d'écoinvent
	Modélisation	Transport (based on market)				Production agricole	Production agricole			
Ecoinvent 3,6 (cut-off)	Exemple d'ICV	Manure, liquid, cattle {GLO} manure, liquid, cattle, Recycled Content cut-off Cut-off, U	Compost {FR} treatment of garden biowaste, home composting in heaps Cut-off, U	Organic nitrogen fertiliser, as N {GLO} nutrient supply from compost Cut-off, U	Organic nitrogen fertiliser, as N {GLO} treatment of sewage sludge, 97% water, WWT, WW from vegetable oil refinery, landfarming Cut-off, U	Green manure, Swiss integrated production, until April {GLO} market for Cut-off, S - Copied from ecoinvent	Green manure, Swiss integrated production, until March {GLO} market for Cut-off, S - Copied from ecoinvent	Biowaste {CH} treatment of biowaste, industrial composting Cut-off, U	Aucun	0 impact pour les PROs, hormis pour les ICV Market qui prennent en compte le transport. Les impacts des traitement sont pris en compte pour les ICV utilisés pour les scénario de gestion des déchets.
	Modélisation	0 impact (cut-off avant utilisation)	0 impact (cut-off avant utilisation)	Transport (based on market)	0 impact (cut-off avant utilisation)	Production agricole	Production agricole	Impact de la gestion de traitement du déchet		
Agrifootprint	Exemple d'ICV	Manure (pig), at farm {RER} Economic, U	Aucun		Aucun	Aucun		Aucun	Aucun	"Animal manure is considered to be a residual product of the animal production systems so it does not include any of the emissions of the animal production system."
	Modélisation	0 impact								
AGB3.1	Exemple d'ICV	Voir publication : Screening LCA of French organic amendments and fertilisers, Avadi (2020)								
	Modélisation	cut-off avant stockage	cut-off avant stockage, et première transformation (post-procédé source matière résiduaire)		cut-off avant stockage pré-floculation	cut-off avant mise en botte	cut-off avant collecte et broyage	cut-off avant collecte et broyage	cut-off avant stockage effluents animal et aucun pour la production végétale (non considéré comme déchet)	source soit générée. Impacts de toute la filière de valorisation des PRO pris en compte.

Annexe 5 : Scénarios hypothétiques pour les approches par substitution

Hypothèses pour la substitution amont :

Tableau 36 : Scénario substitué pour chaque matière résiduaire pour l'application de l'approche substitution amont

		Amont
PRO - ICV	Matière résiduaire	Scénario de traitement substitué
Slurry, from swine, stocked in silo (fertilizer) {RER} U	Effluent d'élevage porcins	
Manure, from poultry, stocked in concrete surface or pit (fertilizer) {RER} U	Effluent d'élevage de volaille	
Solid fraction of raw slurry 30-50%DM, dewatered by centrifugation (amendment) {RER} U	Effluent d'élevage bovins	
Organic fertilizer, 7-6-8, granulate, packaged {RER} U	Biodéchets : Os et sang issue de la filière d'abattage des bovins	100% Incinération
	Déchets verts	100% Incinération
	Laine	100% Incinération
Average digestate, from manure and maize silage (fertilizer) {RER} U	Effluent d'élevage bovins	
	Culture de maïs	
Compost, of green waste (amendment) {RER} U	Déchets verts	100% Incinération
	Résidu de culture de blé	
Sludge, limed (amendment) {RER} U	Boues	100% Incinération
Rendered animal by-products (fertilizer) {RER} U	Biodéchets : Os et sang issue de la filière d'abattage des bovins	100% Incinération

L'ICV utilisé comme scénario d'incinération évité est celui utilisé usuellement dans la base de données Agribalyse 3.1 pour modéliser l'incinération des biodéchets : *Biowaste {GLO} | treatment of biowaste, municipal incineration | Cut-off, U.*

Hypothèses pour la substitution aval :

Dans le cadre de cette étude, le scénario de substitution aval a été défini en réalisant un mix d’engrais minéral moyen utilisé en France. Les apports en azote ont été modélisés en utilisant l’ICV d’Agribalyse 3.1 “Average mineral fertilizer, as N, at regional storehouse {FR} U” et en réévaluant son mix en fonction des statistiques UNIFA9 (Figure 35). Les apports en phosphore et en potassium ont été modélisés en utilisant directement les ICV « Average mineral fertilizer, as P2O5, at regional storehouse {FR} U » et « Average mineral fertilizer, as K2O, at regional storehouse {FR} U ».

Produits							
Sortants connus vers la technosphère. Produits et co-produits						Quantité	Unité
Average mineral fertilizer, as N, at regional storehouse {FR} U_MODELISATION PRO						1	kg
(Insérer une ligne ici)							
Sortants connus vers la technosphère. Produits évités						Quantité	Unité
(Insérer une ligne ici)							
Entrées							
Entrées connues de la nature (ressources)		Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou Min	Max
(Insérer une ligne ici)							
Entrées connues de la technosphère (matériaux/carburants)						Quantité	Unité
Ammonium nitrate (AN), as N, at plant {RER} - Adapted from WFLDB U						0.395	kg
Urea ammonium nitrate (UAN), as N, at plant {RER} - Adapted from WFLDB U						0.271	kg
Urea, as N, at plant {RER} - Adapted from WFLDB U						0.209	kg
Inorganic nitrogen fertiliser, as N {RER} nutrient supply from ammonium sulfate Cut-off, S - Copied from Ecoinvent U						0.037	kg
Diammonium phosphate (DAP), as N, at plant {RER} - Adapted from WFLDB U						0.008	kg
Monoammonium phosphate (MAP), as N, at plant {RER} - Adapted from WFLDB U						0.008	kg
Ammonium nitrate phosphate (ANP), as P2O5, at plant {RER} - Adapted from WFLDB U						0.025	kg
NPK (15-15-15), as N, at plant {RER} - Adapted from WFLDB U						0.043	kg
Organo-mineral fertiliser, 5-5-10, bulk {RER} U						0.031	kg
Organo-mineral fertiliser, 5-5-10, granulate, packaged {RER} U						0.031	kg

Figure 35 : Contenu de l’ICV “Average mineral fertilizer, as N, at regional storehouse {FR} U” réajusté et utilisé comme scénario de fertilisation évité

Les quantités d’intrants en N, P2O5 et K2O évitées ont été ensuite ajustées pour chaque PRO en calculant les quantités de Neq, P2O5eq et K2Oeq spécifiques à chaque PRO comme spécifié dans le

⁹ Les livraisons d’engrais minéraux en France métropolitaine – Campagne 2021-2022 - UNIFA

Tableau 37 : Caractérisation des PRO testés selon leur concentration en élément fertilisant (N, P₂O₅, K₂O)

PRO - ICV	N tot (g/kg)	keqN	N équivalent minéral (g/kg)	P tot (g/kg)	keqP	P ₂ O ₅ équivalent minéral (g/kg)	K tot (g/kg)	keqK	K ₂ O équivalent minéral (g/kg)
Slurry, from swine, stocked in silo (fertilizer) {RER} U	3,5	0,42	1,5	2,1	1	2,1	2,5	1	2,5
Manure, from poultry, stocked in concrete surface or pit (fertilizer) {RER} U	21,7	0,31	6,7	15,3	1	15,3	19	1	19
Solid fraction of raw slurry 30-50%DM, dewatered by centrifugation (amendment) {RER} U	2,9	0,11	0,3	1,2	1	1,2	2,4	1	2,4
Organic fertiliser, 7-6-8, granulate, packaged {RER} U	70	0,6	41,9	50	1	50	75	1	75
Average digestate, from manure and maize silage (fertilizer) {RER} U	6	0,73	4,4	5,6	1	5,6	3,8	1	3,8
Compost, of green waste (amendment) {RER} U	7,8	0,1	0,8	4,2	1	4,2	5,1	1	5,1
Sludge, limed (amendment) {RER} U	5,2	0,35	1,8	11,9	1	11,9	0,9	1	0,9
Rendered animal by-products (fertilizer) {RER} U	92,6	0,7	65	35,3	1	35,3	8	1	8

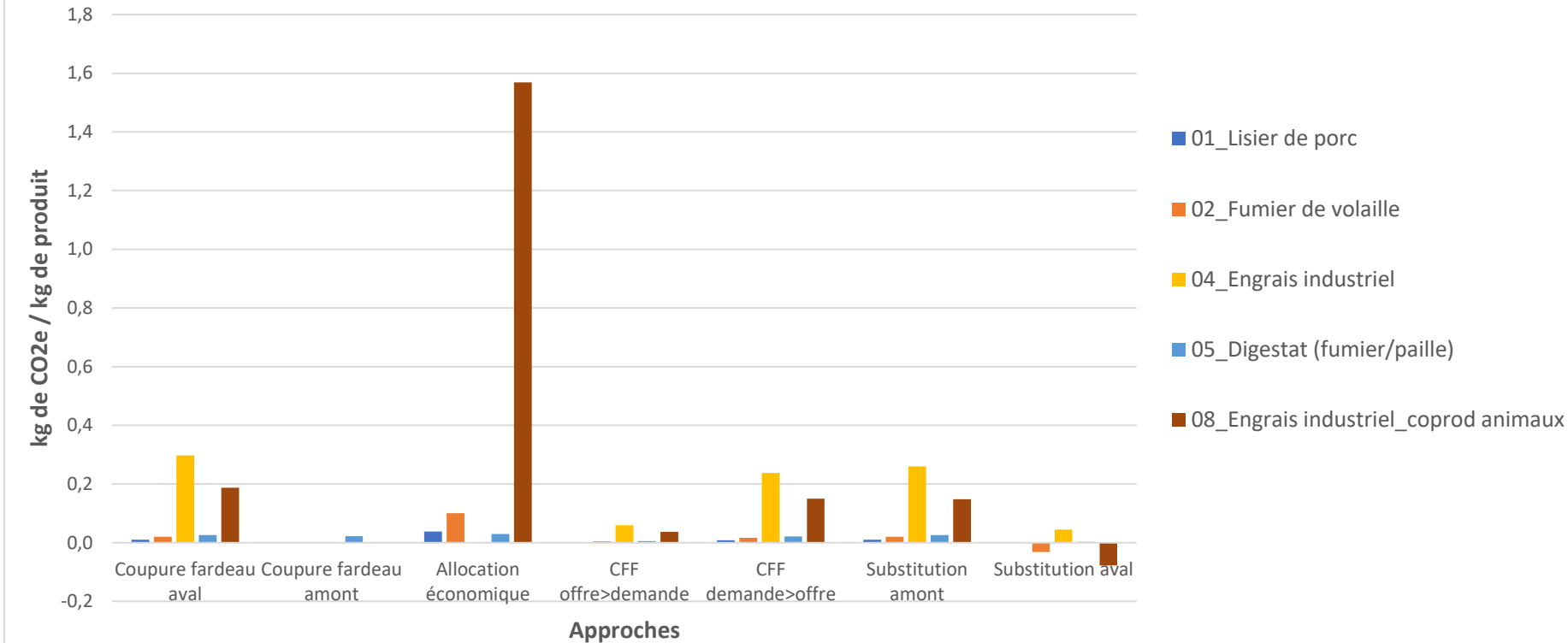
Annexe 6 : Comparaison des PRO et des approches sur des unités fonctionnelles agronomiques

Dans les comparaisons présentées ci-dessous, nous avons séparé les PRO en deux groupes : les fertilisants et les amendements, selon la classification proposée par Avadi and Paillat, 2020. L'approche par **Coupure économique** n'est pas représentée car elle a été modélisée pour un seul PRO (Compost de déchets verts – 06). D'autre part, l'approche par **allocation économique** n'a pas été modélisée pour les produits Fertilisant organique normalisé (04) et Boues d'épuration (07).

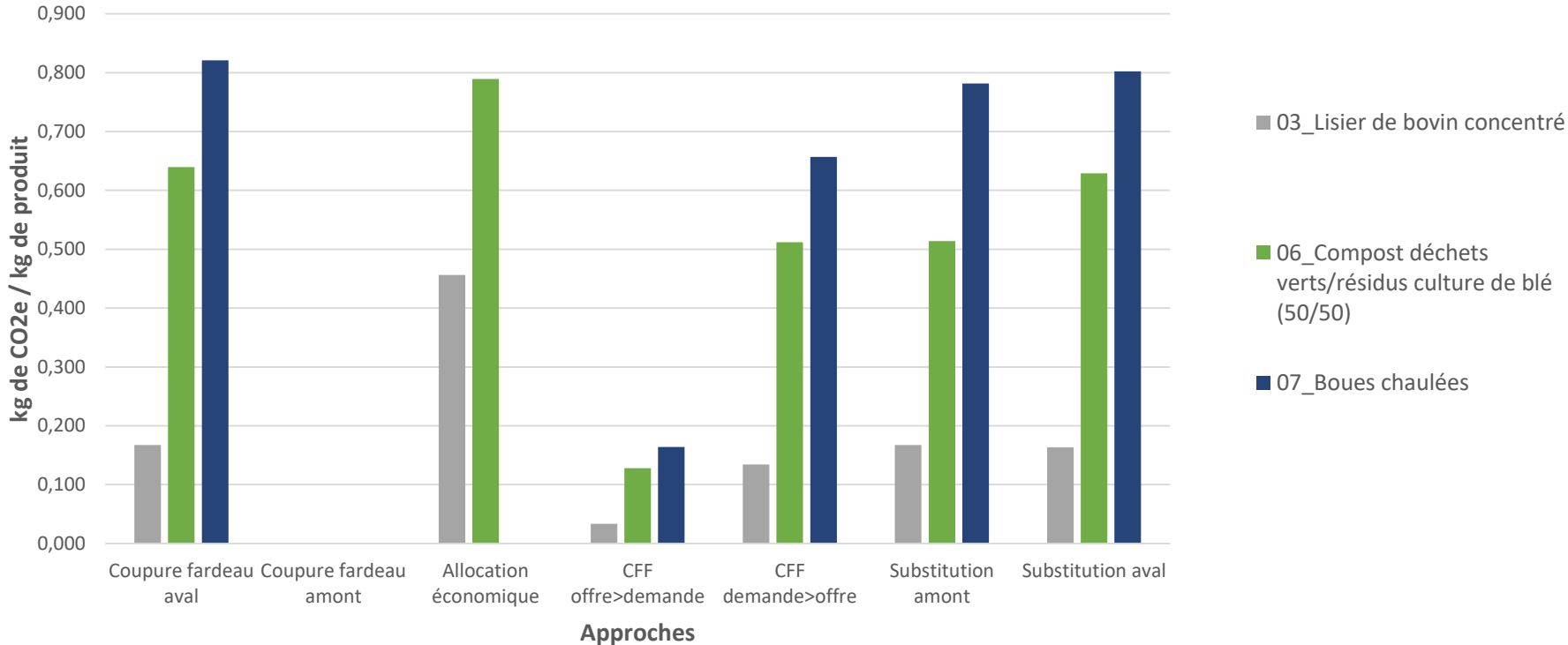
Les unités de comparaison présentées ci-dessous sont les suivantes :

- Au kg de produit
- Equivalent à l'hectare : à partir **des doses moyennes appliquées** des différents produits, issus de la statistique agricole (Enquête pratiques culturales 2017 – Agreste). Pour cette approche, les coproduits animaux (08) n'ont pas été inclus dans la comparaison, par manque de donnée.

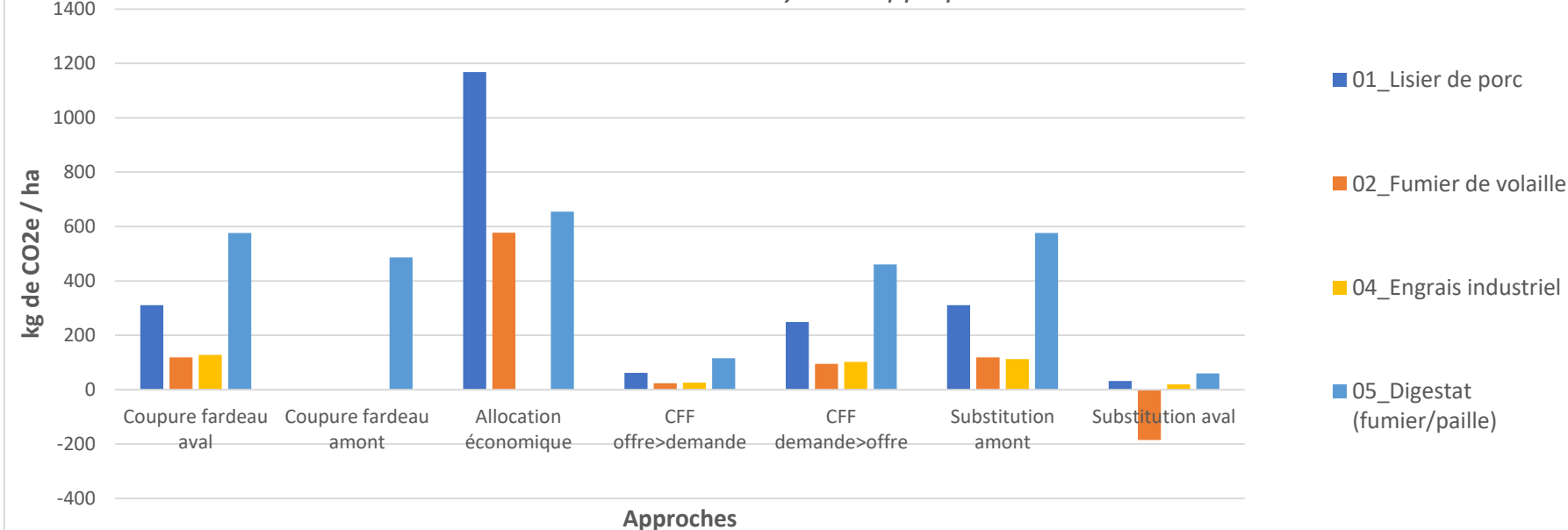
Comparaison globale des PRO par approche d'allocation pour le **changement climatique**
Fertilisants - kg de produit



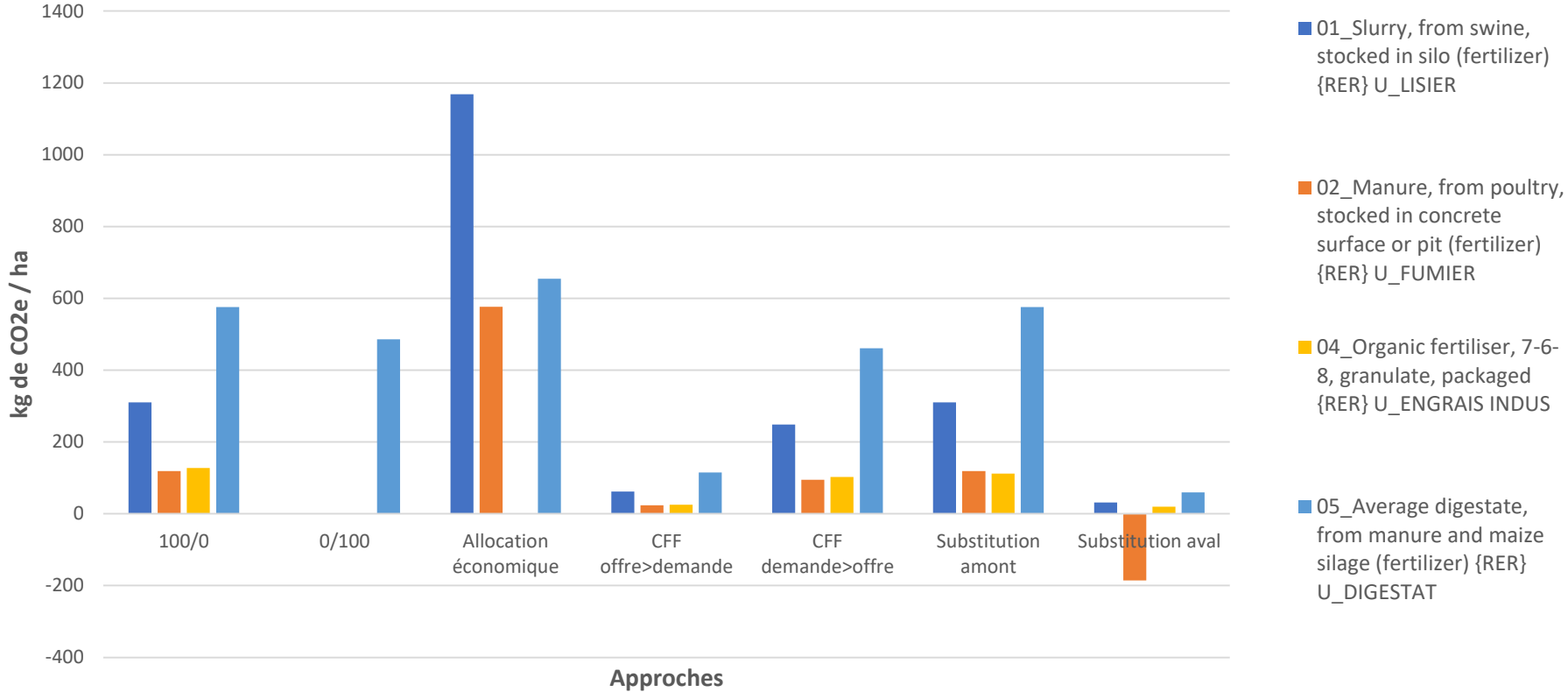
Comparaison globale des PRO par approche d'allocation pour le **changement climatique**
Amendements - kg de produit



Comparaison globale des PRO par approche d'allocation pour le **changement climatique**
Fertilisants - Dose moyenne appliquée à l'hectare

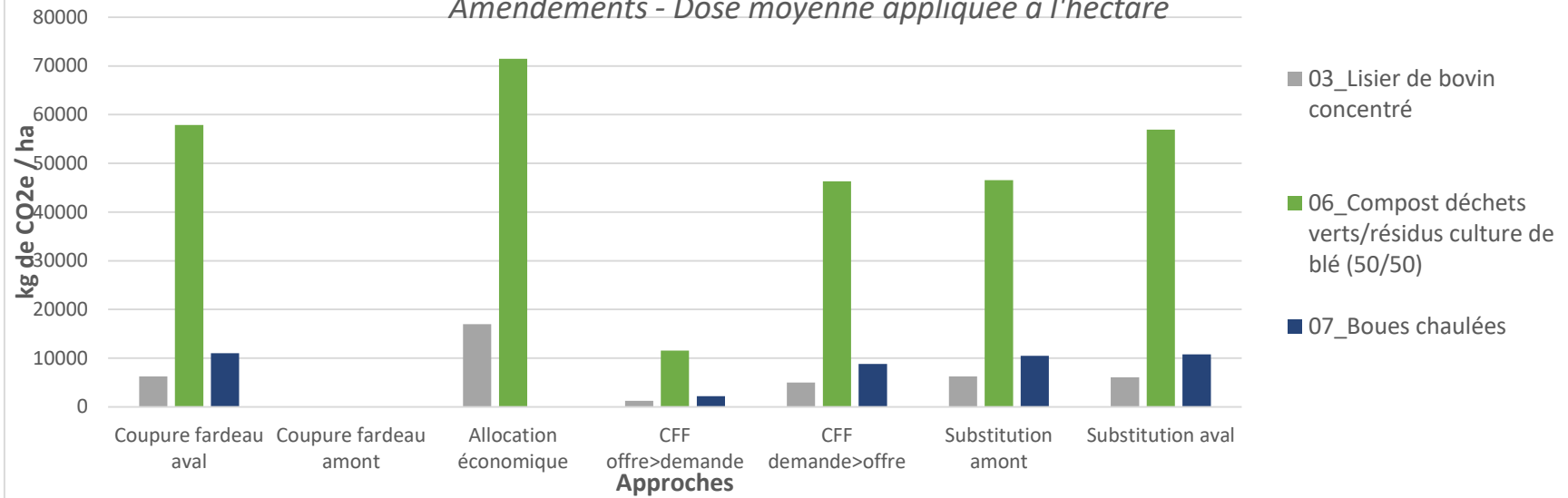


Comparaison globale des PRO par approche d'allocation pour le **changement climatique**
Fertilisants - Dose moyenne appliquée à l'hectare

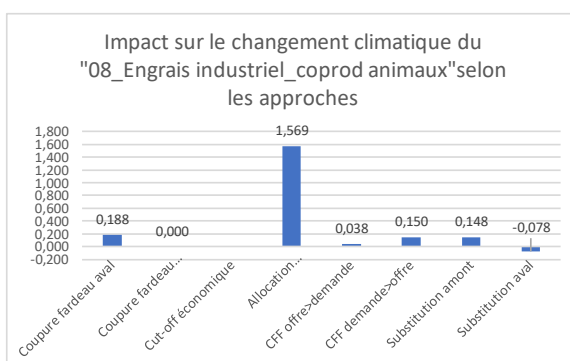
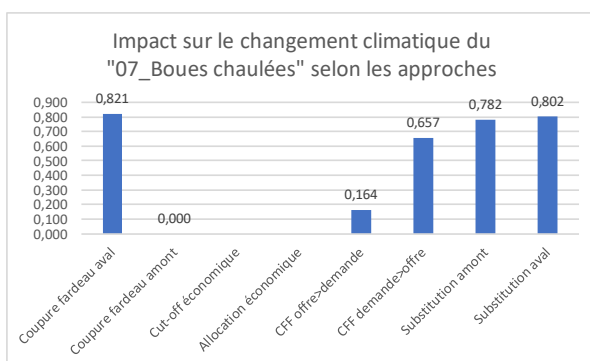
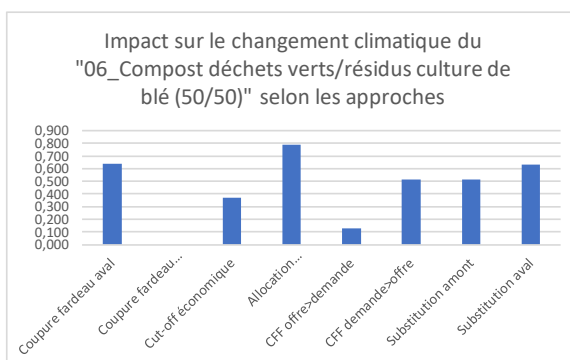
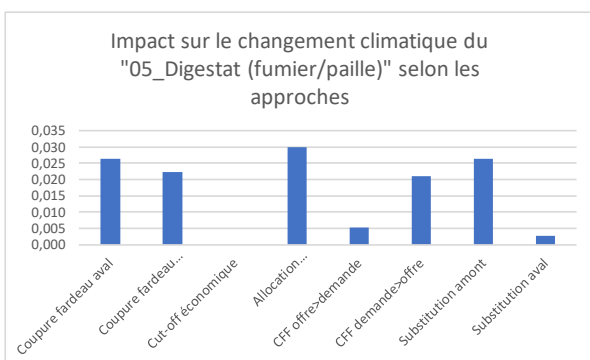
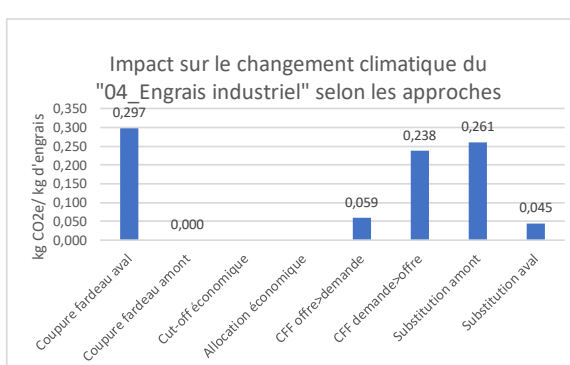
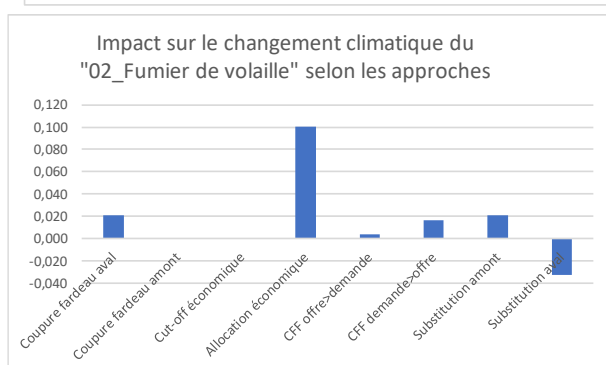
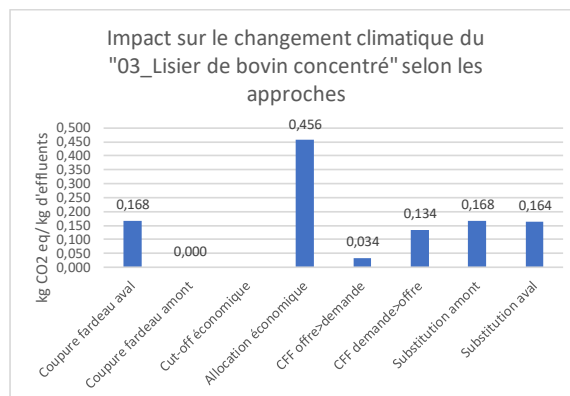
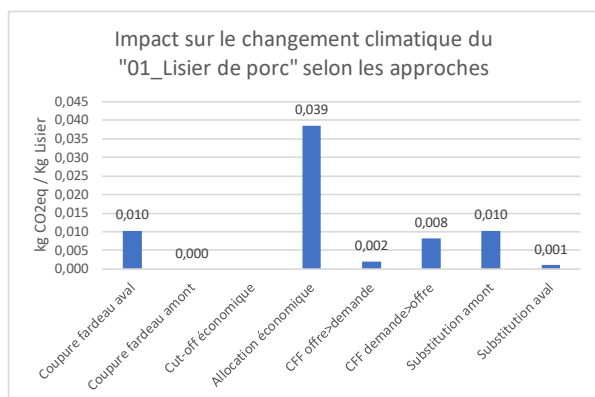


Comparaison globale des PRO par approche d'allocation pour le **changement climatique**

Amendements - Dose moyenne appliquée à l'hectare



Annexe 7 : Facteur d'émissions sur le changement climatique par PRO en fonction des approches



Annexe 8 : Intrants de fertilisation organique utilisés par Agribalyse 3.1.1 pour les cultures de blé tendre, maïs, pomme bio, raisins du beaujolais, tomate bio et pêche bio

ICV de culture	ICV d'engrais organique initial utilisé	Quantité de d'engrais organique initial utilisé
Soft wheat grain, conventional, breadmaking quality, 15% moisture, at farm gate {FR} U	[Dummy] Organic or farm manure, as N {FR} U	/
Maize grain, conventional, 28% moisture, national average, animal feed, at farm gate {FR} U	[Dummy] Organic or farm manure, as N {FR} U	/
	Sludge, thickened and dewatered (fertilizer) {RER} U	427kg
Grape, integrated, AOC, Beaujolais, at vineyard {FR} U Apple, organic, national average, at orchard {FR} U	Organic amendment, <3% N, granulate, packaged {RER} U	512kg
Apple, organic, national average, at orchard {FR} U	[Dummy] Organic or farm manure, as N {FR} U	/
	Rendered animal by-products (fertilizer) {RER} U	6105kg
Peach, organic, national average, at orchard {FR} U	[Dummy] Organic or farm manure, as N {FR} U	/
	Average compost, from green waste, biowaste, sludge, manure, slurry (amendment) {RER} U	30000kg
Tomato, organic, greenhouse production, national average, at greenhouse {FR} U	[Dummy] Organic manure mix, as N {FR} U	/
	Average compost, from green waste, biowaste, sludge, manure, slurry (amendment) {RER} U	5128kg

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 Synthèse de la notation des approches	7
Tableau 2 Proposition du GT PRO du GIS REVALIM	9
Tableau 3 : Recommandations des standards internationaux pour les effluents d'élevages en fonction du statut accordé à la matière résiduaire	15
Tableau 4 Prise en compte des PRO dans les bases de données étudiées (x : ICV présent pour cet catégorie, 0 : pas d'ICV)..	18
Tableau 5 : Synthèse de la notation des approches (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note).....	21
Tableau 6 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche coupure fardeau amont	23
Tableau 7 : Notation de l'approche Coupure fardeau Amont (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note).....	24
Tableau 8 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche Coupure fardeau aval.....	25
Tableau 9 Notation de l'approche Coupure fardeau Aval (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)	27
Tableau 10 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche coupure post-stockage	28
Tableau 11 : Notation de l'approche Coupure post-stockage (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note).....	29
Tableau 12 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche coupure économique	31
Tableau 13 : Notation de l'approche Coupure économique (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)	32
Tableau 14 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche allocation économique	33
Tableau 15 : Notation de l'approche allocation économique (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)	35
Tableau 16 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche allocation matière sèche.....	36
Tableau 17 : Notation de l'approche allocation matière sèche (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)	37
Tableau 18 Synthèse sur le degré d'adoption des approches CFF originale et simplifiée	40
Tableau 19 : Notation de l'approche circular footprint formula simplifiée (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note)	41
Tableau 20 Synthèse sur le degré d'adoption de l'approche par substitution	43
Tableau 21 : Notation de l'approche par substitution (1 : meilleure note et 4 : moins bonne note).....	44
Tableau 22 : Inventaires de PRO testés avec les différentes approches retenues	46
Tableau 23 : Statut attribué à chaque type de matière résiduaire pour tester l'approche Coupure fardeau Amont.....	47
Tableau 24 : Statut attribué à chaque type de matière résiduaire pour tester l'approche Coupure fardeau Aval	48
Tableau 25 : Statut attribué à chaque type de matière résiduaire pour tester l'approche Coupure économique	49
Tableau 26 : Justification de la non applicabilité de l'approche coupure économique : données économiques	50
Tableau 27 : Statut attribué à chaque type de matière résiduaire pour tester l'approche d'allocation économique	51
Tableau 28 : Données économiques utilisées pour l'approche d'allocation économique (N.C. non concerné)	52
Tableau 29 : Statut attribué à chaque type de matière résiduaire pour tester l'approche Circular Footprint Formula simplifiée	53
Tableau 30 : Quantité et type de PRO modélisés dans les cultures de blé tendre, maïs grain, vigne du beaujolais, pêche, pomme bio, pêche bio et tomate bio (Source : Arvalis, IFV, CTIFL)	59
Tableau 31 Proposition du GT PRO du GIS REVALIM	65
Tableau 32 : Analyse des approches de prise en compte des impacts environnementaux des PRO dans les publications scientifiques revues	71
Tableau 33 : Approches de prise en compte des impacts environnementaux des PRO dans les bases de données ACV pour le maïs et le blé.	72
Tableau 34 : Approches de prise en compte des impacts environnementaux des PRO dans les bases de données ACV pour l'abricot et la carotte.....	73
Tableau 35 : Analyse des approches de prise en compte des impacts environnementaux par catégorie de PRO dans les bases de données ACV	74
Tableau 36 : Scénario substitué pour chaque matière résiduaire pour l'application de l'approche substitution amont	75
Tableau 37 : Caractérisation des PRO testés selon leur concentration en élément fertilisant (N, P ₂ O ₅ , K ₂ O).....	77

FIGURES

Figure 1: Comparaison globale des PRO par approche pour le changement climatique - Fertilisants - kg de N efficace	8
Figure 2: Comparaison globale des PRO par approche pour le changement climatique - Amendements - % ISMO.....	8
Figure 3 Représentation schématique de la prise en compte des impacts dans une approche attributionnelle et conséquentielle Source : Score LCA, Guitton et Benetto, 2013.....	13
Figure 4 : Approche Coupure fardeau Amont	22
Figure 5 : Application de la méthode Coupure fardeau Amont au compost produit à partir de lisier de bovin	22
Figure 6 : Approche générale du Coupure fardeau Aval	24
Figure 7 : Application de l'approche coupure fardeau aval au compost produit à partir de lisier de bovin.....	25
Figure 8 : Approche générale de la coupure post stockage.....	27
Figure 9 : Application de l'approche de coupure post stockage au compost produit à partir de lisier de bovin	28
Figure 10 : Approche générale de la coupure économique.....	30
Figure 11 : Application de l'approche Coupure économique au digestat concentré	31
Figure 12 : Approche générale de l'allocation économique	33
Figure 13 : Application de la méthode de l'allocation économique au compost issu en partie de fumier de bovin.....	33
Figure 14 : Approche générale de l'allocation matière sèche	35
Figure 15 : Application de la méthode de l'allocation matière sèche au compost issu en partie de fumier de bovin	36
Figure 16 : Approche générale de la Circular Footprint Formula (Source : Thinkstep, Maki Consulting GmbH, SGS – Webinaire : Circular Footprint formula, Environmental footprint (EF) transition phase)	39
Figure 17 : Approche générale de la Circular Footprint Formula après simplification.....	40
Figure 18 : Application de la méthode de substitution amont à un engrais commercial produit à partir de sous-produits animaux	42
Figure 19 : Application de la méthode de substitution aval à un engrais commercial produit à partir de sous-produits animaux	43
Figure 20 : Comparaison de l'impact des PRO sur le changement climatique selon l'approche Coupure fardeau Amont	47
Figure 21 : Comparaison de l'impact des PRO sur le changement climatique selon l'approche Coupure fardeau Aval	48
Figure 22 : Comparaison de l'impact sur le changement climatique entre la référence actuelle dans Agribalyse (approche coupure fardeau aval) et l'application de l'approche de Coupure économique pour le compost de déchet vert/résidu culture de blé.....	51
Figure 23 : Comparaison de l'impact sur le changement climatique des PRO selon l'approche d'allocation économique	53
Figure 24 : Comparaison de l'impact changement climatique des PRO selon l'approche CFF simplifiée	54
Figure 25 : Comparaison de l'impact sur le changement climatique des PRO selon l'approche de substitution amont	55
Figure 26 : Comparaison de l'impact GES des PRO selon l'approche substitution aval	56
Figure 27: Comparaison globale des PRO par approche pour le changement climatique - Fertilisants - kg de N efficace	57
Figure 28: Comparaison globale des PRO par approche pour le changement climatique - Amendements - % ISMO.....	58
Figure 29 : Comparaison de l'impact GES du blé tendre selon les approches de modélisation des PRO	60
Figure 30 : Comparaison de l'impact GES du maïs selon les approches de modélisation des PRO	61
Figure 31 : Comparaison de l'impact GES de la tomate selon les approches de modélisation des PRO	61
Figure 32 : Comparaison de l'impact GES de la pomme selon les approches de modélisation des PRO	62
Figure 33 : Comparaison de l'impact GES du raisin selon les approches de modélisation des PRO	63
Figure 34 : Comparaison de l'impact GES de pêche selon les approches de modélisation des PRO.....	63
Figure 35 : Contenu de l'ICV "Average mineral fertilizer, as N, at regional storehouse {FR} U" réajusté et utilisé comme scénario de fertilisation évité.....	76

SIGLES ET ACRONYMES

- ACTA : Association de Coordination Technique Agricole
- ACTIA : Réseau français des instituts techniques de l'agro-alimentaire
- ACV : Analyse de Cycle de Vie
- ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
- AGB : Agribalyse
- BDD : Base De Données
- CFF : Circular Footprint formula
- CIPAN : Culture Intermédiaire Piège à Nitrates
- GES : Gaz à Effet de Serre
- GIS : Groupement d'Intérêt Scientifique
- ICV : Inventaires de Cycle de Vie
- INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
- N P K : Azote, Phosphore, Potassium
- LBC : Label Bas-Carbone
- LEAP : Livestock Environmental Assessment and Performance
- PAS : British Standard for carbon footprint
- PEF : Product Environmental Footprint
- PRO : Produits Résiduaire Organiques
- REVALIM : Réseau pour l'évaluation environnementale des produits agricoles et alimentaires
- WFLDB : World Food LCA Database

GLOSSAIRE

- **Approche Circular Footprint Formula (CFF) :**

Il s'agit d'une approche utilisée dans la méthodologie PEF (Product Environmental Footprint) pour modéliser le recyclage des matériaux ainsi que la valorisation énergétique en fin de cycle de vie du produit. Cette approche étant assez complexe à appliquer au secteur de la fertilisation, une version simplifiée a été retenue pour cette étude.

NB : les approches sont décrites de manière plus détaillée et illustrées en partie 4 du rapport.

- **Approches par les méthodes d'allocation :**

Ce sont des approches de gestion de la multifonctionnalité très utilisées en ACV pour répartir les impacts générés par un système entre les différents produits et services générés par ce même système :

- **Allocation économique** : la répartition des impacts se fait proportionnellement à la valeur économique de chaque produit ou service ;
- **Allocation matière sèche** : la répartition des impacts se fait proportionnellement à la masse sèche de chaque produit.

NB : les approches sont décrites de manière plus détaillée et illustrées en partie 4 du rapport.

- **Approches par les méthodes de coupure (également appelées « Cut-off ») :**

Utilisées classiquement pour modéliser le recyclage, elles consistent à définir une frontière dans le cycle de vie concerné, à partir de laquelle les impacts environnementaux sont affectés au produit résiduaire. La distinction entre ces différentes méthodes tient dans le positionnement de cette frontière :

- **Coupure fardeau Amont** : la frontière est placée après les processus de recyclage et valorisation de la matière, en considérant que ces processus sont dédiés au traitement nécessaire d'un déchet ;
- **Coupure fardeau Aval** : la frontière est placée avant tout processus de recyclage et valorisation de la matière, en considérant que ces processus sont dédiés à la production d'un PRO ;
- **Coupure post-stockage** : la frontière est placée après le premier stockage de la matière résiduaire mais avant tout autre processus de recyclage et valorisation de cette dernière ;
- **Coupure économique** : la frontière est placée au niveau du processus considéré comme transformant le déchet en produit.

NB : les approches sont décrites de manière plus détaillée et illustrées en partie 4 du rapport.

- **Approche par la méthode de substitution :**

Il s'agit d'une approche conséquentielle utilisée en ACV pour évaluer les conséquences d'un changement, et donc les impacts directs et indirects d'une évolution du système étudié. Dans le cadre de l'étude, nous avons modélisé un scénario de substitution

amont de traitement des matières résiduelles de manière non-circulaire (enfouissement ou incinération) et un scénario de substitution aval de fertilisation minérale à la place de la fertilisation organique permise par les PRO.

NB : les approches sont décrites de manière plus détaillée et illustrées en partie 3 du rapport.

- **Déchet :**

D'après la norme ISO 14044¹⁰, une matière résiduelle à valeur économique négative (il est nécessaire de payer pour la traiter) est considérée comme un déchet.

- **Matières résiduelles organiques :**

Déchets (ou résidus) provenant de sources biologiques comme les biodéchets, les sous-produits-animaux, les déchets verts, les résidus de culture, les effluents d'élevage ou encore les boues d'épuration. Ces déchets (ou résidus) sont principalement constitués de matière organique et peuvent être réutilisés notamment en tant que PRO.

- **Produit** (ou un coproduit) :

D'après la norme ISO 14044¹¹, une matière résiduelle à valeur économique positive est considérée comme un (co)produit.

- **Produits résiduels organiques (PRO) :**

Substances organiques riches en nutriments provenant de sources variées telles que l'agriculture, l'industrie ou les déchets urbains. Leur utilisation comme engrais ou amendement pour le sol dépend de leur contenu variable en matières organiques et en nutriments tels que l'azote, le phosphore ou le potassium.

- **Résidu :**

D'après la norme ISO 14044¹², une matière résiduelle à valeur économique nulle est considérée comme un résidu.

¹⁰ NF EN ISO 14044 : Management Environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices

¹¹ NF EN ISO 14044 : Management Environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices

¹² NF EN ISO 14044 : Management Environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

Prise en compte des Produits Résiduaire Organiques (PRO) en ACV

La présente étude, réalisée par Agrosolutions pour le compte du GIS REVALIM, a pour objectif d'aboutir à des règles de prise en compte des impacts environnementaux associés à la production, la transformation et la mise à disposition des PRO pour Agribalyse cohérentes avec le cadre méthodologique de l'ACV, les travaux internationaux en ACV et pertinentes d'un point de vue faisabilité technique.

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de la consultation publique organisée par le GIS REVALIM, ouverte du 04 décembre 2023 au 02 janvier 2024. Cette consultation porte sur le contenu de ce rapport qui présente la méthodologie et les résultats de l'étude sur la modélisation des PRO (Produits Résiduaire Organiques) en ACV (Analyse de Cycle de Vie), réalisée par Agrosolutions pour le GIS REVALIM.

Suite à l'analyse de ces résultats, le GT PRO propose des règles d'affectation soumises à discussion dans le cadre de la consultation publique.

A la suite, le GIS REVALIM actera la ou les approches retenues pour intégration dans la base de données Agribalyse.

*Le Groupe de Travail « Produits Résiduaire Organiques » (GT PRO) du GIS REVALIM s'est fixé l'objectif de mettre à jour l'approche de prise en compte des **Produits Résiduaire Organiques** pour la Base de Données Agribalyse, en cohérence avec le cadre conceptuel de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV).*

