Filière Palmier à Huile

Côte d'Ivoire

Analyse du Cycle de Vie

Rapport d'expertise

Numéro de rapport : 2913

Décembre 2020

Montpellier, France

FIRCA, Filière Palmier à Huile en Côte d'Ivoire
Analyse du Cycle de Vie

Cécile BESSOU[1,2], Bernard DUBOS[1,2], Anthony BENOIST[3,4]

[1]CIRAD, UPR Systèmes de Pérennes, F-34398 Montpellier, France.
[2]Systèmes de Pérennes, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France.
[3] CIRAD, UPR BioWooEB, F-34398 Montpellier, France.
[4] BioWooEB, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France.

Numéro de rapport : 2913

Décembre 2020

Montpellier, France

Résumé exécutif

La Côte d'Ivoire est l'un des principaux producteurs d'huile de palme en Afrique avec environ 500 000 tonnes produites par an provenant de la transformation de régimes issus de quelque 290 000 ha. 70% de ces plantations sont détenues par des planteurs villageois. Les enjeux environnementaux de la filière concernent diverses sources de pollution et des risques potentiels de déforestation. Le développement durable de la filière Palmier à Huile constitue un défi pour la Côte d'Ivoire engagée dans les processus REDD+, TFA et RSPO. Comprendre et quantifier les impacts environnementaux de la filière est indispensable pour l'optimisation des systèmes vers une production durable. Dans ce contexte, le FIRCA et l'APIH ont commandité une étude Analyse du Cycle de Vie (ACV) sur la filière palmier à huile. L'ACV compte parmi les méthodes d'évaluation environnementale les plus complètes. Sa méthodologie normée ISO 14 440/44 permet de quantifier de nombreux impacts environnementaux tout au long d'une filière afin d'identifier les principales sources d'impact et les changements de pratiques permettant de les réduire.

Sur les bases du diagnostic de la filière, neuf ACV de sous-filière ont été réalisées pour tenir compte, à l'échelle nationale, de la diversité des systèmes de production agricole (2 industriels et 2 villageois), des modes d'extraction (industriel et artisanal) et de deuxième transformation (savons et huile de table). Les ACV ont mis en évidence un impact plus important pour les systèmes villageois et artisanaux du fait de faibles rendements à l'hectare et de taux d'extraction moindre comparés aux systèmes industriels. L'analyse de sensibilité sur les rendements et taux d'extraction en systèmes villageois confirment l'importance majeure de ces paramètres dans la détermination des impacts. Les principales sources d'impact environnemental, toutes filières et toutes catégories d'impact confondues, sont les engrais en phase mature. Pour l'huile industrielle, la phase de transformation a également un impact important surtout pour trois catégories d'impact dont le Changement climatique du fait des émissions de méthane durant le traitement des POME. Pour l'huile artisanale, la deuxième principale source d'impact est le transport de l'huile vers Abidjan. Les impacts des produits de deuxième transformation sont majoritairement liés à la production de la matière première, soit les huiles brutes, et non au processus lui-même excepté notamment pour la Destruction des ressources fossiles liées aux intrants énergétiques et à la Consommation d'eau nécessaires pour la transformation. Les scénarios d'optimisation ont mise en évidence l'importance majeure de la gestion des coproduits pour réduire les impacts environnementaux à l'échelle des filières, notamment à travers la valorisation des EFB en plantations industrielles et villageoises, la capture du méthane issu du traitement des POME et la valorisation de l'huile de palmiste dans le cas de la transformation artisanale.

Au vu des résultats des ACV, les principales recommandations concernent en tout premier lieu l'amélioration des pratiques donc des rendements en plantations villageoises. Dans le cas de la transformation industrielle, la réduction des émissions liées au traitement des POME est primordiale pour réduire l'impact Changement climatique et pourrait même être intégrée dans une logique de compostage permettant de réduire en amont les engrais synthétiques. Dans le cas du développement de nouvelles plantations, les impacts sur le Changement climatique de différents scénarios de changement d'usage des sols devraient être pris en compte pour choisir les meilleures zones de développement en fonction du bilan ACV.

A l'échelle nationale, la grande diversité de système, notamment concernant les sous-filières de transformation artisanale n'a pas pu être explorée faute de données. Un recensement plus exhaustif des systèmes villageois, des types d'extraction artisanale, de leur fréquence par région, de leurs coûts énergétiques et rendements serait nécessaire pour comparer les impacts environnementaux des différentes sous-filières artisanales de manière plus fine.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des acteurs de la filière palmier à huile en Côte d'Ivoire pour leur accueil chaleureux sur le terrain et le temps consacré à l'aide pour la collecte des données nécessaires à la réalisation de l'étude. L'accompagnement du FIRCA tout au long de l'étude a été déterminant pour la bonne conduite du travail. Les auteurs remercient la Direction du FIRCA, en particulier, Mme. Chérie Assita Traoré, Directrice du Département Cultures d'Exportation et Productions Forestières et M. Oumar N'Diaye, Directeur Exécutif Adjoint ainsi que et les chargés de programme en particulier M. Serge Naï Naï Chargé de Programmes Sénior palmier à huile, cocotier et autres plantes oléagineuses. Serge Naï Naï et M. Lazare Kouamé, Responsable du Développement Durable à l'AIPH, nous ont apporté une aide significative en nous accompagnant tout au long des visites des acteurs de la filière. M. Serge Naï Naï a également assuré le suivi du dossier à distance pour assurer la transmission d'information et vérifier la qualité des livrables. Nous ne pouvons pas oublier les représentants des associations de l'interprofession notamment M. Ambroise Aka Desquith, Secrétaire Exécutif de l'APROSAP-CI pour les appuis et les contacts qui ont permis le bon déroulement de notre mission.

Citation du rapport :

Bessou C., Dubos B., Benoist A. 2020. Filière Palmier à Huile en Côte d'Ivoire : Analyse du Cycle de Vie, Rapport d'étude Cirad n°2913, réalisé pour le FIRCA et l'AIPH, 66 p., Décembre 2020, Montpellier, France

ACRONYMES

ACV	Analyse du Cycle de Vie
AIPH	Association Interprofessionnelle de la filière Palmier à Huile
APROSAP	Association professionnelle des sociétés agricoles de première transformation du palmier à huile
CAS	Changement d'Affectation des Sols
CFC	Chloro-Fluoro-Carbones
CIE	Compagnie Ivoirienne d'Electricité
COV	Composés Organiques Volatils
DQR	*Data Quality Rating* (Score de qualité des données)
EFB	*Empty Fruit Bunches* (rafles de fruits de palmier)
FENACOPAH	Fédération nationale des coopératives de planteurs de palmiers à huile
FFB	*Fresh Fruit Bunches* (régimes de fruits de palmier)
FIRCA	Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles
GIEC	Groupe Intergouvernemental d'Etude sur le Climat (IPCC, *Intergovernmental Panel of experts on Climate Change,* en anglais)
GITHP	Groupement des industriels transformateurs de l'huile de palme
OAIC	Omega Agro-Industrie et Commerce
PI	Plantations Industrielles
PV	Plantations Villageoises
SARCI	Société Africaine de Raffinage en Côte d'Ivoire

Table des matières

1 Introduction 9

2 Méthodologie de l'ACV 10

2.1 Introduction à l'ACV 10

2.2 Réalisation de l'ACV de l'huile de palme en Côte d'Ivoire 12

2.2.1 Objectif de l'étude et frontières des systèmes 12

2.2.1.1 Objectif et unités fonctionnelles 12

2.2.1.2 Frontières des systèmes 15

2.2.1.2.1 Phase agricole 15

2.2.1.2.2 Première transformation 16

2.2.1.2.3 Deuxième transformation 18

2.2.1.3 Représentativité géographique, temporelle et technologique 19

2.2.2 Analyse de sensibilité et scénarios testés 20

2.2.2.1 Analyse de sensibilité sur quelques paramètres clef 20

2.2.2.2 Scénarios de gestion des coproduits et impacts du changement d'occupation des sols 20

2.2.3 Inventaires des données 22

2.2.3.1 Données primaires (données de terrain) 22

2.2.3.2 Données secondaires (procédés d'arrière-plan) 22

2.2.3.3 Modèles d'émission 23

2.2.4 Choix des modèles et des indicateurs relatifs à l'évaluation des impacts 25

3 Résultats 26

3.1 Impacts de l'huile de palme et de l'huile rouge 26

3.1.1 Comparaison des systèmes par kg de produit fini disponible à Abidjan 26

3.1.2 Analyses de contribution pour les systèmes standards actuels 29

3.1.2.1 Contributions aux impacts du scénario HR_PV_A 29

3.1.2.2 Contributions aux impacts du scénario CPO_PV_A 30

3.1.2.3 Contributions aux impacts du scénario CPO_PI_H 31

3.1.3 Analyse de sensibilité pour le scénario HR_PV_A 32

3.2 Impact des scénarios de gestion des coproduits et des changements d'affectation des sols 32

3.2.1 Scénarios de gestion des coproduits 32

3.2.2 Scénario de changement d'affectation des sols 33

3.3 Impacts comparés des produits de deuxième transformation 35

3.4 Limites de l'étude 37

3.4.1 Scénarios testés 37

3.4.2 Modèles d'émissions et de caractérisation des impacts 38

4 Conclusions et recommandations 39

4.1 Impact environnemental des huiles et produits de deuxième transformation 39

4.2 Recommandations 40

Index des figures

Figure 1: Les 4 étapes de l'analyse du cycle de vie. Les impacts et dommages sur l'environnement correspondent aux catégories définies par la méthode RECIPE 2016 (Huijbregts et al. 2016) appliquée dans cette étude (*cf.* 2.2.4). Crédit image : S. Payen@Cirad 11
Figure 2: Cycle de production et d'exploitation des palmiers à huile 15
Figure 3: Frontière du système pour les scénarios #1-4 17
Figure 4: Frontière du système pour les scénarios #7 et #9 18
Figure 5: Comparaison des 6 systèmes de production d'huile de palme selon RECIPE 2016 (H)_ENDPOINT 28
Figure 6: Comparaison des 6 systèmes de production d'huile de palme selon RECIPE 2016 (H)_MIDPOINT 28
Figure 7: Analyse de contribution des impacts pour le scénario HR_PV_A (RECIPE 2016-Midpoint V1.10) 30
Figure 8: Analyse de contribution des impacts pour le scénario CPO_PV_A (RECIPE 2016-Midpoint V1.10) 31
Figure 9: Analyse de contribution des impacts pour le scénario CPO_PI_H (RECIPE 2016-Midpoint V1.10) 31
Figure 10: Modification de l'impact Changement climatique par rapport aux scénarios de base du fait des CAS, RECIPE 2016-MIDPOINT 34
Figure 11: Etude d'impact par kg d'huile alimentaire industrielle à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; comparaison avec l'huile raffinée non transformée 36
Figure 12: Etude d'impact par kg de savons à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; comparaison avec l'huile raffinée et l'huile rouge non transformées utilisées en quantités nécessaires pour produire 1 kg de savon 36
Figure 13: Etude d'impact par kg d'huile à Abidjan, RECIPE 2016 ENDPOINT (H) V1.03/World 2010 54
Figure 14: Etude d'impact par kg d'huile à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT & ENDPOINT (H) V1.03/World 2010 55
Figure 15: Etude d'impact par kg d'huile à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; valeurs absolues (tableau) et comparatives (figure) 56
Figure 16: Figure 12: Etude d'impact par kg d'huile à Abidjan, ILCD 2011 MIDPOINT; valeurs comparatives 57
Figure 17: Caractérisation des impacts des EFB recyclés en plantation (1 kg), avec les impacts évités du NPK substitués, RECIPE 2016-MIDPOINT 58
Figure 18: Caractérisation des impacts des modes de transport (tkm), comparaison (haut) et normalisation (bas), RECIPE 2016-MIDPOINT : vert foncé = transport du CPO en gros porteur vers Abidjan, vert clair = transport des FFB en remorque plantation-huilerie, orange = transport en véhicule utilitaire vers Abidjan 59
Figure 19: Variations des impacts (RECIPE 2016-MIDPOINT) en fonction des paramètres dont la sensibilité est testée 60
Figure 20: Etude d'impact par kg de produits de 1ère et 2ème transformations à Abidjan, optimisation minimale des scénarios RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10 61
Figure 21: Etude d'impact par kg de savon industriel à Abidjan en fonction de la fraction de tourteaux de palmiste (fraction de 0 à 1) recyclée, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; valeurs absolues (tableau) et comparatives (figures) 62

Figure 22: Etude d'impact par kg de produits de 1ère et 2ème transformations à Abidjan, optimisation maximale des scénarios RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10 63
Figure 23: Etude d'impact par kg de produits de 2ème transformation à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; valeurs absolues (tableau) et comparatives incluant les produits de 1ère transformation utilisés (figures) 65

Index des tableaux

Tableau 1: Sous-filières et scénarios pour l'ACV 14
Tableau 2: Fertilisation type exprimée en kg/palmier/an d'engrais usuels pour deux scénarios possibles des pratiques en culture en rapport en PI et PV. En PI les scénarios sont représentatifs de ce qui existe actuellement de part et d'autre d'Abidjan où les conditions climatiques limitent les rendements en régimes à 15 t/ha.an (exemple de Palmafrique) et à l'ouest du pays où la pluviométrie plus favorable permet d'obtenir 19 t/ha.an (exemple Palmci ou SOGB). En PV les scénarios sont calés sur des hypothèses (hyp.) de rendement en régimes de 6.5 t/ha.an (actuel) et 15 t/ha.an (optimisé) en moyenne sur toute la Côte d'Ivoire sans distinction de zone. 15
Tableau 3: Doses NPK (15,15,15,4) durant les 3 premières années de phase immature pour toutes les plantations 15
Tableau 4 : Evaluation qualitative de la représentativité des données pour les différents systèmes de production et transformation 19
Tableau 5: Modèles d'émissions azotées dans les plantations 24
Tableau 6: Synthèse des enjeux environnementaux considérés par chacun des trois indicateurs endpoints de la méthode ReCiPe 2016 25
Tableau 7: Description succincte des différents enjeux et mécanismes environnementaux considérés par la méthode ReCiPe 2016 26

Index des annexes

Annexe 1: Agenda des entretiens réalisés 44
Annexe 2: DQR criteria for primary data & secondary data 46
Annexe 3 : Estimation des stocks potentiels de carbone pour les changements d'usage des sols basés sur IPCC 2019 47
Annexe 4 : Inventaires de cycle de vie 48
Annexe 5 : Emissions pour les transports selon les normes européennes et telles que répercutées dans la base de données ecoinvent 53
Annexe 6 : Normalisation des endpoints, RECIPE 2016-H 54
Annexe 7 : Contributions des MIDPOINTS aux ENDPOINTS 55
Annexe 8 : Résultats RECIPE-MIDPOINT, tous impacts 56
Annexe 9 : Résultats ILCD-MIDPOINT, tous impacts 57
Annexe 10 : Impacts d'un kg de EFB recyclés en plantation comparés au NPK que les EFB substituent à teneurs en nutriments équivalentes 58
Annexe 11 : Analyse comparative des impacts des modes de transport (tkm) 59
Annexe 12 : Analyse de sensibilité pour le scénario HR_PV_A 60
Annexe 13 : Etude d'impact des scénarios d'optimisation minimale 61
Annexe 14 : Variation de l'impact d'un kg de savon industriel en fonction de la fraction de tourteaux substituée 62
Annexe 15 : Etude d'impact des scénarios d'optimisation maximale 63
Annexe 16 : Etude d'impact des produits de 2ème transformation (kg) 64

1 Introduction

Le développement de la filière Palmier à Huile en Côte d'Ivoire est le résultat d'une politique volontaire de l'Etat pour la diversification des productions agricoles en zones forestières. Pour soutenir cette politique, deux « Plans Palmier » se sont succédés en 1963-1978, puis 1983-1990. Il s'agit de plans de développement nationaux gérés par l'Etat au moyen de Sociétés de Développement notamment la Palmindustrie pour le palmier à huile. Le modèle de développement adopté lors des Plans Palmier était celui des complexes agro-industriels (usines et plantations industrielles) autour desquels gravitent des plantations villageoises dont les promoteurs ont bénéficié d'un encadrement technique, de fourniture de plants sélectionnés et d'intrants. En retour, ces planteurs livraient leur production aux usines. A partir de 1990, un processus de désengagement progressif de l'Etat s'est opéré dans tous les secteurs productifs de l'économie ivoirienne. En application de cette politique, le gouvernement ivoirien a procédé à la privatisation de ses actifs au sein de la filière Palmier à Huile en 1996. Cette privatisation a été accompagnée par une restructuration de la filière avec l'apparition de nouveaux acteurs privés ainsi que le regroupement des planteurs en organisations professionnelles.

Aujourd'hui, la Côte d'Ivoire produit annuellement environ 500 000 tonnes d'huile de palme brute, provenant de la transformation d'au moins 2 236 000 tonnes de régimes de palme issus de quelque 290 000 ha de plantation dont 70% sont détenus par des planteurs villageois. La production de l'huile de palme est caractérisée par la présence de grandes huileries[1] et de petites et moyennes huileries d'une capacité nationale de traitement d'environ 800 tonnes de régimes par heure. Les plus importantes industries de deuxième transformation, qui interviennent dans l'alimentation (huile raffinée, margarine, etc.), dans la savonnerie et dans le secteur des produits cosmétiques, sont notamment Awi, Adamafrique, Sania, Sarci et Sifca. Il faut également tenir compte du secteur artisanal qui assure la transformation d'une partie de la production de régimes de palme en huile rouge et en savon.

Le FIRCA, Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles créé en 2002, est une organisation professionnelle au service des filières et des pouvoirs publics chargé de financer les programmes de recherche appliquée, de conseil agricole, de formation aux métiers et de renforcement des capacités des organisations agricoles et forestières. L'interprofession pour la filière palmier, est opérationnelle depuis 2005 et intitulée AIPH (Association Interprofessionnelle de la filière Palmier à Huile) et comprend des coopératives de planteurs, regroupées au sein de la FENACOPAH-CI (Fédération nationale des coopératives de planteurs de palmiers à huile de Côte-d'Ivoire) ; des sociétés de plantation, représentée par l'APROSAP-CI (Association professionnelle des sociétés agricoles de première transformation du palmier à huile de Côte-d'Ivoire) ; et des raffineurs et des savonniers représentés par le GITHP (Groupement des industriels transformateurs de l'huile de palme). Des représentants de l'ensemble de ces groupements ont été consultés pour cette étude.

En termes d'enjeux environnementaux, le développement des plantations et des unités de transformation, comme mentionné dans les Evaluations Environnementales Stratégiques (EES) du troisième Plan Palmier, s'accompagne de potentielles pollutions de l'air, des eaux de surface et des sols ainsi que de la fragmentation des écosystèmes forestiers et de la conversion des forêts souvent à haute valeur de conservation par la création de plantations. La préservation des écosystèmes forestiers et le développement durable de la filière Palmier à Huile constituent aujourd'hui un défi pour la Côte d'Ivoire engagée dans les processus REDD+, TFA et RSPO dans un contexte de lutte contre la pauvreté et de développement harmonieux. Comprendre et quantifier les impacts

[1] Les grandes huileries sont définies ici comme des unités de transformation ayant une capacité de traitement supérieure ou égale à 20 tonnes de régimes de palme par heure.

environnementaux de la filière est indispensable pour l'optimisation des systèmes vers une production durable.

Dans ce contexte, le FIRCA a commandité une étude sur la filière palmier à huile[2]. L'objectif de cette étude est d'établir un état-de-l'art de la filière qui serve de base pour orienter la recherche et le renforcement des capacités des acteurs de la filière vers des systèmes durables. Cette étude, réalisée par le Cirad (2019-2020) comprend un diagnostic agronomique et environnemental de la filière à l'échelle nationale afin d'identifier les potentiels économiques et impacts environnementaux de la filière et de proposer des recommandations pour optimiser les performances de la filière. Cette étude est basée sur une mission de terrain réalisée en 2019 dans l'ensemble des régions productrices et des relevés d'enquêtes auprès des acteurs réalisés à distance entre 2019 et 2020. Cette étude est commanditée par le FIRCA qui a également contribué au relevé d'information et a facilité les échanges avec l'ensemble des acteurs de la filière tout au long de l'étude.

L'étude comprend deux pans. Le premier pan est une analyse fonctionnelle de la filière agrémentée d'un diagnostic agronomique (Rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020). Le deuxième pan d'étude est une analyse d'impact environnementale basée sur l'approche de l'analyse du cycle de vie (ACV). Le premier rapport présente les acteurs impliqués dans la filière palmier et ses sous-filières. Sur la base de ce premier rapport, les différents scénarios pour l'ACV ont été élaborés afin de couvrir un panel représentatif des situations dans la filière à l'échelle nationale. Le présent rapport présente les résultats d'ACV.

2 Méthodologie de l'ACV

2.1 Introduction à l'ACV

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) compte parmi les méthodologies d'évaluation environnementale les plus complètes. Elle permet d'évaluer les impacts environnementaux des activités anthropiques tout au long d'une filière. L'ACV repose sur deux principes fondamentaux. Tout d'abord les impacts environnementaux sont quantifiés tout au long de la chaîne de production ou du « cycle de vie », de l'extraction des matières premières (« berceau ») à la fin de vie du produit ou service (« tombe »). Ensuite ces impacts sont quantifiés relativement à une unité fonctionnelle, soit une quantité de produit (kg, une voiture, etc.), soit un usage ou service (h, km parcouru, etc.). Sur ces bases, il est possible de comparer les impacts environnementaux de filières produisant une même fonction. Depuis le début des années 2000, l'ACV est standardisée selon les normes ISO 14040/44 (2000-2006) ; ces normes permettent de garantir l'harmonisation des pratiques en ACV. La présente étude ACV a été réalisée en conformité avec ces normes ISO[3].

De par l'intérêt et la robustesse de la méthodologie, l'ACV est devenue la méthodologie préconisée dans la mise en œuvre de programmes de déclaration environnementale sur les produits de par le monde (ISO 14025 Type III Environmental Declarations). Elle est notamment recommandée par la Commission Européenne pour évaluer les performances environnementales de produits (European Commission, 2018).

[2] Une étude similaire, appliquant la même méthodologie, a été commanditée en parallèle sur la filière hévéa.
[3] Cette étude ACV n'a pas donné lieu à une revue critique externe étant donné qu'elle a été réalisée pour les commanditaires uniquement et n'a pas vocation à faire des comparaisons publiques avec d'autres études ACV. Selon les normes ISO, une revue critique ultérieure pourrait être envisagée dans le cas où les résultats seraient réutilisés dans le cadre d'une comparaison publique avec d'autres résultats d'ACV.

En résumé, l'ACV est un outil d'aide à la décision qui présente les avantages majeurs suivants :

- C'est une approche holistique qui aborde de nombreux impacts environnementaux et rend visible d'éventuels transferts de pollution entre plusieurs technologies/alternatives qui remplissent la même fonction ;
- Le cycle de vie complet du produit étudié est considéré, permettant l'identification des « hot-spot » environnementaux (les étapes qui contribuent le plus aux impacts) et des améliorations possibles sans créer de transfert d'impact caché ;
- La caractérisation des impacts est basée sur une modélisation scientifique des mécanismes environnementaux,
- La méthodologie est opérationnalisée via divers outils (e.g. logiciel SimaPro) et des bases de données ACV (e.g. Ecoinvent, Agribalyse).

L'ACV repose sur un cadre conceptuel qui définit de manière simplifiée les impacts environnementaux d'un produit comme la résultante linéaire de la contribution à divers impacts des ressources utilisées et substances émises tout au long de la chaîne de production. La méthodologie, qui en découle, comprend quatre étapes définies dans les normes ISO séries 14040 :44 2006 :

- La définition des objectifs de l'étude et des frontières du système étudié entre le début et la fin de cette chaîne ;
- L'inventaire de tous les flux de ressources utilisées et substances émises dans les limites de ce système ;
- La caractérisation des impacts, ou modélisation des impacts à partir de l'inventaire, et
- L'interprétation des résultats.

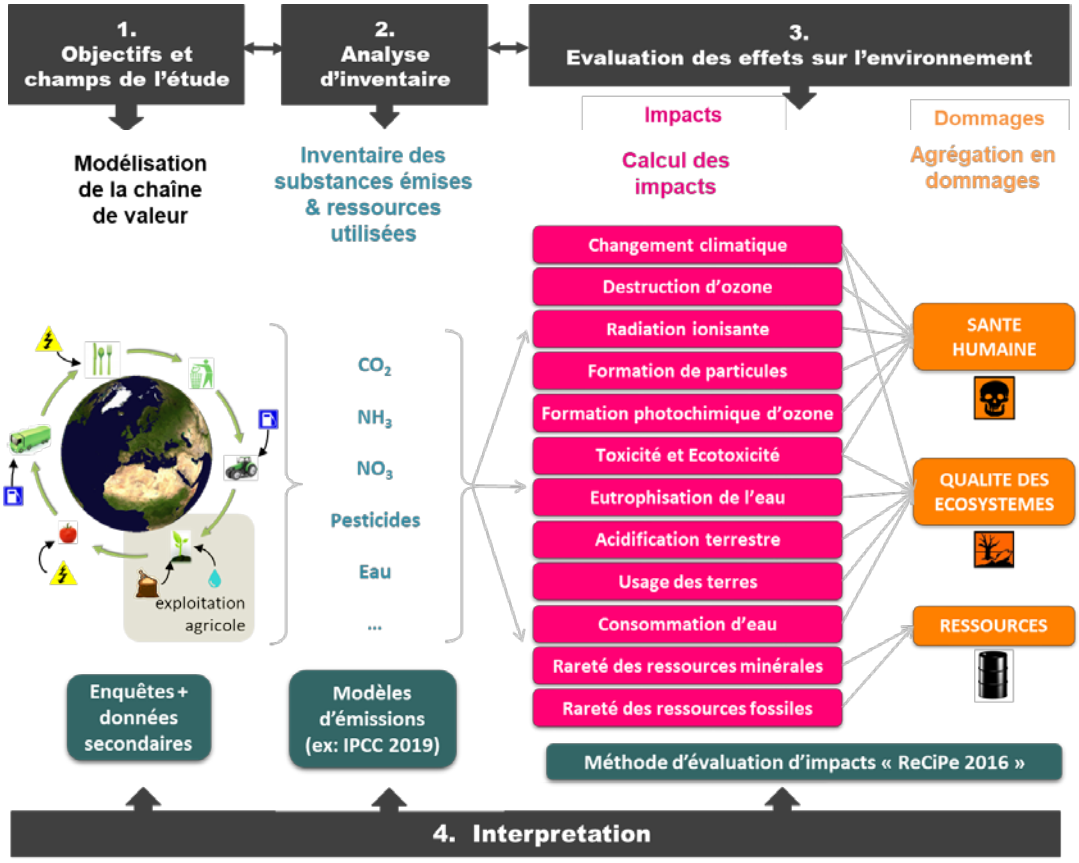


Figure 1: Les 4 étapes de l'analyse du cycle de vie. Les impacts et dommages sur l'environnement correspondent aux catégories définies par la méthode RECIPE 2016 (Huijbregts et al. 2016) appliquée dans cette étude (*cf.* 2.2.4). Crédit image : S. Payen@Cirad

2.2 Réalisation de l'ACV de l'huile de palme en Côte d'Ivoire

2.2.1 Objectif de l'étude et frontières des systèmes

2.2.1.1 Objectif et unités fonctionnelles

L'objectif de l'étude est d'évaluer les sources d'impact environnemental et les pistes d'amélioration des pratiques dans la filière palmier à huile à l'échelle nationale. Le commanditaire de l'étude et les publics cible sont le FIRCA et l'ensemble des acteurs de l'interprofession qui souhaitent coordonner leurs efforts pour améliorer les performances environnementales de la filière palmier à huile et tendre vers des systèmes durables.

Comme identifié dans le premier rapport de l'étude (Rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020), à l'échelle nationale, la filière huile de palme implique divers acteurs au niveau de la production agricole, comme de la transformation[4]. Il était ainsi nécessaire de définir des sous-filières et des scénarios pour analyser l'ensemble des impacts potentiels et les leviers d'amélioration en fonction des acteurs et de leurs pratiques. Sur la base des données collectées sur le terrain et l'expertise des auteurs et acteurs de la filière consultée consultés, neuf sous-filières ont été identifiées pour représenter le panel des situations et des leviers d'action à l'échelle nationale (Tableau 1).

Pour la phase agricole, quatre type de systèmes de production ont été déclinés sur les bases du diagnostic agronomique (Tableau 2 & Tableau 3). Pour les plantations industrielles (PI), deux systèmes de production sont caractérisés par un rendement moyen commun mais avec une fertilisation soit « basse » soit « haute », permettant de tamponner les différences d'optimum des conditions pédoclimatiques. Autrement dit dans les zones où les conditions pédoclimatiques soient moins optimales, les pratiques de fertilisation sont plus intensives pour obtenir le rendement moyen. Pour les plantations villageoises (PV), également deux systèmes de production sont modélisés : i) situation actuelle avec une fertilisation et un rendement moyen relatant une situation actuelle moyenne ; ii) une situation optimisée basée sur les conclusions du diagnostic agronomique (Rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020).

Pour les phases de première et deuxième transformations industrielles, un scenario moyen par type de transformation a été établi selon les données récoltées sur le terrain et complétées par des données de la littérature. A partir de ces scénarios moyens, des variations dans la gestion des coproduits ont été également testées à l'instar de situations rencontrées sur le terrain mais également dans l'optique d'évaluer les potentiels d'innovation.

Les fonctions remplies par les différents produits des sous-filières sont différentes ; elles ne peuvent donc pas être toutes directement comparées. Seuls les produits remplissant une même unité fonctionnelle sont comparés. Les différentes unités fonctionnelles sont détaillées ci-dessous.

L'huile industrielle brute, communément dénommée « crude palm oil » (CPO), n'est généralement pas consommée directement ; c'est un produit intermédiaire qui est ensuite raffiné et fractionné pour la consommation alimentaire ou d'autres transformations. Lors du fractionnement, les fractions liquide et solide sont séparées ; la plus liquide (oléine) est utilisée en huile de table, la plus solide (stéarine) est transformée en savon, margarine ou autres dérivés. La phase de 1ère transformation consiste en l'extraction de cette huile depuis les régimes de fruit. L'huile de palmiste, extraite des amandes, est un coproduit de l'huile de palme. Les étapes de raffinage, fractionnement et autres transformations

[4] Les acteurs rencontrés lors des visites de terrain sont listés en Annexe 1

sont comprises dans la phase de 2ème transformation. Le CPO est à la fois transformé en Côte d'Ivoire à Abidjan ou exporté depuis les ports d'Abidjan et de San Pedro. A l'échelle nationale, qu'il soit transformé ou exporté, le CPO transite en majorité par Abidjan. La phase d'export n'est pas étudiée dans cette étude, ses impacts dépendront essentiellement des moyens de transport et de la distance parcourue en fonction du pays de destination.

Pour le CPO, l'unité fonctionnelle est ainsi 1kg de CPO disponible à Abidjan quelles que soient les étapes suivantes (scénarios #1-4). Ces scénarios 1 à 4 varient en fonction de l'origine des régimes traités, soit issus de PI (scénarios #1-2) soit issus de PV (scénarios #3-4). Dans certains cas, un mélange de régimes de PI et PV peut être traité dans une même huilerie. Dans ces cas, les impacts par kg de CPO résultent d'une combinaison linéaire en fonction des proportions de régimes selon leur origine. En effet, la qualité des régimes ne varie pas suffisamment pour induire des ajustements des procédés de transformation en fonction de l'origine des régimes[5]. Etant donné cette linéarité, des scénarios mixant les origines ne sont pas calculés puissent qu'ils peuvent être directement déduits des scénarios #1-4.

L'huile de palme rouge est extraite artisanalement dans les villages. Cette huile n'est ni raffinée, ni fractionnée que ce soit pour un usage alimentaire direct comme pour la transformation en savon. Cette huile rouge est généralement extraite avec des moyens artisanaux plus ou moins élaborés, de la presse artisanale 100% manuelle aux presses semi-mécanisées. Dans le cadre de cette étude, le panel de ces transformations artisanales n'a pas pu être recensé. Ainsi, seule l'extraction artisanale 100% manuelle est modélisée dans cette étude car c'est le moyen le plus répandu du fait de sa simplicité bien qu'il ne soit pas le plus efficace. L'huile rouge est consommée directement dans les villages mais elle est également commercialisée. Afin de pouvoir comparer avec le CPO, l'unité fonctionnelle est 1kg d'huile de palme rouge disponible à Abidjan quelles que soient les étapes suivantes (scénarios #5-6). L'huile de palme rouge peut être comparée au CPO, car ce dernier pourrait être, en théorie, consommé directement bien que cela ne soit pas le cas en pratique[6].

La 2ème transformation aboutit à plusieurs produits finis, majoritairement des savons et de l'huile de table. Un seul acteur produit également de la margarine, ce produit final n'est donc pas modélisé dans cette étude[7]. La 2ème transformation en huile alimentaire vendue en bouteille ou bidon est exclusivement industrielle (l'huile rouge étant consommée directement). En revanche, la production de savon peut être industrielle ou artisanale. La transformation industrielle a majoritairement lieu à Abidjan. La production de savon artisanal à petite échelle a lieu dans les villages tandis qu'une production à plus grande échelle[8] est possible autour de centres urbains. Le savon artisanal est

[5] Ceci n'est pas vrai dans les contextes où la proportion de régimes issus de matériel tout venant (*i.e.* palmiers non issus de matériel génétique sélectionné) peut entraîner une réduction significative des taux d'extraction en huilerie. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, sur la base des observations de terrain et des documents consultés, nous avons pu considérer que la proportion de tout venant dans les plantations villageoises était suffisamment négligeable pour ne pas induire de différentiation dans les processus d'extraction des huiles (*cf.* Rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020).

[6] Les huiles industrielles comme artisanales sont comparées par kg produit. Les différences nutritionnelles ne sont pas prises en compte dans la présente étude ACV où le focus est surtout porté sur l'amélioration des systèmes de production. Une étude complémentaire prenant en compte les compositions et une unité fonctionnelle en lien avec la teneur en matière grasse et/ou vitamines pourrait répondre à d'autres questionnement notamment en lien avec des problématiques de santé publique.

[7] Cette production n'est pas représentative à l'échelle du pays et nous n'avons pas pu recueillir suffisamment de données pour modéliser précisément cette dernière étape de transformation. Par ailleurs, il ne serait pas possible d'étudier cette sous-filière en préservant l'anonymat du seul acteur concerné.

[8] Nous n'avons pas visité de site de production de savon artisanal à grande échelle lors de notre mission en 2019. Cette hypothèse n'est pas testée dans l'étude.

produit sous forme de boules d'environ 250 g qui sont largement commercialisés et circulent dans tout le pays et la sous-région. Pour faciliter la comparaison entre l'ensemble des produits, les unités fonctionnelles pour les produits de 2ème transformation sont également 1 kg de chaque produit disponible à Abidjan.

Pour la 2ème transformation industrielle, seul le CPO est utilisé comme matière première ainsi que l'huile de palmiste qui est un coproduit de la 1ère transformation industrielle. Pour la 2ème transformation artisanale, seule l'huile de palme rouge artisanale est utilisée. Les impacts additionnels liés aux étapes de 2ème transformation varient en fonction du produit final mais pas en fonction de la sous-filière d'approvisionnement en produit de 1ère transformation. Ainsi un seul scenario est testé par type de produit de 2ème transformation ; soit le scénario le plus représentatif pour chaque sous-filière : CPO-PI-H pour l'approvisionnement en CPO et H-PV-A pour l'approvisionnement en huile rouge.

Pour le conditionnement des produits de 2ème transformation industrielle, les deux produits les plus vendus sont modélisés : 1) un savon détergeant emballé de 300 g ; et 2) un bidon d'huile alimentaire de 25 l. Les compositions des savons ne varient que faiblement en fonction de l'utilisation, notamment en termes d'additifs tels que les colorants ou parfums car ceux-ci ne représentent qu'un faible volume des matières premières utilisées. Le savon détergeant de 300 g est donc un bon proxy pour représenter l'ensemble des savons. De la même manière, l'huile de table peut contenir ou non des additifs tels que des vitamines. Ces additifs ne sont pas considérés dans la présente étude, d'une part car ils ne sont pas systématiquement ajoutés dans toutes les déclinaisons de produits finis, d'autre part car les informations sur les modes de production et l'origine de ces additifs n'étaient pas disponibles. Enfin, la production industrielle de bondillons de savon, qui ne représente qu'une partie minime de la production totale n'est pas étudiée.

Tableau 1: Sous-filières et scénarios pour l'ACV

Sous-filière	***Phase agricole***	***1ère transformation***	***2ème transformation***	***Produit final***	***Unité***	***Scénario***	
						#	***Nom***
Huile de palme CPO	PI hyp. Basse	Extraction industrielle	-	CPO	1 kg	1	CPO_PI_B
	PI hyp. Haute	Extraction industrielle	-	CPO	1 kg	2	CPO_PI_H
	PV hyp. Actuelle	Extraction industrielle	-	CPO	1 kg	3	CPO_PV_A
	PV hyp. Optimisée	Extraction industrielle	-	CPO	1 kg	4	CPO_PV_O
Huile de palme rouge	PV hyp. Actuelle	Extraction artisanale	-	Huile rouge	1 kg	5	HR_PV_A
	PV hyp. Optimisée	Extraction artisanale	-	Huile rouge	1 kg	6	HR_PV_O
Savon industriel	CPO-PI-H		Raffinage, transformation et conditionnement	Savon détergeant emballé 300 g (3.33 savons)	1 kg	7	Savon_IND
Savon artisanal	HR-PV-A		Saponification artisanale	Savon en balle de 250 g (4 savons)	1 kg	8	Savon_ART
Huile de table industrielle	CPO-PI-H		Raffinage, transformation et conditionnement	Bidon d'huile de table 25 l (0.92 kg/l)	1 kg	9	Huile_IND

Tableau 2: Fertilisation type exprimée en kg/palmier/an d'engrais usuels pour deux scénarios possibles des pratiques en culture en rapport en PI et PV. En PI les scénarios sont représentatifs de ce qui existe actuellement de part et d'autre d'Abidjan où les conditions climatiques limitent les rendements en régimes à 15 t/ha.an et à l'ouest du pays où la pluviométrie plus favorable permet d'obtenir 19 t/ha.an. En PV les scénarios sont calés sur des hypothèses (hyp.) de rendement en régimes de 6.5 t/ha.an (actuel) et 15 t/ha.an (optimisé) en moyenne sur toute la Côte d'Ivoire sans distinction de zone.

Scénarios	***Urée***	***Rock Phosphate***	***KCl***	***Kiesérite***	***Rendement tFFB/ha.an***
PI hyp. Basse	0	0	1.5	0.5	15
PI hyp. Haute	0.5	1	2	1	19
PV hyp. Actuelle	0.05	0.1	0.2	0.1	6.5
PV hyp. Optimisée	0	0	1.2	0.3	15

Tableau 3: Doses NPK (15,15,15,4) durant les 3 premières années de culture (*i.e.* phase immature) pour toutes les plantations

Année	1	2	3
Dose (kg/plant/an)	1.5	3.5	4

2.2.1.2 Frontières des systèmes

2.2.1.2.1 Phase agricole

Le palmier à huile est une culture pérenne généralement exploitée commercialement pendant environ 25 ans (Schmidt, 2010; Bessou et al., 2014). Selon les observations de terrain, le cycle de plantation est ici modélisé à 27 ans dont 3 ans de phase immature. Étant donné que le palmier à huile est une culture pérenne, l'étude ACV doit prendre en compte les différents stades du cycle de vie: production de plants au stade de la pépinière (1 an), stade immature dans la plantation (3 ans), stade productif (mature) de la plantation (24 ans) et la fin de vie des palmiers (Figure 2). Dans cette ACV, l'ensemble du cycle pérenne a été évalué à l'aide d'une approche de modélisation modulaire (Bessou et al., 2013). Suivant cette approche, toutes les étapes ont été incluses dans l'évaluation en utilisant une moyenne pondérée des impacts à chaque étape en fonction de la durée de l'étape dans l'ensemble du cycle. Chaque étape est représentée par un module modélisé sur la base des observations de terrain et des dires d'experts notamment détaillés dans le rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020.

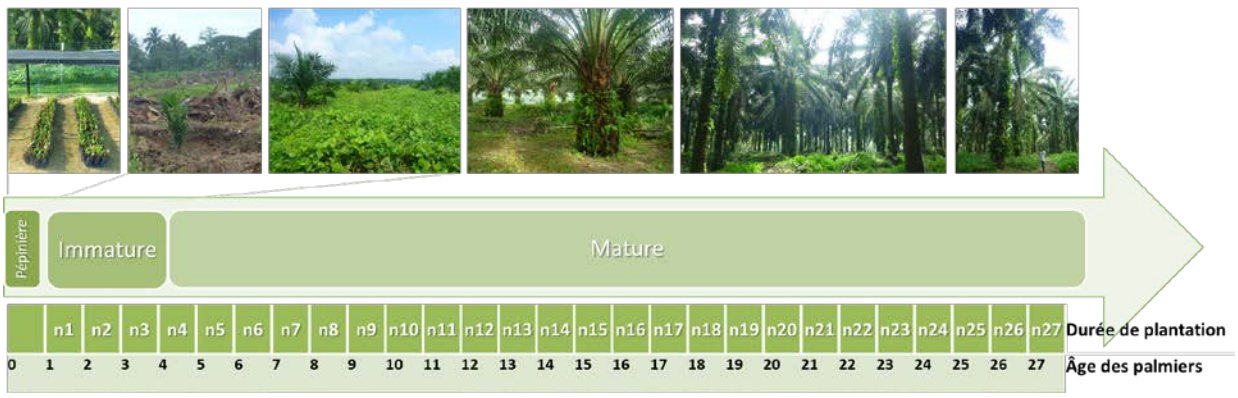


Figure 2: Cycle de production et d'exploitation des palmiers à huile

L'application d'engrais synthétiques (N, P, K) dans les plantations de palmiers à huile est une pratique courante pour atteindre le potentiel de rendement de la culture. Les engrais représentent 46 à 85% des coûts de gestion annuelle des plantations (Caliman et al., 2001; Goh et al., 2003; Goh and Po, 2005; Silalertruksa et al., 2012). Les engrais étant chers, seuls les acteurs industriels les appliquent régulièrement. Les quantités modélisées correspondent aux scénarios testés et aux potentiels de rendements associés (Tableau 2). Un scénario unique de fertilisation moyenne a été modélisé pour la phase immature des PI et des PV selon le diagnostic agronomique (*cf.* Rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020). La fabrication des engrais synthétiques, leur transport et leurs émissions associées dans les plantations sont inclus dans l'étude.

Nous avons également examiné les émissions liées au recyclage des résidus d'huilerie appliqués comme engrais organiques, notamment les rafles ou « empty fruit bunches » (EFB). Dans les scénarios de base, 50% des EFB sont brûlés, 50% sont épandus dans les PI. Les pratiques sont variables et les données collectées n'ont pas permis d'établir la proportion moyenne des EFB appliquées toute PI confondue. Un scénario avec 100% des EFB recyclés est testé (*cf.* 2.2.2). Dans ces scénarios de gestion, un scénario théorique de compostage de ces EFB et autres résidus d'huilerie a été également modélisé pour tester l'intérêt de développer une telle pratique, bien que nous ne l'ayons pas observée sur le terrain.

Malgré le problème d'un potentiel stress hydrique dans certaines zones, nous n'avons pas observé de pratique d'irrigation dans les plantations. Nous n'avons donc envisagé aucune irrigation dans le modèle ACV.

En dehors de la préparation du sol et de la plantation, la mécanisation est rare et limitée à l'application d'engrais uniquement dans les PV. Le principal poste de mécanisation dans les plantations concerne l'usage de tracteurs et transporteurs pour le transport des FFB jusqu'à l'huilerie. Dans le scénario d'utilisation des EFB en plantation, leur transport de retour de l'huilerie à la plantation est également pris en compte dans l'étude. Les distances moyennes sont modélisées en accord avec l'étude fonctionnelle, soit 25 km en moyenne pour acheminer les régimes jusqu'à l'huilerie quel que soit le type de plantation (*cf.* Rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020). Cette distance étant très variable, notamment dans le cas des PV, elle est testée dans une analyse de sensibilité (*cf.* 2.2.2).

À la fin du cycle d'exploitation, la pratique courante est d'empoisonner ou d'abattre les palmiers et de conserver la matière organique résultante sur le terrain. Pour cette étude, nous avons considéré l'abattage et la décomposition des stipes dans les plantations. La décomposition de cette matière organique contribue à maintenir ou améliorer la qualité des sols. La qualité des sols va influencer la production des plantations et est donc indirectement prise en compte dans l'ACV à travers les rendements. Néanmoins, l'influence directe sur la qualité des sols n'est pas modélisée dans les ACV. Le semis d'une légumineuse, pratique courante en PI, permet en théorie de capter l'azote issu de la décomposition pour le restituer plus tard durant le cycle de culture, néanmoins ce mécanisme n'est pas directement considéré dans les modèles d'émissions qui permettent de calculer les pertes de nitrates. La décomposition de toute la matière organique issue des résidus, y compris de celle issue des palmes élaguées chaque année, entraîne diverses émissions de composés azotés qui sont prises en compte dans l'ACV à travers les modèles d'émission de l'IPCC 2019.

2.2.1.2.2 Première transformation

Une fois récoltés, les FFB sont rapidement envoyés aux huileries à proximité pour l'extraction d'huile de palme brute industrielle (CPO) ou traités dans des presses artisanales pour extraire l'huile rouge. Les FFB doivent être traités idéalement dans les 24 h après la récolte pour éviter la formation d'acides

gras libres qui dégradent la qualité de l'huile. Dans le cas de l'extraction industrielle, l'usine est alimentée à partir de plantations dans un rayon limité en général à 50 km maximum afin d'éviter les délais entre la récolte et l'extraction de l'huile (Lake et al., 2016). Cette distance est plus faible en moyenne en Côte d'Ivoire pour les PI (*i.e.* 25 km). Néanmoins, dans le cas d'approvisionnement d'une huilerie depuis des PV, cette distance peut être plus importante comme observé sur le terrain (*cf. 2.2.2.1*). Dans le cas des presses artisanales, celles-ci se trouvent généralement non loin des plantations. Faute d'information précise sur ce secteur informel, la distance moyenne de base a été fixée à 10 km.

La transformation industrielle des FFB en huiles conduit à l'extraction du CPO du mésocarpe (la teneur en huile des FFB est d'environ 20-25%) et celle de l'huile de palmiste (PKO) depuis les amandes (teneur en huile des amandes d'environ 5%). Dans les scénarios #1-4, seule l'extraction de l'huile de palme (CPO et huile rouge) est considérée. L'huile et les tourteaux de palmiste sont alors considérés comme coproduits selon une allocation massique (Figure 3). De nombreux autres coproduits sont soient recyclés directement dans l'huilerie, tels que les fibres et les coques qui alimentent la chaudière, traités sur place, tels que les effluents liquides (Palm oil mill effluents = POME), ou encore recyclés en plantation comme amendements organiques (EFB). Ces différents coproduits font partie intégrante du système étudié selon l'approche d'expansion du système pour les englober complètement, soit en considérant les impacts liés à leur traitement et ceux intrinsèquement évités grâce à leur recyclage (*e.g.* l'énergie externe utilisée à l'huilerie est intrinsèquement diminuée de la part de bioénergie produite sur place grâce aux résidus). Ainsi l'essentiel de l'énergie utilisée pour la transformation provient de la biomasse. Néanmoins, un peu d'électricité du réseau et du carburant diesel fossile peuvent être nécessaires pour démarrer les moteurs avant que la chaudière ne prenne le relais.

Tous les intrants sont comptabilisés dans les limites du système (Figure 3), à l'exception de la production de semences et des biens d'équipement ou d'infrastructure dont l'amortissement est généralement très long et l'impact par unité de production très faible. Sur l'ensemble du cycle de production de l'huile de palme, ces intrants sont considérés comme négligeables.

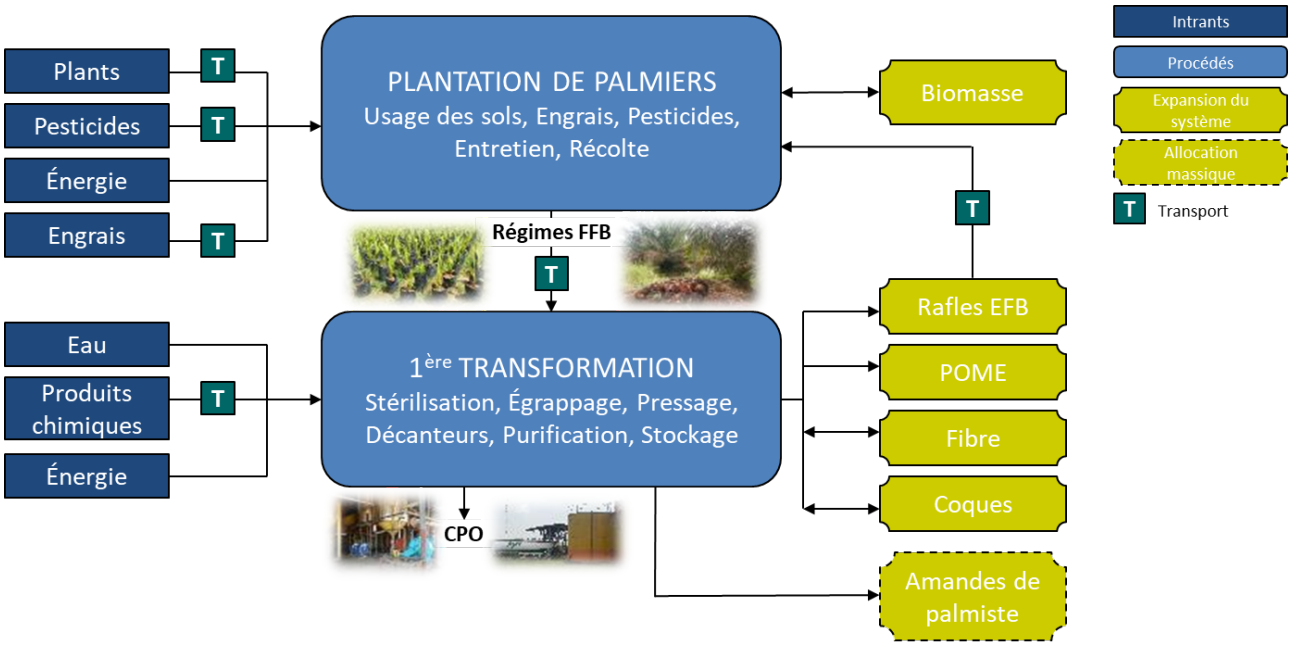


Figure 3: Frontière du système pour les scénarios #1-4

L'extraction artisanale avec des presses manuelles est assez rustique. Le seul intrant est le bois de chauffe dont la masse totale a été approchée par une seule observation de terrain en Côte d'Ivoire et des données issues d'autres études. Dans cette extraction, les amandes ne sont pas récupérées ; elles sont donc considérées comme des déchets et non des coproduits. De fait, l'impact de l''extraction de l'huile rouge est 100% alloué à l'huile rouge et non réparti entre celle-ci et les amandes comme dans le cas du CPO.

2.2.1.2.3 Deuxième transformation

Les étapes de seconde transformation industrielle comprennent le traitement des matières premières, à la fois le CPO et le PKO, et la fabrication et le conditionnement des produits finis (Figure 4). L'ensemble des intrants répertoriés dans les enquêtes sont pris en compte ainsi que le traitement des déchets. Ces derniers sont néanmoins basés sur des proxys étant donné que des données primaires sur les réseaux de traitement des déchets, *e.g.* terres, n'ont pas pu être collectées.

Pour la saponification, le procédé de base est le même quelle que soit l'échelle et consiste à faire réagir l'huile de palme avec une base forte telle que la soude caustique. Dans le cas de la production industrielle, s'en suivent des étapes supplémentaires de traitement du savon (blanchissement, ajout de parfums et colorants) et d'emballage. Dans le cas de la production de savon artisanale, les boules de savon sont produites manuellement et vendues brutes (sans additif et sans emballage). Un coproduit majeur de la saponification est la glycérine qui peut être récupérée par lavage à l'eau salée afin d'être utilisée comme adoucissant dans des crèmes cosmétiques par exemple. La récupération de cette glycérine n'est pas réalisée dans la sous-filière artisanale. Faute d'information sur la réalité chiffrée de la sous-filière industrielle, la glycérine n'est pas considérée comme un coproduit dans les scénarios de base #7 et #9. Cette hypothèse est néanmoins testée (*cf. 2.2.2.1*).

Comme pour la première transformation, les biens d'équipements (*i.e.* bâtiments et machines) ne sont pas comptabilisés dans le bilan environnemental.

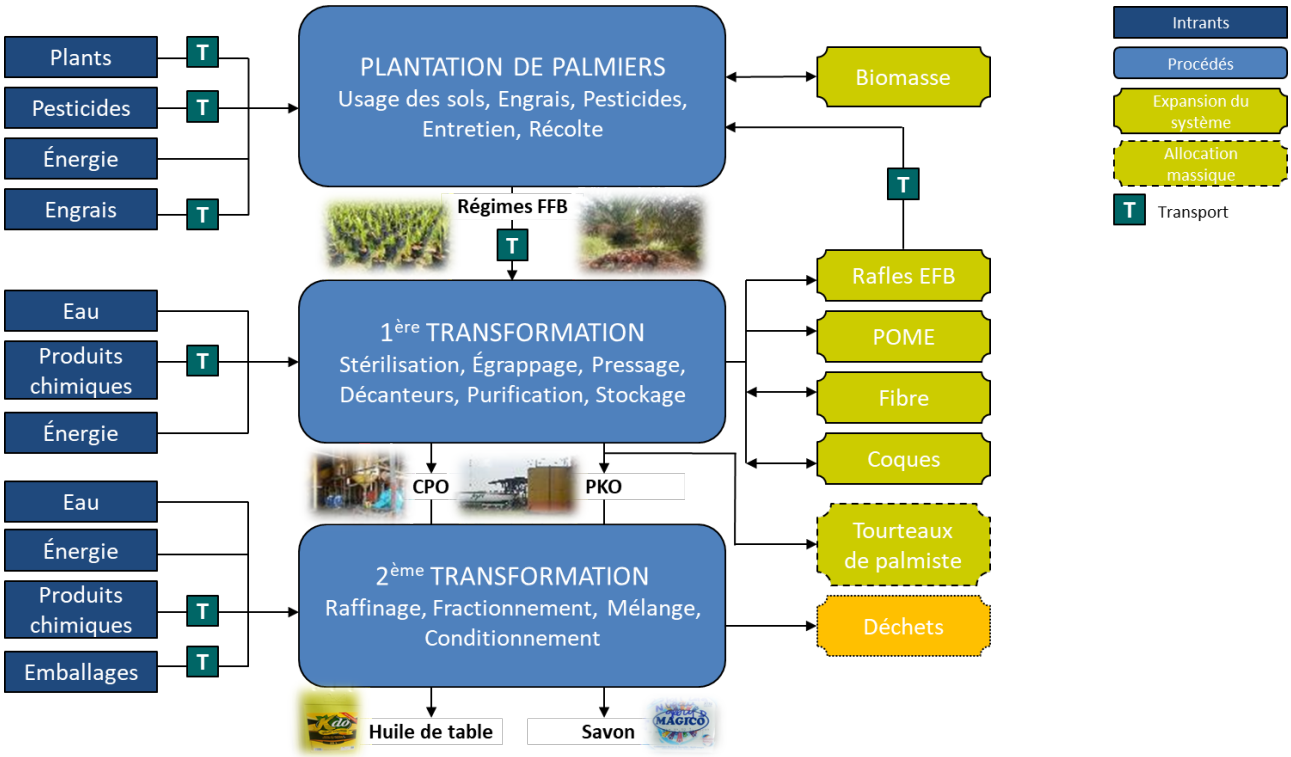


Figure 4: Frontière du système pour les scénarios #7 et #9

2.2.1.3 Représentativité géographique, temporelle et technologique

L'étude se base sur des données de terrain collectée entre 2019 et 2020. Pour certains paramètres, notamment ceux liées aux plantations, des valeurs pour trois années continues ont été collectées (2016-2018). Selon l'approche modulaire, l'ensemble du cycle de plantation est modélisé et les données pour l'ensemble du cycle de vie ont été modélisées sur la base du diagnostic agronomique dans le premier rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020. D'autre part l'ensemble des zones représentatives pour la production d'huile de palme en Côte d'Ivoire ont été enquêtées. Néanmoins la qualité des données utilisées pour modéliser les divers systèmes est inégale car tous les systèmes n'ont pas pu être enquêtés avec le même degré de détails et la variabilité des pratiques. La représentativité des données collectées dépend donc des systèmes.

La qualité globale des inventaires représentant les systèmes étudiés est qualifiée en fonction des indicateurs de qualité (Tableau 3) et de l'équation 1 selon le système officiel adopté par la Commission dans le cadre de l'affichage environnemental européen (European Commission, 2018). L'analyse qualitative est faite ici à dire d'expert en considérant un poids équivalent pour l'ensemble des flux d'inventaire par système, c'est-à-dire sans préjugé des contributions dans les impacts. Cette analyse n'a qu'une vocation indicative et vise à mettre en exergue les différences de niveaux de confiance vis-à-vis des résultats en fonction des données récoltées qui n'ont pas le même niveau de fiabilité pour tous les systèmes.

$$DQR = \frac{TeR+GR+TiR+P}{4} \quad \text{Eq. 1}$$

Tableau 4 : Evaluation qualitative de la représentativité des données pour les différents systèmes de production et transformation

	PI	***PV***	***Transfo 1 Ind.***	***Transfo 1 art.***	***Transfo 2 ind.***
Représentativité technologique (TeR)	2	4	2	4	3
Représentativité géographique (GR)	2	4	3	3	4
Représentativité temporelle (TiR)	2	3	3	3	2
Précision / incertitude (P)	3	4	3	4	4
Note de qualité globale	2.6	3.8	2.8	3.5	3.3

Notes ***1 : Très bonne*** ***2 : Bonne*** ***3 : Acceptable*** ***4 : Peu suffisante*** ***5 : Insuffisante***

Le guide pour la détermination des scores par indicateur est présenté en Annexe 2. Concernant les plantations industrielles, la représentativité géographique, temporelle et technologique est considérée comme correcte (2.6). En revanche, pour les plantations villageoises moins standardisées et pour lesquelles les pratiques sont beaucoup plus variables, la représentativité globale est considérée comme faible (3.8).

Concernant les procédés de transformation. Pour la transformation artisanale, la représentativité géographique et temporelle est considérée comme acceptable car le procédé est assez simple et ancien donc peu susceptible de varier considérablement en fonction du lieu ou du moment. Le procédé de presse artisanal est assez rustique et courant dans tout le pays, la représentativité technologique est néanmoins considérée comme faible car très peu de données primaires ont pu être collectées et la modélisation est quasi exclusivement basée sur des données issues de la littérature. D'autre part, à l'échelle du pays, il n'a pu être vérifié si d'autres technologies semi-artisanales étaient ou non appliquées, permettant d'avoir une meilleure couverture des systèmes utilisés dans la sous-filière (3.5).

Pour les transformations industrielles, la phase de première transformation est assez standardisée et relativement bien représentée (2.7) ; la variabilité dans les pratiques dépend surtout du traitement des résidus ou coproduits. Pour la phase de deuxième transformation, la qualité des données est moindre (3.3) étant donné la diversité des produits finaux, y compris les divers conditionnements, et le peu de données primaires collectées notamment sur l'ensemble des intrants (origine, quantités, etc.) et des sortants (différents produits et résidus). Pour la deuxième transformation industrielle, en particulier, les processus ont été pris dans la base de données ecoinvent (données d'arrière-plan, *cf.* 2.2.3.2).

2.2.2 Analyse de sensibilité et scénarios testés

2.2.2.1 Analyse de sensibilité sur quelques paramètres clef

L'analyse de sensibilité permet d'analyser comment la variation de certains paramètres de calcul influence les résultats de l'ACV. Cette approche permet de déterminer quels sont les facteurs les plus influant et pour lesquels, soit des données précises sont particulièrement importantes, soit des pistes d'amélioration sont à explorer pour permettre de faire varier ces paramètres dans un sens permettant la diminution des impacts. Cette approche est ainsi mise en œuvre de manière itérative. Tout d'abord les données les plus incertaines impliquent de tester certains paramètres supposés clef (*e.g.* les rendements des plantations qui ont classiquement une influence importante sur les résultats d'ACV). D'autre part, en fonction des résultats préliminaires, certains paramètres peuvent apparaître plus ou moins prégnants à tester en fonction des marges de manœuvre pour les infléchir.

Dans cette étude, diverses données sont apparues limitées en termes de représentativité, en particulier dans le cas des PV et des systèmes de transformation. Une approche systémique de test de sensibilité de +25% et -25% a été appliquée au scénario HR_PV_A (scénario # 5) pour les paramètres suivant :

- Rendements FFB/ha.an en PV
- Distance de transport des FFB à l'huilerie pour les PV
- Taux d'extraction en huile rouge (transformation artisanale)

L'analyse de sensibilité est faite en testant les paramètres un par un, afin d'étudier la sensibilité de chacun. Les résultats fournissent une indication sur l'importance du paramètre mais ne fournissent pas de résultat à part entière. Par exemple, une augmentation du rendement peut nécessiter, en pratique, des changements au niveau des intrants et autres pratiques ; cette augmentation n'est pas modélisée quand le paramètre rendement est testé en analyse de sensibilité. *A contrario*, l'analyse de scénarios alternatifs comporte une modélisation cohérente de l'ensemble des paramètres impliqués (*cf.* 2.2.2.2).

2.2.2.2 Scénarios de gestion des coproduits et impacts du changement d'occupation des sols

La gestion des résidus ou coproduits joue un rôle particulièrement important dans l'ensemble des sous-filières. D'un point de vue méthodologique, les coproduits sont importants car s'ils sont valorisés, ils assument une partie de l'impact environnemental lié à leur production comme pour le produit d'intérêt principal (huile de palme, savon, etc.). En même temps ils peuvent permettre de substituer d'autres produits permettant ainsi de réduire les impacts totaux (*e.g.* utilisation des résidus comme biocombustibles dans les chaudières des huileries). Dans tous les cas, le traitement des coproduits, qu'ils deviennent finalement des déchets ultimes ou qu'ils soient réutilisés, doit être pris en compte en ACV.

Dans la présente étude, pour la production industrielle, nous avons approfondi l'étude de l'impact des coproduits. Les observations de terrain ayant mis en évidence une importante diversité de pratiques de gestion des coproduits, nous avons, au-delà du scénario de base utilisé pour les scénarios #1-4, exploré 2 scénarios alternatifs. Dans le scénario de base, la gestion des coproduits et résidus organiques est la suivante :

- La biomasse produite dans les palmeraies et non récoltée est décomposée sur place (palmes, inflorescences males, stipes à la fin du cycle). Le recyclage naturel des nutriments est intégré dans les recommandations de fertilisation : ces nutriments ne donnent donc pas lieu à une économie d'engrais synthétiques supplémentaire ;
- Les EFB produits en huilerie sont à 50% utilisées comme amendement en plantations et à 50% brûlées. Pour la partie des EFB appliqués en paillis, l'impact des émissions liées à la décomposition et celui des émissions évitées du fait des engrais synthétiques substitués sont pris en compte ;
- Les fibres et coques sont à 100% brûlées dans les chaudières en huilerie ;
- Les POME sont traités en lagune anaérobique à 100% ;
- L'huile de palmiste est extraite à 100% et une partie des tourteaux de palmiste sont utilisés en alimentation animale : l'allocation des impacts entre l'huile de palme et les amandes est faite selon le ratio massique (*i.e.* 82% des impacts alloués à l'huile de palme et 18% aux amandes). 20% des tourteaux produits substituent d'autres aliments du bétail (le produit marginal substitué sont des tourteaux de soja, moyenne globale, sans tenir compte des transports étant donné l'incertitude liée à l'hypothèse de substitution en Côte d'Ivoire).

Nous avons ensuite testé deux scénarios de changements de pratique combinés concernant ces coproduits et appliqués aux scénarios #2 et #7 :

- Scénario d'optimisation minimale :
  - EFB 100% appliquées en plantations dans un rayon de 12.5 km ;
  - 50% des tourteaux sont recyclés et utilisés en aliments du bétail et substituent d'autres tourteaux.
- Scénario d'optimisation maximale :
  - Scénario d'optimisation minimale ;
  - Des coques en excès (10% de la production totale de coques) substituent de la biomasse bois pour la production d'énergie dans des co-générateurs industriels ;
  - Le méthane issu des lagunes anaérobiques de POME est brûlé (torchage).

Dans le cas de l'extraction artisanale, il n'y a pas de gestion au sens strict des coproduits, les amandes, par exemple, ne sont que rarement récupérées et exploitées. De fait nous n'avons pas testé de scénario d'amélioration de la gestion des déchets mais nous discutons dans les résultats de l'impacts potentiel d'une meilleure valorisation des déchets.

Les plantations industrielles datent des plans palmiers et sont relativement « anciennes », une partie a déjà été replantée. Ainsi les changements d'usage des sols passés sont considérés comme amortis (*i.e.* ont plus de 20 ans). Concernant les plantations villageoises, l'âge moyen est par contre incertain et les données sur les précédents culturaux ou les défrichements ne sont pas disponibles de manière exhaustive pour représenter des scénarios moyens. Par ailleurs, il est possible d'imaginer de nouvelles plantations dans le futur. Dans ce contexte, il était nécessaire de tester des scénarios incluant un impact de changement d'occupation des sols pour les PV comme les PI. Ces scénarios ont été modélisés sur la base des facteurs d'émissions du GIEC pour les stocks de carbone (IPCC, 2019) (*cf.* Annexe 3 pour l'estimation des stocks potentiels). Trois changements d'usage, amortis sur

l'ensemble du cycle de culture (27 ans), ont été modélisés et les scénarios sont présentés en considérant un hectare type établi suite au changement d'usage :

- De forêt secondaire à palmeraie
- De cacaoyère à palmeraie
- D'un mix 50/50 jachère et cultures annuelles

Pour le test hypothétique des scénarios de changement d'usage, seuls les émissions ou stockages de carbone biogénique ont été considérés et donnent une estimation *a minima* de l'impact additionnel lié au changement d'usage des sols. Pour une évaluation plus précise, les émissions directes et indirects de N_2O liées à la minéralisation de la matière organique du sol devraient être également incluses dans le cas de changement d'usage entraînant des pertes de stocks de carbone. L'inclusion de ces émissions peut entraîner une augmentation supplémentaire de l'impact jusqu'à 18% (Bessou et al., 2018). Pour l'évaluation plus fine d'un scénario précis de changement d'usage, ces émissions de carbone et azote devraient être basées sur un ratio C/N représentatif du ou des sols où a lieu le changement. D'autre part d'autres émissions, par exemple d'oxydes d'azote, seraient à inclure dans le cas d'un changement d'usage réalisé avec du brûlis. *A contrario,* un stockage de carbone biogénique pourrait être également considéré dans le cadre d'une exploitation de bois de la forêt remplacée par les plantations. Toutes ces hypothèses peuvent influencer le bilan net d'un changement d'usage et requièrent des informations précises sur les usages réels des sols et les pratiques de changement d'usage. Dans le contexte de l'étude, les scénarios hypothétiques visent uniquement à mettre en lumière l'ordre de grandeur de l'impact potentiel de changements d'usage des sols par rapport aux autres sources d'impact sur l'ensemble de la filière. Une étude locale plus précise serait nécessaire pour établir des plans de développement de plantations à l'échelle régionale.

2.2.3 Inventaires des données

2.2.3.1 Données primaires (données de terrain)

Les données primaires constituent les données de terrain qui permettent de décrire le plus finement possible les pratiques des acteurs impliqués dans les filières étudiées. Ces données ont été collectées lors de visites de terrain en 2019 et complétées grâce à des questionnaires envoyés aux acteurs enquêtés (Annexe 1). De l'exhaustivité de ces données primaires, dépendent la qualité de l'étude ACV et la pertinence de ces résultats (*cf.* 2.2.1.3).

Les données primaires collectées ont concerné les pratiques en plantation (intrants, rendements, transports des FFB), les intrants et sortants au niveau des huileries (énergie, eau, produits chimiques, taux d'extraction, quantités de produits et coproduits, types de traitement des coproduits) et les intrants et sortants au niveau des usines de deuxième transformation (énergie, eau, produits chimiques, quantités de produits finis). De manière générale, les informations sur les origines des intrants, le traitement des déchets, et certaines consommations d'énergie n'étaient pas ou peu disponibles. Pour les informations manquantes, des hypothèses ont été faites et sont explicitées en Annexe 4.

2.2.3.2 Données secondaires (procédés d'arrière-plan)

Pour les données secondaires, par exemple, l'extraction d'huile fossile ou la fabrication d'engrais, nous nous sommes appuyés sur ecoinvent v3.3 cut-off. Ecoinvent est la base de données la plus reconnue internationalement pour les ACV et la plus complète.

En particulier, la base de données ecoinvent a été utilisée pour caractériser les impacts liés à la production de tous les intrants et aux différentes étapes et moyens de transport, notamment les

tracteurs, les camions ou le fret maritime. Les distances ont été calculées à l'aide de google map pour le transport routier et d'une application Web gratuite (http://www.portworld.com/map/) pour le transport maritime en fonction de l'origine des matériaux importés (lorsque l'origine des produits était connue ; sinon le processus « Market » de ecoinvent était considéré puisqu'il permet de modéliser les approvisionnements moyens à l'échelle du globe). Les impacts de transport ont été calculés en tenant compte des charges de contrainte de masse et des ratios ecoinvent pour les retours à vide.

Les données ecoinvent ont également été nécessaires pour caractériser les impacts des sources d'énergie, d'électricité et de carburants fossiles, pour les transports, la mécanisation de quelques opérations en PI et les procédés de transformation. Enfin les données ecoinvent ont été utiles pour modéliser la plupart des technologies impliquées dans la deuxième transformation industrielle (*i.e.* pour la production industrielle d'huile de table et de savon).

2.2.3.3 Modèles d'émission

La plupart des impacts environnementaux au stade de la plantation sont dus à l'impact des émissions des produits agrochimiques appliqués sur le terrain. Ces contributions sont d'autant plus critiques dans les filières agricoles peu mécanisées telles que celle du palmier à huile. Il s'agit notamment d'émissions de nitrates, de pesticides ou de protoxyde d'azote qui a un fort pouvoir de réchauffement climatique. Le déterminisme de ces émissions est complexe car il dépend de très nombreux facteurs variables dans le temps et l'espace. En ACV, nous appliquons des modèles empiriques reconnus internationalement qui se basent sur des jeux de données couvrant de nombreux pays et systèmes.

Nous n'avons pas considéré de stockage de carbone biogénique à court terme dans les huiles et produits dérivés, en cohérence avec les normes internationales (*e.g.* PAS2050 BSI 2011; ISO 14467). Ainsi, les émissions de dioxyde de carbone (CO_2) biogénique, capté initialement dans l'atmosphère par la photosynthèse, sont considérées comme neutres d'un point de vue de leur contribution au changement climatique. C'est le cas notamment des émissions de CO_2 lors de la décomposition aérobie et rapide des résidus organiques. En revanche, lors de la décomposition anaérobique des résidus (*e.g.* lagunage des POME) du méthane (CH_4) dérivé de ce CO_2 biogénique peut être émis. Dans ce cadre, la plus-value en termes de contribution au changement climatique liée au fait que le CH_4 a un pouvoir de réchauffement climatique supérieur au CO_2 est prise en compte. Le pouvoir de réchauffement climatique du CH_4 biogénique, en déduisant la part du CO_2 biogénique neutre, est estimé à 34 kg CO_{2eq}/kg CH_4[9].Par ailleurs, dans le cas d'un changement d'affectation des terres, le stockage du carbone biogénique à long terme a été pris en compte, c'est-à-dire le changement du carbone organique du sol et de la biomasse à l'équilibre (moyenne linéaire sur le cycle), comme recommandé dans les lignes directrices du GIEC (IPCC, 2019).

Pour les émissions azotées liées aux apports d'engrais synthétiques ou organiques, ainsi qu'à la décomposition des résidus de culture, nous avons appliqué les lignes directrices du niveau 1 du GIEC

[9] Dans le contexte de l'empreinte environnementale, un simple calcul stœchiométrique est utilisé pour compenser l'absorption évitée de CO_2 dans le méthane rejeté (+2,75). On peut discuter du facteur de correction à appliquer, (i) +2 suivant le GIEC, (ii) +2.5 suivant la marge supérieure de Boucher et al. (2009) pour un horizon temporel de 100 ans ou (iii) +2,75 en utilisant le bilan stœchiométrique (toutes les émissions se produisent "maintenant"). La dernière approche est choisie, car un pouvoir de réchauffement climatique de 36,75 kg CO_{2eq} assure le même résultat entre une modélisation détaillée (modélisation de toutes les absorptions et rejets de carbone) et une approche de modélisation simplifiée (modélisation du rejet de CH_4 uniquement). Dans le contexte de l'EF, le même résultat entre une approche de modélisation détaillée ou l'approche de modélisation simplifiée proposée par l'EF est considéré comme essentiel. Cela signifie que pour le méthane fossile, un GWP de 36,75 kg $CO_{2eq.}$ doit être utilisé et 34 kg CO_{2eq} pour le méthane biogénique (European Commission, 2018).

(IPCC, 2019) et la version 2006 pour les procédés d'arrière-plan (*i.e.* la production des semences et des plants). Pour les émissions d'oxydes d'azote (NO_x), nous avons appliqué le modèle (Stehfest and Bouwman, 2006) et pour celles de NH_3^+ (Bouwman et al., 2002) (Tableau 4).

Pour les autres émissions agricoles dans les plantations, nous avons appliqué les modèles SALCA suivants, qui sont couramment utilisés dans la base de données ecoinvent. Nous nous sommes appuyés sur SALCA-SM de Freiermuth (2006) pour calculer la quantité de métaux lourds introduits dans les sols par les apports d'engrais. En raison du manque de données sur les teneurs en métaux lourds des produits du palmier et d'autres composants des plantations de palmiers (c'est-à-dire dans les sols locaux, etc.), nous n'avons pas effectué une analyse complète des entrées-sorties pour déterminer les résidus rejetés dans l'environnement. La quantité totale de métaux lourds introduite dans la plantation par les intrants a été considérée comme émise dans le sol, ce qui est une approche plutôt prudente car une partie de la charge pourrait être effectivement stockée. Nous avons appliqué la même approche pour les pesticides et avons considéré que les quantités totales de pesticides appliquées se retrouvaient dans les sols. Pour les émissions liées au phosphore, nous avons appliqué le modèle SALCA-P de Prasuhn (2006), comme décrit dans Nemecek et Schnetzer (2011).

Enfin pour les émissions liées au transport routier, nous avons considéré un niveau technologique de contrôle de la pollution correct basé sur les normes européennes (EURO 3 voir Annexe 5). Cette hypothèse est appliquée sans distinction entre les types de transport, *e.g.*, camions ou véhicules légers, et suppose des véhicules aux performances moyennes en terme de réduction des émissions. Cette hypothèse est en accord avec le fait que les émissions du transport en Côte d'Ivoire sont potentiellement exacerbées par la mauvaise qualité de certaines routes qui rendent les trajets plus longs. Par ailleurs, la modélisation des transports dans ecoinvent tient compte des retours à vide et de plusieurs autres hypothèses concernant la répartition de l'utilisation et de l'entretien des routes entre différentes véhicules et fréquences de transport. Ces hypothèses sous-estiment potentiellement les impacts dans le cas de la Côte d'Ivoire, étant donné l'état du réseau mais une modélisation nationale de tous les paramètres impliqués dans le réseau routier et la circulation des véhicules était hors de portée de l'étude actuelle.

Tableau 5: Modèles d'émissions azotées dans les plantations

Emissions	***Compartiments***	***Références***	***Formules de calcul par hectare.an***	
N_2O	Air	IPCC 2019	Engrais synthétiques	kg N_2O = (44/28) * kg N-engrais * [0.016 + $Frac_{GASF}$ (=15% pour l'urée) * 0.014 + $Frac_{LEACH}$ (=24%) * 0.011]
			Résidus organiques	kg N_2O = (44/28) * kg N-résidus * [0.006 + $Frac_{GASM}$ (=21% pour tout apport organique) * 0.014 + $Frac_{LEACH}$ (=24%) * 0.011]
NH_3^+	Air	Bouwman et al. 2002	Engrais synthétiques	kg NH_3^+ = (17/14) * kg N-engrais * 0.21 (pour l'urée)
			Résidus organiques	kg NH_3^+ = (17/14) * kg N-résidus * 0.23 (résidus organiques)
NO_3^-	Eau	IPCC 2019	Engrais synthétiques	kg NO_3^- = (62/14) * kg N-engrais * $Frac_{LEACH}$ (= 24%)
			Résidus organiques	kg NO_3^- = (62/14) * kg N-résidus * $Frac_{LEACH}$ (= 24%)
NO_x (in NO)	Air	Stehfest and Bouwman 2006	Engrais synthétiques	kg NO = (30/14) * kg N-engrais * 0.0055
			Résidus organiques	kg NO = (30/14) * kg N-résidus * 0.0055

2.2.4 Choix des modèles et des indicateurs relatifs à l'évaluation des impacts

Dans le cadre de cette étude d'ACV, la méthode retenue pour l'évaluation des impacts est la méthode *ReCiPe 2016* (version 1.1, approche dite hiérarchiste). En effet, cette méthode fait partie des méthodes les plus récentes et les plus globales disponibles à l'heure actuelle (Huijbregts et al., 2016, 2017). De plus, cette méthode permet de quantifier les impacts sur l'environnement selon deux types d'indicateurs :

- Des indicateurs dits *midpoints*, qui caractérisent les impacts des systèmes selon différents grands enjeux environnementaux d'intérêt, tels que le changement climatique, la destruction de la couche d'ozone ou l'épuisement des ressources ; et
- Des indicateurs dits *endpoints*, qui considèrent l'ensemble des enjeux environnementaux précédents et les expriment selon leurs effets sur trois grandes aires de protection : l'épuisement des ressources, la qualité des écosystèmes, et la santé humaine.

Bien que les indicateurs *endpoints* souffrent d'incertitudes plus grandes que celles des indicateurs *midpoints*, le fait qu'ils permettent d'agréger différents enjeux environnementaux facilite la lecture et la comparaison des résultats. Pour cette étude, les indicateurs *endpoints* sont donc privilégiés pour une première analyse des résultats. L'analyse est ensuite approfondie à l'aide des indicateurs *midpoints*, mais uniquement pour ceux contribuant significativement aux indicateurs *endpoints*. Le Tableau 6 décrit les principaux enjeux environnementaux, nommés « Aires de protection » en ACV, considérés par la méthode ReCiPe 2016, par indicateur *endpoint*. Une brève description de ces enjeux environnementaux est ensuite donnée dans le Tableau 7(Huijbregts et al., 2017).

Catégorie d'impact midpoint	***Aires de protection considérées par chaque indicateur endpoint***		
	Epuisement des ressources	*Santé des écosystèmes*	*Santé humaine*
Changement climatique		×	×
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique : *i.e.* résumé dans le reste de l'étude par : Destruction de l'ozone			×
Effets des radiations ionisantes			×
Formation de particules fines			×
Formation d'ozone photochimique : *i.e.* résumé dans le reste de l'étude par : Formation d'ozone ayant des impacts potentiels sur la santé des écosystèmes et la santé humaine		×	×
Acidification terrestre		×	
Eutrophisation des eaux douces et marine		×	
Toxicité et écotoxicité		×	×
Consommation d'eau		×	×
Usage des sols		×	
Epuisement des ressources minérales	×		
Epuisement des ressources fossiles	×		

Tableau 6: Synthèse des enjeux environnementaux considérés par chacun des trois indicateurs endpoints de la méthode ReCiPe 2016

Tableau 7: Description succincte des différents enjeux et mécanismes environnementaux considérés par la méthode ReCiPe 2016

Catégorie d'impact	*Description de l'enjeu environnemental*
Changement climatique	Emissions de gaz à effet de serre à l'origine de perturbations du système climatique
Destruction d'ozone	Emissions de composés tels que les Chloro-Fluoro-Carbones (CFC) ou halons, à l'origine du phénomène de trou de la couche d'ozone
Effets des radiations ionisantes	Rejets de substances radioactives
Formation de particules fines	Emissions de matières particulaires ou de précurseurs de particules, à l'origine de troubles respiratoires
Formation d'ozone	Emissions de polluants précurseurs d'ozone tels que les NO_x ou les Composés Organiques Volatils (COV), à l'origine de problèmes de santé humaine (irritations, asthme) ou de dommages sur les végétaux
Acidification terrestre	Effets des émissions de polluants acidifiants, à l'origine de phénomènes tels que les pluies acides, sur les écosystèmes terrestres
Eutrophisation des eaux douces et marine	Emissions de nutriments dans le milieu naturel, à l'origine de déséquilibres dans les écosystèmes marins ou présents en eaux douces (prolifération d'espèces végétales ou animales aux dépens d'autres espèces)
Toxicité et écotoxicité	Emissions de polluants toxiques pour la santé humaine ou pour les espèces naturelles
Consommation d'eau	Effets de la consommation d'eau douce sur les populations humaines et sur les écosystèmes
Usage des sols	Effets des transformations d'usages et des occupations des sols sur la biodiversité
Epuisement des ressources minérales	Epuisement des minerais
Epuisement des ressources fossiles	Consommation cumulée d'énergie primaire fossile et nucléaire

3 Résultats

3.1 Impacts de l'huile de palme et de l'huile rouge

3.1.1 Comparaison des systèmes par kg de produit fini disponible à Abidjan

En comparant les scénarios #1 à #6 sur la base d'un kilogramme d'huile disponible à Abidjan, le système ayant le plus d'impact sur l'environnement est le système de production d'huile rouge artisanale à partir de régimes issus de plantations villageoises selon le système de production agricole moyen actuel (HR_PV_A). En termes de *endpoints* ou dommages, ce système est le plus impactant sur l'ensemble des trois aires de protection (Figure 5). L'impact sur l'Etat des ressources fossiles des deux systèmes artisanaux est essentiellement dû à la phase de transport de l'huile rouge vers Abidjan, car celle-ci se fait par petits bidons dans des utilitaires et non via des gros transporteurs. La normalisation nous indique, cependant, que les impacts sur l'Etat des ressources sont négligeables par rapport à un impact moyen par habitant (Annexe 6). Pour les deux autres aires de protection, Santé humaine et Santé des écosystèmes, les deux systèmes à base de régimes issus de plantation villageoises PV_A sont les plus impactant. Ainsi c'est essentiellement la phase agricole villageoise PV_A qui différencie les impacts des deux systèmes les plus impactant des autres, puis la transformation artisanale qui accentue l'ampleur des différences entre ces systèmes à base de régimes villageois. On retrouve un même de différentiation liée à la transformation entre les deux systèmes à base de régimes de PV_O mais l'écart d'impact total est amoindri du fait d'un impact de la phase agricole PV_O moins important en amont. Les systèmes 100% industriels, CPO_PI_B et CPO_PI_H, sont globalement les moins

impactant. Néanmoins, il n'y a aucun système qui soit le meilleur sur toutes les aires de protection et la hiérarchie entre CPO_PI_B et CPO_PI_H varie selon l'aire de protection.

L'analyse des impacts *midpoints* renseigne plus précisément sur les impacts différentiés des systèmes à travers des catégories d'impact désagrégées (Figure 6). Pour simplifier la lecture, 13/18 catégories d'impact sont affichées en prenant garde d'afficher notamment celles qui contribuent le plus aux dommages *endpoints.* Les contributions aux *endpoints* et l'ensemble des 18 impacts sont détaillés en annexes 7 & 8). On retrouve la même hiérarchie des systèmes les plus impactant mais les écarts entre systèmes sont plus variables. Hormis l'impact Changement climatique, le système HR_PV_A est le seul plus impactant toute catégorie confondue ; il a un impact de +35% à +94% par rapport aux autres systèmes pour 9 des 13 catégories. Pour deux catégories d'impact, Formation d'ozone et Destruction des ressources fossiles, les deux systèmes artisanaux ont des impacts plus proches, liés essentiellement aux phases de transport, mais tous les autres systèmes ont un impact largement moindre. Il n'y a que deux catégories d'impact, Changement climatique et Ecotoxicité terrestre, pour lesquels l'écart avec tous les autres systèmes est moindre, de 0% à +33%.

Pour l'impact Changement climatique, les impacts par kg d'huile (CPO ou rouge) varient de 0.70 à 1.16 $kgCO_{2eq}$ selon le scénario. Les deux systèmes à base de régimes villageois issus de PV_A sont les plus impactant mais les deux systèmes à base de régimes issus de PV_O sont parmi les moins impactant. La différence d'impact entre les systèmes PV_A et PV_O varie de 20% à 40%. Cet écart est à nouveau plus ou moins exacerbé par l'étape de transformation. Dans le cas des régimes issus de PV_A, l'impact de la transformation est faible par rapport à l'impact de la production agricole. En revanche, dans le cas des régimes issus de PV_O, l'impact de la transformation est plus discriminant, avec une filière artisanale ayant au final moins d'impact. Dans le cas des systèmes issus de PV_O, le meilleur taux d'extraction de la transformation industrielle ne suffit pas à contrebalancer complètement les impacts de la transformation comparés à ceux de l'extraction artisanale. En revanche, dans le cas des PV_A, l'impact de la phase agricole étant important, le meilleur taux d'extraction en CPO nécessite moins de régimes et permet de compenser plus largement les impacts de la transformation industrielle par rapport au scénario artisanal. Ceci explique le plus grand écart entre les deux systèmes issus de PV_O par rapport à celui entre les deux systèmes issus de PV_A. Quand on compare les deux systèmes entièrement industriels, la différence est strictement liée à la phase agricole qui a un moindre impact dans le cas des PI_B du fait du système moins intensif. Le recours à moins d'intrants exacerbe les écarts entre ces deux systèmes notamment pour la catégorie d'impact Destruction des ressources minières. L'analyse de contribution qui suit permet de détailler les étapes des systèmes de production.

La catégorie d'impact Usage des sols intègre les deux variables rendement et taux d'extraction. Ainsi, les systèmes PV_A ont le plus d'impact, soit le plus d'usage des sols, du fait du faible rendement à l'hectare. Le système HR_PV_O jouit d'un bien meilleur rendement à l'hectare par rapport aux PV_A mais le taux d'extraction plus faible du système artisanal nécessite plus de régimes que pour le système CPO_PV_A, ce qui réduit l'écart entre les deux systèmes. Le système industriel CPO_PI_B, pour lequel la fertilisation mieux ajustée permet d'obtenir un meilleur rendement et bénéficiant du taux d'extraction industriel, est logiquement le système nécessitant le moins de recours en termes de surface de plantation par unité fonctionnelle.

La hiérarchie des systèmes ayant le plus d'impact selon les catégories d'impact est robuste eu égard à la méthode de caractérisation des impacts utilisée. Quand on compare les résultats des divers

systèmes avec une autre méthode de caractérisation des impacts, *i.e.*, ILCD 2011 Midpoint +V1.10, les systèmes issus de PV_A restent en moyenne ceux qui ont le plus d'impact (Annexe 9).

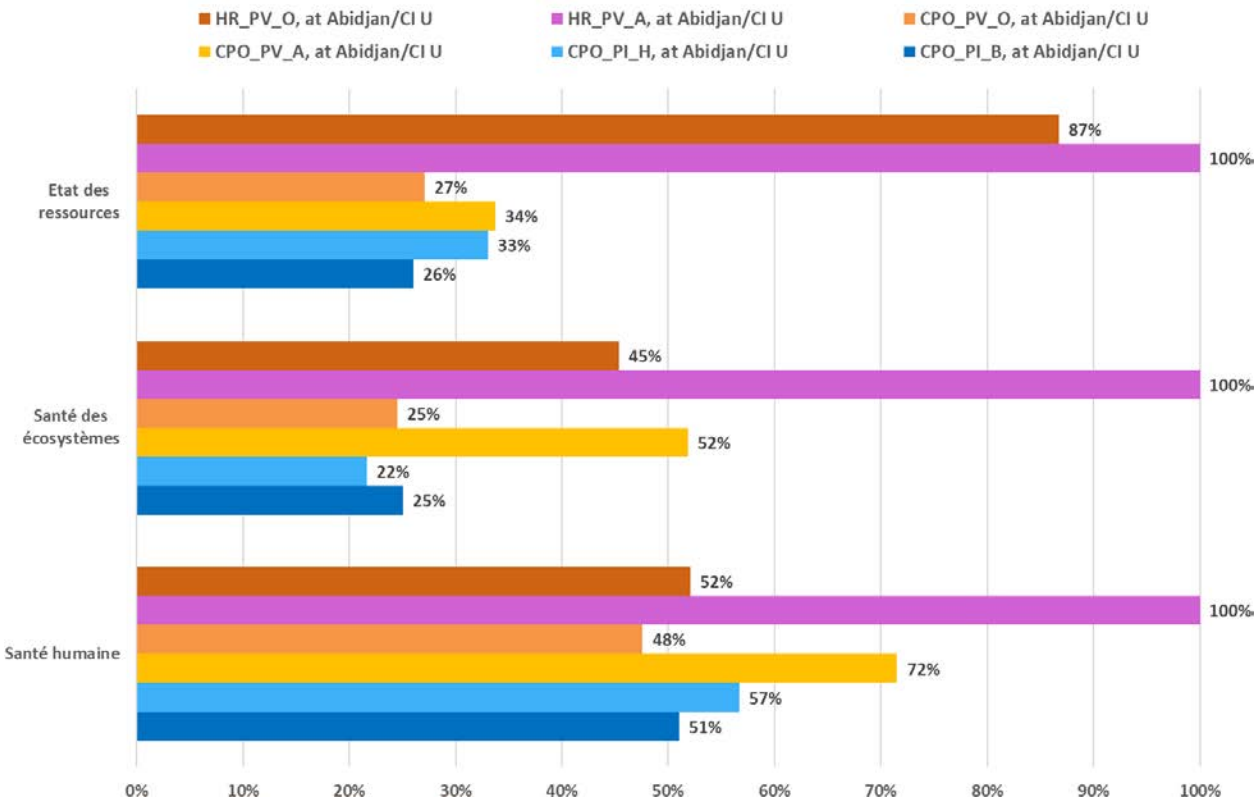


Figure 5: Comparaison des 6 systèmes de production d'huile de palme selon RECIPE 2016 (H)_ENDPOINT

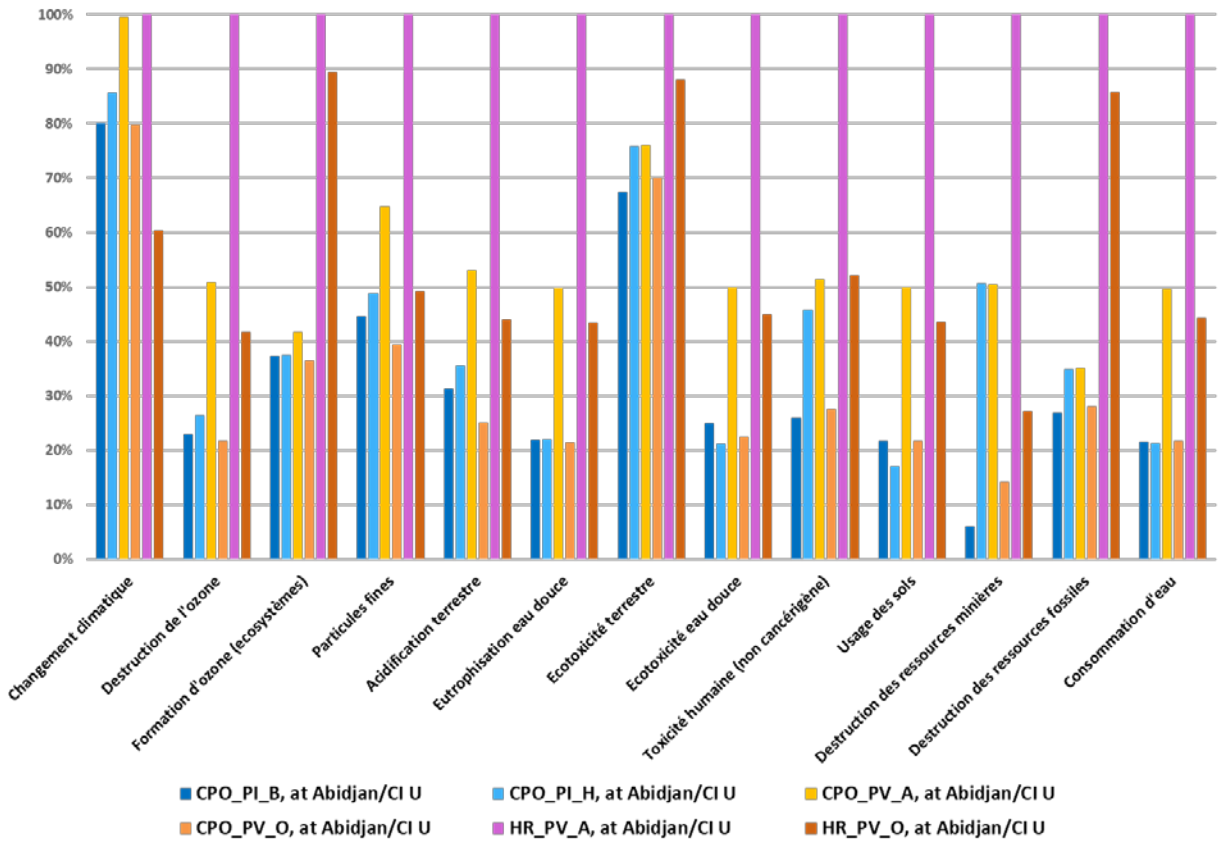


Figure 6: Comparaison des 6 systèmes de production d'huile de palme selon RECIPE 2016 (H)_MIDPOINT

3.1.2 Analyses de contribution pour les systèmes standards actuels

3.1.2.1 Contributions aux impacts du scénario HR_PV_A

L'analyse de contribution montre que les principaux postes d'impact, tout au long de la filière et incluant la modélisation du cycle pérenne, sont les engrais et résidus de culture durant le cycle de production et les transports (Figure 7). Les engrais synthétiques et autres sources de nutriments issues du recyclage de biomasse (regroupés dans le terme « engrais ») sont le principal poste de contribution pour les catégories d'impact Changement climatique, destruction de l'ozone, Particules fines, Acidification terrestre, Eutrophisation eau douce et Destruction des ressources minières. Les engrais sont généralement très impactant dans les systèmes agricoles, *a fortiori* lorsque ces systèmes sont très peu mécanisés. Leurs impacts sont liés d'une part à l'utilisation des ressources pour leur production en amont, lorsqu'il s'agit d'engrais synthétiques, et d'autre part aux émissions dans les plantations lorsqu'ils sont appliqués. Dans le cas des plantations de palmier à huile, une grande quantité d'azote est recyclée dans les plantations chaque année. Une partie de l'azote, qu'il soit d'origine synthétique ou organique, est perdu sous différentes formes qui contribuent à plusieurs impacts. Le protoxyde d'azote, N_2O, qui est émis dans l'air même en petite quantité a un fort pouvoir de réchauffement climatique, presque 300 fois celui du dioxyde de carbone par kg. C'est ainsi que les émissions directes et indirectes de ce gaz contribuent fortement à l'impact Changement climatique. L'impact Acidification terrestre est lié notamment aux émissions d'ammoniac, NH_3^+, également liées à des pertes d'azote en plantation. L'impact Destruction de l'ozone est, dans les systèmes agricoles, très fortement lié aux émissions de N_2O en plantation. Les pertes de phosphore issus des apports synthétiques ou résiduels sont le principal contributeur à l'impact Eutrophisation eau douce.

Les phases de transport, tel qu'observé précédemment en comparant les produits transformés artisanalement aux autres, ont un impact non négligeable notamment sur le Changement climatique, l'Ecotoxicité terrestre et la Destruction des ressources fossiles. Ces impacts sont liés à la fois à l'utilisation des ressources fossiles pour la production des carburants et aux émissions liées à leur combustion lors des phases de transport. Comparativement, la transformation artisanale a globalement moins d'impact et contribue quasi uniquement à l'impact Formation d'ozone lié aux émissions de composés azotés durant la combustion du bois de chauffe. D'autres émissions d'oxydes d'azote en plantation et liées aux transports contribuent également à cet impact.

La phase d'implantation comprend la pépinière, la préparation du terrain et la plantation des plants. C'est le principal poste de contribution pour l'Ecotoxicité eau douce, la Toxicité humaine et la Consommation d'eau. Les impacts de toxicité sont liés aux substances chimiques (herbicides et insecticides) utilisées en pépinière qui ont une toxicité importante. D'autre part les doses de produits phytosanitaires appliquées en plantation ne sont pas très grandes, ce qui implique une toxicité globalement faible tout au long du cycle de plantation. De la même manière, la consommation d'eau est liée à la pépinière. Bien que la pépinière et la phase d'implantation ne dure qu'un an au total, leurs impacts sur l'ensemble du cycle ne sont pas négligeables étant donné que la contribution de la phase de plantation est moindre pour ces catégories d'impact, notamment dans le cas de systèmes non irrigués tels qu'ils sont actuellement en Côte d'Ivoire. L'impact Usage des sols est entièrement lié à l'occupation de la surface par la plantation ; nous n'avons pas considéré dans l'étude la surface nécessaire pour les infrastructures en amont et aval (*cf.* 2.2.1.2.).

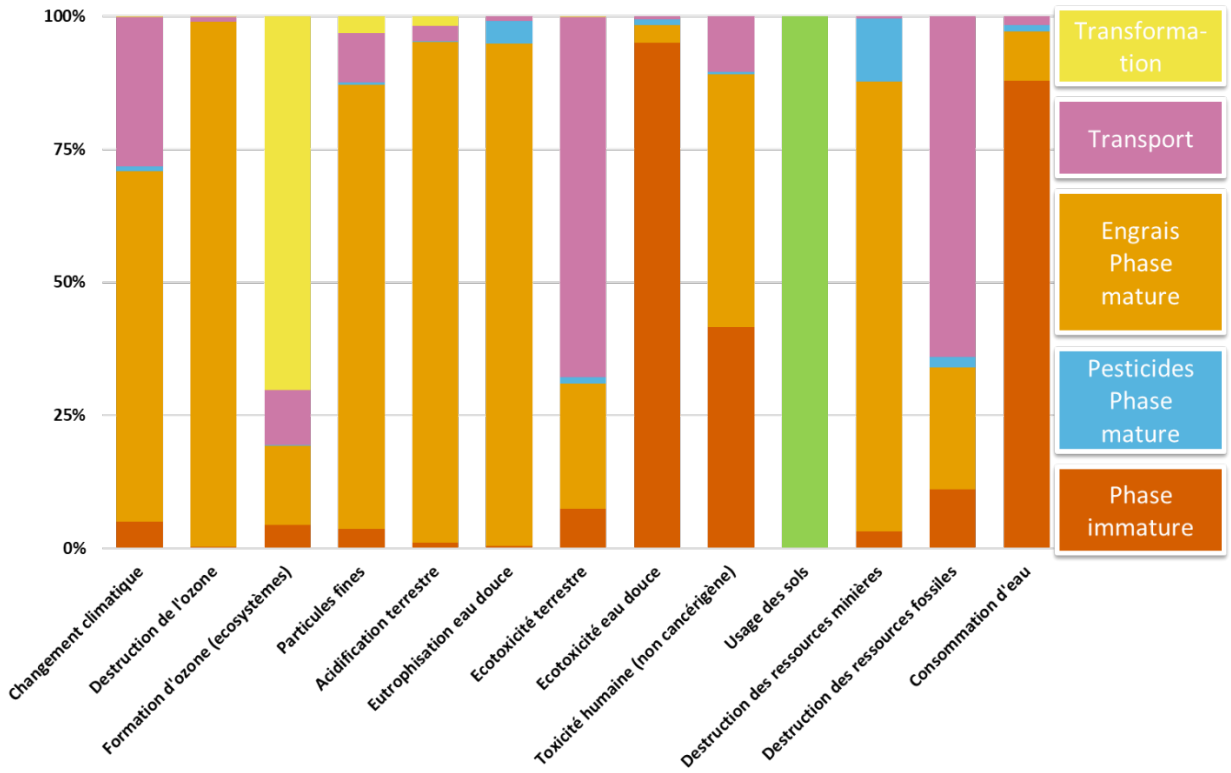


Figure 7: Analyse de contribution des impacts pour le scénario HR_PV_A (RECIPE 2016-Midpoint V1.10)

Bien que le système HR_PV_O ait moins d'impact en absolu que le système HR_PV_A, les postes contribuant aux différents impacts ont à peu près le même profil. Les impacts des phases agricoles néanmoins ont un impact proportionnellement moins important par rapport aux phases de transport, notamment le transport des produits finis vers Abidjan, étant donné le meilleur rendement du système PV_O par rapport au PV_A. Ainsi, par kg d'huile rouge, moins de surface de plantation est nécessaire donc proportionnellement moins d'impact lié à la phase agricole.

3.1.2.2 Contributions aux impacts du scénario CPO_PV_A

Le profil des contributeurs aux impacts pour le scénario CPO_PV_A est assez différent de celui du scénario HR_PV_A notamment pour les impacts Changement climatique, Particules fines et Ecotoxicité terrestre (Figure 8). Pour ces impacts, la transformation industrielle contribue plus fortement aux impacts que celle artisanale. En particulier, pour le Changement climatique les émissions de méthane liées au traitement des POME en lagune contribuent à plus de 90% des émissions de gaz à effet de serre de la phase de transformation. Le méthane a un fort pouvoir de réchauffement climatique, 34 fois celui du dioxyde de carbone, c'est pourquoi l'impact du traitement des POME est très conséquent. Pour la Formation d'ozone, les principaux contributeurs sont les émissions liées à la combustion des EFB et les émissions d'échappement de la chaudière. Ces émissions de la chaudière contribuent également à l'impact Ecotoxicité terrestre.

Les émissions liées aux engrais et résidus de culture en plantations restent d'importants contributeurs pour de nombreuses catégories d'impact à l'instar de l'analyse présentée précédemment pour le scénario HR_PV_A.

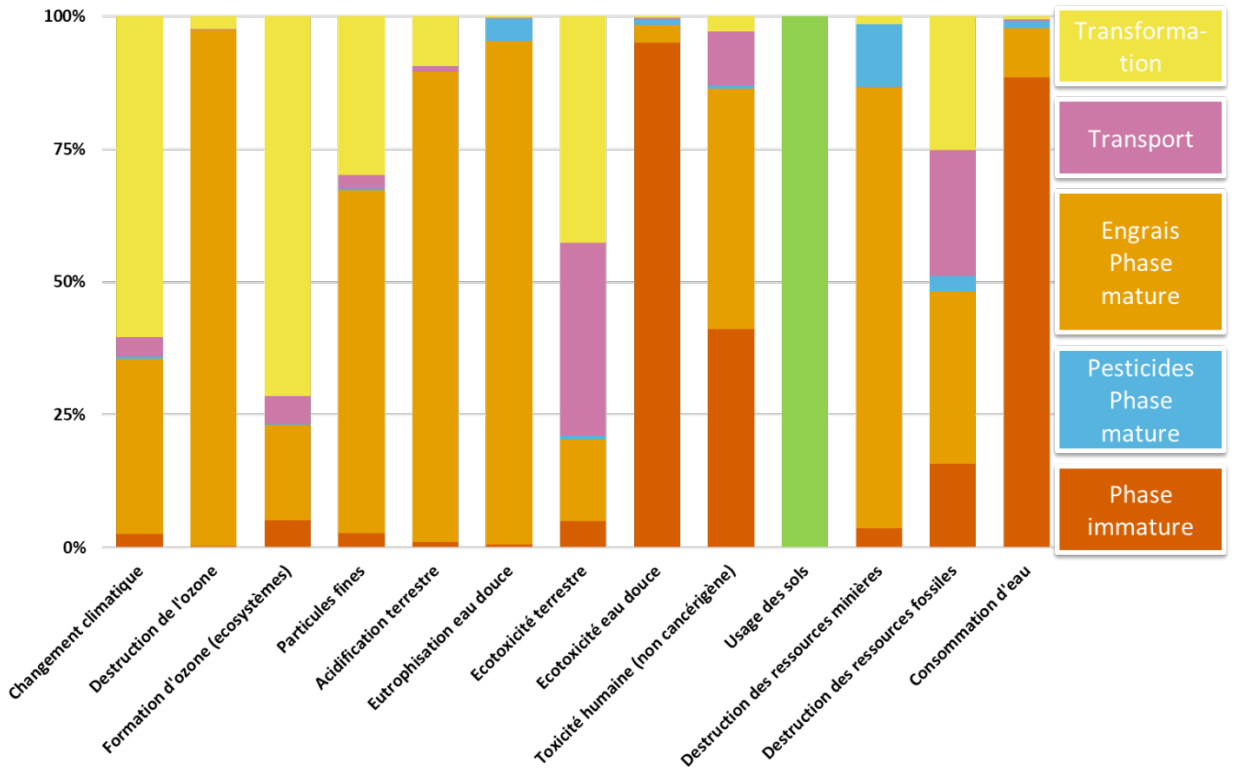


Figure 8: Analyse de contribution des impacts pour le scénario CPO_PV_A (RECIPE 2016-Midpoint V1.10)

3.1.2.3 Contributions aux impacts du scénario CPO_PI_H

Le profil des contributeurs aux impacts pour le scénario CPO_PI_H est assez similaire à celui du scénario CPO_PV_A (Figure 9).

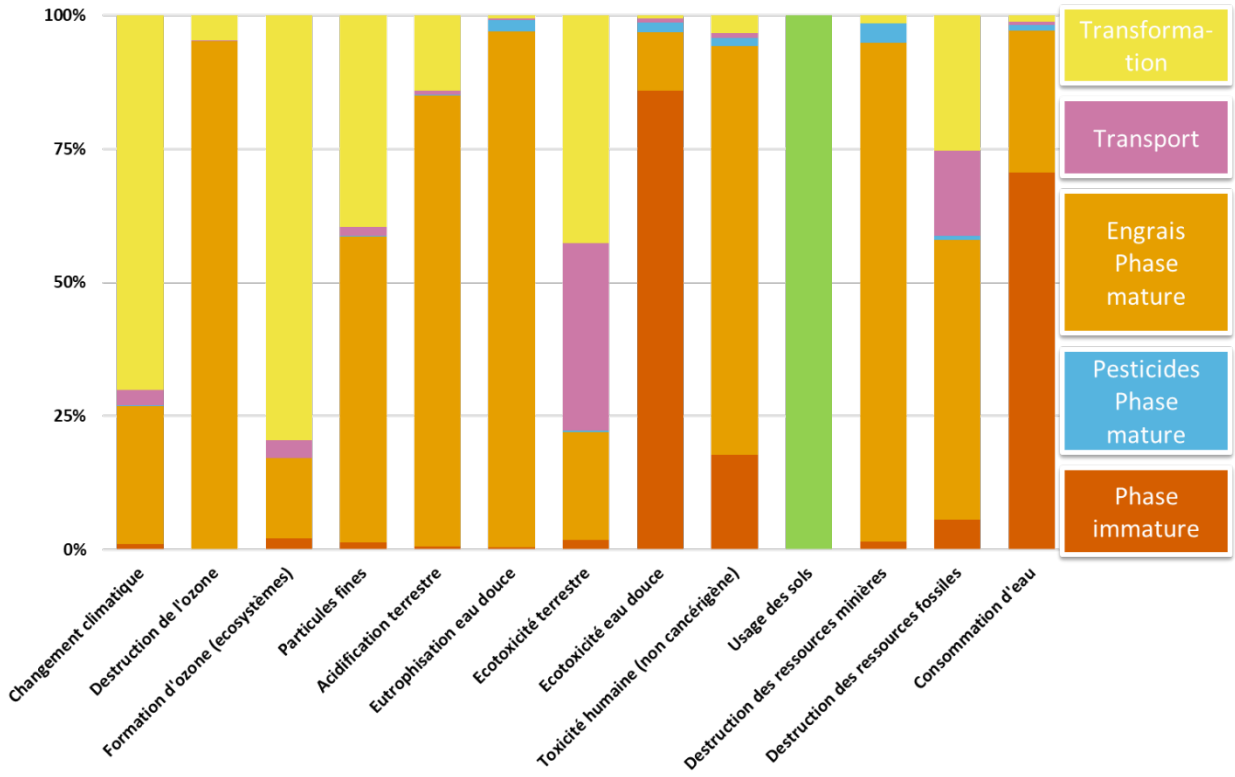


Figure 9: Analyse de contribution des impacts pour le scénario CPO_PI_H (RECIPE 2016-Midpoint V1.10)

La transformation industrielle contribue à nouveau fortement à de nombreux impacts et sa contribution est même exacerbée du fait d'un impact moindre de la phase agricole étant donné les rendements plus élevés par rapport aux plantations PV_A. En effet, les rendements plus élevés en PI_H impliquent que les émissions liées à la plantation sont réparties entre un plus grand nombre de régimes, chaque régime traité en huilerie emportant une part de l'impact en plantation moindre. D'autre part, le recyclage de la moitié des EFB en plantation permet de réduire de presqu'un quart le total des émissions en plantation liées au engrais et aux résidus de culture. En effet, les émissions de la décomposition des EFB sont plus que compensées par les engrais synthétiques que les EFB substituent (Annexe 10). La contribution des pesticides est négligeable du fait des faibles doses appliquées et du rendement important au sortir de la plantation.

3.1.3 Analyse de sensibilité pour le scénario HR_PV_A

Une analyse de sensibilité a été réalisée pour un des scénarios combinant le plus d'incertitude sur les données primaires. Les paramètres testés sont modifiés indépendamment. En particulier le test sur la sensibilité du rendement n'implique pas de modélisation concomitante de changement de pratique en termes d'apport d'engrais par exemple. Il peut être supposé que le rendement est modifié par une moins bonne ou meilleure gestion de la récolte ; l'exercice reste théorique mais plausible. En revanche tester l'impact d'une augmentation d'apports d'engrais sans modifier le reste de la modélisation (*e.g.* le rendement) n'aurait pas été cohérent. De la même manière, il est considéré que le taux d'extraction et la distance de transport peuvent varier sans implication directe d'autres modifications dans la chaîne des processus.

L'analyse de sensibilité montre que le rendement et le taux d'extraction ont une influence majeure sur les résultats d'impact. Comparée au scénario de base, HR_PV_A, une modification de +25% du rendement entraîne une réduction de -4% à -20% selon les impacts ; une modification de -25% du rendement entraîne une augmentation de +7% à +33%. De la même manière, une modification de ±25% du taux d'extraction artisanale de l'huile rouge entraîne une réduction de -7%à -20% et une augmentation de +11% à +33%. Bien que cette influence varie sensiblement en fonction des catégories d'impact, ces deux paramètres sont globalement très sensibles car ils influencent fortement les résultats d'impact. Pour affiner l'analyse des impacts du système il est donc primordial d'avoir une évaluation précise de ces paramètres et de leur variabilité à travers les régions ou les villages. *A contrario* l'influence de la distance de transport des FFB des plantations au site de première transformation n'est pas critique (variation maximale : -2% à +2%). Une analyse comparée des différentes étapes de transport dans les filières étudiées montre que le transport des FFB a un impact important sur la catégorie Toxicité humaine (non-cancérigène) alors que ses impacts sont négligeables pour les autres catégories, comparés aux autres transports, en particulier par rapport au transport par petit véhicule utilitaire (Annexe 11). L'ensemble des résultats de l'analyse de sensibilité est présenté en Annexe 12.

3.2 Impact des scénarios de gestion des coproduits et des changements d'affectation des sols

3.2.1 Scénarios de gestion des coproduits

Le scénario d'optimisation minimale permet de réduire les impacts de manière plus ou moins significative selon les catégories d'impact (Annexe13). Pour les deux produits, les réductions d'impact les plus importantes sont de l'ordre de -30% à -50% pour les impacts Formation d'ozone, suivi de réduction autour de -20% pour les impacts Destruction de l'ozone et Destruction des ressources

minières. Pour les autres catégories d'impact, les réductions moyennes sont de l'ordre de -3% à -6% à l'instar de la réduction sur l'impact Changement climatique. Ces réductions d'impact sont notamment dues aux émissions évitées du fait d'une plus grande substitution d'engrais synthétiques par l'application de tous les EFB. Au niveau du savon, les réductions d'impact sont liées également aux résultats au niveau du CPO mais également au niveau de la palmisterie avec le recyclage des tourteaux de palmiste. Ce recyclage en aliment du bétail entraîne la non-utilisation (ou substitution) de tourteaux de soja communément utilisés pour l'alimentation du bétail. Le fait de ne pas produire ces tourteaux de soja est traduit par une réduction des impacts liés à l'utilisation de l'huile de palmiste en savonnerie. Selon la fraction de tourteaux de palmiste effectivement recyclée, les réductions d'impact peuvent être plus ou moins importantes. L'impact des tourteaux de soja étant particulièrement important pour les catégories Changement climatique, Destruction de l'ozone et Usage des sols, leur substitution permet de réduire ces impacts en particulier (Annexe 14).

Le scénario d'optimisation maximale a un effet beaucoup plus drastique sur la réduction de l'impact Changement climatique, avec -63% pour le CPO et -40% pour le savon (Annexe 15). Cette réduction est liée aux émissions de méthane évitées grâce au torchage au niveau de l'huilerie. Ce poste contribuant très majoritairement à l'impact final, le torchage permet de le réduire très significativement. Une réduction supplémentaire serait encore possible si la chaleur dégagée par le torchage était récupérée et recyclée. Dans les scénarios testés, l'impact de la substitution de combustible en co-génération par 10% des coques n'a pas d'influence significative sur la réduction des impacts. Les autres réductions d'impact sont du même ordre de grandeur que pour les scénarios d'optimisation minimale. La plus-value de l'optimisation maximale réside donc dans la réduction de l'impact Changement climatique.

3.2.2 Scénario de changement d'affectation des sols

Les changements d'affectation des sols (CAS) modélisés sont théoriques et prospectifs. L'impact concerné est celui du Changement climatique car les changements d'usage sont modélisés comme des différences de stocks de carbone en fonction de l'usage précédent et de l'usage final. Ce carbone biogénique est considéré comme un ayant un impact sur le Changement climatique car il est resté stocké au moins 20 ans dans les couverts végétaux, cette durée est considérée en évaluation environnementale comme un seuil minimum pour considérer un stockage de carbone non neutre du point de vue de l'effet de serre. Ces aspects méthodologiques font largement débat dans la communauté scientifique mais ne sont pas plus discutés dans cette étude. En effet, l'objectif de ce test de scénario est d'alerter sur l'impact potentiel, en termes de Changement climatique, dans le cas d'une planification de développement de plantations afin de comparer les précédents végétaux plus ou moins intéressants d'un point de vue du bilan carbone. Il est important de préciser que les changements d'usage entraînent d'autres impacts environnementaux, notamment en termes de perte potentielle de biodiversité, qui ne sont pas pris en compte dans cette étude.

Les stocks de carbone considérés sont basés sur la méthodologie du GIEC (IPCC 2019). Cette méthodologie fournit des stocks pour la biomasse aérienne et souterraine et des facteurs de pondération en fonction des pratiques de gestion du sol. Dans le cas d'usage agricole, ces facteurs concernent l'impact du travail du sol et des amendements minéraux ou organiques. Les stocks sont déclinés par grandes régions climatiques et catégories de sol. Les stocks propres aux palmeraies et cacaoyères ont été adaptés pour inclure la biomasse dans la litière. Le stock moyen sur l'ensemble d'un cycle de culture est considéré.

Les résultats montrent un très fort impact des potentiels changement d'usage des sols donc des changements des stocks de carbone entre couverts (Figure 10). Dans tous les scénarios, les CAS depuis des cultures annuelles et cacaoyères entraînent une réduction de l'impact Changement climatique alors que celui depuis des forêts secondaires entraîne une augmentation de cet impact.

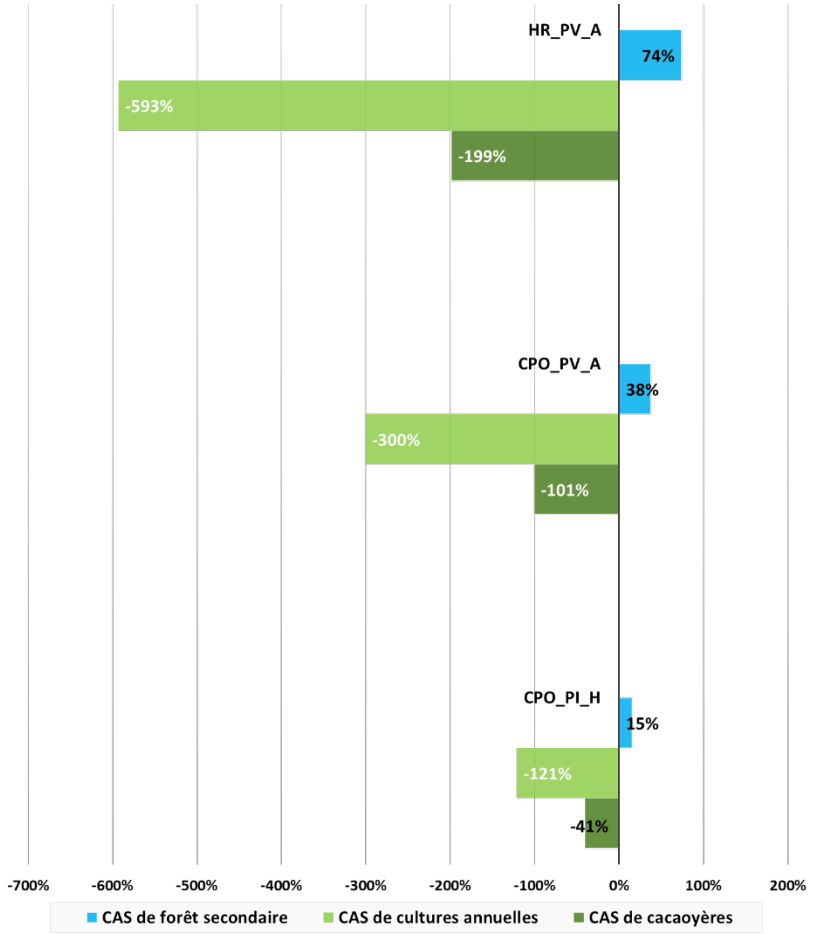


Figure 10: Modification de l'impact Changement climatique par rapport aux scénarios de base du fait des CAS, RECIPE 2016-MIDPOINT

L'ampleur de l'influence des CAS sur l'impact Changement climatique dépend à la fois des stocks de carbone considérés et de l'importance de la phase agricole dans les contributions à l'impact. Ainsi les variations sont les plus importantes pour le scénario HR_PV_A pour lequel la phase agricole contribue très majoritairement à l'impact Changement climatique. Dans ce scénario, du fait d'un rendement faible à l'hectare, une importante surface est nécessaire par unité d'huile rouge produite, ainsi l'influence du CAS est d'autant plus importante car elle concerne une grande surface, une surface nettement plus grande que pour les scénarios issus de PI. La différence entre HR_PV_A et CPO_PV_A est due au fait que dans la filière industrielle CPO_PV_A, la transformation contribue largement à l'impact Changement climatique d'où un effet du CAS plus pondéré. En suivant ce schéma *decrescendo*, pour le scénario CPO_PI_H, moins de surface est nécessaire et l'impact de la phase agricole est pondérée par la phase de transformation. Néanmoins, y compris pour ce dernier scénario, un CAS depuis des cultures annuelles permet de compenser et plus, les émissions de gaz à effet de serre par kg d'huile. C'est également le cas pour les CAS depuis des cacaoyères et cultures annuelles dans le cas des deux systèmes à base de PV_A. Le CAS depuis des forêts secondaires, dont le stock de carbone est bien moindre par rapport à des forêts primaires, entraîne une augmentation de +15% à +70% selon les scénarios.

3.3 Impacts comparés des produits de deuxième transformation

Trois produits de deuxième transformation ont été analysés : l'huile alimentaire et le savon industriels ainsi que le savon artisanal. Pour la production industrielle, une étape de raffinage de l'huile brute CPO a été modélisée en amont. Les résultats de l'huile et des savons sont présentés séparément puisqu'ils ne remplissent pas la même fonction. Les produits de deuxième transformation sont comparés aux produits de première transformation dont ils sont issus afin d'observer l'augmentation des impacts liées à la deuxième transformation. Pour 1 kg d'huile végétale, environ 1 kg d'huile raffinée est nécessaire. Pour 1 kg de savon artisanal et industriel, 0.668 kg et 0.769 kg d'huile, respectivement rouge et CPO, sont nécessaires (tous les résultats détaillés sont présentés en Annexe 16).

Dans le cas de l'huile alimentaire industrielle, les impacts supplémentaires liés à la transformation sont essentiellement liés à la consommation d'eau et à l'utilisation d'énergie (Figure 10). Ces deux postes entraînent des augmentations de divers impacts, y compris pour l'Eutrophisation eau douce impactée par l'extraction des matières premières pour l'énergie. L'augmentation de l'impact Changement climatique est dû à la fois à l'énergie utilisée et à la fabrication du matériau, le polyéthylène, pour les emballages en bidon.

Dans le cas des savons, la transformation industrielle a globalement un impact conséquent sur quasiment tous les impacts exceptés ceux quasi exclusivement liés à la plantation (*i.e.* Usage des sols et Destruction de l'ozone – Figure 11). Pour les autres impacts l'augmentation des impacts est liée à la consommation d'énergie pour la transformation (et à l'eau pour l'impact Consommation d'eau). L'impact de la soude est négligeable en comparaison.

Globalement l'impact des savons artisanaux est plus important que celui des savons industriels ; ceci est dû aux impacts plus importants des phases en amont, notamment de la phase agricole dans la filière artisanale. Les savons artisanaux ont néanmoins moins d'impact que ceux industriels pour quatre catégories d'impact : Changement climatique, Ecotoxicité terrestre, Destruction des ressources fossiles et Consommation d'eau. Pour le Changement climatique, l'impact du savon artisanal est moindre car il faut un peu moins d'huile rouge par kg de savon comparée à la filière industrielle, ce qui réduit l'impact de l'amont agricole, et moins d'ajout d'énergie pour la transformation artisanale par rapport à l'industrielle. Pour les savons artisanaux, les impacts additionnels sont dus à la fois à la phase de deuxième transformation, qui a lieu dans les villages, et aux transports supplémentaires de l'huile rouge vers les sites de production des savons artisanaux puis de ces sites vers Abidjan. Dans le cadre des savons industriels la transformation a lieu directement à Abidjan et l'impact du transport du CPO vers Abidjan est inclus dans les impacts du CPO. Les étapes supplémentaires de transport pour les savons artisanaux ont une influence importante car ils sont réalisés par petites quantités dans des utilitaires. Comme observés précédemment ce moyen de transport a des impacts plus importants que les autres modes de transport et sur la majorité des catégories d'impact (*cf.* Annexe 11 pour rappel). Le transport influence notamment les impacts de Formation d'ozone, de toxicité et de Destruction des ressources fossiles.

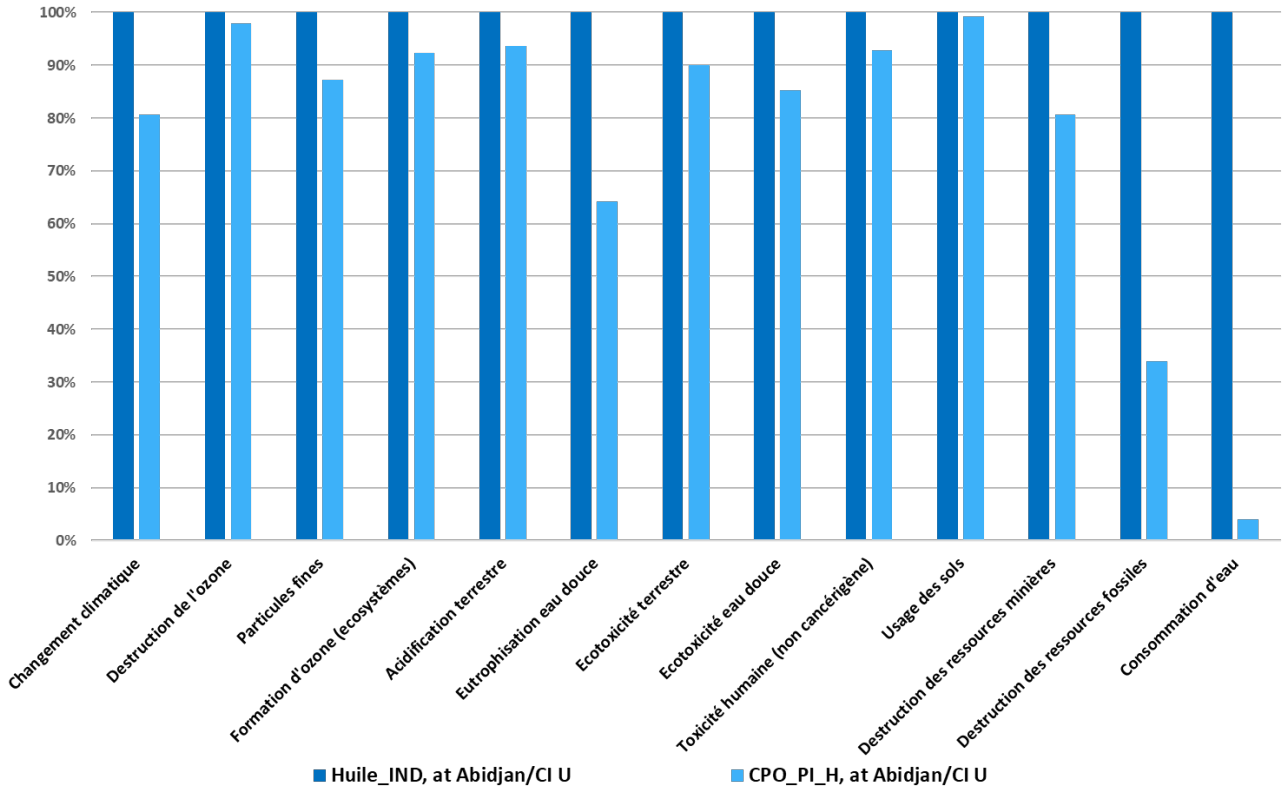


Figure 11: Etude d'impact par kg d'huile alimentaire industrielle à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; comparaison avec l'huile raffinée non transformée

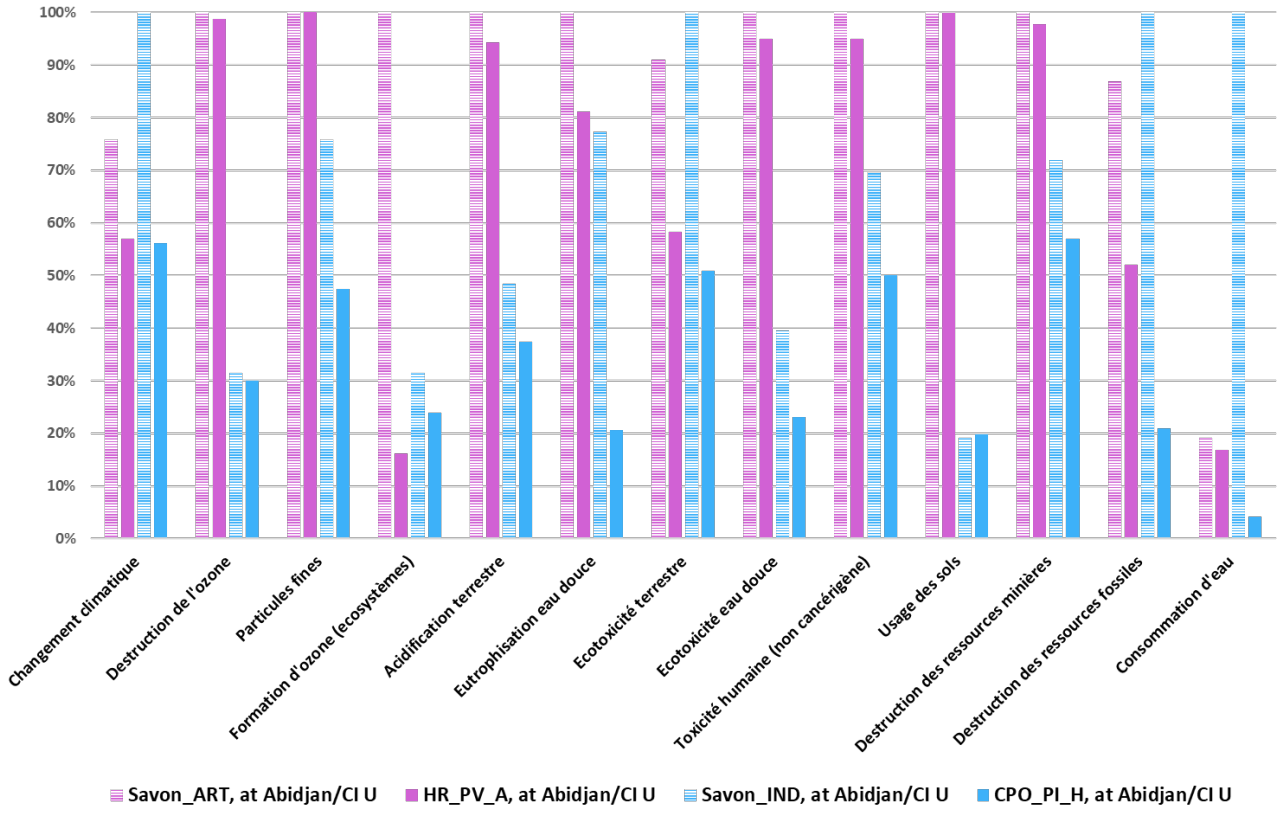


Figure 12: Etude d'impact par kg de savons à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; comparaison avec l'huile raffinée et l'huile rouge non transformées utilisées en quantités nécessaires pour produire 1 kg de savon

3.4 Limites de l'étude

3.4.1 Scénarios testés

Les données primaires, soit celles issues des enquêtes auprès des acteurs de la filière n'ont pas permis de couvrir l'ensemble des scénarios de production actuellement effectifs en Côte d'Ivoire. Les scénarios étudiés ne représentent donc aucun une moyenne nationale basée sur une exhaustivité des données source. Les scénarios représentent des cas semi-réels, illustratifs des principaux systèmes de production existant en tant que tel dans le pays ou combinant les propriétés de plusieurs systèmes de production aux caractéristiques similaires. L'ensemble des données primaires a été valorisé au maximum des possibilités dans la modélisation ACV (*e.g.* les pratiques de fertilisation, les rendements, les taux d'extraction, etc.). En revanche ces données ont été systématiquement couplées avec des données secondaires (consommations de carburants, usage de l'eau, transformations secondaires, etc.).

Du fait du manque de données exhaustives, les scénarios concernant les plantations villageoises et les transformations artisanales sont particulièrement incertains car la très grande variabilité des pratiques du secteur villageois n'a pas pu être prise en compte. Cette variabilité à l'échelle nationale reste très peu caractérisée et décrite dans les bases de données disponibles. De la même manière, un certain nombre de données ont manqué pour définir d'autres scénarios industriels pour prendre en compte, par exemple, l'impact de cahiers des charges tels que RSPO, l'usage d'autres sources d'énergie en huilerie ou d'autres modes de gestion et de valorisation des coproduits. Enfin, l'impact du changement d'usage des sols reste théorique, l'analyse rétrospective des changements d'usage des sols liés directement au secteur palmier à l'échelle du pays n'ayant pas pu être documentée. Néanmoins, dans un contexte où une grande majorité des plantations ont plus de 20 ans, l'impact d'un changement d'usage des sols est, en théorie, amorti et moins significatif pour l'analyse d'impact actuelle. Ces scénarios sont donc plus justement des éléments d'éclairage prospectif pour le développement de nouvelles plantations.

Dans le cas des scénarios d'optimisation de gestion des coproduits, des hypothèses fortes ont été faites sur les produits substitués. L'influence des scénarios d'optimisation dépend de l'ampleur des impacts des produits substitués. Il est donc nécessaire d'appréhender les résultats de ces scénarios en considérant l'incertitude de l'adéquation entre les produits substitués et l'utilisation effective des coproduits recyclés. D'autre part pour qu'une substitution ait lieu, il est nécessaire que la ou les filières de recyclage soient en place. Ces filières peuvent entraîner des coûts et impacts spécifiques à la logistique de mise en place des filières de recyclage qui n'ont pas été considérés dans l'étude. Un scénario incluant du compostage de divers résidus d'huilerie pourrait être également prometteur en termes de réduction d'impacts. Néanmoins, ce procédé n'ayant pu être observé sur le terrain et les données dans la littérature étant très variables selon les « recettes de compost », ce scénario n'a pas pu être testé.

Enfin, dans le cas du torchage du méthane issu du traitement des POME, les données de production de méthane et de perte au torchage sont issues de la littérature. Etant donné la grande variabilité des paramètres en jeu dans le traitement des POME, plus de données primaires seraient nécessaires pour avoir une évaluation plus proche de la réalité de terrain. Ces paramètres sont clef étant donné l'importance majeure de ces émissions dans le bilan de gaz à effet de serre de l'huile et de ses dérivés. Il est, pour conclure, important de préciser que la construction des infrastructures, notamment pour le torchage, n'a pas été considérée dans l'étude. En adéquation avec les frontières des systèmes établis

pour l'ensemble des scénarios étudiés, les infrastructures et équipements n'ont pas été pris en compte dans l'évaluation ; leur impact est d'ordinaire négligeable et des données primaires sur l'ensemble des équipements et leur durée de vie n'étaient pas disponibles. Dans le cadre, d'un scénario d'optimisation incluant des infrastructures lourdes telles qu'un bioréacteur pour le méthane, il serait néanmoins important de vérifier l'impact de la construction en fonction de la capacité et de la durée de vie estimée et de préciser les enjeux économiques attenants.

3.4.2 Modèles d'émissions et de caractérisation des impacts

Les émissions dans les plantations contribuent fortement à l'ensemble des impacts environnementaux. Bien que les modèles d'estimation de ces émissions soient internationalement reconnus, ils n'en demeurent pas moins incertains et, pour la plupart, peu calibrés pour les zones tropicales en général et les plantations tropicales pérennes en particulier. Au-delà de l'incertitude intrinsèque liée à ces modèles, il est important de rappeler que ces modèles sont partiels et ne prennent pas en compte l'ensemble des mécanismes en jeu. En particulier, la décomposition des résidus de culture ou d'huilerie en plantation contribue au maintien, voire l'amélioration, de la qualité des sols et à la réduction des risques d'érosion. Cet aspect d'impact sur la qualité des sols n'est pas encore bien pris en compte en ACV ; seul les modifications de stockage de carbone du sol sont considérées comme proxy pour indiquer l'impact sur la qualité des sols. La modélisation de ce stock de carbone est simplifiée par grand type d'usage de sol (*i.e.* Cultures pérennes) sans prise en compte du type de sol et de climat ; cette catégorie d'impact n'est cependant pas incluse dans la méthode RECIPE utilisée pour cette étude mais elle l'est dans la méthode ILCD 2011 (Annexe 9).

De la même manière, la modélisation des impacts des herbicides n'est pas complète. Comme observé sur le terrain, l'usage intensif d'herbicides dans certaines plantations, notamment villageoises, dénude le sol et exacerbe les risques d'érosion. La modélisation des impacts en plantation des pesticides en ACV se limite, pour l'instant, à la modélisation des impacts liés à la toxicité des substances et leur rémanence dans l'environnement. Un travail de modélisation plus poussé serait nécessaire pour modéliser des risques d'érosion liés à l'ensemble des pratiques afin de pouvoir les répercuter dans l'inventaire de l'ACV, par exemple sur les pertes de phosphore dues à l'érosion. Ces pertes n'ont pas pu être considérées pleinement dans la présente étude faute de données suffisantes pour modéliser cette érosion.

Les transformations artisanales font généralement appel à du bois de chauffe ou autres combustibles comme source d'énergie. La caractérisation précise des types et des volumes de biomasse utilisés pour l'extraction de l'huile rouge et la production de savons artisanaux n'a pas été possible dans le cadre de cette étude. Des mesures seraient nécessaires sur le terrain pour peser les résidus de presse artisanale, le bois éventuel, et définir les pouvoirs calorifiques. Au-delà de l'identification précise des sources d'énergie, la combustion de biomasse est mal modélisée dans la méthode RECIPE 2016. Notamment les émissions de monoxyde de carbone, fréquentes lors de combustion partielle de biomasse, ne sont pas prises en compte dans la caractérisation des impacts, ce qui réduit la complétude de l'évaluation des impacts liés aux étapes de transformation artisanale. Par ailleurs, les impacts potentiels liés à la manipulation de la soude avec les mains en savonnerie artisanale ne sont pas pris en compte par les modèles de caractérisation des impacts. Les impacts sur la Santé humaine sont modélisés uniquement via le lien entre la dégradation de l'environnement et son impact consécutif sur la santé. Les impacts d'exposition directe aux risques sanitaires devraient être néanmoins évalués avec d'autres méthodes et considérés dans les pistes d'amélioration possible de la filière savon artisanal.

4 Conclusions et recommandations

4.1 Impact environnemental des huiles et produits de deuxième transformation

L'impact environnemental de l'huile de palme industrielle (CPO) en Côte d'Ivoire est sensiblement inférieur à celui renseigné dans la littérature notamment pour les filières industrielles en Asie (Schmidt, 2007; Schmidt, 2010; Bessou et al., 2014) mais ne doit pas être directement comparé avec ces autres études sans revue critique approfondie des hypothèses différentiées des diverses ACV. *A priori* les différences pourraient être, au moins en partie, liées aux bonnes performances des plantations en Côte d'Ivoire avec un usage d'engrais synthétiques moins important que le « standard asiatique » en moyenne. D'autre part les études ACV sur l'huile de palme en Asie, notamment en Indonésie, considèrent en général les émissions liées au drainage des tourbes pour une partie des plantations et des CAS plus ou moins importants. Il ne semble pas que les risques futurs liés à des CAS soient prégnants en Côte d'Ivoire de par le fort développement agricole déjà passé. Néanmoins les scénarios testant des CAS ont montré l'importance potentielle en termes de Changement climatique, accentuant la nécessité de considérer ce paramètre pour des évaluations rétrospectives plus fines si les données de CAS sont disponibles ou dans le cadre de projection de futurs développements de plantations.

Bien que l'impact de l'huile artisanale soit également dans la fourchette basse des bilans existants dans la littérature, son impact est supérieur à celui de l'huile industrielle du fait tout d'abord de très faibles rendements à l'hectare comparés aux plantations industrielles. Dans le cas d'une gestion optimisée des résidus de culture, des engrais synthétiques, du couvert végétal, etc., une plantation villageoise pourrait néanmoins obtenir des rendements au moins deux fois supérieurs par rapport au scénario moyen actuel de plantation villageoise, permettant ainsi de réduire significativement l'impact par kg d'huile rouge produite.

L'extraction artisanale de l'huile rouge peut être réalisée grâce à des techniques plus ou moins rustiques. Dans les scénarios testés, sur les bases des observations de terrain, seule l'extraction à la presse artisanale a été considérée. Son rendement plus faible que celui de l'extraction industrielle contribue aux impacts plus importants des filières artisanales. Des presses artisanales mécanisées pourraient permettre d'augmenter le taux d'extraction et réduire proportionnellement les impacts par kg d'huile, néanmoins cette réduction serait, au moins en partie, contrecarrée par les impacts additionnels directement liés à la mécanisation.

Dans le cadre des produits artisanaux, l'importance de l'impact du transport jusqu'à Abidjan est discutable car tous les produits artisanaux ne finiront pas à Abidjan. Il était cependant nécessaire d'aligner les frontières du système et la fonction remplie pour pouvoir comparer les systèmes. De par l'importance du bassin de consommateurs dans la capitale et la proximité des zones de production d'huiles de palme, il était logique de comparer tous les produits mis à disposition à Abidjan. La comparaison des filières pour une même unité fonctionnelle produite est fondamentale en ACV. Le choix d'une unité fonctionnelle massique (kg de produit fini) est le premier choix par défaut en ACV agricole car il permet de rendre compte des impacts environnementaux en considérant que l'ensemble des facteurs de production sont limités et qu'il faut maximiser les sortants en limitant les intrants et les impacts associés. La prise en compte de la qualité des sortants n'est alors pas directement considérée. Pour prendre en compte cette qualité, une unité fonctionnelle alternative peut être utilisée en complément afin d'étudier les compromis potentiellement nécessaires entre réduire les impacts par kg de produit fini et maximiser le couple quantité-qualité. Dans le cas de l'huile

de palme, l'huile rouge et le CPO sont connus pour avoir des caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques différentes. L'intégration de ces différences dans l'unité fonctionnelle entraînerait potentiellement des différences en terme d'impacts finaux. Par exemple, l'ajout de vitamines dans l'huile de table industrielle est courant et pourrait être considéré si les huiles étaient comparées par apport journalier en graisses et vitamines. Cet ajout pourrait entraîner un impact additionnel par rapport à l'huile rouge dont la teneur en vitamines n'a pas été dégradée par extraction industrielle. Néanmoins, l'impact environnemental additionnel de la production et de l'adjonction de vitamines pourrait rester négligeable étant donné les faibles quantités considérées. Des études complémentaires sanitaires locales seraient alors nécessaires, au-delà des ACV, pour combiner analyse d'impact environnementale et analyse de risque sanitaire.

Dans le cas des filières artisanales comme industrielles, la gestion des coproduits a une influence non négligeable sur le bilan environnemental. Pour les transformations artisanales, le recyclage et la valorisation des amandes et de l'huile de palmiste est essentielle pour améliorer les performances des filières environnementales comme socio-économiques. Pour les transformations industrielles, le panel technologique de valorisation des résidus est encore plus large, permettant des optimisations locales en fonction des sous-filières de recyclage et de valorisation. Dans le cas de la production de savon, artisanal comme industriel, le recyclage de la glycérine pourrait également permettre de réduire les impacts environnementaux par unité de savon produite.

Les produits de deuxième transformation ont un impact nécessairement plus important que celui des huiles mais pour une grande majorité des catégories d'impact, les phases de production des huiles contribuent pour plus de la moitié des impacts. L'exception majeure est pour la consommation d'eau qui est particulièrement importante pour la deuxième transformation industrielle. La modélisation des étapes de deuxième transformation a été basée quasi exclusivement sur des processus disponibles dans la base de données ecoinvent. Ainsi les systèmes modélisés sont potentiellement assez différents des systèmes actuellement en place bien que les processus industriels soient en général plus standardisés que ceux artisanaux.

4.2 Recommandations

Au vu des résultats des ACV, les principales recommandations concernent l'amélioration des pratiques donc des rendements en plantations villageoises. Les scénarios de fertilisations recommandées dans le premier rapport de l'étude (Rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020) ont été testés et illustrent la réduction directe des impacts avec l'amélioration des rendements. L'amélioration des rendements passent par une récolte plus efficace et, en amont, une meilleure gestion des apports nutritionnels pour la plante et le sol. Le recyclage des EFB en plantation industrielle permet d'améliorer ces apports nutritionnels, notamment en potassium, tout en réduisant l'impact environnemental par substitution d'engrais synthétiques. Cette pratique devrait être favorisée dans les plantations villageoises, voire privilégiée dans la mesure ou l'accès aux intrants synthétiques est plus difficile pour les planteurs villageois. Le transport de ces EFB vers les plantations villageoises n'est pas un facteur limitant du point de vue environnemental au vu de l'analyse de sensibilité sur ce paramètre. En plus du recyclage des nutriments issus des EFB, ces derniers jouent un rôle de protection des sols, notamment contre l'érosion, ce qui, sur le long-terme, contribue également à améliorer les rendements. La protection des sols passe également par la mise en œuvre d'un panel de pratiques telles que la disposition des palmes élaguées perpendiculaire à la pente ou encore une limitation au strict minimum de l'emploi d'herbicides qui contribuent en plus directement à divers impacts en termes de toxicité.

Comme identifiée dans le premier rapport de l'étude proposant un diagnostic de la filière (Rapport N°2912, Bessou et Dubos, 2020), les filières artisanales sont potentiellement nombreuses, diversifiées et relativement peu renseignées à l'échelle nationale. Un recensement plus exhaustif des systèmes villageois, des types d'extraction artisanale, de leur fréquence par région, de leurs coûts énergétiques et rendements serait nécessaire pour comparer les impacts environnementaux des différentes sous-filières artisanales de manière plus fine. Cette analyse permettrait de mieux appréhender les recommandations technologiques mais également les aménagements logistiques potentiellement nécessaires à l'échelle régionale pour mettre à disposition des infrastructures permettant d'améliorer les performances globales des filières artisanales. Il en va de même pour la production artisanale de savon qui revêt un caractère économique local également important et pour laquelle la marge de manœuvre au niveau technologique comme environnemental et sanitaire est importante.

Dans le cas de la transformation industrielle, la réduction des émissions liées au traitement des POME est primordiale. Des pratiques de captage du méthane sont largement répandues en Asie. Les industriels ont régulièrement recours à des subventions via les mécanismes de développement durable des Nations Unies pour implanter les infrastructures nécessaires qui sont coûteuses. Une modélisation économique, couplée à cette évaluation environnementale, serait nécessaire pour établir les meilleurs compromis. De la même manière, cette modélisation économique devrait permettre d'explorer les filières les plus prometteuses des points de vue économique et environnemental pour la gestion et le recyclage des coproduits. La filière de production de compost devrait être étudiée en particulier car elle permet, à moindre coût, de recycler de nombreux coproduits y compris des POME non-traités et ainsi de réduire les émissions de méthane. Le bilan du compostage doit néanmoins également prendre en compte les infrastructures et les émissions liées directement à la production du compostage en contrepartie des impacts évités.

Références

Bessou C, Benoist A, Tailleur A, Godard C, Gac A, Boissy J. (2018) Projet ADEME SOCLE, Soil Organic Carbon changes in LCA, which Evaluations to improve environmental assessments? Rapport de synthèse 19p.

Bessou C., Dubos B. (2020) Filière Palmier à Huile en Côte d'Ivoire : Analyse fonctionnelle et diagnostic agronomique, Rapport d'étude Cirad n°2912, réalisé pour le FIRCA et l'AIPH, 42p., Août 2020, Montpellier, France

Bessou, C., C. Basset-Mens, T. Tran, and A. Benoist (2013) LCA applied to perennial cropping systems: a review focused on the farm stage. Int. J. Life Cycle Assess. 18(2): 340–361. doi: 10.1007/s11367-012-0502-z.

Bessou, C., L.D.C. Chase, I.E. Henson, A.F.N. Abdul-Manan, L. Milà i Canals, et al. (2014) Pilot application of PalmGHG, the Roundtable on Sustainable Palm Oil greenhouse gas calculator for oil palm products. J. Clean. Prod. 73: 136–145. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.008.

Bouwman, A.F., L.J.M. Boumans, and N.H. Batjes. (2002) Estimation of global NH3 volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. Glob. Biogeochem. Cycles 16(2): 8–1. doi: 10.1029/2000GB001389.

Caliman JP, Hardianto J, Ng M, et al. (2001) Strategy for fertilizer management during low commodity price. In: Cutting-edge technologies for sustained competitiveness: Proceedings of the 2001 PIPOC International Palm Oil Congress, Agriculture Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 20-22 August 2001. Malaysian Palm Oil Board (MPOB), pp 295–312

European Commission (2010) International Reference Life Cycle Data System (ILCD) handbook e general guide for Life Cycle Assessment e detailed guidance. Institute for Environment and Sustainability.

European Commission (2018) Product Environmental Footprint Category Rules Guidance (version 6.3) [en ligne]. Brussels, Belgium. Disponible à l'adresse : https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf.

Freiermuth R (2006) Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz. Agroscope FAL Reckenholz, 42 p.

Goh K-J, Härdter R, Fairhurst T (2003) Fertilizing for maximum return, in: Fairhust, T. and Hardter, R., Oil Palm Management for Large and Sustainable Yields. PPI, PPIC and IPI. Potash & Phosphate Institute, pp. 279–306.

Goh KJ, Po SB (2005) Fertilizer recommendation systems for oil palm: estimating the fertilizer rates. In: Proceedings of MOSTA Best Practices Workshops-Agronomy and Crop Management. Malaysian Oil Scientists' and Technologists' Association, Malaysia

Huijbregts, M.A.J., Z.J.N. Steinmann, P.M.F. Elshout, G. Stam, F. Verones, et al. (2016) ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and enpoint level - Report I: Characterization. Bilthoven, The Netherlands.

Huijbregts, M.A.J., Z.J.N. Steinmann, P.M.F. Elshout, G. Stam, F. Verones, et al. (2017) ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Int. J. Life Cycle Assess. 22(2): 138–147. doi: 10.1007/s11367-016-1246-y.

IPCC (2019) Dong, Hongmin, Macdonals, James Douglas, Ogle, Stephen Michael, Sanz Sanchez, Maria José Et Rochamarcelo, Theoto, 2019. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. In : Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukada, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. Et Federici, S. (éd.), 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [en ligne]. Switzerland : s.n. Disponible à l'adresse : https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html.

Lake, S., A. Rosenbarger, and C. Winchester (2016) Palm Risk Assessment Methodology: Prioritizing Areas, Landscapes, and Mills. Washington: World Resources Institute.

Nemecek T., J. Schnetzer (2011) Methods of Assessment of Direct Field Emissions for LCIs of Agricultural Production Systems, Data v3, Zurich, August

Prasuhn V (2006) Erfassung der PO4- Austräge für die Ökobilanzierung SALCA Phosphor. Agroscope Reckanholz-Tänikon ART. 20 p.

Schmidt, J.H. (2007) Life assessment of rapeseed oil and palm oil. Ph. D. thesis, Part 3: Life cycle inventory of rapeseed oil. http://people.plan.aau.dk/~jannick/Publications/Thesis_part3.pdf (accessed 12 November 2014).

Schmidt, J.H. (2010) Comparative life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil. Int. J. Life Cycle Assess. 15(2): 183–197. doi: 10.1007/s11367-009-0142-0.

Schmidt, J.H., (2007) Life cycle inventory of rapeseed oil and palm oil. PhD Thesis: Life cycle inventory report. Department of Development and Planning, Aalborg University, Aalborg, Denmark

Silalertruksa T, Bonnet S, Gheewala SH (2012) Life cycle costing and externalities of palm oil biodiesel in Thailand. J Clean Prod 28:225–232. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.07.022

Stehfest, E., and L. Bouwman (2006) N2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutr. Cycl. Agroecosystems 74(3): 207–228. doi: 10.1007/s10705-006-9000-7.

Stichnothe, H., and F. Schuchardt (2010) Comparison of different treatment options for palm oil production waste on a life cycle basis. Int. J. Life Cycle Assess. 15(9): 907–915. doi: 10.1007/s11367-010-0223-0.

Annexe 1: Agenda des entretiens réalisés

AGENDA **Filière Palmier à Huile CI**

Cécile Bessou + Bernard Dubos + Lazare Kouamé + Serge Naï Naï **07.04.2019 – 19.04.2019**

Objectifs :

1. Collecter les données pour l'analyse fonctionnelle de la filière palmier à huile
2. Visiter des plantations villageoises et industriels pour collecter les éléments de diagnostic agronomiques et une partie des données d'ACV
3. Visiter les usines de première et deuxième transformation industrielle, ainsi que des sites de transformation artisanale pour collecter les données d'ACV
4. Etablir les contacts avec les différents acteurs pour pouvoir les solliciter ultérieurement et compléter les données nécessaires pour l'étude ACV.

Dates	***Lieux***	***Personnes enquêtées***
7/4/19	Arrivée le soir	
8/4/19	*Abidjan*	M. Ahmadou Cissé M. Samson Samuel Ogallah
9/4/19	*Aboisso*	M. Marcellin Dadié Aka M. Alain Stephall
9/4/19	*Ehania*	M. Modeste Opely M. Raymond
10/4/19	*Aboisso*	M. Saba Traoré M. Alou Kano M. Adama
10/4/19	*Aboisso*	M. Benjamin Levi Adon M. Victorien Kofi M. Raphaël Ngoran
10/4/19	*Bonoua*	M. Roch Bollou
10/4/19	*Bonoua*	M. Pierre Allou Wadje
11/4/19	*Bonoua*	M. Christian Komoé
11/4/19	*Eloka*	M. Jean-Marc Kouakou M. Gérard Brou M. Theophile Adou Kissi M. Nestor Yao
12/4/19	*Sikensi*	M. Daniel Essehi

		M. Sanga Adama Kone
		Mme Félicienne Légré
12/4/19	*Sikensi*	M. Francis Kouaou
		M. Anassin Bony
		M. Nelson Gledjike
		M. Serge Pacôme Wouagai
13/4/19	*Abidjan*	M. Hervé Koukou
		M. Issa Touré
		Mme Ange Marie Francine Bogui
15/4/19	*Divo*	M. Koulibaly Tingana
		M. Alphonse Kekebouli
		Mme Maminata Diarra (savon art.)
15/4/19	*Divo*	M. Ousmane Ezzeddine
		M. Mohamed Ezzeddine
16/4/19	*Soubré*	M. Aziz Diarra
16/4/19	*Ottawa*	M. Lucien Kouamé
		M. Marcel Akpessi
		Mme Caroline Koffi
		M. Aroun Sawadogo
17/4/19	*Grand Beréby*	M. Alexandre Wenseleers
		M. Georgios
18/4/19	Route retour vers Abidjan	
19/4/19	*Abidjan*	
	Retour France	

Annexe 2: DQR criteria for primary data & secondary data

How to assign the values to DQR criteria when using company-specific information.

	P_{EF} and P_{AD}	$Ti_{R\text{-}EF}$ and $Ti_{R\text{-}AD}$	$Ti_{R\text{-}SD}$	$Te_{R\text{-}EF}$ and $Te_{R\text{-}SD}$	$G_{R\text{-}EF}$ and $G_{R\text{-}SD}$
1	Measured/calculated and externally verified.	The data refers to the most recent annual administration period with respect to the EF report publication date.	The EF report publication date happens within the time validity of the dataset.	The elementary flows and the secondary dataset reflect Exactly the technology of the newly developed dataset.	The data(set) reflects the exact geography where the process modelled in the newly created Dataset takes place.
2	Measured/calculated and internally verified, plausibility checked by reviewer	The data refers to maximum 2 annual administration periods with respect to the EF report publication	The EF report publication date happens no later than 2 years beyond the time validity of the dataset.	The elementary flows and the secondary dataset is a proxy of the technology of the newly developed	The data(set) partly reflects the geography where the process modelled in the newly created dataset takes place.
3	Measured/calculated/ literature and plausibility not checked by reviewer OR Qualified estimate based on calculations plausibility checked by reviewer	The data refers to maximum three annual administration periods with respect to the EF report publication date.	Not applicable	Not applicable	Not applicable
4-5	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable

P_{EF}: Precision for elementary flows; **P_{AD}**: Precision for activity data; **$Ti_{R\text{-}EF}$**: Time Representativeness for elementary flows; **$Ti_{R\text{-}AD}$**: Time representativeness for activity data; **$Ti_{R\text{-}SD}$**: Time representativeness for secondary datasets; **$Te_{R\text{-}EF}$**: Technology representativeness for elementary flows; **$Te_{R\text{-}SD}$**: Technology representativeness for secondary datasets**; $G_{R\text{-}EF}$**: Geographical representativeness for elementary flows; **$G_{R\text{-}SD}$:** Geographical representativeness for secondary datasets.

How to assign the values to DQR criteria when using secondary datasets.

	Ti_R	Te_R	G_R
1	The EF report publication date happens within the time validity of the dataset.	The technology used in the EF study is exactly the same as the one in scope of the dataset.	The process modelled in the EF study takes place in the country the dataset is valid for.
2	The EF report publication date happens no later than 2 years beyond the time validity of the dataset.	The technologies used in the EF study is included in the mix of technologies in scope of the dataset.	The process modelled in the EF study takes place in the geographical region (e.g. Europe) the dataset is valid for.
3	The EF report publication date happens no later than 4 years beyond the time validity of the dataset.	The technologies used in the EF study are only partly included in the scope of the dataset.	The process modelled in the EF study takes place in one of the geographical regions the dataset is valid for.
4	The EF report publication date happens no later than 6 years beyond the time validity of the dataset.	The technologies used in the EF study are similar to those included in the scope of the dataset.	The process modelled in the EF study takes place in a country that is not included in the geographical region(s) the dataset is valid for, but sufficient similarities are estimated based on
5	The EF report publication date happens later than 6 years after the time validity of the dataset.	The technologies used in the EF study are different from those included in the scope of the dataset.	The process modelled in the EF study takes place in a different country than the one the dataset is valid for.

Ti_R: Time representativeness; **Te_R**: Technology representativeness; **G_R:** Geographic representativeness.

Annexe 3 : Estimation des stocks potentiels de carbone pour les changements d'usage des sols basés sur IPCC 2019

Types d'usages	*Stock natif (tC/ha)*	*Facteur d'usage*	*Facteur de pratique*	*Facteur d'intrant*	*Stock du sol (tC/ha)*	*Stock aérien (tC/ha)*	*Biomasse morte et résidus (tC/ha)*	*Stock total (tC/ha)*
Forêt secondaire	38,0 ± 5 %	*1*	*1*	*1*	38,0 ± 5 %	42,1	13,9	94,0
Jachère	38,0 ± 5 %	*0,82 ± 17 %*	*1*	*1*	31,2 ± 22 %	28,0	0	59,2
Palmier à huile	38,0 ± 5 %	*1,01 ± 25 %*	*1,10 ± 5 %*	*1,11 ± 10 %*	46,9 ± 45 %	37,3	4,7	88,9
Cultures vivrières	38,0 ± 5 %	*0,83 ± 11 %*	*1,10 ± 5 %*	*1*	34,7 ± 21 %	0	0	34,7
Cacao	38,0 ± 5 %	*1,01 ± 25 %*	*1,10 ± 5 %*	*1*	42,2 ± 35 %	29,8	2,8	74,8
Hévéa	38,0 ± 5 %	*1,01 ± 25 %*	*1,10 ± 5 %*	*1*	42,2 ± 35 %	49,7	0	91,9

Annexe 4 : Inventaires de cycle de vie

Noms des scénarios	*Etapes*	*Informations détaillées sur les données d'inventaire de premier plan*
CPO_PI_B	**Phase agricole**	
	Usage du sol – Pas de changement	❖ Occupation, perennial crop : 1 ha.yr ❖ Transformation from perennial crop, to perennial crop : 1/27 ha
	Pépinière	❖ Production et transport des semences (100% sélectionnées) : processus issu de la BDD LCA-Cirad ❖ Production de plants en pré-pépinière et pépinière : BDD LCA-Cirad (inclut les apports en terre, engrais, produits phytosanitaires et eau)
	Transport des intrants	❖ Transport des intrants depuis leur pays d'origine selon une moyenne globale (faute de données précises sur les origines des intrants) + 204 km en moyenne de transport par camion depuis Abidjan vers les plantations
	Établissement de la plantation	❖ Préparation du terrain, routes et drainage : BDD LCA-Cirad ❖ Densité de plantation : 140 plants/ha ❖ Diesel pour la plantation : BDD LCA-Cirad
	Gestion de la plantation (moyenne pondérée sur l'ensemble du cycle)	❖ Engrais (moyenne pondérée sur 27 ans de cycle) : Azote (urée) (N) : 7 kg/ha.an Phosphate (RP) (P2O5) : 7 kg/ha.an Potassium (KCl)(K2O) : 119 kg/ha.an Kieserite : 69 kg/ha.an Total N dans les résidus de plantation : 128 kgN/ha.an ❖ Herbicides (autre désherbage sélectif ponctuel non inclus, eau pour la dilution et l'application incluse) : Glyphosate en produit commercial : 1.4 l/ha.an (360g/l) incluant l'eau de dilution pour l'application Paraquat en produit commercial : 0.5 l/ha.an (276g/l) incluant l'eau de dilution pour l'application
	Opérations culturales	❖ Désherbage chimique réalisé manuellement ❖ Apport des engrais mécanisé, fractionné en 2 fois par an (BDD LCA-Cirad) ❖ Récolte : manuelle
	Rendement	❖ Moyenne pondérée sur tout le cycle : 13.3 tFFB/ha.an
	Transport plantations-huileries	❖ Transport par tracteur avec remorque : 25 km
	Transformation en huile de palme brute (CPO)	
	Diesel	❖ Diesel: 0.8 l/tFFB
	Electricité du réseau	❖ 8.6 kWh/tFFB
	Transport des intrants	❖ Transport des intrants depuis leur pays d'origine selon une moyenne globale (faute de données précises sur les origines des intrants) : + 204 km en moyenne de transport par camion depuis Abidjan vers les plantations/huileries
	Usage et traitement de l'eau	❖ 1,880 l eau/tFFB (Blonk Agri-Footprint 2015) Origine de l'eau : rivière Côte d'Ivoire Sulfate d'aluminium : 0.13 kg/tFFB Soude : 0.04 kg/tFFB
	Taux d'extraction (OER)	❖ 23%

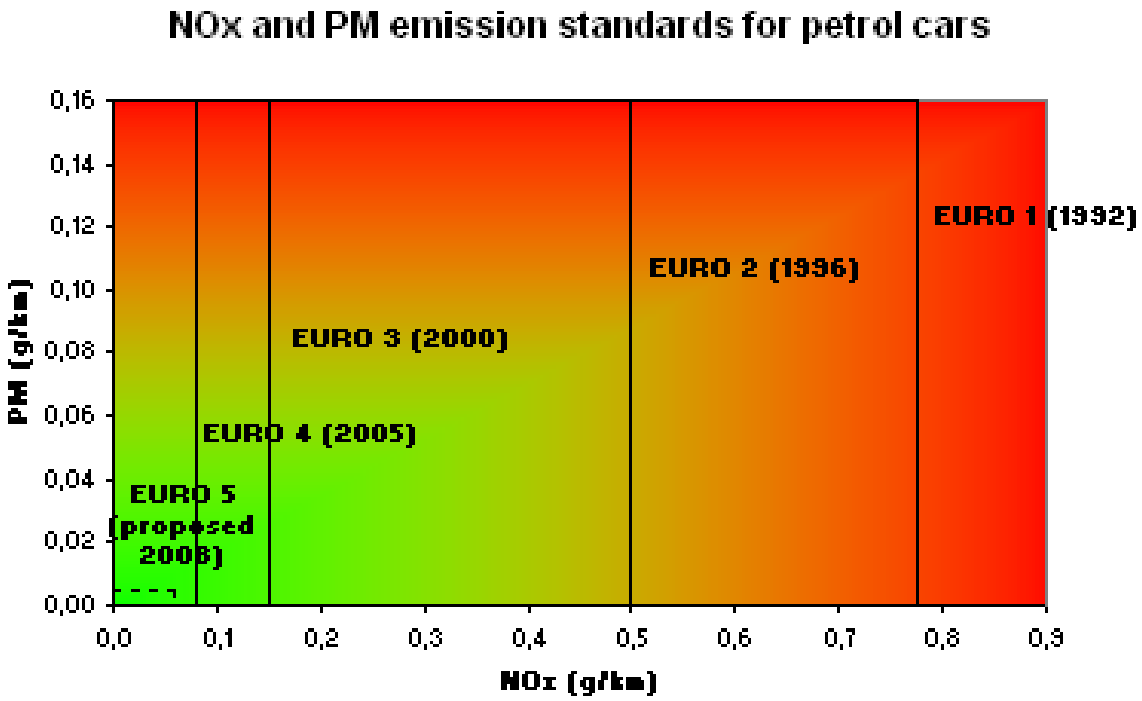
	Allocation massique	❖	CPO: 82.1%; PK: 17.9%
	Emissions de la chaudière	❖	Données issues de la BDD LCA-Cirad
	Traitement des POME	❖	0.57 tPOME/tFFB (Stichnothe and Schuchardt, 2010) 9.35 kgCH_4/tPOME (Yacob et al. 2006) 0.0148 kgNH3/tPOME
	Transports	❖	Moyenne plantation – site de 1ère transformation : 25 km Moyenne site de 1ère transformation – Abidjan : 204 km
CPO_PI_H	**Phase agricole**		
	Usage du sol – Pas de changement	❖ ❖	Occupation, perennial crop : 1 ha.yr Transformation from perennial crop, to perennial crop : 1/27 ha
	Pépinière	❖ ❖	Production et transport des semences (100% sélectionnées) : processus issu de la BDD LCA-Cirad Production de plants en pré-pépinière et pépinière : BDD LCA-Cirad (inclut les apports en terre, engrais, produits phytosanitaires et eau)
	Transport des intrants	❖	Transport des intrants depuis leur pays d'origine selon une moyenne globale (faute de données précises sur les origines des intrants) + 204 km en moyenne de transport par camion depuis Abidjan vers les plantations
	Établissement de la plantation	❖ ❖ ❖	Préparation du terrain, routes et drainage : BDD LCA-Cirad Densité de plantation : 140 plants/ha Diesel pour la plantation : BDD LCA-Cirad
	Gestion de la plantation (moyenne pondérée sur l'ensemble du cycle)	❖	Engrais (moyenne pondérée sur 27 ans de cycle) : Azote (urée) (N) : 36 kg/ha.an Phosphate (RP) (P2O5) : 44 kg/ha.an Potassium (KCl)(K2O) : 131 kg/ha.an Kieserite : 156 kg/ha.an Total N dans les résidus de plantation : 128 kgN/ha.an
		❖	Herbicides (autre désherbage sélectif ponctuel non inclus, eau pour la dilution et l'application incluse) : Glyphosate en produit commercial : 1.4 l/ha.an (360g/l) incluant l'eau de dilution pour l'application Paraquat en produit commercial : 0.5 l/ha.an (276g/l) incluant l'eau de dilution pour l'application
	Opérations culturales	❖ ❖ ❖ ❖	Désherbage chimique réalisé manuellement Apport des engrais mécanisé, fractionné en 2 fois par an (BDD LCA-Cirad) Récolte: manuelle
	Rendement	❖	Moyenne pondérée sur tout le cycle : 16.9 tFFB/ha.an
	Transport plantations-huileries	❖	Transport par tracteur avec remorque : 25 km
	Transformation en huile de palme brute (CPO) identique à CPO_PI_B		

Noms des scénarios	*Etapes*	*Informations détaillées sur les données d'inventaire de premier plan*
CPO_PV_A	**Phase agricole**	
	Usage du sol – Pas de changement	❖ Occupation, perennial crop : 1 ha.yr ❖ Transformation from perennial crop, to perennial crop : 1/27 ha
	Pépinière	❖ Production et transport des semences (90% sélectionnées+10% non-sélectionnées) : processus issu de la BDD LCA-Cirad ❖ Production de plants en pré-pépinière et pépinière sur un an : BDD LCA-Cirad (inclut les apports en terre, engrais, produits phytosanitaires et eau)
	Transport des intrants	❖ Transport des intrants depuis leur pays d'origine selon une moyenne globale (faute de données précises sur les origines des intrants) + 204 km en moyenne de transport par camion depuis Abidjan vers les plantations
	Établissement de la plantation	❖ Préparation du terrain, routes et drainage : BDD LCA-Cirad ❖ Densité de plantation : 140 plants/ha ❖ Diesel pour la plantation : BDD LCA-Cirad
	Gestion de la plantation (moyenne pondérée sur l'ensemble du cycle)	❖ Engrais (moyenne pondérée sur 27 ans de cycle) : Azote (urée) (N) : 10 kg/ha.an Phosphate (RP) (P2O5) : 11 kg/ha.an Potassium (KCl)(K2O) : 22 kg/ha.an Kieserite : 19 kg/ha.an Total N dans les résidus de plantation : 95.6 kgN/ha.an ❖ Herbicides (autre désherbage sélectif ponctuel non inclus, eau pour la dilution et l'application incluse) : Glyphosate en produit commercial : 2.2 l/ha.an (360g/l) incluant l'eau de dilution pour l'application
	Opérations culturales	❖ Désherbage chimique réalisé manuellement ❖ Apport des engrais manuel ❖ Récolte : manuelle
	Rendement	❖ Moyenne pondérée sur tout le cycle : 5.8 tFFB/ha.an
	Transport plantations-huileries	❖ Transport par tracteur avec remorque : 25 km
	Transformation en huile de palme brute (CPO) identique à CPO_PI_B	
CPO_PV_O	**Phase agricole**	
	Usage du sol – Pas de changement	❖ Occupation, perennial crop : 1 ha.yr ❖ Transformation from perennial crop, to perennial crop : 1/27 ha
	Pépinière	❖ Production et transport des semences (90% sélectionnées+10% non-sélectionnées) : processus issu de la BDD LCA-Cirad ❖ Production de plants en pré-pépinière et pépinière sur un an : BDD LCA-Cirad (inclut les apports en terre, engrais, produits phytosanitaires et eau)
	Transport des intrants	❖ Transport des intrants depuis leur pays d'origine selon une moyenne globale (faute de données précises sur les origines des intrants) + 204 km en moyenne de transport par camion depuis Abidjan vers les plantations
	Établissement de la plantation	❖ Préparation du terrain, routes et drainage : BDD LCA-Cirad ❖ Densité de plantation : 140 plants/ha ❖ Diesel pour la plantation : BDD LCA-Cirad
	Gestion de la plantation (moyenne	❖ Engrais (moyenne pondérée sur 27 ans de cycle) : Azote (urée) (N) : 7 kg/ha.an Phosphate (RP) (P2O5) : 7 kg/ha.an

	pondérée sur l'ensemble du cycle)		Potassium (KCl)(K2O) : 97 kg/ha.an Kieserite : 44 kg/ha.an Total N dans les résidus de plantation : 95.6 kgN/ha.an
		❖	Herbicides (autre désherbage sélectif ponctuel non inclus, eau pour la dilution et l'application incluse) : Glyphosate en produit commercial : 0.1 l/ha.an (360g/l) incluant l'eau de dilution pour l'application
	Opérations culturales	❖	Désherbage chimique réalisé manuellement
		❖	Apport des engrais manuel
		❖	Récolte : manuelle
	Rendement	❖	Moyenne pondérée sur tout le cycle : 13.3 tFFB/ha.an
	Transport plantations-huileries		Transport par tracteur avec remorque : 25 km
	Transformation en huile de palme brute (CPO) identique à CPO_PI_B		
HR_PV_A	**Phase agricole identique à CPO_PV_A**		
	Transformation artisanale en huile rouge		
	Bois de chauffe	❖	0.2kg/kgFFB, émissions de NOx, CO et particules basées sur CITEPA 2009
	Usage de l'eau	❖	160 l eau/tFFB (Blonk Agri-Footprint 2015) Origine de l'eau : rivière Côte d'Ivoire
	Taux d'extraction (OERart)	❖	14%
	Allocation massique	❖	CPO: 100%; PK: 0%
	Emissions des POME	❖	10%*0.57 tPOME/tFFB (Stichnothe and Schuchardt, 2010) Emissions de N & P selon les modèles IPCC & SALCA avec les coefficients pour des engrais organiques
	Transports plantations-village	❖	Moyenne plantation – site de 1ère transformation : 25 km Moyenne site de 1ère transformation – Abidjan : 204 km
HR_PV_O	**Phase agricole identique à CPO_PV_O**		
	Transformation artisanale identique à HR_PV_A		
Savon_IND	**Saponification industrielle et conditionnement**		
	Electricité du réseau	❖	50 kWh/t savon (ecoinvent v3)
	Chaleur	❖	4.64 GJ/t savon (ecoinvent v3)
	Usage de l'eau	❖	18.09 m^3/t savon (ecoinvent v3)
	Matière première	❖	90% stéarine + 10% huile de palmiste = 769 kg/t savon matières premières issues du scenario CPO_PI_H (huile raffinée)
	Soude	❖	124 kg/t savon
	Poids de l'emballage	❖	1%; emballage plastique (ecovinvent v3)
Savon_ART	**Saponification artisanale**		
	Usage de l'eau	❖	257 l/t savon
	Matière première	❖	668 kg huile rouge/t savon 100% huile rouge issue du scenario HR_PV_A
	Soude	❖	90 kg/t savon

Huile_IND	**Transformation en huile alimentaire et conditionnement**		
	Matière première	❖	100% oléine, CPO_PI_H (huile raffinée)
	Poids de l'emballage	❖	53.3 kg HDPE/t huile alimentaire emballée en bidon de 25 l

Annexe 5 : Emissions pour les transports selon les normes européennes et telles que répercutées dans la base de données ecoinvent



Annexe 6 : Normalisation des endpoints, RECIPE 2016-H

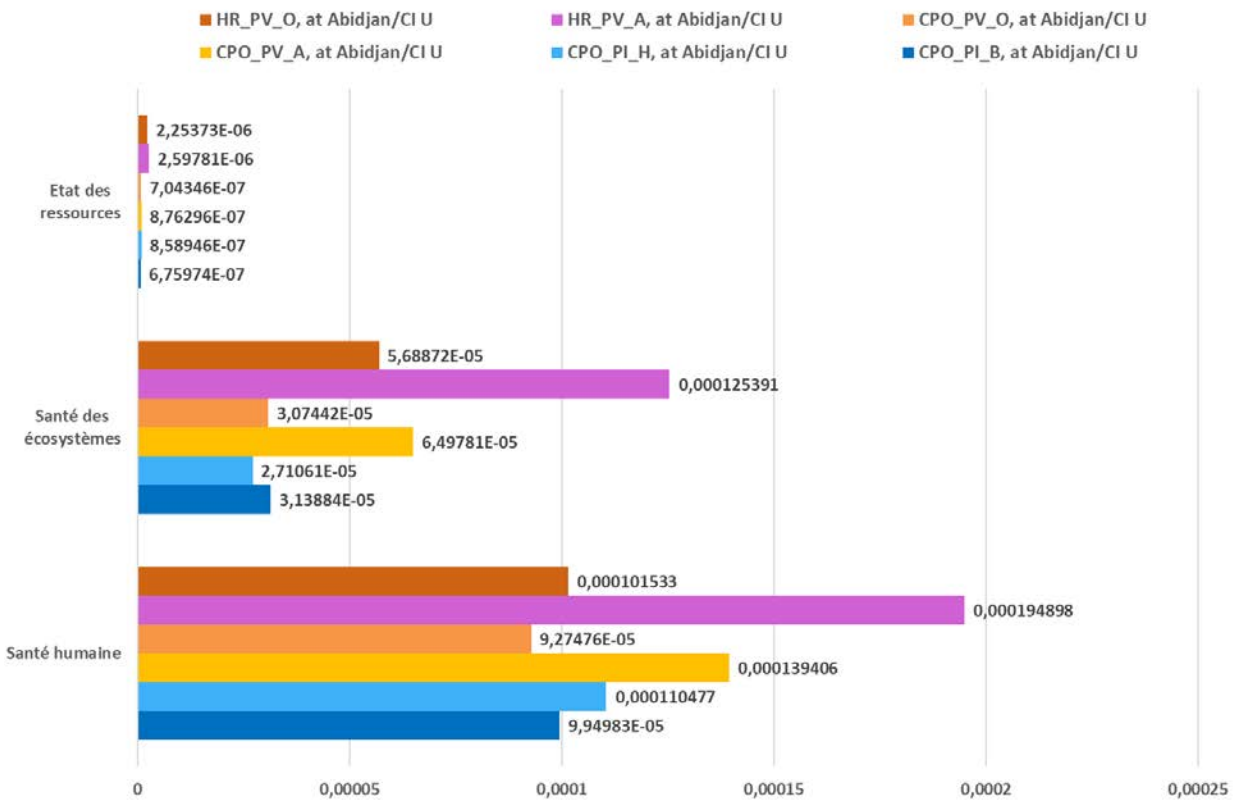


Figure 13: Etude d'impact par kg d'huile à Abidjan, RECIPE 2016 ENDPOINT (H) V1.03/World 2010

Annexe 7 : Contributions des MIDPOINTS aux ENDPOINTS

Dommages ENDPOINT	Unité	Contribution des catégories d'impact MIDPOINT aux ENDPOINT	CPO_PI_B, at Abidjan/CI U	CPO_PI_H, at Abidjan/CI U	CPO_PV_A, at Abidjan/CI U	CPO_PV_O, at Abidjan/CI U	HR_PV_A, at Abidjan/CI U	HR_PV_O, at Abidjan/CI U
Santé humaine	DALY		2,36371E-06	2,62441E-06	3,36897E-06	2,22818E-06	4,7448E-06	2,46202E-06
		Changement climatique, Santé humaine	36,42%	35,10%	32,14%	38,74%	23,13%	26,73%
		Destruction de l'ozone	0,12%	0,13%	0,20%	0,13%	0,28%	0,22%
		Radiations ionisantes	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		Formation d'ozone, Santé humaine	0,20%	0,18%	0,16%	0,21%	0,25%	0,41%
		Particules fines	58,69%	57,90%	61,10%	55,86%	67,36%	63,66%
		Toxicité humaine (cancérigène)	0,25%	0,26%	0,28%	0,25%	0,50%	0,64%
		Toxicité humaine (non cancérigène)	3,74%	5,92%	5,18%	4,20%	7,15%	7,19%
		Consommation d'eau, Santé humaine	0,57%	0,51%	0,94%	0,62%	1,34%	1,14%
Santé des écosystèmes	Species.yr		2,2485E-08	1,94174E-08	4,67066E-08	2,20932E-08	9,01429E-08	4,08904E-08
		Consommation d'eau, Ecosystèmes (T)	0,37%	0,42%	0,41%	0,38%	0,43%	0,42%
		Consommation d'eau, Ecosystèmes (E)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		Changement climatique, Ecosystèmes (T)	11,54%	14,29%	6,98%	11,77%	3,67%	4,85%
		Changement climatique, Ecosystèmes (E)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		Formation d'ozone, Ecosystèmes (T)	3,62%	4,21%	1,96%	3,60%	2,43%	4,78%
		Acidification terrestre	9,88%	12,99%	8,33%	8,32%	8,14%	7,89%
		Eutrophisation eau douce	0,23%	0,27%	0,26%	0,23%	0,27%	0,25%
		Eutrophisation marine	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
		Ecotoxicité terrestre	0,05%	0,07%	0,03%	0,06%	0,02%	0,04%
		Ecotoxicité eau douce	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%
		Ecotoxicité marine	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
		Usage des sols	74,25%	67,68%	81,97%	75,58%	84,99%	81,71%
Etat des ressources	USD2013		0,018947333	0,024069943	0,024571854	0,019740806	0,072819449	0,063152309
		Destruction des ressources minières	0,12%	0,66%	0,58%	0,21%	0,39%	0,13%
		Destruction des ressources fossiles	99,88%	99,34%	99,42%	99,79%	99,61%	99,87%

Figure 14: Etude d'impact par kg d'huile à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT & ENDPOINT (H) V1.03/World 2010

Les impacts *midpoints* contribuent plus ou moins fortement aux dommages *endpoints* en fonction des hypothèses faites pour modéliser les impacts finaux sur les aires de protections. L'importance relative de la contribution de certains *midpoints* aux *endpoints* est utile pour focaliser l'analyse sur les impacts les plus prégnants et leurs origines. Dans la suite des résultats, l'analyse est plus approfondie pour les catégories *midpoints* en jaune, orange et rouge sur le tableau ci-dessus. Ainsi, par exemple la toxicité humaine (non cancérigène) est gardée dans les figures et non celle cancérigène qui est moins prégnant dans le cas d'étude.

Annexe 8 : Résultats RECIPE-MIDPOINT, tous impacts

Catégorie d'impact	Unité	CPO_PI_B, at Abidjan/CI U	CPO_PI_H, at Abidjan/CI U	CPO_PV_A, at Abidjan/CI U	CPO_PV_O, at Abidjan/CI U	HR_PV_A, at Abidjan/CI U	HR_PV_O, at Abidjan/CI U
Changement climatique	kg CO2 eq	0,926	0,991	1,153	0,924	1,157	0,698
Destruction de l'ozone	kg CFC11 eq	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Radiations ionisantes	kBq Co-60 eq	0,003	0,004	0,004	0,003	0,009	0,007
Formation d'ozone (santé humaine)	kg NOx eq	0,005	0,005	0,006	0,005	0,013	0,011
Particules fines	kg PM2.5 eq	0,002	0,002	0,003	0,002	0,005	0,002
Formation d'ozone (ecosystèmes)	kg NOx eq	0,006	0,006	0,007	0,006	0,017	0,015
Acidification terrestre	kg SO2 eq	0,010	0,012	0,018	0,008	0,033	0,015
Eutrophisation eau douce	kg P eq	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Eutrophisation marine	kg N eq	0,003	0,002	0,004	0,002	0,009	0,004
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DCB	1,070	1,203	1,205	1,110	1,585	1,396
Ecotoxicité eau douce	kg 1,4-DCB	0,013	0,011	0,025	0,011	0,050	0,023
Ecotoxicité marine	kg 1,4-DCB	0,012	0,010	0,023	0,011	0,045	0,021
Toxicité humaine (cancérigène)	kg 1,4-DCB	0,002	0,002	0,003	0,002	0,007	0,005
Toxicité humaine (non cancérigène)	kg 1,4-DCB	0,388	0,681	0,765	0,410	1,487	0,776
Usage des sols	m2a crop eq	1,879	1,479	4,309	1,879	8,622	3,760
Destruction des ressources minières	kg Cu eq	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
Destruction des ressources fossiles	kg oil eq	0,046	0,059	0,060	0,048	0,169	0,145
Consommation d'eau	m3	0,006	0,006	0,014	0,006	0,029	0,013

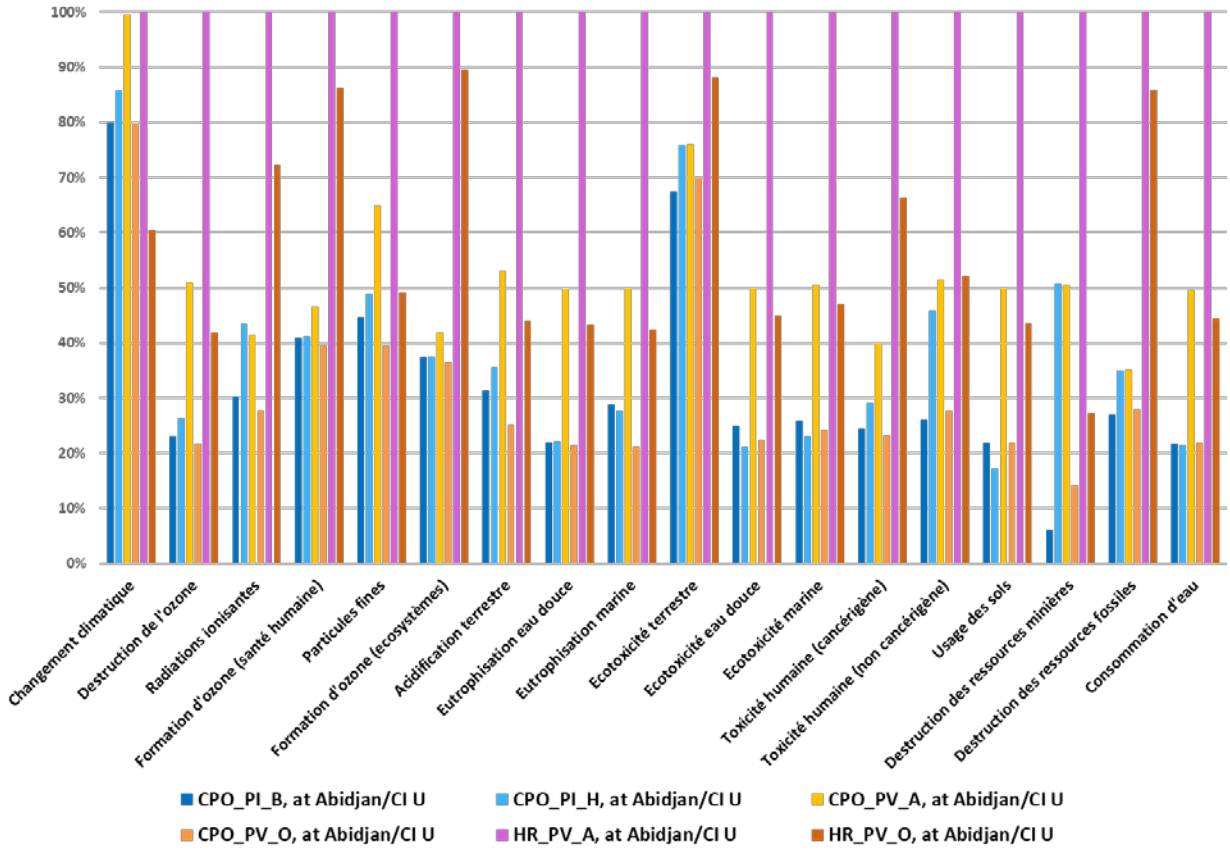


Figure 15: Etude d'impact par kg d'huile à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; valeurs absolues (tableau) et comparatives (figure)

Annexe 9 : Résultats ILCD-MIDPOINT, tous impacts

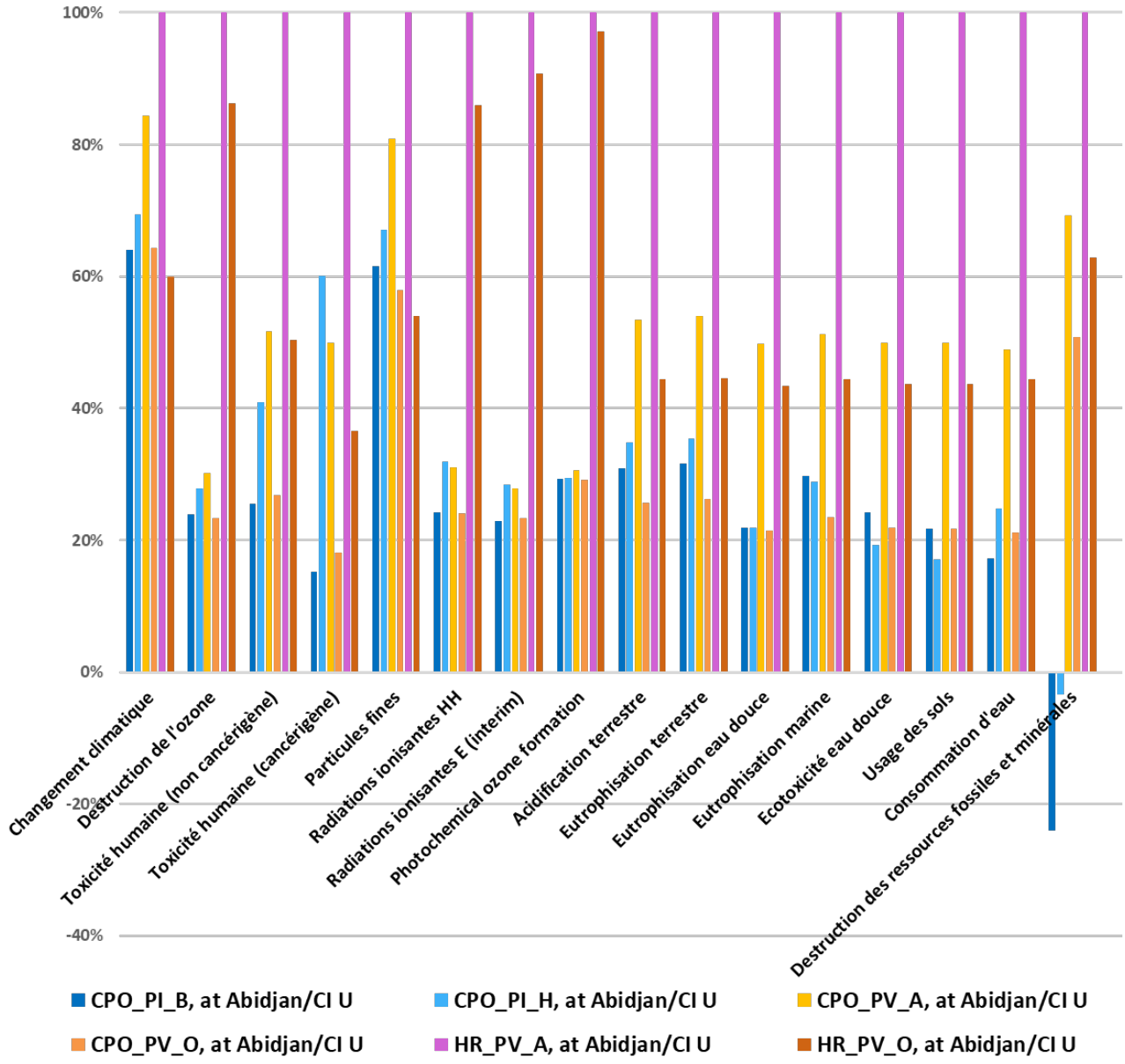


Figure 16: Figure 12: Etude d'impact par kg d'huile à Abidjan, ILCD 2011 MIDPOINT; valeurs comparatives. Globalement la hiérarchie des systèmes en termes d'impact est comparable à celle établie avec RECIPE. L'impact négatif pour les ressources fossiles et minérales est lié aux impacts évités grâce aux engrais minéraux substitués. La différence avec les résultats de RECIPE est lié à des modélisation différente entre les deux méthodes concernant l'impact d'une consommation de ressource par rapport aux stocks existants.

Annexe 10 : Impacts d'un kg de EFB recyclés en plantation comparés au NPK que les EFB substituent à teneurs en nutriments équivalentes

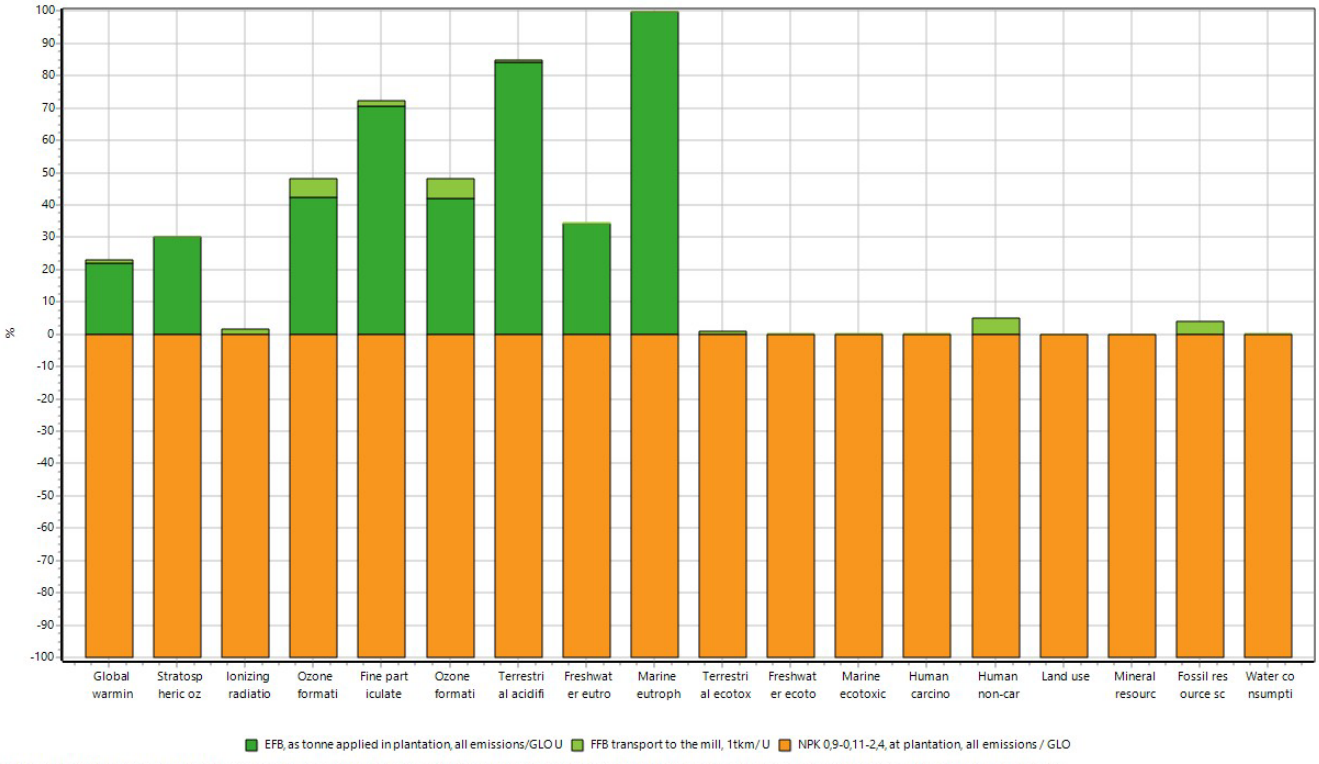


Figure 17: Caractérisation des impacts des EFB recyclés en plantation (1 kg), avec les impacts évités du NPK substitués, RECIPE 2016-MIDPOINT

Les impacts des EFB, incluant leur transport vers la plantation et les émissions en plantation, sont plus que compensés par les engrais synthétiques substitués (évités) sauf pour la catégorie d'impact Eutrophisation marine.

Annexe 11 : Analyse comparative des impacts des modes de transport (tkm)

Figure 18: Caractérisation des impacts des modes de transport (tkm), comparaison (haut) et normalisation (bas), RECIPE 2016-MIDPOINT : vert foncé = transport du CPO en gros porteur vers Abidjan, vert clair = transport des FFB en remorque plantation-huilerie, orange = transport en véhicule utilitaire vers Abidjan

Annexe 12 : Analyse de sensibilité pour le scénario HR_PV_A

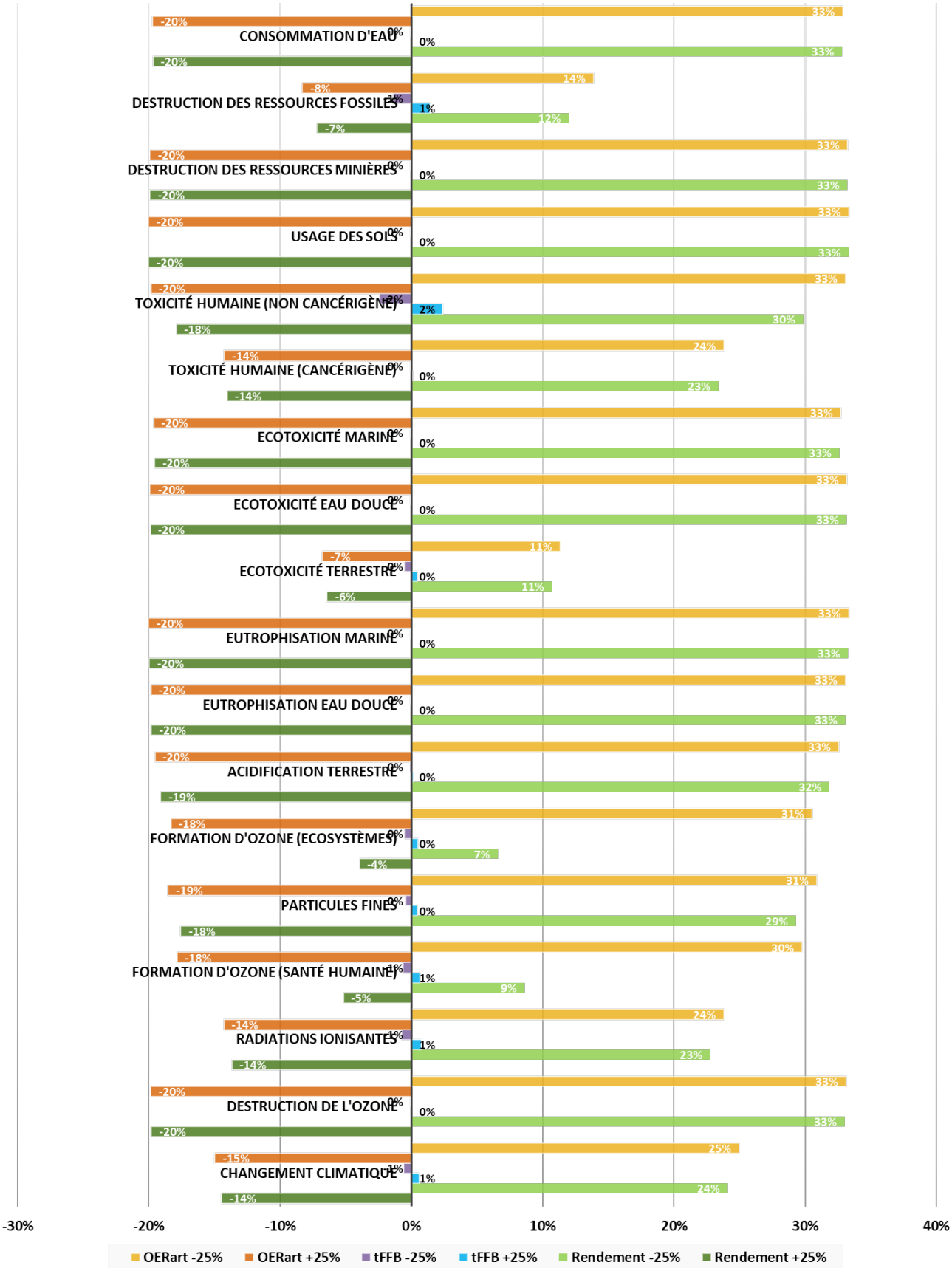


Figure 19: Variations des impacts (RECIPE 2016-MIDPOINT) en fonction des paramètres dont la sensibilité est testée

Annexe 13 : Etude d'impact des scénarios d'optimisation minimale

Catégorie d'impact	Unité	CPO_PI_H, at Abidjan/CI U	Savon_IND, at Abidjan/CI U
Changement climatique	kg CO2 eq	0,936716806	1,256182975
Destruction de l'ozone	kg CFC11 eq	5,01124E-06	3,9161E-06
Radiations ionisantes	kBq Co-60 ec	0,003552447	0,028661578
Formation d'ozone (santé humaine)	kg NOx eq	0,003136567	0,003833316
Particules fines	kg PM2.5 eq	0,002340768	0,002857746
Formation d'ozone (ecosystèmes)	kg NOx eq	0,003151626	0,003856462
Acidification terrestre	kg SO2 eq	0,011630035	0,011572788
Eutrophisation eau douce	kg P eq	7,68697E-05	0,000221752
Eutrophisation marine	kg N eq	0,002465798	0,001860837
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DCB	1,126691691	1,723307079
Ecotoxicité eau douce	kg 1,4-DCB	0,010245423	0,01323688
Ecotoxicité marine	kg 1,4-DCB	0,009750202	0,015815226
Toxicité humaine (cancérigène)	kg 1,4-DCB	0,00185052	0,014394781
Toxicité humaine (non cancérigène)	kg 1,4-DCB	0,609149454	0,683444199
Usage des sols	m2a crop eq	1,478747683	1,017586239
Destruction des ressources minières	kg Cu eq	0,00052225	0,000520244
Destruction des ressources fossiles	kg oil eq	0,052975605	0,210614597
Consommation d'eau	m3	0,005889131	0,115200234

Figure 20: Etude d'impact par kg de produits de 1ère et 2ème transformations à Abidjan, optimisation minimale des scénarios RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10

Annexe 14 : Variation de l'impact d'un kg de savon industriel en fonction de la fraction de tourteaux substituée

		Fraction de tourteaux de palmiste substituant des tourteaux de soja en alimentation pour le bétail				
Catégorie d'impact	**Unité**	**0**	**0,2**	**0,5**	**0,8**	**1**
Changement climatique	kg CO2 eq	1,353317723	1,314463826	1,256182975	1,197902122	1,159048222
Destruction de l'ozone	kg CFC11 eq	4,20424E-06	4,08898E-06	3,9161E-06	3,74321E-06	3,62795E-06
Radiations ionisantes	kBq Co-60 eq	0,029008371	0,028869654	0,028661578	0,028453502	0,028314785
Formation d'ozone (santé humaine)	kg NOx eq	0,003926093	0,003888982	0,003833316	0,00377765	0,003740539
Particules fines	kg PM2.5 eq	0,002948018	0,002911909	0,002857746	0,002803583	0,002767474
Formation d'ozone (ecosystèmes)	kg NOx eq	0,003960062	0,003918622	0,003856462	0,003794301	0,003752861
Acidification terrestre	kg SO2 eq	0,011667237	0,011629458	0,011572788	0,011516118	0,011478338
Eutrophisation eau douce	kg P eq	0,000228923	0,000226054	0,000221752	0,000217449	0,000214581
Eutrophisation marine	kg N eq	0,001923475	0,00189842	0,001860837	0,001823253	0,001798198
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DCB	1,77735557	1,755736173	1,723307079	1,690877982	1,669258585
Ecotoxicité eau douce	kg 1,4-DCB	0,013989434	0,013688413	0,01323688	0,012785348	0,012484326
Ecotoxicité marine	kg 1,4-DCB	0,016204008	0,016048495	0,015815226	0,015581956	0,015426443
Toxicité humaine (cancérigène)	kg 1,4-DCB	0,014617291	0,014528287	0,014394781	0,014261275	0,014172271
Toxicité humaine (non cancérigène)	kg 1,4-DCB	0,666216394	0,673107517	0,683444199	0,69378088	0,700672002
Usage des sols	m2a crop eq	1,154101062	1,099495133	1,017586239	0,935677348	0,88107142
Destruction des ressources minières	kg Cu eq	0,000542378	0,000533524	0,000520244	0,000506964	0,000498111
Destruction des ressources fossiles	kg oil eq	0,213820796	0,212538317	0,210614597	0,208690876	0,207408396
Consommation d'eau	m3	0,115462332	0,115357493	0,115200234	0,115042975	0,114938136

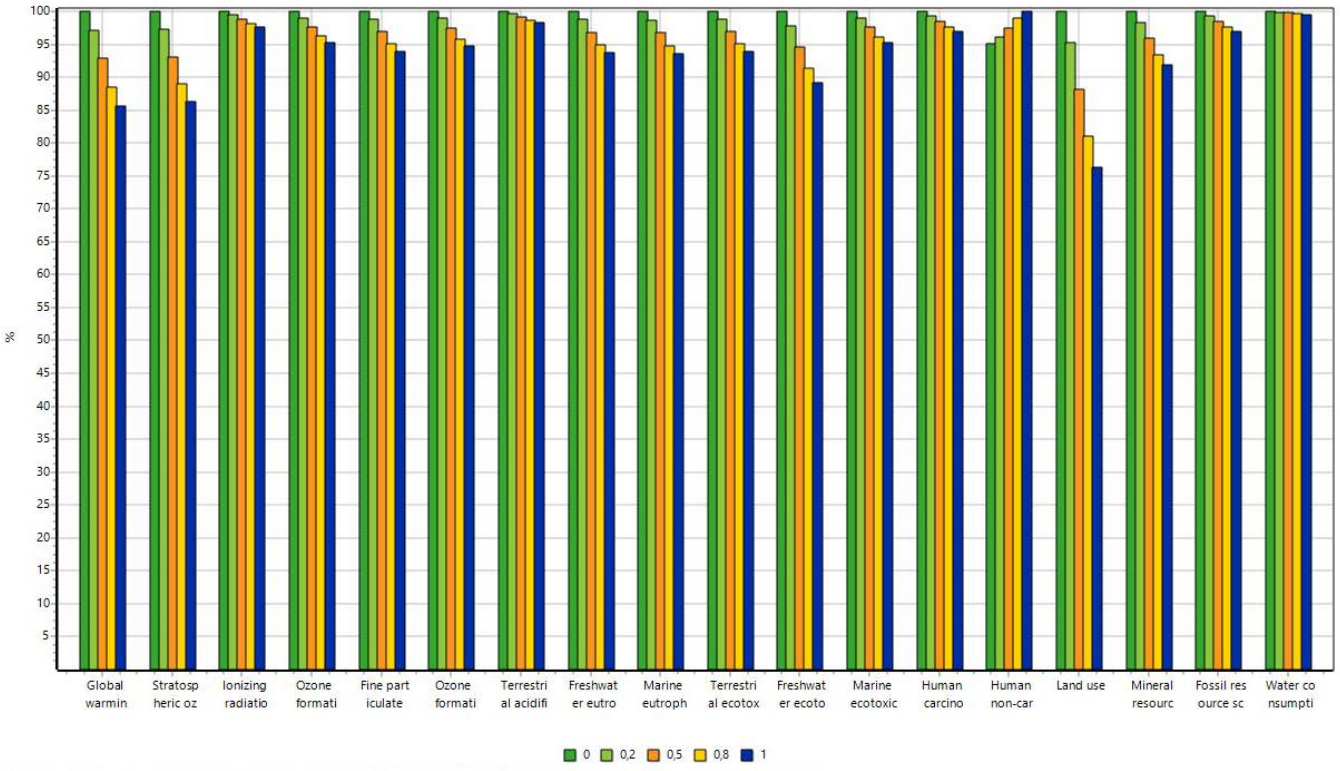


Figure 21: Etude d'impact par kg de savon industriel à Abidjan en fonction de la fraction de tourteaux de palmiste (fraction de 0 à 1) recyclée, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; valeurs absolues (tableau) et comparatives (figures)

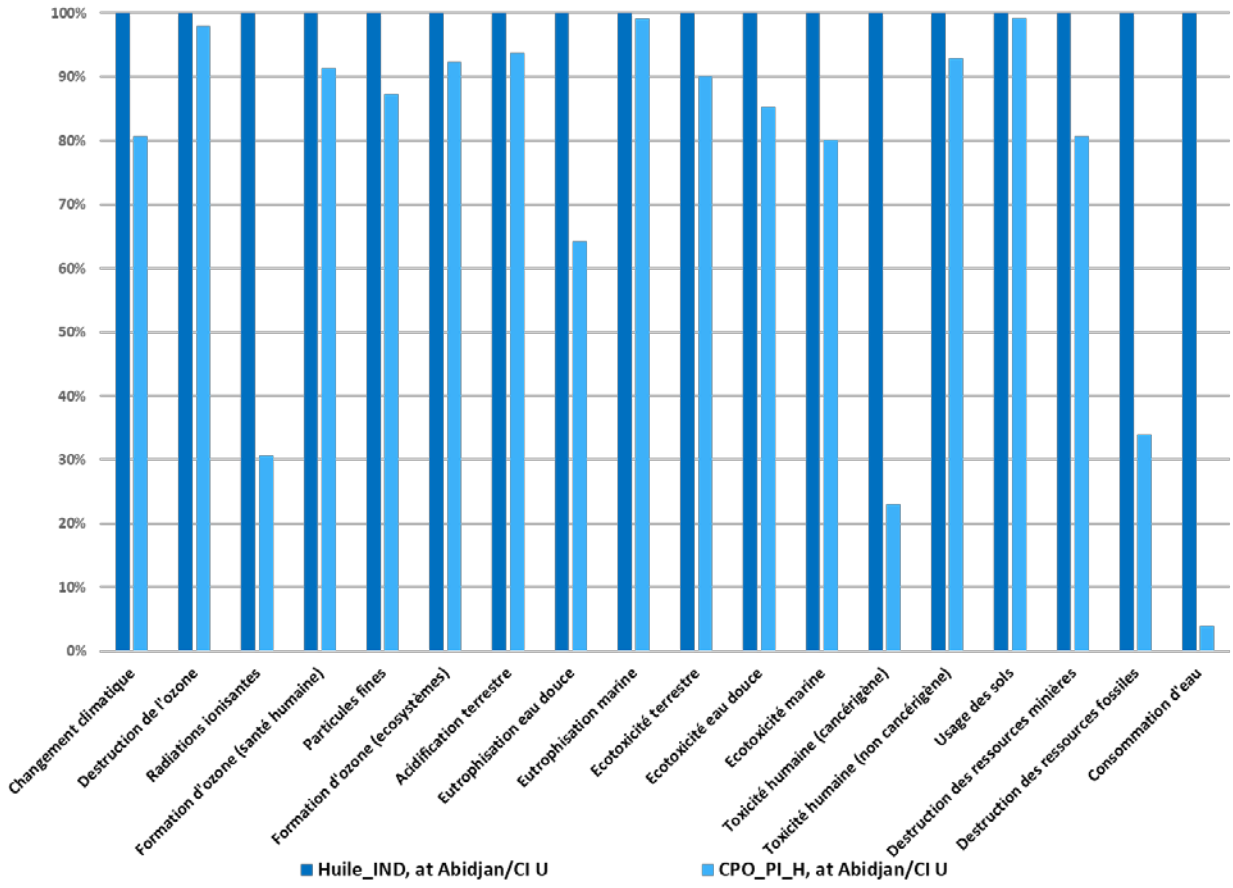
Annexe 15 : Etude d'impact des scénarios d'optimisation maximale

Catégorie d'impact	Unité	CPO_PI_H, at Abidjan/CI U	Savon_IND, at Abidjan/CI U
Changement climatique	kg CO2 eq	0,366479084	0,814647672
Destruction de l'ozone	kg CFC11 eq	5,00405E-06	3,91053E-06
Radiations ionisantes	kBq Co-60 eq	0,003543813	0,028654892
Formation d'ozone (santé humaine)	kg NOx eq	0,003090744	0,003797835
Particules fines	kg PM2.5 eq	0,002274968	0,002806797
Formation d'ozone (ecosystèmes)	kg NOx eq	0,003105594	0,003820819
Acidification terrestre	kg SO2 eq	0,011178292	0,011223003
Eutrophisation eau douce	kg P eq	7,67971E-05	0,000221696
Eutrophisation marine	kg N eq	0,002465794	0,001860834
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DCB	1,100034644	1,702666512
Ecotoxicité eau douce	kg 1,4-DCB	0,010211982	0,013210987
Ecotoxicité marine	kg 1,4-DCB	0,009688482	0,015767436
Toxicité humaine (cancérigène)	kg 1,4-DCB	0,001843644	0,014389457
Toxicité humaine (non cancérigène)	kg 1,4-DCB	0,603549974	0,679108519
Usage des sols	m2a crop eq	1,461486454	1,004220863
Destruction des ressources minières	kg Cu eq	0,000522149	0,000520166
Destruction des ressources fossiles	kg oil eq	0,052745755	0,210436624
Consommation d'eau	m3	0,00587821	0,115191779

Figure 22: Etude d'impact par kg de produits de 1ère et 2ème transformations à Abidjan, optimisation maximale des scénarios RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10

Annexe 16 : Etude d'impact des produits de 2ème transformation (kg)

Catégorie d'impact	Unité	Huile_IND, at Abidjan/CI U	Savon_ART, at Abidjan/CI U	Savon_IND, at Abidjan/CI U
Global warming	kg CO2 eq	1,229038161	1,045476106	1,356640063
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	6,48261E-06	1,68483E-05	5,12868E-06
Ionizing radiation	kBq Co-60 ec	0,013095127	0,016828364	0,02922416
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,005759324	0,014959389	0,005539606
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,002767132	0,004007672	0,002969554
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0,006862514	0,020370788	0,006383982
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,012680354	0,024459285	0,011827352
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,000123083	0,000294395	0,00022769
Marine eutrophication	kg N eq	0,002487608	0,006219026	0,001898748
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,334976879	1,653387909	1,814893921
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,012409467	0,035227787	0,013947568
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,012835389	0,032551227	0,016461023
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,009090781	0,009565308	0,014711949
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,73350505	1,046574368	0,728884421
Land use	m2a crop eq	1,490634138	5,76026072	1,09971643
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,000821574	0,000892832	0,000642104
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0,173910704	0,188997101	0,21731966
Water consumption	m3	0,158109734	0,022126388	0,115625855



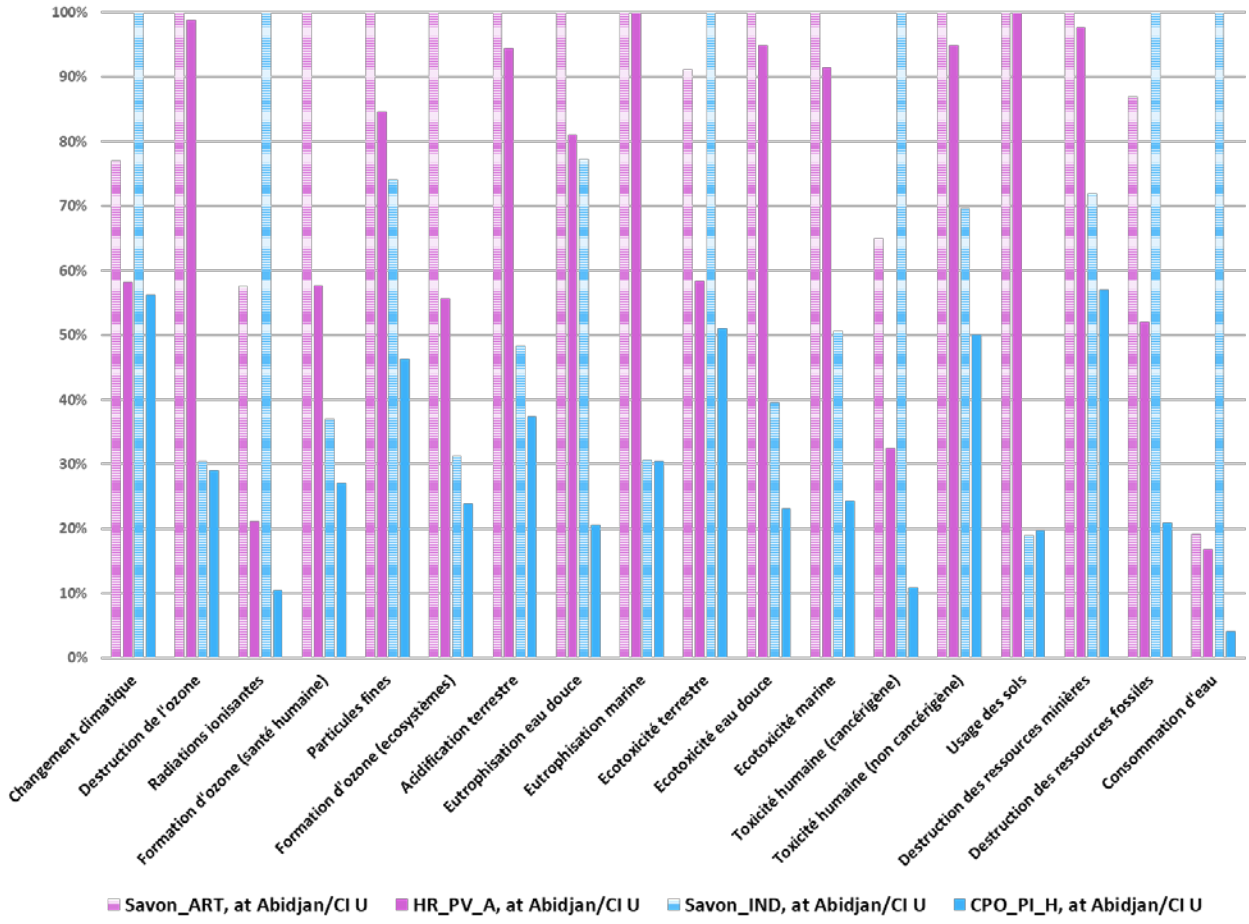


Figure 23: Etude d'impact par kg de produits de 2ème transformation à Abidjan, RECIPE 2016 MIDPOINT V1.10; valeurs absolues (tableau) et comparatives incluant les produits de 1ère transformation utilisés (figures)

Département, unité, direction régionale : Persyst, UR34 Systèmes de Pérennes, Montpellier

Adresse : Av. Agropolis - TA B-34/02 (Bât. 2, Bur. 147C), F-34398 Montpellier CEDEX 5

Tél. : +33 4 67 61 44 87

www.cirad.fr