



INSTITUT
TECHNOLOGIQUE

GDBAT : Gestion des déchets de produits de construction bois en fin de vie

Phase 2 : Modélisation ACV de la
gestion des déchets bois de classes
BR1 et BR2



CODIFAB
Développement des Industries Françaises
de l'Ameublement et du Bois



Sommaire

1	Contexte et objectifs	6
2	Devenir des déchets bois issus de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment (GDBAT Phase 1)	7
2.1	Synthèse de la phase 1	7
2.2	Scénario de fin de vie recommandé pour la réalisation de déclaration environnementale	10
2.3	Scénario de transport des déchets recommandé pour la réalisation de déclaration environnementale	13
3	Modélisation ACV de la fin de vie des produits de construction bois	15
3.1	Champs de l'étude	15
3.1.1	Cadre normatif	15
3.1.2	Unité fonctionnelle et flux de référence	15
3.1.3	Description et frontières du système étudié	15
3.1.4	Critères d'exclusion des intrants et extrants	16
3.1.4.1	Eléments non pris en compte	16
3.1.4.2	Critères d'exclusion	16
3.1.5	Choix méthodologiques	17
3.1.5.1	Prise en compte du carbone biogénique	17
3.1.5.2	Prise en compte de l'énergie matière contenue dans le bois	18
3.1.5.3	Prise en compte des impacts des déchets	18
3.1.6	Indicateurs environnementaux étudiés	18
3.1.7	Qualité des données	19
3.2	Inventaire de cycle de vie	23
3.2.1	Principe de modélisation	23
3.2.2	Module C1 : Déconstruction	24
3.2.3	Module C2 : Transport des déchets	24
3.2.4	Module C3 : Traitement des déchets	25
3.2.4.1	Traitement en déchetterie publique	25
3.2.4.2	Traitement en centre de tri ou plateforme de valorisation	25
3.2.4.3	Transport des déchets des sites de traitement de déchets vers leurs destinations finales	25
3.2.4.4	Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique	27
3.2.4.4.1	Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en chaudière en France	28
3.2.4.4.2	Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en chaudière en Europe (export)	29
3.2.4.4.3	Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en unité de cogénération en France	29
3.2.4.4.4	Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en unité de cogénération en Europe (export)	30
3.2.4.4.5	Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en cimenterie	30

3.2.5	Module C4 : Elimination des déchets	31
3.2.5.1	Elimination par mise en décharge en Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND)	31
3.2.6	Module D : Charges et bénéfices au-delà des frontières du système.....	31
3.2.6.1	Valorisation énergétique en unité de cogénération et chaudière en France.....	31
3.2.6.1.1	Valorisation énergétique en unité de cogénération en France.....	31
3.2.6.1.2	Valorisation énergétique en chaudière en France	32
3.2.6.2	Valorisation énergétique en unité de cogénération et chaudière en Europe (export).....	32
3.2.6.3	Valorisation matière et énergie en cimenterie	33
3.2.6.3.1	Valorisation matière en cimenterie	33
3.2.6.3.2	Valorisation énergétique en cimenterie.....	33
3.2.6.4	Valorisation matière des déchets bois en vue de leur recyclage en France	34
3.2.6.4.1	Impacts supplémentaires liés à la valorisation matière des déchets bois	34
3.2.6.4.2	Impacts évités par la valorisation matière des déchets bois	35
3.2.6.5	Valorisation matière des déchets bois en vue de leur recyclage en Europe (export).....	37
4	Formules de fin de vie de la norme EN 15804+A2 (annexe D) ..	38
5	Évaluation des impacts du scénario de fin de vie des déchets bois	42
5.1	Analyse de gravité du scénario de référence au format « 15804+A2 ».....	47
5.1.1	Indicateurs d'impacts environnementaux	47
5.1.2	Indicateurs décrivant l'utilisation des ressources	50
5.1.3	Indicateurs décrivant les catégories de déchets	51
5.1.4	Indicateurs décrivant les flux sortants	52
5.2	Comparaison des scénarios de fin de vie au format « 15804+A1 »	53
5.3	Comparaison des scénarios de fin de vie au format « 15804+A2 »	54
6	Références	57
7	Annexes.....	60
7.1	Modélisation des déchets bois éliminés par mise en décharge	60
7.1.1	Intrants liés à la mise en décharge des déchets bois.....	60
7.1.2	Emissions associées à la mise en décharge des déchets bois	60

Remerciements

FCBA remercie les sociétés CF2P, Egger et Swiss Krono pour avoir participé à l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude GDBAT Phase 2 ainsi que les membres du comité de pilotage.

Glossaire

ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFNOR	Association française de normalisation
CH4	Méthane
CO	Monoxyde de carbone
CO2	Dioxyde de carbone
CSR	Combustibles solides de récupération
DHUP	Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages
EICV	Évaluation de l'impact du cycle de vie
EN	European norm, norme européenne
FCBA	Institut technologique forêt cellulose bois-construction ameublement
FDES	Fiche de déclaration environnementale et sanitaire
GES	Gaz à effet de serre
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
INIES	Base nationale de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires pour le bâtiment
ISDND	Installation de stockage de déchets non dangereux
ISO	International organisation for standardisation, organisation internationale de normalisation
NF	Norme française
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PCR	Règles de catégorie de produits (product category rules)
PRG	Potentiel de réchauffement global
SSD	Sortie de statut de déchet
UF	Unité fonctionnelle

1 Contexte et objectifs

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du projet GDBAT « Gestion des déchets de produits de construction bois en fin de vie », financé par le CODIFAB et France Bois Forêt (FBF), visant à mieux connaître la gestion des produits de construction en fin de vie.

Ce projet s'est articulé en deux phases :

- Phase 1 : Quantification et devenir des déchets bois issus de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment
- Phase 2 : Modélisation ACV de la fin de vie des produits de construction bois

L'objectif de ce rapport est de proposer des données et des méthodologies relatives aux scénarios de fin de vie des déchets bois issus du bâtiment et collectés en France métropolitaine, afin de faciliter la réalisation de FDES de produits bois et de réaliser des premiers calculs permettant de comparer ces scénarios de fin de vie.

Les produits bois sont définis par la norme ISO 38200 (AFNOR, 2019a). Les déchets de produits bois sont classés en différentes catégories (FCBA & Groupe de travail plan Déchets du CSF bois, 2022) :

- Classe A : Bois réputés constitués exclusivement de bois, et ne contenant ni adjuvants ni contaminants chimiques à des concentrations supérieures aux teneurs naturelles de la biomasse forestière. Il s'agit notamment :
 - Bois forestier ou assimilés,
 - Produits connexes de scierie, chutes, copeaux et sciures de transformation du bois massif sans adjuvants chimiques,
 - Emballages bois en fin de vie : emballages légers, palettes et de caisses palettes, emballages industriels exempts de composants autres que bois,
 - Déchets de liège.
- Classe BR1 : Bois récupérés dont chutes de production autoconsommées par les entreprises sur leur lieu de production répondant à la définition de la catégorie b(v) de la directive IED¹, et bois récupérés ou préparés, par origine de déchet, sans mélange préalable, respectant un cahier des charges de seuils de concentration en organohalogénés et métaux lourds. Il s'agit notamment :
 - Emballages non SSD pour recyclage et valorisation en énergie,
 - Pour le recyclage en panneaux de particules : Déchets d'éléments d'ameublement bois, déchets bois du bâtiment, déchets de production des entreprises de construction bois, de fabrication de meubles en panneaux de bois et déchets de bois traité classés non dangereux ;
 - Pour la valorisation énergétique : autoconsommation des déchets de fabrication, dans les usines de production de panneaux et fabrication de meubles en panneaux et autres entreprises de transformation du bois, répondant à la définition de la catégorie b(v)¹ ; déchets de produits bois en fin de vie, non susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds à la suite d'un traitement avec des conservateurs du bois ou du placement d'un revêtement tels que les déchets de bois de ce type provenant de construction ou de démolition, répondant à la définition de la catégorie b(v)¹, ou déchets respectant les exigences d'un arrêté SSD sur le combustible.
- Classe BR2 : Bois récupérés, classés déchets non dangereux, qui ne respectent pas les critères d'acceptation en classe A et en classe BR1. Il s'agit notamment, pour le recyclage en panneaux de particules et la valorisation énergétique de : déchets bois en mélange, déchets d'éléments d'ameublement bois, déchets bois du bâtiment, déchets de production des entreprises de construction bois, de fabrication de meubles en panneaux de bois et déchets de bois traité classés non dangereux.

¹ Biomasse b(v) selon la directive IED : « déchets de bois, à l'exception des déchets de bois qui sont susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds à la suite d'un traitement avec des conservateurs du bois ou du placement d'un revêtement, y compris notamment les déchets de bois de ce type provenant de déchets de construction ou de démolition » (FCBA & Groupe de travail plan Déchets du CSF bois, 2022)

- Classe C : Bois récupérés, classés déchets dangereux. Il s'agit notamment de déchets de bois contenant des substances dangereuses en concentration conduisant au classement réglementaire en déchet dangereux. Par exemple, des déchets de produits en bois créosoté².

Ce projet porte uniquement sur les déchets de classe BR1 et BR2.

Le scénario de fin de vie des déchets bois faisant l'objet du présent rapport est destiné à être utilisé pour les déchets bois, collectés en France métropolitaine, issus des étapes d'installation (A5), d'utilisation (B) et de fin de vie (C) tels que définis dans la norme EN 15804+A2. Le scénario n'est pas adapté à la modélisation des éléments auxiliaires de type quincaillerie, verre, etc.

L'utilisation de ce scénario est recommandée pour les produits bois en fin de vie (BR1 et BR2). Pour les produits bois pour lesquels il existe d'autres directives quant à leur fin de vie (dans le cadre de PCR (règles de catégorie de produits - product category rules) comme pour les fenêtres par exemple), le choix de l'utilisation du scénario de fin de vie CODIFAB ou d'un document alternatif doit être basé sur la pertinence du scénario (représentativité géographique technologique de chaque scénario).

2 Devenir des déchets bois issus de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment (GDBAT Phase 1)

2.1 Synthèse de la phase 1

Le but de cette première phase est de quantifier les gisements de déchets bois issus de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment, et leur devenir au moyen d'une enquête en nombre auprès de l'ensemble des acteurs de la fin de vie des déchets du bâtiment. Xerfi Specific a été sélectionné pour réaliser les enquêtes et le traitement des résultats.

Au total, 2 145 enquêtes ont été réalisées auprès de différentes cibles. Celles-ci étaient réparties au sein de trois grandes catégories : les producteurs de déchets bois du bâtiment ; les gestionnaires de déchets bois du bâtiment et les consommateurs de ces déchets. Les données ont été collectées sur l'année de référence 2019. La représentativité de ces données a été jugée très élevée pour les gestionnaires (18% des déchetteries, 70% des déchetteries professionnelles, 75% des centres de tri) et les consommateurs de déchets du fait de l'appui des fédérations représentant les professionnels lors de la collecte. La représentativité de l'échantillon pour les producteurs de déchets est de 2,5% des effectifs qui ont été interrogés allant de 0,1% des entreprises telles que les électriciens ou les peintres jusqu'à 12% des charpentiers et 21% des agenceurs.

Les objectifs de la première phase sont de :

- Quantifier et qualifier le gisement des déchets de produits de construction bois en fin de vie générée par les chantiers de rénovation, de démolition et de construction neuve ;
- Identifier la chaîne des différents acteurs de la gestion des déchets bois des producteurs-détenteurs jusqu'aux sites de valorisation effective ou d'élimination ;
- Quantifier à chaque étape la répartition du devenir des déchets entre les différents acteurs selon les catégories de déchets identifiées ;
- Connaître les modalités et la répartition de la valorisation matière, de la valorisation énergétique et de la mise en centre de stockage pour ces déchets par catégories de déchets identifiées.

Les données utilisées et la méthodologie suivie dans le cadre de la phase 1 du projet GDBAT sont présentées de manière détaillée dans le rapport « FCBA, Xerfi Specific, CODIFAB, & France Bois Forêt. (2022). Gestion des Déchets Bois du Bâtiment Phase 1 : Devenir des déchets bois issus de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment - GDBAT. CODIFAB, France Bois Forêt ». Ce rapport est disponible sur le site du CODIFAB (<https://www.codifab.fr/actions-collectives/gisement-et-devenir-des-dechets-bois-issus-de-la-construction-neuve-de-la-demolition-et-de-la-renovation-du-batiment>).

Les paragraphes ci-dessous présentent certains des résultats de cette étude utilisés dans la phase 2 du projet.

² L'utilisation et la mise sur le marché de bois créosotés est aujourd'hui interdite (Arrêté du 18 décembre 2018 relatif à la restriction d'utilisation et de mise sur le marché de certains bois traités, 2018, p. 201) mais il existe encore un gisement de produits mis en circulation avant l'interdiction et destiné à devenir des déchets en fin de vie.

Le diagramme suivant synthétise les résultats de la phase 1 sur le devenir des déchets bois.

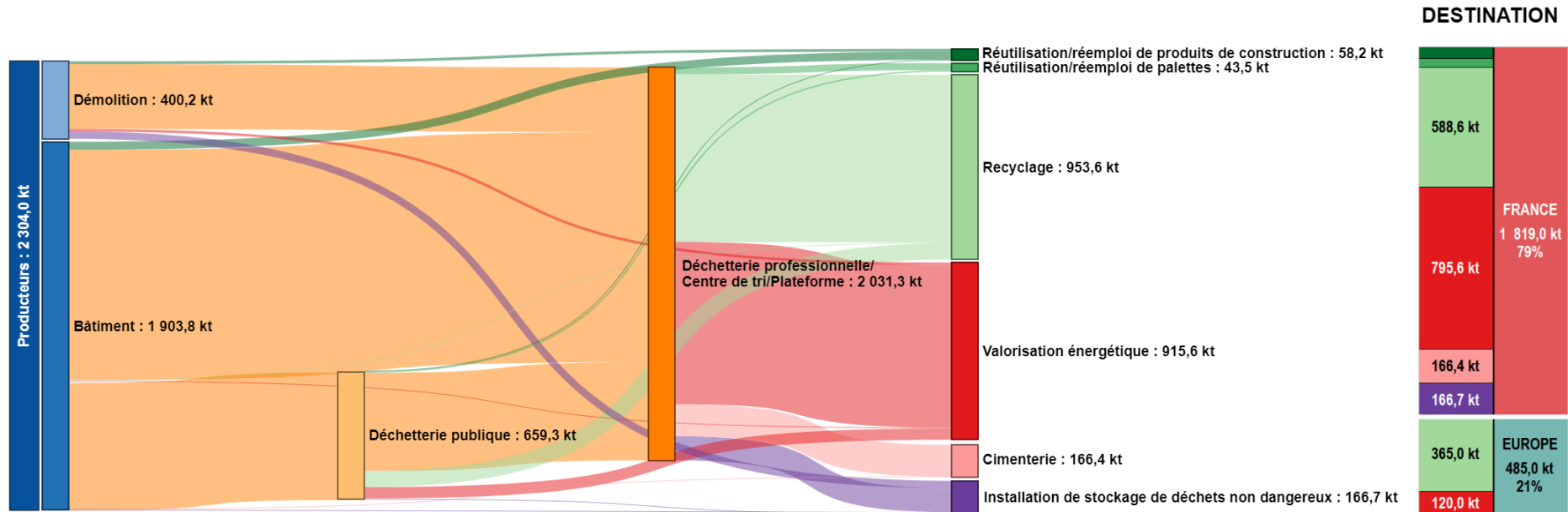


Figure 1 Synthèse des flux de déchets bois du bâtiment (FCBA et al., 2022)

En 2019, les producteurs de déchets de bois du bâtiment produisent près de 2,3 millions de tonnes de déchets, dont 17% de ces déchets provenant des chantiers de démolition et 83% des déchets de rénovation et de construction neuve. Les quantités de déchets de bois du bâtiment se répartissent selon la destination immédiate comme suit :

Destination	Provenant de chantiers de rénovation et de construction neuve (83% des déchets collectés)	Provenant de chantiers de démolition (17% des déchets collectés)
Déchetterie publique	34,6%	0,0%
Déchetterie professionnelle	51,0%	1,2%
Centre de tri / Plateforme de préparation	11,7%	82,5%
Récupération, réutilisation ou réemploi	2,2%	3,6%
Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND – mise en décharge)	0,2%	9,4%
Installation de traitement thermique, chaudières industrielles	0,2%	3,3%
Cimenterie	0,1%	0,0%
Producteur de panneaux de particules	0,2%	0,0%
Ensemble	100%	100 %

Tableau 1 Répartition des quantités de déchets de bois du bâtiment selon la destination immédiate

La majorité des déchets de bois des chantiers de rénovation et de construction neuve est à destination des déchetteries publiques et professionnelles (85,6%). En ce qui concerne les entreprises de démolition, les destinations principales sont les centres de tri et plateforme de préparation (82,5%). L'enquête auprès des gestionnaires est cohérente avec celle auprès des producteurs-détenteurs et montre que près de 2,2 millions de tonnes de déchets de bois du bâtiment transitent par les déchetteries publiques, les déchetteries privées, centres de tri et plateformes de préparation.

Le gisement total transitant par les déchetteries publiques est de l'ordre de 660 kt. Afin d'éviter les doublons inhérents à la structure des sociétés, les déchetteries professionnelles ont été interprétées comme des intermédiaires où transitent les déchets de bois du bâtiment. Les centres de tri, les déchetteries professionnelles et les plateformes de préparation sont réunies au sein d'une même entité dans la suite de ce document. Ainsi les tonnages collectés par les déchetteries publiques, les déchetteries privées, les centres de tri et les plateformes de préparation atteignent presque 2,2 millions de tonnes. Un quart des déchets collectés provient directement des chantiers des professionnels du bâtiment ou de la démolition, un autre quart arrive des déchetteries publiques et quasiment la moitié restante a été collectée dans les déchetteries professionnelles. Le tableau suivant présente la répartition des déchets de bois du bâtiment envoyés par les déchetteries publiques et déchetteries professionnelles/centres de tri/plateformes de préparation selon la destination immédiate :

Destination	Provenant des déchetteries publiques	Provenant des déchetteries privées, centres de tri et plateformes de préparation
Centre de tri / Plateforme de préparation	76,9%	-
Récupération, réutilisation ou réemploi	0,3%	0,0%
Fabricants et reconditionneurs de palettes	1,1%	2,0%
Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND – mise en décharge)	0,1%	0,1%
Installation de traitement thermique, chaudières industrielles	8,9%	40,9%
Cimenterie	0,0%	9,1%
Producteur de panneaux de particules	12,7%	47,9%
Ensemble	100%	100 %

Tableau 2 Répartition des déchets de bois du bâtiment après opérations par les gestionnaires de déchets selon la destination immédiate (hors refus de tri)

L'enquête auprès des consommateurs finaux permet également de confirmer que les tonnages identifiés auprès des acteurs précédents sont cohérents. Ainsi parmi les exutoires finaux (hors palettes) :

- Près de 950 kt de déchets de bois du bâtiment sont envoyés aux fabricants de panneaux (dont 370 kt exportées) ;
- Près de 170 kt sont envoyés en cimenteries ;
- Près de 920 kt sont envoyés en installations d'incinération ou en chaufferies industrielles (dont 120 kt exportées) ;
- Le réemploi concerne 60 kt des déchets de bois du bâtiment et la mise en décharge 170 kt.

L'ensemble de ces éléments sont synthétisés sur la Figure 1.

2.2 Scénario de fin de vie recommandé pour la réalisation de déclaration environnementale

A partir des résultats de l'enquête sur le devenir des déchets de bois du bâtiment présenté ci-dessus, une analyse a été effectuée afin de proposer un scénario moyen de fin de vie des produits bois du secteur de la construction. Cette analyse a nécessité de faire les choix et hypothèses suivants.

Le brûlage à l'air libre des produits de construction en fin de vie n'a pas été considéré, d'une part car cette pratique est interdite et d'autre part, d'après les acteurs du bâtiment, ces pratiques sont désormais anecdotiques.

Il est apparu que 88,43% des déchets transitent par les centres de tri ou les plateformes de préparation, dont près d'un quart provenant de déchetteries publiques. A l'issue des tri et traitement appliqués sur ces sites, il reste 88,78% de déchets de bois B, la différence étant les fines de broyage (6,12%) et les refus de tri (5,10%).

Il a été considéré que 40,51% des déchets de bois étaient incinérés. Ce chiffre a été calculé à partir des résultats de la phase 1 de la présente étude et comprend les déchets atteignant les rubriques ICPE suivantes :

- 2910B – Installation de combustion, à noter que les déchets de bois brûlés dans ces installations sont passés par des plateformes de préparation du bois afin d'y extraire les déchets de bois ne respectant pas le cahier des charges d'admissibilité de ces installations de combustion ;
- 2771 – Installation de traitement thermique de déchets non dangereux ;
- 2971 – Installation de production de chaleur ou d'électricité à partir de déchets non dangereux préparés sous forme de combustibles solides de récupération (CSR).

Il a été considéré que 7,34% des déchets de bois du bâtiment sont utilisés comme combustibles solides de récupération au sein des cimenteries. Lors du précédent scénario de fin de vie, le choix de la cimenterie comme un exutoire à part n'avait pas été retenu et était inclus parmi les installations d'incinération. Les données de l'époque indiquaient que dans les cimenteries françaises, seul 2% des combustibles conventionnels étaient remplacés par des CSR. Désormais, les cimenteries ont signé l'engagement pour la croissance verte sur l'utilisation des déchets de bois dans la fabrication du ciment, s'engageant ainsi à consommer 200 kt de déchets de bois entre 2015 et 2020 (MTES et al., 2018). Dans la modélisation, il était nécessaire de distinguer la valorisation en cimenterie de la valorisation en installation d'incinération car les impacts et les impacts évités ont été modélisés différemment (cf. pour la modélisation des cimenteries, les paragraphes 3.2.4.4.5 et 3.2.6.3 et pour la modélisation des unités d'incinération les paragraphes 3.2.4.4.1 à 3.2.4.4.4 et 3.2.6.1).

La mise en centre de stockage (ISDND) des déchets de bois du bâtiment ne concerne plus que 7,49 % du gisement de déchets de bois. Les refus de tri sont les principaux constituants des déchets entrant en installation de stockage de déchets non dangereux. Le précédent scénario de fin de vie affectait à cette mise en décharge 17,3% des déchets de bois, cette diminution peut être expliquée par une augmentation des capacités de valorisation des déchets de bois et par l'interdiction étatique de mettre en ISDND des déchets pouvant faire l'objet d'une valorisation.

Sur les déchets envoyés en déchetteries publiques ou en centres de tri/plateformes de préparation, il a été considéré suivant les résultats de l'enquête menée que 42,08% sont envoyés dans la filière de recyclage pour fabriquer des panneaux de particules. Proportionnellement dans l'ensemble des exutoires finaux, les fabricants de panneaux de particules représentent une part moins importante que dans le précédent scénario (57,2%).

L'ensemble des résultats est synthétisé dans le tableau ci-dessous présentant le scénario à considérer par défaut, en cas d'absence de données spécifiques, dans la réalisation de déclaration environnementale de produits de construction. Il correspond au scénario moyen des pratiques actuelles en France.

Destination finale	Part	Dont	Origine
Réutilisation	2,57 %	1,85 %	En direct des chantiers (bâtiment)
		0,64 %	En direct des chantiers (démolition)
		0,09 %	Provenant d'une déchetterie publique
		0,00 %	Provenant d'une déchetterie professionnelle/centre de tri/plateforme
Producteur de panneaux de particules	42,08 %	0,17 %	En direct des chantiers (bâtiment)
		0,00 %	En direct des chantiers (démolition)
		3,69 %	Provenant d'une déchetterie publique
		22,23%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation – Valorisés en France
		15,99%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation - Exportés et valorisés en Europe
Installation de valorisation énergétique	40,51 %	0,17 %	En direct des chantiers (bâtiment)
		0,58 %	En direct des chantiers (démolition)
		2,59 %	Provenant d'une déchetterie publique
		26,55%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation - Valorisés en France
		6,08%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation - Exportés et valorisés en Europe
		4,54 %	Refus de tri issus de centres de tri/plateformes de préparation
Cimenterie	7,34 %	0,08 %	En direct des chantiers (bâtiment)
		0,00 %	En direct des chantiers (démolition)
		0,00 %	Provenant d'une déchetterie publique
		7,26 %	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation
		0,00 %	Refus de tri issus de centres de tri/plateformes de préparation
		0,00 %	Refus de tri issus de centres de tri/plateformes de préparation
Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND - mise en décharge)	7,49%	0,17 %	En direct des chantiers (bâtiment)
		1,66 %	En direct des chantiers (démolition)
		0,03 %	Provenant d'une déchetterie publique
		0,08 %	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation
		5,55 %	Refus de tri issus de centres de tri/plateformes de préparation

Tableau 3 Scénario moyen français de la fin de vie des produits bois de la construction

Le tableau ci-dessous détaille le scénario moyen français de la fin de vie des produits bois de la construction sans considérer la réutilisation. En effet, dans la phase 2 de l'étude GDBAT, la réutilisation est exclue des frontières du système car elle dépend fortement du produit de construction étudié, sa modélisation sera réalisée au cas par cas pour les produits de structure. Dans le tableau ci-dessous, le pourcentage de réutilisation a été réaffecté de manière homogène aux autres catégories de destination finale des déchets.

Destination finale	Part	Dont	Origine
Producteur de panneaux de particules	43,19%	0,17%	En direct des chantiers (bâtiment)
		0,00%	En direct des chantiers (démolition)
		3,79%	Provenant d'une déchetterie publique
		22,82%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation – Valorisés en France
		16,41%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation - Exportés et valorisés en Europe
Installation de valorisation énergétique	41,58%	0,17%	En direct des chantiers (bâtiment)
		0,60%	En direct des chantiers (démolition)
		2,66%	Provenant d'une déchetterie publique
		27,26%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation - Valorisés en France

Destination finale	Part	Dont	Origine
		6,24%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation - Exportés et valorisés en Europe
		4,66%	Refus de tri issus de centres de tri/plateformes de préparation
Cimenterie	7,53%	0,08%	En direct des chantiers (bâtiment)
		0,00%	En direct des chantiers (démolition)
		0,00%	Provenant d'une déchetterie publique
		7,45%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation
		0,00%	Refus de tri issus de centres de tri/plateformes de préparation
Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND - mise en décharge)	7,69%	0,17%	En direct des chantiers (bâtiment)
		1,70%	En direct des chantiers (démolition)
		0,03%	Provenant d'une déchetterie publique
		0,08%	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation
		5,70%	Refus de tri issus de centres de tri/plateformes de préparation

Tableau 4 Scénario moyen français de la fin de vie des produits bois de la construction sans la réutilisation

Attention, le scénario présenté dans les deux tableaux ci-dessus (avec et sans prise en compte de la réutilisation) s'applique uniquement aux déchets bois du bâtiment et des chantiers de construction ou rénovation mais en aucun cas aux déchets de seconde transformation (chutes de produits issues des industries de la seconde transformation, cf. Figure 2).

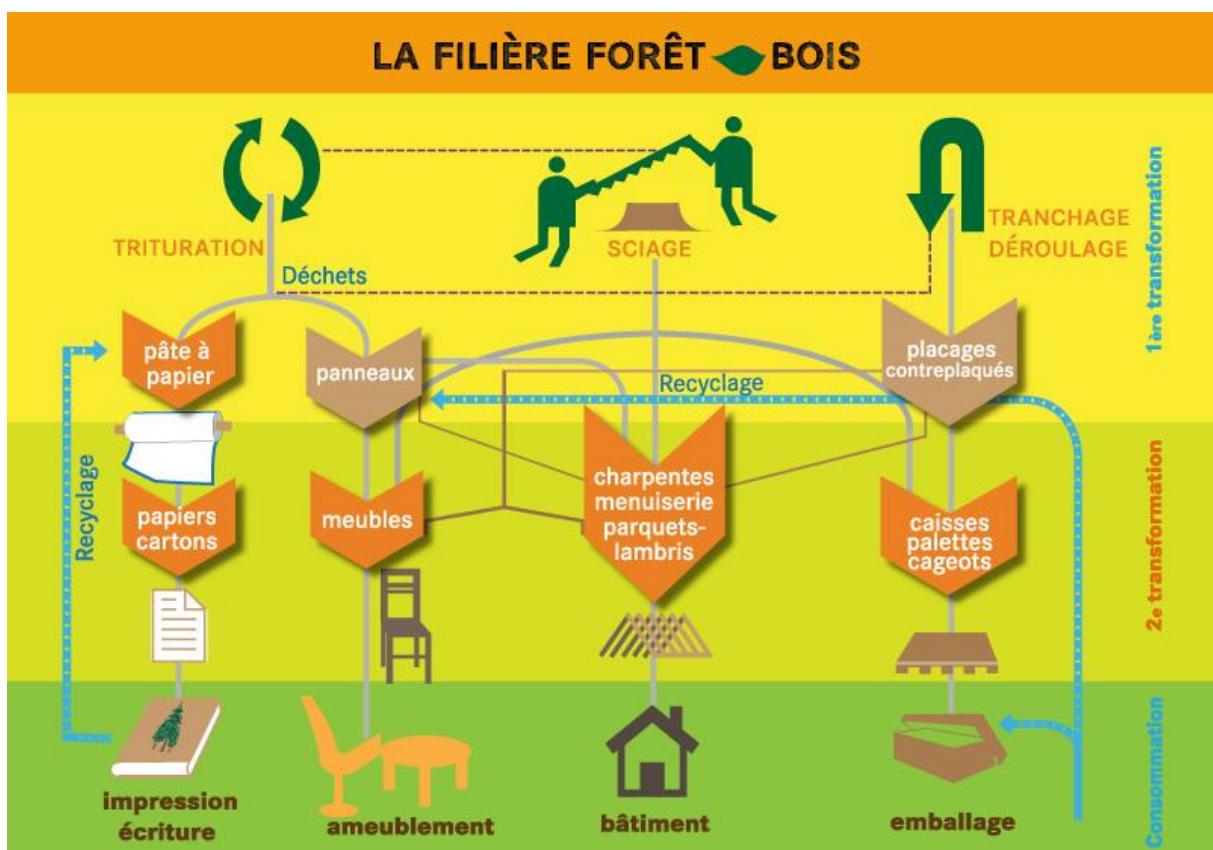


Figure 2 Schéma illustrant les étapes de transformation du bois (Ministère de l'agriculture « La filière bois : diversité et qualités »)

2.3 Scénario de transport des déchets recommandé pour la réalisation de déclaration environnementale

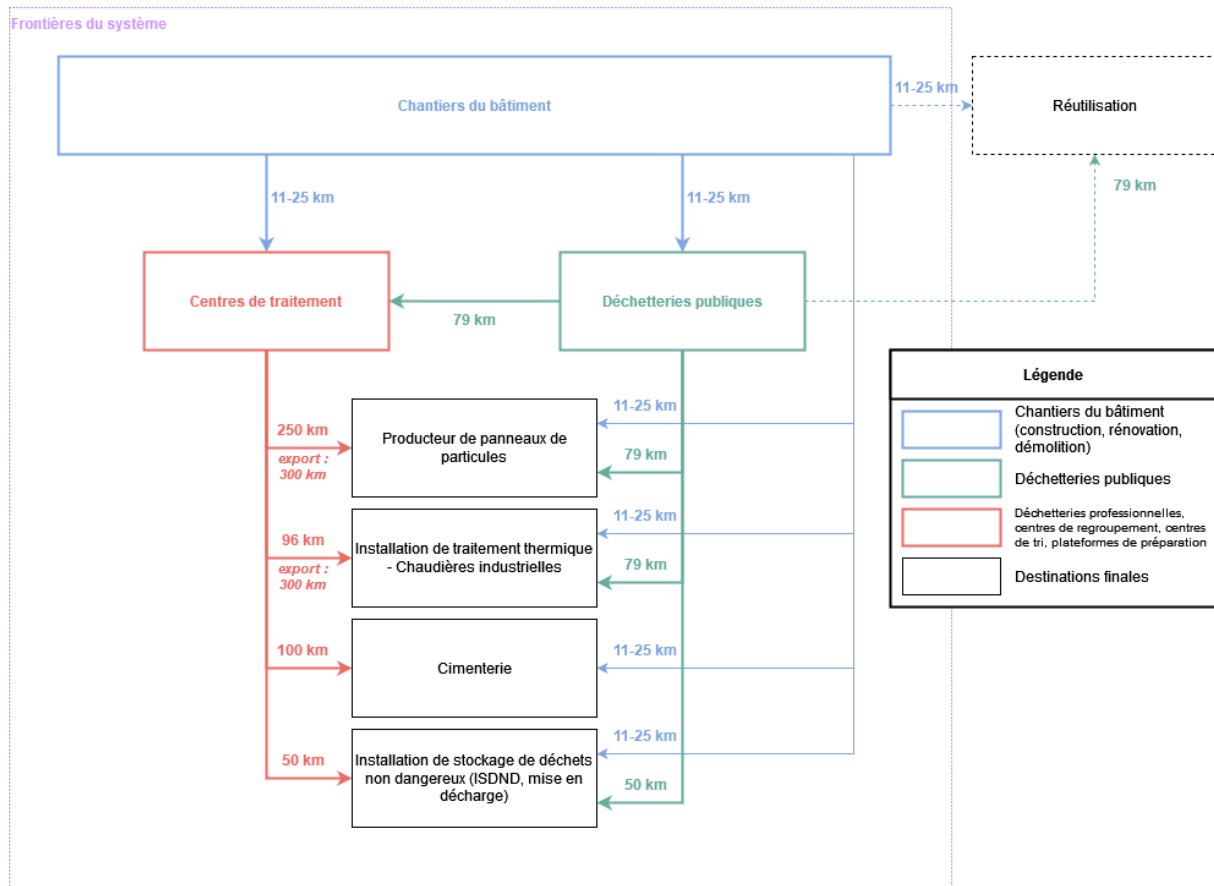


Figure 3 Schéma de transport des déchets du bâtiment selon les différents exutoires

Le graphique ci-dessus résume le parcours des déchets du bâtiment entre les chantiers de rénovation et de démolition vers les différents exutoires. Les kilométrages affichés sont issus du rapport « Phase 1 : Devenir des déchets bois issu de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment » (FCBA et al., 2022). Les déchets du bâtiment transitent ainsi par des déchetteries publiques et/ou des centres de traitement, mais peuvent également être directement transportés vers leurs destinations finales. A noter que les centres de traitement regroupent différentes catégories d'acteurs intermédiaires : déchetteries professionnelles, centres de regroupement, centres de tri et plateformes de préparation.

Les consommateurs (destinations finales), les gestionnaires (centres de traitement et déchetteries publiques) et les producteurs de déchets peuvent avoir déclaré des kilométrages moyens différents. Ainsi les centres de traitement indiquent que les déchets parcourent en moyenne 96 km avant d'atteindre les exutoires finaux, tandis que les producteurs de panneaux indiquent récupérer les déchets dans un périmètre moyen de 250 km et les cimenteries un périmètre de 100 km. Le kilométrage moyen le plus élevé a donc été choisi pour la modélisation, à l'exception des déchets envoyés des chantiers et des déchetteries publiques car il est peu vraisemblable que ces déchets parcourent de grandes distances. De même, la distance parcourue pour atteindre une mise en décharge est ramenée à 50 km (SEDDRe & FFB, 2019).

Les déchets du bâtiment peuvent provenir de chantiers de rénovation ou de chantiers de démolition, cependant les modalités de transport varient selon la nature du chantier. Ainsi les déchets produits sur un chantier de rénovation sont moins conséquents que sur un chantier de démolition, et nécessitent donc un transport plus léger. Les caractéristiques de ces deux types de transport sont décrites dans le paragraphe 3.2.3). La répartition selon le mode de transport employé s'effectue selon le poids dans le gisement des déchets du bâtiment de l'ensemble des déchets produits par chacun des types de chantiers.

Paramètre	Kilométrages	Répartition
Transport du chantier de rénovation vers sa destination directe	11 km	83 %
Transport du chantier de démolition vers sa destination directe	25 km	17 %

Tableau 5 Transport des déchets de chantiers de rénovation et de démolition vers leurs destinations directes

La majorité des déchets de chantiers sont envoyés vers des déchetteries publiques ou des centres de traitement, cependant une certaine part est réutilisée ou envoyée directement vers les exutoires finaux. Le tableau ci-dessous présente la répartition des destinations directes des déchets de chantier :

Paramètre	Répartition	Destination directe
Transport du chantier de rénovation ou de démolition vers sa destination directe	29,24 %	Déchetterie publique
	67,91 %	Centre de traitement
	0,16 %	Producteur de panneaux de particules
	0,76 %	Installation de traitement thermique – Chaudières industrielles
	0,08 %	Cimenterie
	1,85 %	Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND, mise en décharge)

Tableau 6 Répartition selon la destination directe des déchets de chantier

De même, les déchets transitant par les déchetteries publiques sont généralement envoyés vers des centres de traitement, et plus minoritairement vers leurs destinations finales. Il est à noter qu'une part de palettes est extraite du gisement de déchets, créant ainsi un nouvel exutoire. Les modalités de transport selon la destination des déchets transitant par les déchetteries publiques se retrouvent dans le Tableau 7 :

Paramètre	Kilométrages	Répartition	Destination directe	Caractéristiques du transport
Transport de la déchetterie publique vers sa destination directe	79 km	77,99 %	Centre de traitement	Transport en semi-remorque Charge réelle de 16,7 tonnes Taux de retour à vide 15,3%
		12,88 %	Producteur de panneaux	
		9,03 %	Installation de traitement thermique – Chaudières industrielles	
		0,00 %	Cimenterie	
	50 km	0,10 %	Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND, mise en décharge)	

Tableau 7 Transport des déchets entre les déchetteries publiques vers leurs destinations directes

Les centres de traitement constituent le dernier lieu transitoire par lequel passent les déchets du bâtiment. Ces déchets sont désormais envoyés vers les centres de valorisation, de réemploi ou d'élimination. Pour rappel, à l'issue des tris et traitements appliqués sur ces sites, il ne reste que 88,78% de déchets de bois B, la différence étant les fines de broyage et les refus de tri.

Paramètre	Kilométrages	Répartition	Destination directe	Caractéristiques du transport
Transport du centre de traitement vers sa destination finale	250 km	28,55 %	Producteur de panneaux - France	Transport en semi-remorque Charge réelle de 22 tonnes Taux de retour à vide 15,3%
	300 km	20,33 %	Producteur de panneaux - Export	
	96 km	33,99 %	Installation de traitement thermique – Chaudières industrielles - France	
	300 km	7,74%	Installation de traitement thermique – Chaudières industrielles - Export	
	100 km	9,29 %	Cimenterie	
	50 km	0,10 %	Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND, mise en décharge)	

Tableau 8 Transport des déchets entre les centres de traitement et leurs destinations finales

Les centres de traitement génèrent des refus de tri et des fines de broyage. Ils sont envoyés en installations de traitement thermique ou vers des installations de stockage de déchets non dangereux, dont la répartition et les modalités de transport sont présentés ci-dessous :

Paramètre	Kilométrages	Répartition	Destination directe	Caractéristiques du transport
Transport du centre de traitement vers sa destination finale	96 km	45,00 %	Installation de traitement thermique – Chaudières industrielles	Transport en semi-remorque Charge réelle de 22 tonnes Taux de retour à vide 15,3%
	50 km	55,00 %	Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND, mise en décharge)	

Tableau 9 Transports des refus de tri et fines de broyage entre les centres de traitement et leurs destinations finales

3 Modélisation ACV de la fin de vie des produits de construction bois

Dans les FDES réalisées jusqu'à présent, la fin de vie des déchets bois était modélisée sur la base du scénario de fin de vie et de la modélisation ACV proposés dans le cadre l'étude « FCBA/CSTB/DHUP/CODIFAB/BBF, Convention DHUP/CSTB 2009 Action 33 – Sous action 6 – ACV & Déclarations environnementales pour des produits et composants de la construction bois – Volet 2 : Prise en compte de la fin de vie des produits bois » (FCBA & CSTB, 2012). Ce scénario est actuellement recommandé par le programme INIES pour les déchets bois.

La révision de ce scénario de fin de vie, ainsi que la modélisation ACV associée, était cependant nécessaire. En effet, comme l'a mis en évidence la phase 1 de l'étude GDBAT, le scénario de fin de vie des déchets bois a évolué par rapport au scénario précédemment considéré. De plus, la révision de la norme EN 15804, qui régit la réalisation des FDES, introduit une évolution importante puisque, contrairement à ce qui était réalisé jusqu'à présent, l'effet du stockage permanent du carbone biogénique ne doit pas être inclus dans le calcul du PRG (AFNOR, 2019b).

Cette section du rapport a pour objectif de présenter la modélisation du scénario de fin de vie révisé pour les déchets bois.

3.1 Champs de l'étude

3.1.1 Cadre normatif

Cette étude a été réalisée en accord avec les normes NF ISO 14040 (AFNOR, 2006a) et NF ISO 14044 (AFNOR, 2006b) propres à l'application de la méthodologie d'ACV.

En parallèle, les exigences de la norme NF EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b) ont été partiellement suivies. En effet, l'objectif ici n'est pas d'aboutir à la réalisation d'une FDES.

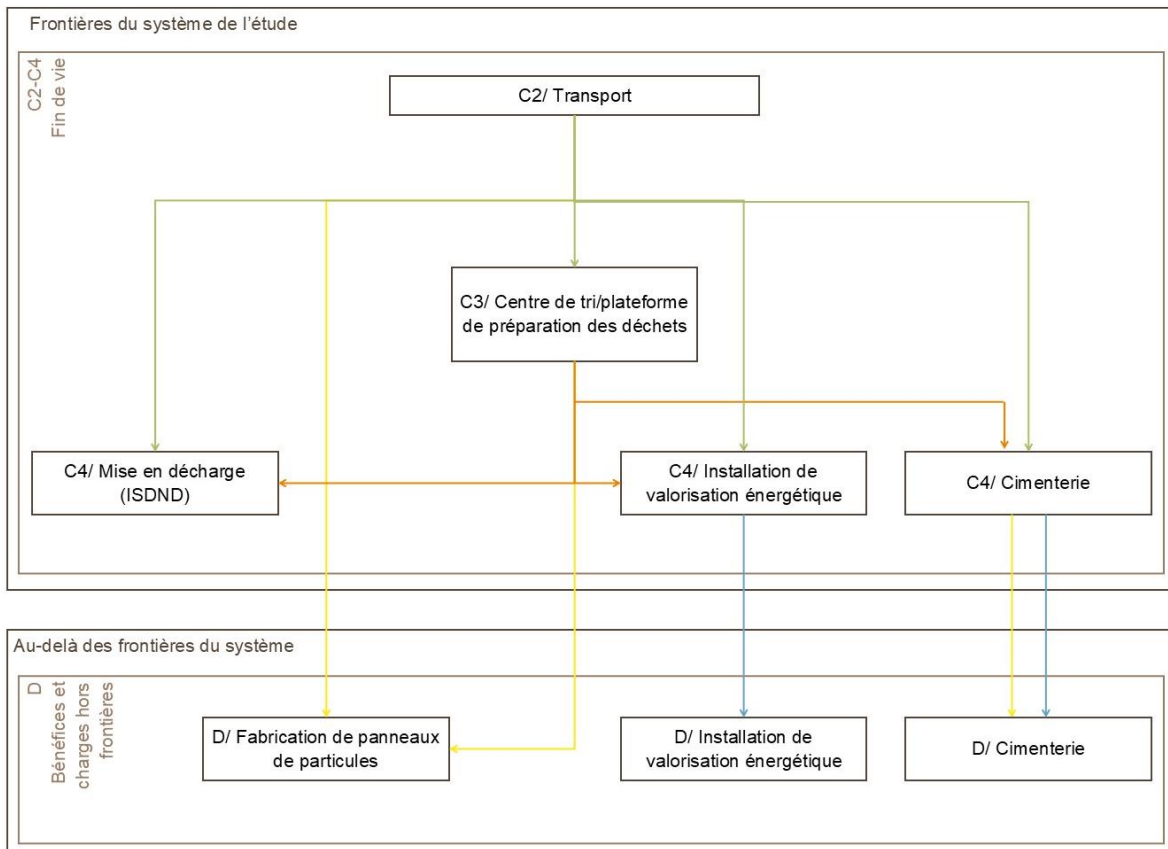
3.1.2 Unité fonctionnelle et flux de référence

L'unité fonctionnelle caractérise la fonction du produit et à laquelle sont rapportés tous les flux d'inventaire et les impacts environnementaux. Le flux de référence est défini ensuite par la description précise du produit permettant de remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle.

Dans cette étude, l'unité fonctionnelle suivante est considérée : « Collecter (hors module de déconstruction des produits), trier, éliminer, recycler et/ou valoriser 1 tonne de déchets bois, de classe BR1 et BR2, à 20% d'humidité sur base sèche, issus des chantiers de construction ou de démolition selon un scénario moyen valable en France métropolitaine ». Le flux de référence associé est la tonne de déchets bois, à 20% d'humidité sur base sèche, et avec un contenu en carbone biogénique égal à 49,4% de la masse anhydre des déchets (teneur en carbone biogénique considérée dans la base de données Ecoinvent). Concernant ce taux, la valeur considérée ici est légèrement différente de celle prise en compte dans la norme EN 16449 qui est précise que « le bois se compose de 50 % de carbone (fraction massique) » (AFNOR, 2014c).

3.1.3 Description et frontières du système étudié

Le système étudié correspond à la fin de vie des déchets bois, hors module C1 (déconstruction) car ces données sont propres à chaque produit (Figure 4)).



LEGENDE :

- Flux de déchets issus de chantier (bâtiment, démolition) ou de déchetterie publique
- Flux de déchets à éliminer issus d'un centre de tri/plateforme de préparation des déchets
- Flux de déchets valorisés dans le module D
- Flux d'énergie valorisés dans le module D

Figure 4 Frontières du système

Les consommations d'intrants (énergie notamment) et les flux sortants (déchets) associés aux étapes de transport, préparation et élimination des déchets ont été pris en compte dans le cadre de cette étude.

La voie de valorisation « réutilisation »/ « réemploi » identifiée dans la phase 1 de l'étude (FCBA et al., 2022) et dans le Tableau 3 est exclue des frontières du système car elle dépend fortement du produit de construction étudié, sa modélisation sera réalisée au cas par cas pour les différents produits.

3.1.4 Critères d'exclusion des intrants et extrants

3.1.4.1 Eléments non pris en compte

Les consommations d'énergie associées à l'éclairage et au chauffage des locaux ainsi qu'au transport des salariés ont été exclues des frontières du système.

NB : Bien que la prise en compte des flux relatifs à la construction des infrastructures (machines et bâtiments de production) ne soit pas requise dans la norme EN 15804+A2, il a été choisi de les considérer dans cette étude.

3.1.4.2 Critères d'exclusion

Les flux de matières et d'énergie connus pour être susceptibles de provoquer des émissions significatives dans l'air, l'eau ou le sol ont été inclus.

3.1.5 Choix méthodologiques

Il est à noter qu'aucun service écosystémique rendu par la forêt (biodiversité, stabilisation des sols, régulation de l'eau, espace de récréation, etc.) n'a été comptabilisé dans le cadre de la présente étude.

3.1.5.1 Prise en compte du carbone biogénique

Selon la norme NF EN 16485 (AFNOR, 2014b), un prélèvement de CO₂ (dioxyde de carbone) lié à la production de biomasse au niveau de l'étape sylvicole est pris en compte. Celui-ci est calculé avec les hypothèses suivantes :

- Le bois contenu dans les produits étudiés provient de pays ayant décidé d'appliquer l'article 3.4 du protocole de Kyoto ou de forêts opérant selon des programmes établis de certification pour la gestion durable des forêts et sans réaliser de coupes dans des forêts naturelles³, il s'agit d'une ressource renouvelable⁴.
- Le prélèvement de CO₂ est affecté suivant le contenu en carbone de la biomasse, ainsi le prélèvement associé au bois récolté est calculé à partir du contenu en carbone du bois récolté,
- Le bois anhydre contient 49,4% de carbone en masse (donnée Ecoinvent).

Selon le nouvel amendement de la norme EN 15804 A2, le prélèvement de carbone n'est plus associé à une gestion durable des forêts mais à l'absence de coupe dans des forêts naturelles³, ce qui est le cas du bois considéré dans la présente étude. Il est également stipulé que l'impact sur le changement climatique doit intégrer la transformation de l'utilisation et l'utilisation des sols. Si le bois est issu de la déforestation, il faut donc prendre en compte la variation de stock entre l'utilisation du sol en forêt et l'utilisation du sol suite à la déforestation (agriculture, urbanisation etc.). Ceci doit être réalisé dans la FDES du produit étudié.

Ce prélèvement qui est accordé au bois récolté, est une propriété inhérente spécifique à la matière bois. Donc, conformément aux recommandations de la norme NF EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b) et de la norme NF EN 16485 (AFNOR, 2014b), il est par la suite affecté suivant le contenu en carbone entre les produits, coproduits et déchets bois. Ainsi lorsqu'un déchet ou coproduit contenant du carbone biomasse quitte le système, un prélèvement de dioxyde de carbone correspondant à son contenu carbone biogénique est défalqué du système. Cette soustraction est réalisée dans le module où le flux en question quitte le système.

De manière générale, toutes les captations et émissions associées à la mise à disposition de produits issus de la forêt, à leur recyclage, à leur réutilisation et à leur élimination sont basées sur la norme EN 16485. Ce principe est appliqué dans la norme EN 15804+A2 : « Les captations de CO₂ biogénique dans la biomasse (à l'exclusion de la biomasse des forêts naturelles) et les transferts en provenance de systèmes de produits antérieurs doivent être caractérisés dans l'EICV par -1 kg de CO₂ équiv./kg de CO₂ lors de leur entrée dans le système de produits. Les émissions de CO₂ biogénique provenant de la biomasse et les transferts de biomasse vers les systèmes de produits ultérieurs (à l'exclusion de la biomasse des forêts naturelles) doivent être caractérisés par +1 kg de CO₂ équiv. /kg de CO₂ de carbone biogénique, voir l'EN ISO 14067 :2018. » (AFNOR, 2019b).

Dans la modélisation, les émissions de GES d'origine biomasse, liées à la combustion du bois ou à sa dégradation anaérobie ou aérobie en centre de stockage, sont comptabilisées sous forme d'émissions de CO₂ (dioxyde de carbone) d'origine biomasse, CO (monoxyde de carbone) d'origine biomasse et CH₄ (méthane) d'origine biomasse. Le flux associé est « Carbon dioxide, in air ». Le calcul du contenu en carbone biogénique s'effectue selon la formule suivante :

$$\text{Prélèvement CO}_2 = \text{masse anhydre de bois} \times cf \times \frac{44}{12}$$

Avec :

- « Masse anhydre de bois » peut être calculée en fonction des masses volumiques et des taux d'humidité par essence,
- « cf. » est la fraction carbonée de la masse anhydre soit 49,4%,
- « 44/12 » est le ratio des masses moléculaires entre le dioxyde de carbone (CO₂) et le carbone (C).

³ « Les forêts naturelles excluent les forêts à court terme, les forêts dégradées, les forêts aménagées et les forêts avec des rotations à court ou à long terme » (AFNOR, 2019b).

⁴ « Ressource qui s'accroît, peut être remplacée ou dépolluée de manière naturelle dans une échelle de temps humaine.

Note 1 : Une ressource renouvelable peut potentiellement s'épuiser, mais peut durer indéfiniment si elle est bien gérée. Exemple : les arbres dans les forêts, l'herbe dans les pâturages, les sols fertiles. » (AFNOR, 2019b)

Le nouvel amendement de la norme EN 15804 A2 (AFNOR, 2019) interdit également la prise en compte du stockage définitif du carbone biogénique en décharge : « La dégradation de la teneur en carbone biogénique d'un produit dans un site d'élimination de déchets solides, déclarée comme PRG-biogénique, doit être calculée sans limite de temps. Tout carbone biogénique résiduel est traité comme une émission de CO₂ biogénique de la technosphère dans la nature ». Le nouvel amendement stipule que les déclarations environnementales produits ne peuvent pas comptabiliser l'impact du stockage temporaire dans le calcul de l'indicateur de changement climatique : « L'effet d'un stockage temporaire et d'émissions différées du carbone, c'est-à-dire la diminution des émissions et les captations, ne doit pas être inclus dans le calcul du PRG. L'effet du stockage permanent du carbone biogénique ne doit pas non plus être inclus dans le calcul du PRG. ». Par ailleurs, l'amendement introduit un nouvel indicateur de quantité de carbone biogénique stocké dans le produit.

3.1.5.2 Prise en compte de l'énergie matière contenue dans le bois

Au niveau de l'étape sylvicole, la création d'énergie matière renouvelable liée à la production de biomasse en forêt a été comptabilisée. Celle-ci a été calculée avec les hypothèses suivantes :

- La même condition est donnée pour le caractère renouvelable de la ressource (voir §3.1.5.1),
- La quantité d'énergie matière renouvelable est affectée suivant la quantité de matière sèche contenue dans la biomasse ; ainsi cette quantité est calculée sur la base du pouvoir calorifique inférieur du bois anhydre, qui a comme avantage de ne pas la faire varier en fonction du taux d'humidité du bois,
- Le pouvoir calorifique inférieur du bois anhydre est pris égal à 18,4 MJ/kg de matière sèche (choix de la valeur basse de l'annexe B de la norme NF EN ISO 17225-1 (AFNOR, 2014d)).

Cette énergie qui est mobilisée dans le bois récolté, est une propriété inhérente spécifique à la matière bois. Donc, conformément aux recommandations de la norme NF EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b), elle est par la suite affectée suivant le contenu en matière sèche entre les produits, coproduits et déchets bois. Ainsi lorsqu'un déchet ou coproduit bois quitte le système, une quantité d'énergie matière renouvelable correspondant à son contenu en matière sèche est défalquée du système. Cette soustraction est réalisée dans le module où le flux en question quitte le système.

Dans la modélisation, le flux associé est « Energy, gross calorific value, in biomass ». Ce flux est comptabilisé en tant qu'énergie renouvelable. Le calcul du contenu énergétique s'effectue selon la formule suivante :

$$\text{Contenu énergétique} = \text{masse anhydre de bois} \times PCI_{\text{anhydre}}$$

Avec :

- « masse anhydre de bois » peut être calculée en fonction des masses volumiques et des taux d'humidité par essence,
- « PCI_{anhydre} » est le PCI du bois anhydre. La valeur retenue est de 18,4 MJ par kg de bois sec.

3.1.5.3 Prise en compte des impacts des déchets

Conformément aux exigences de la norme NF EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b), les impacts de l'élimination (mise en centre de stockage et incinération) des déchets ont été comptabilisés.

Pour les déchets qui sont recyclés à l'extérieur du système étudié, c'est-à-dire faisant appel à des flux de recyclage en boucle ouverte, il a été choisi conformément à la norme NF EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b) d'imputer dans le module D les flux inhérents aux procédés de valorisation de ces déchets, ainsi que les impacts évités par cette valorisation.

Les recommandations de l'annexe H3 « Frontières entre le module C et le module D pour les produits bois » de la norme NF EN 15804/CN (AFNOR, 2016) précisant les limites entre les modules inclus dans le cycle de vie du bâtiment et le module D ont été respectées.

3.1.6 Indicateurs environnementaux étudiés

Les indicateurs d'impacts environnementaux et les indicateurs décrivant l'utilisation des ressources, les catégories de déchets et les flux sortants ayant été étudiés dans le projet sont ceux décrits dans la norme NF EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b).

Pour permettre l'évaluation des impacts du scénario de fin de vie, les facteurs de caractérisation utilisés pour calculer les impacts environnementaux proviennent majoritairement de la méthode « EN 15804 +A2 Method » v1.02, disponible dans Simapro et éditée par Pré Consultants.

Cette méthode a cependant été modifiée par FCBA afin de prendre en compte quelques ajouts et correctifs :

- Les indicateurs décrivant l'utilisation des ressources, les catégories de déchets et les flux sortants ont été ajoutés,
- Les facteurs de caractérisation pour les flux de méthane et monoxyde de carbone d'origine biogénique sont été harmonisés entre les catégories : « climate change » et « climate change – biogenic ». Les facteurs de caractérisation disponibles pour la catégorie « climate change » ont été utilisés.
- Des flux de minéraux ont été ajoutés (« clay », « gravel », « sand ») dans la catégorie d'impacts "resource use, minerals and metals". Les facteurs de caractérisation proviennent du complément national (AFNOR, 2016).

La méthode de calcul et les facteurs de caractérisation utilisés sont disponibles sur demande auprès de FCBA.

3.1.7 Qualité des données

La qualité des données a été évaluée selon les exigences de la norme EN 15804+A2, paragraphe 6.3.8 de la norme, et selon son annexe E (tableau E.2 – Critères et niveaux de qualité des données tirés des « Product Environmental Footprint Category Rules »).

Les données primaires sont principalement issues :

- De la collecte de données réalisée dans le cadre de l'étude GDBAT Phase 1 (FCBA et al., 2022),
- De la collecte de données réalisée auprès des industriels fabricants de panneaux de particules.

Les données secondaires proviennent principalement de la base de données Ecoinvent dans sa version 3.8. L'ensemble des données répond à l'exigence de « millésime » inférieur à 10 ans.

La caractérisation de la qualité des données a été approfondie pour les trois indicateurs suivants :

- Potentiel de réchauffement global - total (PRG-total),
- Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) (EPNR),
- Déchets non dangereux éliminés (DNDE).

Pour ces indicateurs, la qualité des données des processus dont l'impact cumulé représente plus de 80% a été analysée ci-dessous. Le Tableau 10 et le Tableau 12 présentent la répartition de l'impact total en fonction des étapes de cycle de vie respectivement pour le module C et pour le module D. Les étapes contribuant à plus de 80% de l'impact total ont été identifiées et sont mises en évidence dans le Tableau 11 et le Tableau 13.

Indicateur	Unité	C2 Transport	C3 Centre de tri Déchetterie	C3 Transport	C3 Cimenterie	C3 Energie	C3 Panneaux	C4 Mise en décharge	TOTAL
PRG-total	kg CO ₂ éq. / UF	3	8	12	111	632	652	139	1557
	%	0%	1%	1%	7%	41%	42%	9%	100%
EPNR	MJ / UF	40	123	170	8	148	0	17	507
	%	8%	24%	34%	2%	29%	0%	3%	100%
DNDE	kg / UF	2	1	0	0	6	0	77	86
	%	2%	1%	0%	0%	6%	0%	90%	100%

Tableau 10 Répartition de l'impact total hors module D lié à la fin de vie d'1t de déchets bois pour les indicateurs PRG-total, EPNR et DNDE.

(En vert : étapes du cycle de vie participant à plus de 80% de l'impact total)

Indicateur	Etape du cycle de vie	Processus impactant	Contribution à l'impact de l'étape	Détail sur le processus	Niveau de qualité		
					Représentativité géographique	Représentativité technique	Représentativité temporelle
PRG-total	C3 Energie	Processus FCBA	99 %	Émissions liées à la combustion des déchets en chaudière et unités de cogénération (cf. §3.2.4.4)	Très bon	Très bon	Très mauvais
	C3 Panneaux	Processus FCBA	100 %	Emission (fictive) de carbone biogénique contenu dans les déchets destinés au recyclage (cf. §3.1.5.1)	Qualité non évaluée car ce flux fictif permet de répondre aux exigences de la norme EN 15804+A2		
EPNR	C3 Centre de tri Déchetterie	Processus ecoinvent : Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	82%	Consommation de diesel pour la préparation des déchets en centre de tri (cf. § 3.2.4.2)	Bon	Très bon	Bon
		Processus ecoinvent : Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S	18%	Consommation d'électricité dans les déchetteries publiques (cf. §3.2.4.1)	Très bon	Très bon	Bon
	C3 Transport	Processus FCBA	100%	Consommation de diesel lors des transports en sortie de déchetterie publique ou de centre de tri (cf. §3.2.4.3)	Très bon	Bon	Bon
	C3 Energie	Processus ecoinvent : Electricity, low voltage {FR} market for Cut-off, S	84%	Consommation d'électricité nécessaire au fonctionnement des chaudières en France	Très bon	Très bon	Bon
Processus ecoinvent : Electricity, low voltage {Europe without Switzerland} market group for Cut-off, S		10%	Consommation d'électricité nécessaire au fonctionnement des chaudières dans les pays où les déchets sont exportés	Bon	Très bon	Bon	
DNDE	C4 Mise en décharge	Adaptation d'un processus ecoinvent	100%	Mise en décharge des déchets bois (cf. §3.2.5.1)	Moyen	Moyen	Bon

Tableau 11 Analyse de la qualité des données pour les processus les plus impactants du module C du scénario de fin de vie des déchets bois pour les indicateurs PRG-total, EPNR et DNDE (selon le tableau E.2 de NF EN 15804+A2)

Indicateur	Unité	D_Energie_Impacts évités_Chaudière	D_Energie_Impacts évités_Cogé	D_Cimenterie_Impacts évités	D_Panneaux_Impacts générés	D_Panneaux_Impacts évités_Energie	D_Panneaux_Impacts évités_Matière	TOTAL
PRG-total	kg CO ₂ eq. / UF	-147	-177	-117	-648	19	581	-488
	%	30%	36%	24%	133%	-4%	-119%	100%
EPNR	MJ / UF	-2513	-4824	-1257	183	-467	-279	-9158
	%	27%	53%	14%	-2%	5%	3%	100%
DNDE	kg / UF	-2	-14	-3	6	-1	-3	-17
	%	12%	78%	19%	-33%	6%	19%	100%

Tableau 12 Répartition de l'impact total du module D lié à la fin de vie d'1t de déchets bois pour les indicateurs PRG-total, EPNR et DNDE.

(En vert : étapes du cycle de vie participant à plus de 80% de l'impact total)

Indicateur	Etape du cycle de vie	Processus impactant	Contribution à l'impact de l'étape	Détail sur le processus	Niveau de qualité		
					Représentativité géographique	Représentativité technique	Représentativité temporelle
PRG-total	D_Energie_Impacts évités_Chaudière	Processus ecoinvent : Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, S	100%	Production d'énergie thermique à partir de gaz naturel évitée par l'utilisation de déchets bois en chaudière	Bon	Très bon	Bon
	D_Energie_Impacts évités_Cogé	Processus ecoinvent : Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, S	83,6%	Production d'énergie thermique à partir de gaz naturel et d'énergie électrique issue du réseau évitées par l'utilisation de déchets bois en unité de cogénération	Bon	Très bon	Bon
		Processus ecoinvent : Electricity, medium voltage {Europe without Switzerland} market group for Cut-off, S	8,4%		Bon	Très bon	Bon
		Processus ecoinvent : Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S	8,0%		Très bon	Très bon	Bon
	D_Panneaux_Impacts générés	Processus FCBA	100 %	Séquestration (fictive) de carbone biogénique contenu dans les déchets utilisés pour le recyclage	Qualité non évaluée car ce flux fictif permet de répondre aux exigences de la norme EN 15804+A2		
	D_Panneaux_Impacts évités_Matière	Processus FCBA et adaptation de processus ecoinvent modélisant les approvisionnements classiques des fabricants de panneaux de particules	101%	Pas de séquestration de carbone biogénique associée aux approvisionnements classiques car ils sont remplacés par des déchets recyclés	Qualité non évaluée car flux physique		
EPNR	D_Energie_Impacts évités_Chaudière	Processus ecoinvent : Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, S	100%	Consommation de gaz naturel évitée par l'utilisation de déchets bois en chaudière pour la production de chaleur	Bon	Très bon	Bon
	D_Energie_Impacts évités_Cogé	Processus ecoinvent : Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, S	52,3%	Consommation de gaz naturel et d'uranium évitées par l'utilisation de déchets bois en unité de cogénération pour la production de chaleur et d'électricité	Bon	Très bon	Bon
		Processus ecoinvent : Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S	41,4%		Très bon	Très bon	Bon
	D_Cimenterie_Impacts évités	Processus ecoinvent : Petroleum coke {GLO} market for Cut-off, S	98%	Consommation de coke de pétrole évitée par l'utilisation de déchets bois en cimenterie pour la production de chaleur	Bon	Très bon	Bon

DNDE	D_Energie_Impacts évités_Cogé	Processus ecoinvent : Electricity, medium voltage {Europe without Switzerland} market group for Cut-off, S	28,9%	Production de déchets non dangereux évitée par l'utilisation de déchets bois pour produire de l'électricité	Bon	Très bon	Bon
		Processus ecoinvent : Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S	54,3%		Très bon	Très bon	Bon
	D_Cimenterie_Impacts évités	Processus ecoinvent : Petroleum coke {GLO} market for Cut-off, S	70%	Production de déchets non dangereux évitée par l'utilisation de déchets bois en cimenterie pour la production de chaleur à la place de coke de pétrole (combustion du coke assimilée à celle de plastiques)	Bon	Très bon	Bon
		Processus ecoinvent : Waste plastic, mixture {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction Cut-off, S	15%		Bon	Mauvais	Bon
	D_Panneaux_Impacts générés	Processus ecoinvent : Inert waste {Europe without Switzerland} treatment of inert waste, sanitary landfill Cut-off, S	80%	Production de déchets non dangereux lors de l'étape de tri des déchets bois entrant sur les sites des fabricants de panneaux de particules	Bon	Très bon	Bon
	D_Panneaux_Impacts évités_Matière	Adaptation de processus ecoinvent modélisant les approvisionnements classiques des fabricants de panneaux de particules (connexes de 1ere et 2ème transformation)	48%	Production de déchets non dangereux évitée par l'utilisation de déchets bois comme matière première pour la fabrication de panneaux de particules à la place de bios vierge et de connexes de 1ere et 2eme transformation	Bon	Très bon	Bon
		Processus FCBA et adaptation de processus ecoinvent modélisant les approvisionnements classiques des fabricants de panneaux de particules	24%		Bon	Bon	Bon
		Processus ecoinvent : Electricity, medium voltage {Europe without Switzerland} market group for Cut-off, S	14%	Production de déchets non dangereux évitée par l'économie d'énergie électrique liée au changement d'approvisionnement	Bon	Très bon	Bon
		Processus ecoinvent : Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S	9%		Très bon	Très bon	Bon

Tableau 13 Analyse de la qualité des données pour les processus les plus impactants du module D du scénario de fin de vie des déchets bois pour les indicateurs PRG-total, EPNR et DNDE (selon le tableau E.2 de NF EN 15804+A2)

3.2 Inventaire de cycle de vie

Les paragraphes suivants présentent de manière approfondie les données, choix et hypothèses réalisés dans le cadre de l'étude. Les sources de données sont précisées dans chaque paragraphe. Lors que les données proviennent de la base de donnéesecoinvent, c'est la version « cut-off v3.7 » qui a été utilisée sauf mention contraire.

L'ensemble des inventaires ont été réalisés à partir du logiciel Simapro v 9.3 développé par Pré Consultants.

3.2.1 Principe de modélisation

Il a été choisi de modéliser le scénario de fin de vie des déchets bois sous forme de « flux directs », selon l'origine des déchets bois et leur destination finale. Cette modélisation est illustrée par la Figure 5. Le Tableau 14 détaille l'ensemble de ces flux directs. Les valeurs associées à chacun de ces flux sont issues de la phase 1 de GDBAT et sont rappelées dans le Tableau 4.

Sous-c	Quantité	Unité	Dist	Ecart Ty
Flux de déchets finals				
(Insérer une ligne ici)				
Emissions non matérielles	Sous-compartment	Quantité	Unité	Distribution Ecart Type^2 Min Max Commentaire
(Insérer une ligne ici)				
Questions sociales	Sous-compartment	Quantité	Unité	Distribution Ecart Type^2 Min Max Commentaire
(Insérer une ligne ici)				
Questions économiques	Sous-compartment	Quantité	Unité	Distribution Ecart Type^2 Min Max Commentaire
(Insérer une ligne ici)				
Sortants connus vers la technosphère. Déchets et émissions pour traitement		Quantité	Unité	Commentaire
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct building, panel, 2022/FR U		_Per_Panel_building = 0,0017	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct demolition, panel, 2022/FR U		_Per_Panel_demolition = 0	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, public drop-off, panel, 2022/FR U		_Per_Panel_Public = 0,0379	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, panel, France, 2022/FR U		_Per_Panel_Sorting_FR = 0,228	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, panel, Export, 2022/FR U		_Per_Panel_Sorting_UE = 0,164	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct building, energy, 2022/FR U		_Per_energy_building = 0,0017	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct demolition, energy, 2022/FR U		_Per_energy_demolition = 0,006	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, public drop-off, energy, 2022/FR U		_Per_Energy_Public = 0,0266	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, energy, France, 2022/FR U		_Per_Energy_Sorting_FR = 0,273	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, energy, Export, 2022/FR U		_Per_Energy_Sorting_UE = 0,0624	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, refuse, energy, 2022/FR U		_Per_Energy_Refuse = 0,0466	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct building, cement plant, 2022/FR U		_Per_cement_building = 0,0008	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct demolition, cement plant, 2022/FR U		_Per_cement_demolition = 0	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, public drop-off, cement plant, 2022/FR U		_Per_Cement_Public = 0	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, cement plant, 2022/FR U		_Per_Cement_Sorting = 0,0745	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct demolition, landfill, 2022/FR U		_Per_Landfill_building = 0,0017	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct demolition, landfill, 2022/FR U		_Per_Landfill_demolition = 0,017	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, public drop-off, landfill, 2022/FR U		_Per_Landfill_Public = 0,0003	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, landfill, 2022/FR U		_Per_Landfill_Sorting_UE = 0,0008	kg	
_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, refuse, landfill, 2022/FR U		_Per_Landfill_Refuse = 0,057	kg	
(Insérer une ligne ici)				

Figure 5 Extraction Simapro illustrant la modélisation du scénario de fin de vie des déchets bois selon leur destination finale directe (pour 1 kg de déchets bois à 20% d'humidité sur base sèche)

Destination finale	Origine	Processus modélisé dans Simapro (« flux direct »)
Producteur de panneaux de particules	En direct des chantiers (bâtiment)	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct building, panel, 2022/FR U
	En direct des chantiers (démolition)	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct demolition, panel, 2022/FR U
	Provenant d'une déchetterie publique	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, public drop-off, panel, 2022/FR U
	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation – Valorisés en France	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, panel, France, 2022/FR U
	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation - Exportés et valorisés en Europe	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, panel, Export, 2022/FR U
Installation de valorisation énergétique	En direct des chantiers (bâtiment)	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct building, energy, 2022/FR U
	En direct des chantiers (démolition)	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct demolition, energy, 2022/FR U

Destination finale	Origine	Processus modélisé dans Simapro (« flux direct »)
	Provenant d'une déchetterie publique	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, public drop-off, energy, 2022/FR U
	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation - Valorisés en France	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, energy, France, 2022/FR U
	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation - Exportés et valorisés en Europe	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, energy, Export, 2022/FR U
	Refus de tri issus de centres de tri/plateformes de préparation	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, refuse, energy, 2022/FR U
Cimenterie	En direct des chantiers (bâtiment)	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct building, cement plant, 2022/FR U
	En direct des chantiers (démolition)	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct demolition, cement plant, 2022/FR U
	Provenant d'une déchetterie publique	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, public drop-off, cement plant, 2022/FR U
	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, cement plant, 2022/FR U
Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND - mise en décharge)	En direct des chantiers (bâtiment)	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct building, landfill, 2022/FR U
	En direct des chantiers (démolition)	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, direct demolition, landfill, 2022/FR U
	Provenant d'une déchetterie publique	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, public drop-off, landfill, 2022/FR U
	Déchets de bois B issus de centre de tri/plateforme de préparation	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, landfill, 2022/FR U
	Refus de tri issus de centres de tri/plateformes de préparation	_Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, refuse, landfill, 2022/FR U

Tableau 14 « Flux directs » modélisés constituant le scénario de fin de vie

Afin de garder une modélisation « lisible », le passage en déchetterie publique a été modélisé en considérant que 25,4% (voir note dans le paragraphe suivant) des déchets B issus de centre de tri/plateforme de préparation et des refus de tri issus de ces mêmes sites avaient parcouru une distance supplémentaire (voir paragraphe 3.2.4.3) et faisait l'objet d'une manipulation (voir paragraphe 3.2.4.1). Ainsi, par exemple dans le module « _Wood construction waste, 20% water on dry mass basis, sorting, cement plant, 2022/FR U », un transport et un traitement modélisant le passage en déchetterie pour 25,4% du flux principal a été ajouté.

Note : La phase 1 de l'étude GDBAT a montré que 77,9% (voir Tableau 7) des déchets passant par une déchetterie publique étaient ensuite renvoyés vers un centre de tri/plateforme de valorisation, soit 507 kt hors emballages et réutilisation. Le total des déchets transitant par un centre de tri hors emballage et réutilisation est de 1 995 kt. On en déduit que 25,4% des tonnages passant par un centre de tri sont passés d'abord par une déchetterie publique.

3.2.2 Module C1 : Déconstruction

Les données utilisées en C1 sont propres à chaque produit et il n'est pas possible d'élaborer un scénario commun à tous les produits bois. Les praticiens réalisant des FDES et utilisant ce scénario de fin de vie des déchets bois devront obligatoirement ajouter le module C1 à leur modélisation.

3.2.3 Module C2 : Transport des déchets

Le scénario complet est défini dans le paragraphe 2.3. Les déchets du bâtiment peuvent provenir de chantiers de rénovation ou de chantiers de démolition, cependant les modalités de transport varient selon la nature du chantier (Tableau 15). Ainsi les déchets produits sur un chantier de rénovation sont moins conséquents que sur un chantier de démolition, et nécessitent donc un transport plus léger.

Paramètre	Kilométrages	Quantité	Modélisation
Transport du chantier de rénovation vers sa destination directe	11 km	830 kg	Processus ecoinvent « Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 Cut-off, S »
Transport du chantier de démolition vers sa destination directe	25 km	170 kg	Processus ecoinvent « Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Cut-off, S »

Tableau 15 Modélisation du transport des déchets de chantiers de rénovation et de démolition vers leurs destinations directes et quantités associées pour l'UF

L'utilisation de processus ecoinvent « systèmes S » implique la prise en compte des flux relatifs à la construction des infrastructures.

La destination directe peut être un exutoire (valorisation énergétique, cimenterie, fabricants de panneau ou décharge), une déchetterie ou un centre de tri.

3.2.4 Module C3 : Traitement des déchets

Cette étape concerne les déchets issus de chantiers de rénovation ou de démolition envoyés en déchetterie publique ou en centre de tri/plateforme de valorisation.

3.2.4.1 Traitement en déchetterie publique

Une consommation d'électricité est prise en compte afin de représenter la manipulation des déchets en déchetterie. La valeur considérée est basée sur la donnée Ecoinvent de consommation d'électricité d'un centre de tri. Cette valeur s'élève à 0,0037 kWh/kg de déchet. Elle est tirée du processus « Waste paperboard {Europe without Switzerland}| treatment of waste paperboard, sorting plant ». Cette consommation d'électricité a été modélisée par le processus ecoinvent « Electricity, medium voltage {FR}| market for | Cut-off, S ».

L'infrastructure « déchetterie publique » a été modélisée par le processus ecoinvent « Sorting facility, for construction waste {GLO}| market for | Cut-off, S ». La valeur associée pour traiter 1 kg de déchets bois est tirée du processus « Waste paperboard {Europe without Switzerland}| treatment of waste paperboard, sorting plant ».

La quantité de déchets transitant par une déchetterie publique est égale aux quantités transitant par une déchetterie et allant directement à leur exutoire (Tableau 4), soit 6,4% plus 25,4% (voir note dans le paragraphe 3.2.1) des déchets transitant par un centre de tri (refus de tri et déchets de bois B dans le Tableau 4) soit, $22,4\% = 25,4\% * 88,3\%$, soit 224 kg pour une tonne de déchets entrants.

3.2.4.2 Traitement en centre de tri ou plateforme de valorisation

Les déchets envoyés en centre de tri peuvent subir une étape de broyage. La phase 1 de l'étude GDBAT a montré que 67% des centres de tri et plateformes de valorisation réalisaient un broyage des déchets bois entrants et que le rendement de cette étape s'élevait à 87% (FCBA et al., 2022). Les refus de tri obtenus sont valorisés énergétiquement ou enfouis, respectivement à hauteur de 55% et 45% des refus de tri (FCBA et al., 2022).

Une consommation de diesel a été prise en compte pour modéliser la gestion des déchets et leur éventuel broyage (Tableau 16).

Type de centre de tri	Consommation de diesel (l/t déchet)	Source
Sans broyage	1,44	Etude (SEDDRe & FFB, 2019) (centres de tri assimilés à des centres de tri manuel)
Avec broyage	3,3	Etude (SEDDRe & FFB, 2019) (centres de tri assimilés à des centres de tri mécanisé)

Tableau 16 Consommation de diesel associée au traitement des déchets en centre de tri/plateforme de valorisation

La quantité de déchets transitant par un centre de tri est égal à 88,3%, soit 883 kg pour 1 tonne de déchets entrants (refus de tri et déchets triés, voir Tableau 4).

Le diesel consommé a été modélisé par le processus Ecoinvent v3.7 « Diesel, burned in building machine {GLO}| market for ».

L'infrastructure « centre de tri » a été modélisée par le processus ecoinvent « Sorting facility, for construction waste {GLO}| market for | Cut-off, S ». La valeur associée pour traiter 1 kg de déchets bois est tirée du processus « Waste paperboard {Europe without Switzerland}| treatment of waste paperboard, sorting plant ».

3.2.4.3 Transport des déchets des sites de traitement de déchets vers leurs destinations finales

Le scénario complet est défini dans le paragraphe 2.3. Les kilométrages considérés sont rappelés dans le Tableau 17. Il s'agit de distances moyennes.

Origine des déchets	Destination	Distance (km)	Quantité (kg)
Déchetterie publique	Installation de traitement thermique (France)	79	26,6
Déchetterie publique	Producteur de panneaux	79	37,9
Déchetterie publique	Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND, mise en décharge)	50	0,3
Déchetterie publique puis Centre de tri / plateforme de valorisation	Cimenterie	79 +100	18,9
Centre de tri / plateforme de valorisation	Cimenterie	100	55,6
Déchetterie publique puis Centre de tri / plateforme de valorisation	Installation de traitement thermique - France	79+96	69,3
Centre de tri / plateforme de valorisation - déchets B	Installation de traitement thermique - France	96	203
Déchetterie publique puis Centre de tri / plateforme de valorisation - déchets B	Installation de traitement thermique - Export	79 + 300	15,9
Centre de tri / plateforme de valorisation - déchets B	Installation de traitement thermique - Export	300	46,5
Déchetterie publique puis Centre de tri / plateforme de valorisation - refus de tri	Installation de traitement thermique - France	79+96	11,8
Centre de tri / plateforme de valorisation - refus de tri	Installation de traitement thermique - France	96	34,8
Déchetterie publique puis Centre de tri / plateforme de valorisation - déchets B	Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND, mise en décharge) – France	79 + 50	0,20
Centre de tri / plateforme de valorisation - déchets B	Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND, mise en décharge) – France	50	0,60
Déchetterie publique puis Centre de tri / plateforme de valorisation - refus de tri	Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND, mise en décharge) – France	79 + 50	14,5
Centre de tri / plateforme de valorisation - refus de tri	Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND, mise en décharge) – France	50	42,5
Déchetterie publique puis Centre de tri / plateforme de valorisation	Producteur de panneaux - France	79 + 250	58,0
Centre de tri / plateforme de valorisation	Producteur de panneaux - France	250	170,2
Déchetterie publique puis Centre de tri / plateforme de valorisation	Producteur de panneaux – Export Europe	79 + 300	41,7

Tableau 17 Distances de transport des déchets des sites de traitement à leurs destinations finales et quantités associées pour l'UF

On peut constater que la somme des tonnages de déchets du Tableau 17 est de 971 kg, soit le tonnage qui passe par un centre de tri ou une déchetterie, les 29 kg restant sont directement transportés du chantier vers l'exutoire comme le montre le Tableau 4.

Concernant l'étape de transport intermédiaire pour les déchets transitant des déchetteries publiques vers les centres de tri, la distance moyenne considérée est de 79 km. Le taux de remplissage du camion est plus faible comme le montre le Tableau 19 étant donné que les déchets ne sont pas broyés.

Les étapes de transport des sites de traitement de déchets (centre de tri/plateforme de valorisation) vers leurs destinations finales sont modélisées par un processus construit par FCBA. Ce processus représente un transport moyen selon plusieurs types de transporteur (euro 3 à euro 6) en fonction des données issues de l'enquête « longue distance » du Comité National Routier réalisée (Comité national routier, 2019) (Tableau 18).

Ce module de transport moyen fait appel aux processus ecoinvent suivants :

Processus ecoinvent	Répartition dans le processus moyen FCBA
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 {RER} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 Cut-off S	1,1 %
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 Cut-off S	3,6 %
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off S	26,7 %
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off S	68,6 %

Tableau 18 Processus moyen de transport construit par FCBA

L'utilisation de processus ecoinvent « systèmes S » implique la prise en compte des flux relatifs à la construction des infrastructures.

Pour information, les paramètres relatifs aux transports routiers sont repris dans le tableau suivant :

Paramètre	Unité	Valeur	Source
Consommation à plein	l/km	0,329	Enquête longue distance 2018 (Comité national routier, 2019)
Consommation à vide	l/km	0,219	
Taux de retour à vide	%	15,3 %	
Taux de remplissage – Transport à partir d'une déchetterie publique	%	64,2 %	Calculé à partir de données fournies par le comité de pilotage
Taux de remplissage – Transport à partir d'un centre de tri / plateforme de valorisation – Déchets broyés au centre de tri	%	84,6 %	Calculé à partir des données collectées dans (FCBA & CSTB, 2012)
Taux de remplissage – Transport à partir d'un centre de tri / plateforme de valorisation – Déchets non broyés au centre de tri	%	64,2 %	Taux de chargement identique à celui considéré en sortie de déchetterie publique
Charge utile	t	26	Donnée des gestionnaires (déchetterie publique et centre de tri/plateforme de valorisation)

Tableau 19 – Paramètres utilisés dans le processus moyen de transport FCBA

La détermination de la consommation de diesel en litres est basée sur la formule suivante :

$$\text{Diesel en litres} = (\text{Conso. Chargée} + \text{Conso. Vide} * \text{TauxRV}) \times \text{Dist.} \times \frac{\text{Masse transportée}}{\text{Charge réelle}}$$

Avec :

- Une consommation de diesel en charge notée « Conso. Chargée », exprimée en l/km, et basée sur la fonction affine suivante :

$$\text{Conso. Chargée} = (\text{Conso. Plein} - \text{Conso. Vide}) \times \frac{\text{Charge réelle}}{\text{Charge Utile}} + \text{Conso. Vide}$$

- La consommation du camion à plein notée « Conso. Plein », en l/km,
- La consommation du camion à vide notée « Conso. Vide », en l/km,
- Le taux de retour à vide noté « TauxRV », en %,
- La distance considérée notée « Dist. », exprimée en km,
- La masse du produit transporté notée « Masse transportée », exprimée en t,
- Le chargement noté « Charge réelle », en t, calculé par : $\text{Charge réelle} = \text{Charge Utile} \times \text{TauxChargement}$
- La charge utile du camion notée « Charge Utile » en t,
- Le taux de chargement du camion noté « Taux Chargement », en %.

3.2.4.4 Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique

Il n'existe pas de sortie de statut de déchets réglementaire pour les déchets bois du bâtiment. Dans le cadre de la valorisation énergétique avec un rendement supérieur à 60% et en conformité avec le complément national

(AFNOR, 2016), la valorisation énergétique est comptabilisée dans le module C3. Dans le présent scénario, cela concerne la valorisation énergétique en chaudière, où le rendement thermique considéré est de 85% (MEDDE, 2015), la valorisation énergétique en unité de cogénération, où le rendement énergétique global est de 75%, ainsi que la valorisation énergétique en cimenterie qui correspond à une valorisation directe soit un rendement de 100%.

3.2.4.4.1 Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en chaudière en France

Il est considéré que les déchets bois envoyés en installation de valorisation énergétique sont à 59% brûlés en unité de cogénération et 41% brûlés en chaudière (FCBA et al., 2022).

La combustion de ces déchets entraîne des émissions de polluants vers l'atmosphère et produit des cendres qui doivent être gérées. Ces impacts sont modélisés à partir des valeurs limites de rejets atmosphériques pour les installations d'incinération disponibles dans l'Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux, 2022) (Tableau 20). En effet, toutes les installations brûlant des déchets bois doit être classée en tant qu'installation de traitement thermique de déchets non dangereux (classe 2771 de la réglementation ICPE) comme les incinérateurs. Dans l'arrêté, ces valeurs sont initialement exprimées par m³ de gaz de combustion issus de l'installation. La correspondance pour 1 GJ d'énergie produit a été effectuée à partir de (AEA, 2012).

Substance	Donnée	Unité
Sulfur dioxide	17,7	g
Nitrogen dioxide	70,8	g
Carbon monoxide, biogenic	17,7	g
Particulates, > 10 um	0,35	g
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	1,73	g
Particulates, < 2.5 um	1,45	g
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	3,54E-08	g
Cadmium	1,77E-02	g
Mercury	1,77E-02	g
Ammonia	10,62	g
Hydrogen chloride	3,54	g
Hydrogen fluoride	0,354	g

Tableau 20 Emissions liées à la combustion du bois pour 1 GJ produit (Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux, 2022)

En complément, les données du CITEPA sur les émissions liées à la combustion du bois en France (Tableau 21 et Tableau 22) (CITEPA et al., 2003). Ces données sont conservatrices car les chaudières ont été améliorées et leurs équipements de captation et de traitement des émissions sont également plus performants par rapport aux années 2000. Le PCI du bois (à 20% d'humidité sur base sèche) est de 14,9 MJ/kg⁵.

Substance	Donnée	Unité
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	0,0048	kg
Methane, biogenic	0,0032	kg
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	8000	µg
Arsenic	9,5	mg
Chromium	47	mg
Copper	31	mg
Nickel	11	mg
Lead	90	mg
Selenium	7	mg
Zinc	290	mg
Carbon dioxide, biogenic	101	kg

Tableau 21 Emissions liées à la combustion du bois pour 1 GJ produit (CITEPA et al., 2003)

Voie d'élimination des cendres	Donnée	Unité	Processus
Cendres, incinérées	0,119	Kg	Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to municipal incineration/CH

⁵ Selon la formule de calcul utilisée par le CITEPA : PCI brut = PCI anhydre x 0,01 x (100 – E) – 2511 x (E/100)
Avec : PCI brut : PCI du bois avec un taux d'humidité E, en kJ/kg ; PCI anhydre : PCI du bois sec, en kJ/kg ;
E : taux d'humidité du bois, en % sur brut (CITEPA et al., 2003).

Cendres, épandues sur des terrains agricoles	0,119	Kg	Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming/CH
Cendres, enfouies	0,238	kg	Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill/CH

Tableau 22 Quantités et gestion des cendres issues de la combustion du bois pour 1 GJ produit (CITEPA et al., 2003)

En parallèle, la combustion des déchets bois permet de produire de l'énergie qui est réutilisée. Cela se traduit dans la modélisation par la sortie d'un flux « Exported heat ». La valeur énergétique associée à ce flux correspond à la production d'énergie thermique par la combustion d'1 kg de déchets bois à 20% d'humidité sur base sèche multiplié par le rendement thermique de la chaudière soit 85% (MEDDE, 2015). Cela évite ainsi le recours à de l'énergie issue des mix thermique et électrique moyens substitués, qui sont basés sur l'utilisation de ressources fossiles. La modélisation des impacts évités par cette substitution énergétique est décrite dans le paragraphe 3.2.6.1.

En parallèle, pour modéliser la chaudière et les intrants nécessaires à son fonctionnement, les données issues du processus ecoinvent « Heat, district or industrial, other than natural gas {CH}| heat production, wood chips from industry, at furnace 5000kW | Cut-off, U » ont été adaptées pour les besoins de l'étude. Les valeurs prises en compte pour traiter 1 kg de déchets secs sont présentées ci-dessous.

Intrant	Unité	Valeur	Processus ecoinvent
Infrastructures			
Chaudière	P	1,97E-08	Furnace, wood chips, with silo, 5000kW {CH} production Cut-off, S
Récupérateur de poussières	p	1,97E-08	Dust collector, electrostatic precipitator, for industrial use {GLO} market for Cut-off, S
Consommables			
Electricité	kWh	7,88E-02	Electricity, low voltage {FR} market for Cut-off, S

Tableau 23 Modélisation de la chaudière et des intrants nécessaires à son fonctionnement pour valoriser 1 kg de déchets bois secs

3.2.4.4.2 Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en chaudière en Europe (export)

Le scénario considéré pour le traitement des déchets en chaudière à l'étranger est identique à celui considéré pour la France pour le module C3 (paragraphe 3.2.4.4.1). Le ratio entre le volume de déchets valorisés énergétiquement en chaudière et en unité de cogénération a été cependant adapté. Ainsi, en Europe, le taux de déchets valorisés en chaudière est de 29%. Cette valeur a été calculée à partir des données EUROSTAT (« Production of electricity and derived heat by type of fuel »). Elle n'est cependant pas spécifique à la valorisation des déchets bois (ce niveau de détails n'existant pas) et correspond aux volumes de matières renouvelables et biofuels valorisés.

Concernant les infrastructures, les données du Tableau 23 sont réutilisées. Seul le processus ecoinvent modélisant la consommation de l'électricité utilisée par la chaudière a été remplacé par le processus « Electricity, low voltage {Europe without Switzerland}| market group for | Cut-off, S ».

3.2.4.4.3 Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en unité de cogénération en France

Il est considéré que les déchets bois envoyés en installation de valorisation énergétique sont à 59% brûlés en unité de cogénération et 41% brûlés en chaudière (FCBA et al., 2022).

La combustion de ces déchets entraîne des émissions de polluants vers l'atmosphère et produit des cendres qui doivent être gérées. Ces impacts sont modélisés à partir des données CITEPA sur les émissions liées à la combustion du bois en France (Tableau 21 et Tableau 22) (CITEPA et al., 2003). Ces données sont conservatrices car les chaudières ont été améliorées et leurs équipements de captation et de traitement des émissions sont également plus performants par rapport aux années 2000. Le PCI du bois (à 20% d'humidité sur base sèche) est de 14,9 MJ/kg⁵.

En parallèle, la combustion des déchets bois permet de produire de l'énergie qui est réutilisée. Cela se traduit dans la modélisation par la sortie des flux « Exported heat » et « Exported electricity ». Les valeurs associées à ces flux correspondent à l'énergie thermique et électrique produite par la combustion d'1 kg de déchets bois à 20% d'humidité sur base sèche, multipliée par les rendements thermique et électrique de l'unité de cogénération (soit respectivement 55% et 20% (MEEDDAT, 2009)). Cela évite ainsi le recours à de l'énergie issue des mix thermique et électrique moyens substitués, qui sont basés sur l'utilisation de ressources fossiles. La modélisation des impacts évités par cette substitution énergétique est décrite dans le paragraphe 3.2.6.1.

Pour modéliser l'unité de cogénération et les intrants nécessaires à son fonctionnement, les données issues du processus ecoinvent « Heat, district or industrial, other than natural gas {FR}| heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 | Cut-off, U » ont été adaptées pour les besoins de l'étude. Les valeurs prises en compte pour traiter 1 kg de déchets secs sont présentées ci-dessous.

Intrant	Unité	Valeur	Processus ecoinvent
Infrastructures			
Chaudière	p	9,84E-09	Furnace, wood chips, with silo, 5000kW {GLO} market for Cut-off, S
Unité de cogénération	p	9,84E-09	Heat and power co-generation unit, organic Rankine cycle, 1000kW electrical {GLO} market for Cut-off, S
Récupérateur de poussières	p	9,84E-09	Dust collector, electrostatic precipitator, for industrial use {GLO} market for Cut-off, S
Consommables			
Ammoniaque	kg	1,55E-07	Ammonia, anhydrous, liquid {RER} market for ammonia, anhydrous, liquid Cut-off, S
Produit chimique non spécifié	kg	1,11E-04	Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, S
Chlore	kg	6,20E-06	Chlorine, liquid {RER} market for chlorine, liquid Cut-off, S
Lubrifiant	kg	6,20E-05	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, S
Oxydes d'azote	kg	1,51E-03	NOx retained, by selective catalytic reduction {GLO} market for Cut-off, S
Chlorure de sodium	kg	7,75E-05	Sodium chloride, powder {GLO} market for Cut-off, S
Eau	kg	1,49E-02	Water, decarbonised {FR} market for water, decarbonised Cut-off, S

Tableau 24 Modélisation de l'unité de cogénération et des intrants nécessaires à son fonctionnement pour valoriser 1 kg de déchets bois secs

3.2.4.4.4 Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en unité de cogénération en Europe (export)

Le scénario considéré pour l'élimination par valorisation énergétique des déchets bois à l'étranger est identique à celui considéré pour la France pour le module C3 (paragraphes 3.2.4.4.3). Le ratio entre le volume de déchets valorisés énergétiquement en chaudière et en unité de cogénération a été cependant adapté. Ainsi, en Europe, le taux de déchets valorisés en unité de cogénération est de 71%. Cette valeur a été calculée à partir des données EUROSTAT (« Production of electricity and derived heat by type of fuel »). Elle n'est cependant pas spécifique à la valorisation des déchets bois (ce niveau de détails n'existant pas) et correspond aux volumes de matières renouvelables et biofuels valorisés.

Concernant les infrastructures, les données du Tableau 24 sont réutilisées. Seul le processus ecoinvent modélisant la consommation d'eau utilisée par l'unité de cogénération a été remplacé par le processus « Water, decarbonised {CH}| market for water, decarbonised | Cut-off, S ».

3.2.4.4.5 Traitement des déchets en vue de leur valorisation énergétique en cimenterie

Selon (MTES et al., 2018), 5% de la fraction minérale du bois envoyé en cimenterie (cendres issues de la combustion des déchets bois) est réutilisée dans le processus de fabrication du ciment en tant qu'alternative au clinker. La qualité des cendres utilisées dans le processus de fabrication du ciment est considérée équivalente à celle du clinker ($Q_{R\text{ Sort.}} = Q_{\text{Sub}}$ dans les formules de fin de vie – cf.4). Dans la modélisation cela se traduit par la sortie d'un flux de « waste to recycling ». La modélisation des impacts évités liés à la substitution du clinker par les matières minérales contenues dans le bois est décrite dans le paragraphe 3.2.6.3.1.

Concernant la valorisation énergétique en cimenterie, la combustion des déchets bois induit des émissions de polluants dans l'atmosphère et génère des déchets (cendres). Il a été considéré que les cimenteries étaient équipées d'installations équivalentes à des incinérateurs. En effet, selon la nomenclature ICPE des installations de gestion et de traitement de déchets, les installations d'incinération et les cimenteries sont toutes deux considérées comme des installations de traitement thermique de déchets dangereux, telles que définies dans la rubrique 2770 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (MTE, 2022). Cela entraîne une récupération et un traitement des fumées de combustion plus efficaces que ceux des installations de valorisation énergétique classiques. Les impacts générés par la combustion des déchets bois en cimenterie ont donc été modélisés par un processus Ecoinvent d'incinération du bois : « Waste wood pole, chrome preserved {CH}| treatment of, municipal incineration with fly ash extraction | Cut-off, U » modifié comme décrit dans le paragraphe ci-dessous :

- La composition chimique du « Waste wood pole, chrome preserved » par rapport au « waste wood, untreated » se distingue par un contenu plus élevé en chrome, cuivre, bore, soufre et sodium. Les

produits de traitement actuels ne contenant plus de chrome, les émissions directes de chrome dans l'air et dans l'eau du module U ont été remplacées par celles du module « Waste wood, untreated {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction | Cut-off, U ».

En parallèle, la combustion des déchets bois en cimenterie permet de produire de l'énergie réutilisée sur place. Dans la modélisation, cela se traduit par la sortie d'un flux « Exported heat ». La valeur associée à ce flux correspond à la production d'énergie thermique par la combustion d'1 kg de déchets bois à 20% d'humidité sur base sèche. La réutilisation de l'énergie produite par la combustion des déchets bois en cimenterie évite ainsi la consommation de coke de pétrole (MTES et al., 2018). La modélisation de cet impact évité est décrite dans le paragraphe 3.2.6.3.2.

L'infrastructure « cimenterie » a bien été intégrée à la modélisation à partir des données du processus ecoinvent « Waste wood pole, chrome preserved {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction | Cut-off, U ».

3.2.5 Module C4 : Elimination des déchets

3.2.5.1 Elimination par mise en décharge en Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND)

Les déchets bois stockés en décharge se dégradent partiellement. Selon la nouvelle version des lignes directrice du GIEC pour la mise en décharge (Towprayoon et al., 2019), la fraction de carbone organique dégradable (COD) pour les produits bois s'élève à 10% à horizon 100 ans. Cette fraction correspond à la part de carbone organique, contenue dans les déchets, qui peut être dégradée.

La mise en décharge des déchets bois a été modélisée par un processus construit à partir du module Excel développé par Ecoinvent (fichier intitulé « 13_MSWLFv2 »). Ce fichier permet de calculer les émissions liées à la dégradation d'un déchet, en fonction de sa composition. Dans cette étude, la composition moyenne des déchets bois (non traités) fournie par Ecoinvent a été utilisée (cf. annexe 7.1.1). Conformément à (Towprayoon et al., 2019), un taux de dégradation de 10% a été considéré. Cette dégradation a lieu pour moitié sous forme de méthane et pour l'autre moitié sous forme de dioxyde de carbone. Il est considéré que 70% du méthane émis est récupéré et brûlé en torchères sans valorisation énergétique, soit le taux moyen considéré par l'ADEME en France pour les ISDND (BIO Intelligence Service & Ecobilan PwC, 2000). Le biogaz est en fait valorisé énergétiquement en France : 146 sites sur 222 en 2016 mais il n'a pas été possible de collecter des données sur la répartition du type de valorisation. Les 30% de méthane restants sont considérés comme étant des fuites. Les émissions estimées à partir du module Ecoinvent sont présentées en annexe 7.1.2.

Les émissions de CO₂ biogénique ont ensuite été modifiées conformément à la norme EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b). En effet, suite à la révision de cette norme, la prise en compte du stockage définitif du carbone biogénique non dégradé n'est plus possible. La réémission totale du contenu carbone des déchets a été modélisée en considérant que :

- Le bois anhydre contient 49,4% de carbone en masse (cf. 3.1.5.1) ;
- Le taux d'humidité des déchets bois est de 20% sur base sèche ;
- 10 % du contenu carbone a déjà été réémis sous forme de dioxyde de carbone et de méthane (lors de la dégradation des déchets) (cf. paragraphe ci-dessus),
- 90% est considéré comme ré-émis sous forme de CO₂ biogénique.

L'installation de stockage a été intégrée à la modélisation à partir des données du processus ecoinvent « Waste wood, untreated {CH} treatment of, sanitary landfill | Cut-off, U ».

3.2.6 Module D : Charges et bénéfiques au-delà des frontières du système

Dans cette version de l'étude, il n'a pas été modélisé la valorisation du biogaz de décharge : il n'y a donc pas de module D correspondant.

3.2.6.1 Valorisation énergétique en unité de cogénération et chaudière en France

3.2.6.1.1 *Valorisation énergétique en unité de cogénération en France*

La combustion des déchets bois en unité de cogénération permet la production de chaleur et d'électricité. Dans le module D, ces flux d'énergie thermique et électrique issus du traitement des déchets bois (module C3) sont modélisés par l'utilisation des flux « Exported heat » et « Exported electricity ». Les valeurs associées à ces flux

correspondent à l'énergie produite par la combustion d'1 kg de déchets bois à 20% d'humidité sur base sèche, multipliée par les rendements de l'installation de cogénération. Les rendements électrique et thermique de l'unité de cogénération sont respectivement de 20% et 55%, soit un rendement global de 75% (MEEDDAT, 2009). Le PCI du bois (à 20% d'humidité sur base sèche) est de 14,9 MJ/kg⁵.

La réutilisation de cette énergie permet d'éviter le recours à de l'énergie issue des mix thermique et électrique moyens substitués :

- Concernant l'énergie thermique : le mix moyen substitué est considéré comme étant à 100% du gaz naturel. Il a été modélisé par le processus Ecoinvent « Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} | heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW | Cut-off, S » (l'utilisation de processus ecoinvent « systèmes S » implique la prise en compte des flux relatifs à la construction des infrastructures).

Ce choix respecte la norme EN 15804+A2 qui requiert que « Les charges (par exemple émissions) induites par l'élimination des déchets dans le module C4 sont considérées comme faisant partie du système de produits étudié, selon le principe du « pollueur payeur ». Toutefois, si ce processus génère de l'énergie, telle que la chaleur et l'énergie générées par l'incinération ou l'enfouissement des déchets, les bénéfices potentiels liés à l'utilisation de cette énergie dans le système de produits suivant sont **affectés au module D et sont calculés en utilisant les processus de substitution moyens courants.** » (AFNOR, 2019b). Le gaz naturel est considéré comme le combustible de référence utilisé par les chaudières classiques et les centrales de cogénération dans la (DIRECTIVE (UE) 2018/2001 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (refonte), 2018). Le gaz naturel est également considéré comme le combustible de référence dans les projets lauréats des appels à projet pour la décarbonation de l'industrie (MTE et al., 2021). Enfin, le complément national allemand à la norme EN 15804+A2 définit le gaz naturel comme la ressource substituée par la production d'énergie thermique en Allemagne (IBU, 2021).

- Concernant l'énergie électrique : le mix moyen substitué correspond à celui alimentant le réseau électrique français. Il a été modélisé par le processus ecoinvent « Electricity, medium voltage {FR} | market for | Cut-off, S » (l'utilisation de processus ecoinvent « systèmes S » implique la prise en compte des flux relatifs à la construction des infrastructures).

Ce choix respecte la norme EN 15804+A2 qui requiert que « Les charges (par exemple émissions) induites par l'élimination des déchets dans le module C4 sont considérées comme faisant partie du système de produits étudié, selon le principe du « pollueur payeur ». Toutefois, si ce processus génère de l'énergie, telle que la chaleur et l'énergie générées par l'incinération ou l'enfouissement des déchets, les bénéfices potentiels liés à l'utilisation de cette énergie dans le système de produits suivant sont **affectés au module D et sont calculés en utilisant les processus de substitution moyens courants.** » (AFNOR, 2019b). Le mix électrique allemand est également considéré comme mix substitué par la production d'énergie électrique en Allemagne selon le complément national allemand à la norme EN 15804+A2 (IBU, 2021). Il aurait été possible d'utiliser également de l'électricité produite à partir de gaz naturel, soit le mode de production de référence retenu par la (DIRECTIVE (UE) 2018/2001 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (refonte), 2018). LE choix est ici conservateur.

3.2.6.1.2 Valorisation énergétique en chaudière en France

La combustion des déchets bois en chaudière permet la production de chaleur. Dans le module D, ce flux d'énergie thermique issu du traitement des déchets bois (module C3) est modélisé par l'utilisation d'« Exported heat ». La valeur associée à ce flux correspond à l'énergie produite par la combustion d'1 kg de déchets bois à 20% d'humidité sur base sèche, multipliée par le rendement de la chaudière. Le rendement thermique considéré est de 85% (MEDDE, 2015). Le PCI du bois (à 20% d'humidité sur base sèche) est de 14,9 MJ/kg⁵.

La réutilisation de cette énergie permet d'éviter le recours à de l'énergie thermique issue du mix thermique moyen substitué. Ce mix thermique moyen substitué est le même que celui considéré dans le cadre de la valorisation énergétique en unité de cogénération (cf. 3.2.6.1.1).

3.2.6.2 Valorisation énergétique en unité de cogénération et chaudière en Europe (export)

Le scénario considéré pour la valorisation énergétique des déchets bois à l'étranger est identique à celui considéré pour ces installations de valorisation en France (paragraphe 3.2.6.1).

Dans la modélisation, seuls le processus spécifique à la France de production d'électricité à partir du mix moyen a été remplacé par le processus européen « Electricity, medium voltage {Europe without Switzerland} | market group

for | Cut-off, S » (l'utilisation de processus ecoinvent « systèmes S » implique la prise en compte des flux relatifs à la construction des infrastructures).

3.2.6.3 Valorisation matière et énergie en cimenterie

3.2.6.3.1 *Valorisation matière en cimenterie*

Selon (MTES et al., 2018), 5% de la fraction minérale du bois est valorisée, en substitution du clinker, pour la fabrication de ciment. La qualité des cendres utilisées dans le processus de fabrication du ciment est considérée équivalente à celle du clinker ($Q_{R\text{ Sort.}} = Q_{\text{Sub}}$ dans les formules de fin de vie – cf.4). Dans le module D, ce flux de matière issu du traitement des déchets bois (module C3) est modélisé par la consommation de « Waste to recycling ». La non-utilisation de clinker est modélisée par le processus ecoinvent « clinker {Europe without Switzerland} market for clinker | Cut-off, S » (l'utilisation de processus ecoinvent « systèmes S » implique la prise en compte des flux relatifs à la construction des infrastructures).

NB : FCBA a réalisé une analyse de sensibilité visant à comparer l'impact, sur l'indicateur de changement climatique total, de deux processus modélisant le clinker :

- Le processus ecoinvent « clinker {Europe without Switzerland} market for clinker | Cut-off, S »;
- Le processus modélisé à partir des données de la FDES « Produit Ciments courants français - CEM I », produite par l'Association Technique de l'Industrie des Liantes Hydrauliques (ATILH). Le produit CEM I contient en effet entre 95-100 % de clinker et 0-5 % de constituants secondaires, et a été considéré comme étant utilisable pour cette analyse de sensibilité.

Le processus de fabrication du clinker issu d'ecoinvent est plus impactant sur l'indicateur de changement climatique global que le processus modélisé à partir des données de la FDES CEM I (953 kg éq. CO₂/t clinker - ecoinvent vs 881 kg éq. CO₂/t clinker - FDES). Dans la modélisation, le processus de clinker étant utilisé pour prendre en compte la substitution matière en cimenterie, par conséquent, l'utilisation du processus ecoinvent peut être jugée non conservatrice. Cependant, à l'échelle de l'impact global du scénario de fin de vie d'une tonne de déchets, la variation d'impact n'est pas significative sur l'indicateur de changement climatique global (1068,5 kg éq. CO₂/t déchets en fin de vie (avec substitution de clinker issus d'ecoinvent) vs 1068,8 kg éq. CO₂/t déchets en fin de vie (avec substitution de clinker issus de la FDES CEM I)). Le CSTB a vérifié cette analyse de sensibilité au cours du processus de vérification de la présente étude.

3.2.6.3.2 *Valorisation énergétique en cimenterie*

La valorisation énergétique concerne 95% des déchets bois arrivant en cimenterie, les 5% restants étant valorisés comme intrant dans la fabrication du ciment. Leur combustion permet de produire de l'énergie réutilisée sur place. Dans le module D, ce flux d'énergie thermique issu du traitement des déchets bois (module C3) est modélisé par l'utilisation d'« Exported heat ». La valeur associée à ce flux correspond à la production d'énergie thermique par la combustion d'1 kg de déchets bois à 20% d'humidité sur base sèche. La réutilisation de l'énergie produite par la combustion des déchets bois permet de cette manière d'éviter le recours à la combustion de coke de pétrole (MTES et al., 2018).

Les valeurs de PCI sont différentes pour le bois et le coke de pétrole : 14,9 MJ/kg pour le bois (à 20% d'humidité sur base sèche) vs 32 MJ/kg pour le coke de pétrole (CITEPA & MTE, 2022). La combustion d'1 kg de déchets bois, soit la production de 14,9 MJ, permet d'éviter la combustion de 0,47 kg de coke de pétrole.

Les impacts évités associés à la non-utilisation de coke de pétrole ont été modélisés grâce à plusieurs processus Ecoinvent :

- Le processus « Petroleum coke {GLO} market for | Cut-off, S » pour représenter la mise à disposition du coke de pétrole ;
- Le processus « Waste plastic, mixture {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction | Cut-off, S » pour représenter la combustion du coke de pétrole.
La base de données Ecoinvent ne contenant pas de processus représentant la combustion de coke de pétrole, ce module de combustion de matière plastique au PCI équivalent a été utilisé (30,79 MJ/kg pour la matière plastique (documentation Ecoinvent) vs 32 MJ/kg pour le coke de pétrole).
Pour améliorer l'analogie réalisée entre la combustion de coke de pétrole et la combustion de déchets plastiques, le contenu carbone de chaque produit a été pris en compte :
 - La documentation Ecoinvent précise que la teneur en carbone des déchets plastiques s'élève à 63,36% de la masse brute.

- Le contenu carbone du coke de pétrole a été calculé et s'élève à 80% de la masse brute. Ce calcul est basé sur les données fournies dans le rapport (CITEPA & MTE, 2022) et l'hypothèse selon laquelle 100% du contenu carbone du coke de pétrole est réémis dans l'atmosphère sous forme de CO₂ lors de sa combustion.

→ Il a donc été considéré dans la modélisation que la combustion d'1 kg de coke de pétrole équivalait à brûler 1,26 kg de déchets plastiques.

3.2.6.4 Valorisation matière des déchets bois en vue de leur recyclage en France

Il n'existe pas de sortie de statut de déchets réglementaire (SSD) pour les déchets bois du bâtiment. Cependant, la norme NF EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b) n'exige pas une SSD réglementaire mais de respecter les critères suivants :

- Le matériau, produit ou élément de construction récupéré est communément utilisé à des fins spécifiques (recyclage en panneau de particule);
- Un marché ou une demande, identifié par exemple par une valeur économique positive, existe pour un tel matériau, produit ou élément de construction récupéré (900 kt de DBAT bois effectivement recyclées) ;
- Le matériau, produit ou élément de construction récupéré satisfait aux exigences techniques pour les usages spécifiques et respecte la réglementation et les normes existantes applicables aux produits (cahier des charges de l'EPF pour l'acceptation du déchets bois issu du recyclage post-consommateur);
- L'utilisation du matériau, produit ou élément de construction récupéré n'aura pas d'impacts globaux négatifs sur l'environnement ou la santé humaine (utilisation des panneaux issus du recyclage en ameublement et en construction).

Le scénario moyen français représentant la fin de vie des produits de construction en bois montre qu'une part importante de ces déchets est envoyée chez les fabricants de panneaux de particules (Tableau 3 et Tableau 4). Cela se traduit dans la modélisation par la consommation du flux « Waste to recycling ».

Dans le cadre de la phase 2 du projet GDBAT, des enquêtes ont été réalisées chez trois industriels afin de mettre à jour les données propres au recyclage des déchets bois (FCBA et al., 2022). D'après les résultats de ces enquêtes, ces trois industriels utilisent au total 468 kt de déchets du bâtiment, ce qui représente 49% du volume de déchets recyclé en France.

La collecte de données portait sur :

- La préparation des déchets bois en vue de leur recyclage,
- La fabrication de panneaux de particules à partir de matière vierge et recyclée.

Ces éléments, et les données considérées, sont décrits ci-dessous. Ces données correspondent aux moyennes pondérées des données collectées auprès des industriels en fonction des quantités de déchets entrantes sur leur site respectif.

3.2.6.4.1 *Impacts supplémentaires liés à la valorisation matière des déchets bois*

Les déchets arrivent sur les sites industriels des fabricants de panneaux de particules sous une forme brute ou déjà broyée. Les déchets bruts proviennent des chantiers de construction de bâtiments, des déchetteries publiques, des centres de tri et des plateformes de préparation. Les déchets arrivant déjà broyés proviennent exclusivement de centre de tri et de plateforme de préparation. Les enquêtes réalisées par Xerfi Specific (FCBA et al., 2022) ont permis d'évaluer le pourcentage de déchets bois subissant un broyage en centre de tri et plateforme de préparation à 67% par rapport au volume total entrant. Ce chiffre est cohérent avec les données collectées chez les industriels. Dans la modélisation, les modules de transport intègrent un taux de chargement des camions supérieur pour ceux transportant les déchets broyés par rapport aux déchets arrivant non broyés (84,6% vs 64,2%).

Impacts supplémentaires liés à la préparation des déchets bois

Une fois les déchets bois réceptionnés chez les fabricants de panneaux de particules, ils sont triés pour séparer le bois des autres matières (sables, graviers, déchets ferreux et non-ferreux, etc.) puis broyés. Ces étapes s'accompagnent d'une consommation d'électricité et de carburant. Le rendement de ces étapes de tri ainsi que les consommations d'électricité et de carburant sont des données confidentielles. Ces dernières sont modélisées par les processus ecoinvent « Electricity, medium voltage {FR} market for | Cut-off, S » et « Diesel, burned in building

machine {GLO} | market for | Cut-off, S ». Les particules de bois obtenues sont ensuite séchées avant de pouvoir être réutilisées dans le processus de fabrication de panneaux de particules.

Les déchets valorisables (ferreux et non-ferreux) sont récupérés en vue de leur recyclage. Les déchets non valorisables (cailloux, sables) sont envoyés en centre d'enfouissement. Les fines de broyage issues de la préparation des déchets bois sont valorisées énergétiquement sur le site industriel en chaudière (41%) ou unité de cogénération (59%) (FCBA et al., 2022). Leur combustion entraîne des émissions de polluants dans l'atmosphère (cf. paragraphe 3.2.4.4.1) et permet de produire de l'énergie, qui est valorisée par la suite (cf. paragraphe 3.2.6.1). Le Tableau 25 synthétise les informations propres à ces flux de déchets.

Type de déchet	Quantité ¹	Unité	Modélisation
Particules à recycler	1,00	t MS	Processus FCBA
Fines de broyage valorisées énergétiquement	Conf.	t MS	Voir la modélisation décrite dans le paragraphe 3.2.6.1.
Déchets à éliminer (cailloux, sable, etc.)	Conf.	t	Inert waste {Europe without Switzerland} treatment of inert waste, sanitary landfill Cut-off, S (processus ecoinvent)
Déchets à valoriser ferreux et non ferreux mélangés (fer, aluminium, etc.)	Conf.	t	Waste to recycling (flux de déchet final)
Déchets à valoriser ferreux	Conf.	t	Waste to recycling (flux de déchet final)
Déchets à valoriser non Ferreux	Conf.	t	Waste to recycling (flux de déchet final)

¹ Les déchets à éliminer, à valoriser et les autres déchets ferreux et non-ferreux ne sont pas pris en compte dans le calcul du rendement de l'opération de tri et de fragmentation de la matière entrante.

Conf : Donnée confidentielle

Tableau 25 Déchets issus de la préparation des déchets bois pour 1 tonne sèche de particules à recycler en panneaux de particules (en sortie de tri et fragmentation)

Impacts liés au séchage des particules de bois

Il n'y a pas d'impacts liés au séchage des particules pris en compte. En effet, l'utilisation de déchets bois par rapport à l'utilisation de particules de bois issues de rondins ou de connexes entrainerait plutôt des économies d'énergie (chaleur et électricité) car les particules issues de déchets bois sont moins humides que celles provenant de rondins et connexes (20% d'humidité sur base sèche dans le premier cas et 60% d'humidité sur base sèche dans le second). Cependant ces impacts évités n'ont pas été considérés ici (cf. ci-dessous)

3.2.6.4.2 Impacts évités par la valorisation matière des déchets bois

Impacts évités liés au séchage des particules de bois

L'énergie économisée lors du séchage correspondrait à l'énergie nécessaire pour évacuer la différence d'humidité entre les deux sources d'approvisionnement, c'est à dire de la chaleur et de l'électricité (pour faire fonctionner les ventilateurs). Cependant, dans une démarche conservatrice, ces impacts évités n'ont pas été considérés.

Impacts évités liés à l'approvisionnement en déchets bois

Les usines de fabrication de panneaux de particules s'approvisionnent classiquement en rondins et/ou connexes de scieries (sciures, plaquettes, dosses, etc.) et connexes de 2^{ème} transformation du bois (chutes et copeaux). Selon les fabricants de panneaux de particules, il y a une équivalence de 1 entre l'utilisation de particules fabriquées à partir de déchets et l'utilisation de particules fabriquées à partir de bois vierge.

D'après la collectée de données réalisée dans le cadre du projet, seule une part des rondins est écorcée (pourcentage confidentiel). Ils sont ensuite déchiquetés, fragmentés et séchés. Les écorces sont valorisées énergétiquement sur le site industriel en chaudière (41%) ou unité de cogénération (59%) (FCBA et al., 2022). Leur combustion entraîne des émissions dans l'atmosphère (cf. ci-dessous). Les connexes de scieries sont également broyés puis séchés.

Le scénario de fin de vie des produits bois considère que l'utilisation de déchets bois pour la fabrication de panneaux de particules permet d'éviter :

- La consommation de rondins vierge et les impacts qui y sont associés, de la production en forêt jusqu'aux opérations de déchiquetage et fragmentation du bois,
- La consommation de connexes de scierie et les impacts qui y sont associés, de la production en forêt jusqu'aux opérations de broyage du bois.

- La consommation de connexes issus de la 2ème transformation du bois et les impacts qui y sont associés. Cependant, ces connexes étant considérés comme des déchets, seuls les impacts associés à leur broyage sont ici pris en compte.

Le transport des rondins de la forêt jusqu'au site industriel de fabrication de panneaux de particules et des connexes est pris en compte dans les impacts évités. Le processus utilisé pour modéliser ce transport a été adapté à partir de « Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER} | Cut-off, S » (Ecoinvent v3.7) pour intégrer les données présentes dans le Tableau 26. Les consommations tiennent compte des retours à vide (valeurs estimées à dire d'expert dans (Cornillier et al., 2013)).

Paramètre	Donnée	Unité	Source
Distance de transport	73	km	(Cornillier et al., 2013)
Consommation du camion chargé	57	l/100 km	
Consommation du camion à vide	26	l/100 km	
Capacité du camion	32	t Matière Brute	

Tableau 26 Données pour modéliser le transport des rondins de la forêt jusqu'au site de fabrication des panneaux de particules

Le Tableau 27 présente les données de modélisation de la préparation et fragmentation des rondins et connexes de scierie issues de la collecte réalisée auprès des industriels impliqués dans l'étude.

Paramètre	Donnée	Unité	Modélisation	
Modélisation de l'écorçage des rondins feuillus¹				
Entrées	Rondins feuillus ²	Conf.	t MS	Processus issu de la BDD FCBA ³
	Electricité	Conf.	kWh	Processus ecoinvent « Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S »
	Fuel	Conf.	MJ	Processus ecoinvent « Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S »
Sorties	Rondins écorcés	1,0	t MS	Processus FCBA
	Ecorces valorisées énergétiquement	Conf.	t MS	Voir modélisation 3.2.6.1
Modélisation de l'écorçage des rondins résineux¹				
Entrées	Rondins résineux ⁴	Conf.	t MS	Processus issu de la BDD FCBA ³
	Electricité	Conf.	kWh	Processus ecoinvent « Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S »
	Fuel	Conf.	MJ	Processus ecoinvent « Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S »
Sorties	Rondins écorcés	1,0	t MS	Processus FCBA
	Ecorces valorisées énergétiquement	Conf.	t MS	Voir modélisation 3.2.6.1
Modélisation du déchetage et de la fragmentation des rondins et des connexes⁵				
Entrées	Rondins écorcés, feuillus ²	Conf.	t MS	Processus FCBA modélisé selon les données décrites ci-dessus, dans la section «Modélisation de l'écorçage des rondins feuillus » du présent tableau
	Rondins non écorcés, hêtre	Conf.	t MS	Processus issu de la BDD FCBA ³
	Rondins non écorcés, autres feuillus ²	Conf.	t MS	Processus issu de la BDD FCBA ³
	Rondins écorcés, résineux ⁴	Conf.	t MS	Processus FCBA modélisé selon les données décrites ci-dessus, dans la section «Modélisation de l'écorçage des rondins résineux » du présent tableau
	Rondins non écorcés, résineux ⁴	Conf.	t MS	Processus issu de la BDD FCBA ³
	Connexes de scierie, plaquettes, feuillus	Conf.	t MS	Processus ecoinvent ⁶ « Wood chips, wet, measured as dry mass {Europe without Switzerland} wood chips production, hardwood, at sawmill Cut-off, S »
	Connexes de scierie, plaquettes, résineux	Conf.	t MS	Processus ecoinvent ⁶ « Wood chips, wet, measured as dry mass {Europe without Switzerland} wood chips production, softwood, at sawmill Cut-off, S »
	Connexes de scierie, dosses et délignures, feuillus	Conf.	t MS	Processus ecoinvent ⁶ « Slab and siding, hardwood, wet, measured as dry mass {Europe without

				Switzerland} market for slab and siding, hardwood, wet, measured as dry mass Cut-off, S »
	Connexes de scierie, dosses et délignures, résineux	Conf.	t MS	Processus ecoinvent ⁶ « Slab and siding, softwood, wet, measured as dry mass {Europe without Switzerland} market for slab and siding, softwood, wet, measured as dry mass Cut-off, S »
	Connexes 2 ^{ème} transformation, chutes, feuillus et résineux	Conf.	t MS	Flux « Use of secondary material » (considéré comme un flux de matière secondaire)
	Electricité	Conf.	kWh	Processus ecoinvent « Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S »
	Fuel	Conf.	MJ	Processus ecoinvent « Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S »
Sorties	Particules de bois	1,00	t MS	Processus FCBA
	Déchets divers (écorces notamment) valorisées énergétiquement	Conf.	t MS	Processus FCBA

¹ Les données présentées pour modéliser les étapes d'écorçage ne correspondent pas aux données des industriels car elles n'étaient pas suffisamment représentatives (tous les industriels n'ont pas répondu) et semblaient également aberrantes. Dans la modélisation, les données de rendement et de consommation d'énergie proviennent des deux processus ecoinvent (« bark {Europe without Switzerland}| sawing, hardwood » et « bark {Europe without Switzerland}| sawing, softwood») et ont été intégrées aux processus modélisés par FCBA.

² Les essences n'ayant pas été spécifiées lors de la collecte de données avec les industriels, seuls des rondins de chêne ont été modélisés ici.

³ La modélisation des rondins (production en forêt, abattage, débardage) est issue de la base de données « ressources forestières » de FCBA (Cornillier et al., 2013). Cette base a fait l'objet d'une vérification par le CSTB dans le cadre de la réalisation de FDES par FCBA. Les données de la base ont été revues et validées par les experts ayant été interrogés lors de sa création en 2012. La base a également été mise à jour en 2020 avec les processus Ecoinvent v3.7.

⁴ Les essences n'ayant pas été spécifiées lors de la collecte de données avec les industriels, il a été considéré pour la modélisation : 1/3 de pin maritime, 1/3 d'épicé et 1/3 de douglas.

⁵ Les données présentées correspondent à la moyenne pondérée des données industrielles, en fonction des quantités de matière entrantes.

⁶ Les allocations économiques effectuées dans la base de données ecoinvent sont considérées comme valables car basées sur des données représentatives des cinq dernières années. Seuls les flux de carbone biogénique et d'énergie matière ont été modifiés et pris en compte selon une allocation massique.

Conf. = Données confidentielle.

Tableau 27 Modélisation des impacts évités par la valorisation matière des déchets bois pour 1 t sèche de particules de bois obtenue : Approvisionnement et transformation des matières premières

Les connexes sont modélisés par des processus ecoinvent. Ils sont considérés comme des coproduits et, à ce titre, une part des impacts amonts à leur production leur est associée selon une allocation économique. Seuls les flux de carbone biogénique et d'énergie matière sont alloués selon une allocation massique.

Les déchets produits lors de la préparation des rondins et des connexes utilisés dans le processus classique de fabrication des panneaux de particules (écorces, poussières) sont normalement valorisés énergétiquement. Cela entraîne des émissions supplémentaires dues à leur combustion et des impacts évités liés à la valorisation de l'énergie produite. Dans le scénario modélisé ici, les déchets bois sont utilisés dans le processus de fabrication des panneaux de particules, à la place des rondins et connexes classiquement utilisés. Les déchets, issus de la préparation de ces rondins et connexes ne sont donc pas produits dans le scénario modélisé dans ce projet. La modélisation considère donc :

- Des émissions évitées de polluants dans l'atmosphère, liées à la non-combustion de ces déchets ;
- une consommation d'énergie thermique et électrique selon les mix moyen substitués (cf. 3.2.6.1), liée à l'absence de valorisation énergétique de ces déchets sur le site industriel.

La modélisation est la même qu'au paragraphe 3.2.6.1 mais en multipliant par -1 et en considérant que le PCI des écorces (à 20% d'humidité sur base sèche) est de 12,3 MJ/kg (Valbiom, 2015).

3.2.6.5 Valorisation matière des déchets bois en vue de leur recyclage en Europe (export)

Le scénario considéré pour le recyclage des déchets bois à l'étranger est identique à celui considéré pour les fabricants de panneaux en France (paragraphe 3.2.6.4).

Dans la modélisation, seuls les processus spécifiques à la France ont été remplacés par des processus européens lorsque cela était possible. (Tableau 28).

Flux	Modélisation
------	--------------

Consommation lors du recyclage des déchets (broyage, fragmentation)	Electricité - Réseau	Electricity, medium voltage {RER} market group for Cut-off, S
Impacts évités par la valorisation énergétique	Electricité	Electricity, medium voltage {Europe without Switzerland} market group for Cut-off, S
	Chaleur – Gaz naturel	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, S

Tableau 28 Processus modifiés pour la modélisation de la valorisation matière à l'étranger par rapport à la modélisation française

Comme considéré pour les installations françaises, la réutilisation de l'énergie produite lors de la valorisation des déchets permet d'éviter le recours à de l'énergie issue des mix thermique et électrique moyens substitués étrangers. Ces mix sont présentés dans le paragraphe 3.2.6.2.

4 Formules de fin de vie de la norme EN 15804+A2 (annexe D)

Le tableau ci-dessous donne les correspondances entre les termes définis dans l'annexe D de la norme et le présent document.

Abréviation	Définition	Valeur	Correspondance dans le rapport
$E_{VM\ entr.}$	émissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues de l'acquisition et du prétraitement d'une matière primaire dans la production du produit		Non utilisée car rapport sur la fin de vie
$E_{VMSub\ sort.}$	émissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues de l'acquisition et du prétraitement de la matière primaire, ou intrant de matière moyen si la matière primaire n'est pas utilisée, du berceau jusqu'au point d'équivalence fonctionnelle où il remplacerait la matière secondaire qui serait utilisée dans un système ultérieur		
$E_{VMSub\ sort.\ recy\ FR}$	Recyclage en panneaux de particules en France		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.6.4 (module D)
$E_{VMSub\ sort.\ recy\ EU}$	Recyclage en panneaux de particules en Europe		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.6.5 (module D)
$E_{VMSub\ sort.\ cim}$	Economie de clinker lié à la présence de cendres dans le déchets bois		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.6.3.1
$E_{MR\ avant\ FsD\ sort.}$	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues de processus de récupération de matière (recyclage et réutilisation) du système actuel jusqu'à ce que le statut de fin de déchet soit atteint		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.4 (module C3).
$E_{MR\ avant\ FsD\ entr.}$	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues de processus de récupération de matière (recyclage et réutilisation) du système antérieur après le statut de fin de déchet		Non utilisée car rapport est consacré à la fin de vie
$E_{MR\ après\ FsD\ sort.}$	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues de processus de récupération de matière (recyclage et réutilisation) d'un système ultérieur après le statut de fin de déchet		

Abréviation	Définition	Valeur	Correspondance dans le rapport
E_{MR} après FsD sort. Recy FR	Recyclage en panneaux de particules en France		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.6.4, (module D)
E_{MR} après FsD sort. Recy EU	Recyclage en panneaux de particules en Europe		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.6.5 (module D)
E_{MR} après FsD sort. Cim	Economie de clinker lié à la présence de cendres dans le déchets bois		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.6.3.1 (module D)
E_{RE} avant FsD sort.	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues du traitement de déchets destinés à être utilisés comme matière pour la récupération d'énergie d'un système ultérieur avant le statut de fin de déchet (après ce traitement, les déchets ne sont plus considérés comme déchets, mais comme un combustible secondaire)		La valorisation énergétique du bois est assimilée à une incinération du fait de la non atteinte du statut de fin de déchets. Il n'y a donc pas de production de combustible secondaire.
E_{RE} après FsD entr.	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues de la combustion d'un combustible secondaire provenant d'un système antérieur (ayant atteint le statut de fin de déchet)		
E_{RE} après FsD sort.	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues du traitement et de la combustion de combustibles secondaires dans un système ultérieur après la fin du statut de déchet (où les déchets ne sont plus considérés comme déchets, mais comme un combustible secondaire)		
E_{INC}	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues de l'incinération de déchets		
E_{INC} Valo Fr	Valorisation énergétique en France		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.4 (module C3)
E_{INC} Valo EU	Valorisation énergétique en Europe		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.4 (module C3)
E_{INC} Cim	Valorisation en cimenterie		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.4 (module C3)
$E_{DÉCHARGE}$	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse issues de la mise en décharge		Les données sont décrites dans le paragraphe 3.2.5.1.(module C4)
E_{ES} chaleur	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse qui proviendraient d'une source d'énergie substituée moyenne courante spécifique : chaleur		
E_{ES} chaleur Valo Fr	Valorisation énergétique en France		Les données sont décrites dans les paragraphes 3.2.6.1 (module D)
E_{ES} chaleur Valo EU	Valorisation énergétique en Europe		Les données sont décrites dans les paragraphes 3.2.6.2 (module D)

Abréviation	Définition	Valeur	Correspondance dans le rapport
$E_{ES\ chaleur\ Cim}$	Valorisation en cimenterie		Les données sont décrites dans les paragraphes et 3.2.6.3.2 (module D).
$E_{ES\ élec.}$	Emissions et ressources spécifiques consommées par unité d'analyse qui proviendraient d'une source d'énergie substituée moyenne courante spécifique : électricité		
$E_{ES\ élec\ Valo\ Fr}$	Valorisation énergétique en France		Les données sont décrites dans les paragraphes 3.2.6.1 (module D).
$E_{ES\ élec\ Valo\ EU}$	Valorisation énergétique en Europe		Les données sont décrites dans les paragraphes 3.2.6.2 (module D).
$E_{RE\ moy.}$	Emissions et ressources spécifiques par unité d'analyse qui proviendraient d'une source d'énergie substituée moyenne courante spécifique : chaleur et électricité		La valorisation énergétique du bois est assimilée à une incinération du fait de la non atteinte du statut de fin de déchets. Il n'y a donc pas de production de combustible secondaire.
$Q_{R\ Sort\ Recy} / Q_{Sub\ Recy}$	Rapport de qualité entre la matière sortante récupérée (recyclée et réutilisée) et la matière substituée pour le recyclage matière chez les fabricants de panneaux de particules	1	Voir paragraphe 3.2.6.4.2
$Q_{R\ Sort\ Cim} / Q_{Sub\ Cim}$	Rapport de qualité entre la matière sortante récupérée (recyclée et réutilisée) et la matière substituée pour le recyclage matière en cimenteries	1	Voir paragraphe 3.2.6.3.1
$M_{MR\ Sort}$	Quantité de matière sortant du système qui sera récupérée (recyclée et réutilisée) dans un système ultérieur. Cette quantité est déterminée à la fin du statut de déchet et est donc égale au flux sortant de « matières à recycler [kg] » rapporté pour les modules A4, A5, B et C		
$M_{MR\ Sort\ Recy\ FR}$	Recyclage en panneaux de particules en France	0,159 t/t de déchets	Voir paragraphe 2.2 Tableau 4
$M_{MR\ Sort\ Recy\ EU}$	Recyclage en panneaux de particules en Europe	0,223 t/t de déchets	Voir paragraphe 2.2 Tableau 4
$M_{MR\ Sort\ Cim}$	Economie de clinker lié à la présence de cendres dans le déchets bois	0,0734*0,05 t/t de déchets	Voir paragraphe 2.2 Tableau 4
$M_{MR\ Entr}$	Quantité d'intrant de matière dans le système de produits qui a été récupérée (recyclée ou réutilisée) d'un système antérieur (déterminée aux frontières du système) ;	A détermine r selon le produit modélisé	
$M_{RE\ Entr}$	Quantité de matière entrant dans le système de produits qui a atteint la fin du statut de déchet avant incinération dans un système antérieur et qui entre dans le système de produits sous forme de combustible secondaire. Cette quantité est égale au flux sortant de « matières destinées à la récupération d'énergie [kg] »		La valorisation énergétique du bois est assimilée à une incinération du fait de la non atteinte du statut de fin de déchets. Il n'y a donc pas d'utilisation de combustible secondaire.

Abréviation	Définition	Valeur	Correspondance dans le rapport
$M_{RE\ Sort}$	Quantité de matière sortant du système de produits où elle a atteint le statut de fin de déchet avant incinération et qui sort du système de produits sous forme de combustible secondaire. Cette quantité est égale à la valeur consignée pour l'indicateur de flux sortant de « matières destinées à la récupération d'énergie [kg] » ;		La valorisation énergétique du bois est assimilée à une incinération du fait de la non atteinte du statut de fin de déchets. Il n'y a donc pas de production de combustible secondaire.
PCI	Pouvoir calorifique du bois à 20% d'humidité	14,9 MJ/t	Voir note de bas de page 5
$M_{INC\ sort.}$	Quantité de déchets qui sera incinérée avec une efficacité de récupération d'énergie inférieure à 60 % ou qui est utilisée pour la récupération d'énergie avec une efficacité énergétique supérieure à 60 % mais qui n'a pas atteint le statut de fin de déchet ;		
$M_{INC\ sort. Valo\ FR}$	Valorisation énergétique en France	0,265 t/t	Voir paragraphe 2.2 Tableau 4
$M_{INC\ sort. Valo\ EU}$	Valorisation énergétique en Europe	0,0608 t/t	Voir paragraphe 2.2 Tableau 4
$M_{INC\ sort. Cim}$	Valorisation en cimenterie	0,0734 *0,95 t/t	Voir paragraphe 2.2 Tableau 4
$X_{INC\ chaleur}$	Efficacité du processus d'incinération pour la chaleur		
$X_{INC\ chaleur Valo\ FR}$	Valorisation énergétique en France	=0,41*0,8 5+0,59*0, 55 = 67%	Voir paragraphe 3.2.6.1
$X_{INC\ chaleur Valo\ EU}$	Valorisation énergétique en Europe	=0,41*0,8 5+0,59*0, 55 = 67%	Voir paragraphe 3.2.6.2
$X_{INC\ chaleur Cim}$	Valorisation en cimenterie	100%	Voir paragraphe 3.2.6.3.2
$X_{INC\ Elec}$	Efficacité du processus d'incinération pour l'électricité		
$X_{INC\ Elec Valo\ FR}$	Valorisation énergétique en France	=0,59*0,2 0 = 11,8%	Voir paragraphe 3.2.6.1
$X_{INC\ Elec Valo\ EU}$	Valorisation énergétique en Europe	=0,59*0,2 0 = 11,8%	Voir paragraphe 3.2.6.2

Tableau 29 Correspondances avec les formules de fin de vie de l'annexe D de la norme EN 15804+A2

Les formules du module D sont les suivantes :

$$e_{\text{module D}} = e_{\text{module D1}} + e_{\text{module D2}} + e_{\text{module D3}} + e_{\text{module D4}}$$

Avec :

- $e_{\text{module D1}}$ représente les charges et bénéfices associés à la fourniture à l'extérieur de matières secondaires.

$$e_{\text{module D1}} = (M_{MR\ Sort} - M_{MR\ Entr}) * (EMR_{\text{après FsD sort.}} - Q_{R\ Sort\ Recy} / Q_{Sub\ Recy} * EV_{MSub\ sort})$$

$$= (M_{MR\ Sort\ Recy} - M_{MR\ Entr}) * [M_{MR\ Sort\ Recy\ FR} * (EMR_{\text{après FsD sort. Recy FR}} - Q_{R\ Sort\ Recy} / Q_{Sub\ Recy} * EV_{MSub\ sort\ Recy\ FR}) / (M_{MR\ Sort\ Recy\ FR} + M_{MR\ Sort\ Recy\ EU})$$

$$+ M_{MR\ Sort\ Recy\ EU} * (EMR_{\text{après FsD sort. Recy EU}} - Q_{R\ Sort\ Recy} / Q_{Sub\ Recy} * EV_{MSub\ sort\ Recy\ EU})]$$

$$+ (M_{MR\ Sort\ Cim}) * (EMR_{\text{après FsD sort. Cim}} - Q_{R\ Sort\ Cim} / Q_{Sub\ Cim} * EV_{MSub\ sort. cim})$$

La partie en rouge qui représente la quantité de déchets bois consommée pour être recyclée dans le système n'est pas calculée dans ce rapport mais devra être ajoutée par l'utilisateur du rapport. Cela est valable notamment pour les FDES de panneaux de particules.

Concernant la valorisation matière des cendres de bois valorisées en cimenterie, l'utilisation de ciment ayant été fabriqué à partir d'énergie produite à partir de déchets bois dans le cycle de vie d'un produit bois est possible par exemple pour les planchers bois béton. Cependant, l'incinération du bois n'étant pas intégrée au cycle de vie du ciment, on ne considère pas comme intrant du cycle de vie les cendres issues de la combustion (« Les émissions et ressources spécifiques liées à l'incinération des déchets sont incluses dans le module C des cycles de vie antérieurs de sorte qu'elles ne sont pas incluses dans le module A », annexe D de la norme EN 15804+A2).

- e module D2 représente les charges et bénéfices associés à la fourniture à l'extérieur de combustibles secondaires.

Il n'est pas utilisé dans l'étude car les déchets bois du bâtiment ne bénéficient pas d'une sortie de statut de déchets réglementaire ou de fait comme les déchets destinés au recyclage matière.

- e module D3 représente les charges et bénéfices associés à la fourniture à l'extérieur d'énergie à la suite de l'incinération des déchets (pour R1 < 60 % et R1 > 60 %)

$$\begin{aligned}
 e \text{ module D3} &= - M_{INC \text{ sort.}} * (PCI * X_{INC \text{ chaleur}} * E_{ES \text{ chaleur}} + PCI * X_{INC \text{ élec.}} * E_{ES \text{ élec.}}) \\
 &= - M_{INC \text{ sort. Valo FR}} * (PCI * X_{INC \text{ chaleur Valo FR}} * E_{ES \text{ chaleur Valo FR}} + PCI * X_{INC \text{ élec. Valo FR}} * E_{ES \text{ élec Valo FR}}) \\
 &- M_{INC \text{ sort. Valo EU}} * (PCI * X_{INC \text{ chaleur Valo EU}} * E_{ES \text{ chaleur Valo EU}} + PCI * X_{INC \text{ élec. Valo EU}} * E_{ES \text{ élec Valo EU}}) \\
 &- M_{INC \text{ sort. Cim}} * (PCI * X_{INC \text{ chaleur Cim}} * E_{ES \text{ chaleur Cim}})
 \end{aligned}$$

De la même manière, la formule de fin de vie de l'annexe D de la norme EN 15804+A2 n'intègre pas de matière incinérée entrante en considérant que l'incinération des déchets bois n'est pas incluse dans le cycle de vie du produit dans lequel ils sont utilisés (« Les émissions et ressources spécifiques liées à l'incinération des déchets sont incluses dans le module C des cycles de vie antérieurs de sorte qu'elles ne sont pas incluses dans le module A », annexe D de la norme EN 15804+A2).

- e module D4 représente les charges et bénéfices associés à la fourniture à l'extérieur d'énergie à la suite de la mise en décharge.

La valorisation énergétique du biogaz n'ayant pas été modélisée, ce module est nul.

5 Évaluation des impacts du scénario de fin de vie des déchets bois

A partir des données d'inventaire utilisées et décrites dans les chapitres précédents, il s'agit dans cette partie d'évaluer les impacts des étapes de fin de vie des déchets bois. Cette évaluation a été réalisée au regard des objectifs de l'étude. Les résultats de cette évaluation sont présentés dans ce chapitre pour le produit tel que défini dans l'unité fonctionnelle.

Deux méthodes de caractérisation des impacts sont utilisées :

- Méthode basée sur les normes NF EN 15804+A1 (AFNOR, 2014a) et NF EN 15804/CN (AFNOR, 2016) (ci-après intitulé « A1 ») ;
- Méthode basée sur la norme EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b) : méthode de calcul « EN 15804 +A2 Method » fournie par Pré Consultants (ci-après intitulé « A2 »).

Les impacts sont présentés selon les différents modules de fin de vie. Pour faciliter la lecture et la compréhension des résultats, le module D est réparti entre les sources d'impacts supplémentaires et d'impacts évités. La tableau ci-dessous rappelle les éléments concernés.

Découpage du module D	Éléments concernés	Paragraphe du rapport
D_Energie_Impacts évités_Chaudière	Impacts évités par la valorisation énergétique des déchets bois en chaudière	3.2.6.1.2 3.2.6.2
D_Energie_Impacts évités_Cogé	Impacts évités par la valorisation énergétique des déchets bois en unité de cogénération	3.2.6.1.1 3.2.6.2
D_Cimenterie_Impacts évités	Impacts évités par la valorisation matière et énergétique des déchets bois en cimenterie	3.2.6.3
D_Panneaux_Impacts générés	Impacts supplémentaires liés à la préparation des déchets bois en vue de leur recyclage	3.2.6.4.1 3.2.6.5
D_Panneaux_Impacts évités_Energie	Impacts évités par la valorisation énergétique des déchets issus du recyclage des déchets bois dans le process de fabrication de panneaux de particules en unité de cogénération et en chaudière	3.2.6.4.2 3.2.6.5
D_Panneaux_Impacts évités_Matière	Impacts évités par la valorisation matière des déchets bois dans le process de fabrication de panneaux de particules	3.2.6.4.2 3.2.6.5

Tableau 30 Détails du découpage du module D dans les tableaux de résultats

		C2_Transport	C3_Centrale de tri Déchetterie	C3_Transport	C3_Cimenterie	C3_Energie	C3_Panneaux	C4_Mise en décharge	D Energie Impacts évités Chaudière	D Energie Impacts évités Cogé	D Cimenterie Impacts évités	D Panneaux Impacts générés	D Panneaux Impacts évités Energie	D Panneaux Impacts évités Matière
Paramètres décrivant les impacts environnementaux de référence														
Potentiel de réchauffement global - total (PRG-total)	kg CO ₂ éq. / UF	2,68E+00	8,17E+00	1,17E+01	1,11E+02	6,32E+02	6,52E+02	1,39E+02	-1,47E+02	-1,77E+02	-1,17E+02	-6,48E+02	1,93E+01	5,81E+02
Potentiel de réchauffement global - combustibles fossiles (PRG-fossile)	kg CO ₂ éq. / UF	2,67E+00	8,17E+00	1,17E+01	1,03E+00	3,31E+00	0	6,15E-01	-1,47E+02	-1,76E+02	-1,17E+02	3,82E+00	-2,21E+01	-1,27E+01
Potentiel de réchauffement global - biogénique (PRG-biogénique)	kg CO ₂ éq. / UF	2,54E-03	4,78E-03	9,58E-03	1,10E+02	6,29E+02	6,52E+02	1,39E+02	-5,90E-02	-8,12E-01	-1,02E-01	-6,52E+02	4,15E+01	5,94E+02
Potentiel de réchauffement global - occupation des sols et transformation de l'occupation des sols (PRG-luluc)	kg CO ₂ éq. / UF	1,21E-03	8,72E-04	9,09E-05	2,34E-04	3,18E-03	0	1,59E-04	-5,94E-03	-4,75E-02	-1,02E-02	6,49E-03	-6,70E-03	-6,24E-02
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique (ODP)	kg CFC 11 éq. / UF	6,11E-07	1,73E-06	2,79E-06	8,68E-08	2,20E-06	0	2,38E-07	-2,20E-05	-2,43E-05	-2,08E-05	3,16E-07	-2,93E-06	-2,30E-06
Potentiel d'acidification, dépassement cumulé (AP)	mole H+ éq. / UF	1,32E-02	8,42E-02	2,99E-02	1,21E-02	6,90E-01	0	5,86E-03	-1,25E-01	-2,70E-01	-1,85E-01	2,23E-02	1,28E-02	-8,16E-02
Potentiel d'eutrophisation, fraction d'éléments nutritifs atteignant le compartiment final eaux douces (EP-eaux douces)	kg P éq. / UF	2,10E-05	3,03E-05	6,55E-06	1,60E-05	5,27E-04	0	2,20E-05	-1,92E-04	-2,08E-03	-1,44E-04	2,93E-04	-2,69E-04	-7,44E-04
Potentiel d'eutrophisation, fraction d'éléments nutritifs atteignant le compartiment final marine (EP-marine)	kg N éq. / UF	4,39E-03	3,71E-02	7,23E-03	5,72E-03	1,80E-01	0	1,69E-02	-3,43E-02	-5,73E-02	-3,23E-02	4,58E-03	5,09E-03	-2,83E-02
Potentiel d'acidification, dépassement cumulé (EP-terrestre)	mole N éq. / UF	4,85E-02	4,07E-01	7,96E-02	6,08E-02	2,81E+00	0	2,38E-02	-3,76E-01	-6,26E-01	-3,49E-01	5,07E-02	1,10E-01	-3,09E-01
Potentiel de formation d'ozone troposphérique (POCP)	kg COVNM éq. / UF	1,39E-02	1,12E-01	2,40E-02	1,50E-02	4,90E-01	0	1,35E-02	-1,31E-01	-2,00E-01	-1,19E-01	1,39E-02	8,09E-03	-1,17E-01
Potentiel d'épuisement pour les ressources abiotiques non fossiles (ADP-minéraux+métaux)	kg SB éq. / UF	1,14E-05	6,23E-06	5,09E-07	2,59E-06	6,68E-05	0	2,43E-06	-2,41E-05	-1,95E-04	-1,99E-05	1,48E-05	-1,13E-05	-2,59E-05
Potentiel d'épuisement pour les ressources fossiles (ADP-fossile)	MJ / UF	4,04E+01	1,23E+02	1,70E+02	8,41E+00	1,48E+02	0	1,74E+01	-2,51E+03	-4,82E+03	-1,26E+03	1,83E+02	-4,67E+02	-2,79E+02
Potentiel de privation en eau (des utilisateurs), consommation d'eau pondérée en fonction de la privation (WDP)	m3 de privation éq. dans le monde / UF	1,30E-01	2,10E-01	-3,60E-02	2,10E-01	4,40E+00	0	8,12E-02	-9,27E-01	-9,06E+00	-1,02E+00	9,45E-01	-6,36E-01	-1,44E+00
Paramètres décrivant les impacts environnementaux additionnels														
Incidence potentielle de maladies dues aux émissions de particules fines	Incidence de maladies	2,15E-07	2,25E-06	1,16E-06	1,27E-07	5,91E-06	0	1,24E-07	-4,35E-07	-9,70E-07	-1,22E-06	1,77E-07	2,84E-07	-1,65E-06

Efficacité potentielle de l'exposition humaine à l'isotope U235 (PIR)	kBq de U235 éq. / UF	1,76E-01	5,99E-01	7,49E-01	1,60E-02	1,28E+00	0	8,94E-02	-1,07E+00	-2,40E+01	-5,40E+00	1,76E+00	-1,50E+00	-1,99E+00
Unité toxique comparative potentielle pour les écosystèmes (ETP-fw)	CTUe	3,25E+01	6,87E+01	7,35E+01	1,66E+01	4,53E+03	0	3,52E+01	-1,42E+02	-7,36E+02	-8,64E+02	5,86E+01	2,33E+02	-1,31E+02
Unité toxique comparative potentielle pour les êtres humains (HTP-c)	CTUh	1,15E-09	3,09E-09	1,03E-09	2,84E-09	1,83E-07	0	4,77E-10	-1,30E-08	-2,55E-08	-1,12E-08	1,39E-09	9,27E-09	-6,44E-09
Unité toxique comparative potentielle pour les êtres humains (HTP-nc)	CTUh	3,32E-08	4,94E-08	1,41E-07	1,34E-07	1,69E-05	0	4,88E-08	-1,08E-07	-4,05E-07	-4,41E-07	3,63E-08	1,08E-06	-1,97E-07
Indice potentiel de qualité des sols (SQP)	sans dimension	2,50E+01	3,24E+01	5,41E-01	2,81E+00	2,67E+01	0	4,48E+01	-3,41E+01	-1,40E+02	-1,63E+02	1,50E+01	-1,33E+01	-7,77E+03
Paramètres décrivant l'utilisation des ressources														
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières	MJ / UF	6,49E-01	1,51E+00	2,50E-01	1,16E+03	6,39E+03	0	1,13E+00	-7,55E+00	-1,98E+02	-4,19E+00	1,81E+01	3,95E+02	-2,18E+03
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées en tant que matières premières	MJ / UF	0	0	0	-1,16E+03	-6,38E+03	-6,62E+03	0	0	0	0	6,62E+00	-4,10E+02	-2,19E+03
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	MJ / UF	6,49E-01	1,51E+00	2,50E-01	3,09E-01	1,31E+01	-6,62E+03	1,13E+00	-7,55E+00	-1,98E+02	-4,19E+00	2,47E+01	-1,58E+01	-4,36E+03
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières	MJ / UF	4,04E+01	1,23E+02	1,70E+02	8,41E+00	1,48E+02	0	1,74E+01	-2,51E+03	-4,82E+03	-1,26E+03	1,83E+02	-4,67E+02	-2,79E+02
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées en tant que matières premières	MJ / UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	MJ / UF	4,04E+01	1,23E+02	1,70E+02	8,41E+00	1,48E+02	0	1,74E+01	-2,51E+03	-4,82E+03	-1,26E+03	1,83E+02	-4,67E+02	-2,79E+02
Utilisation de matière secondaire	kg / UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,10E+02
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	MJ / UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	MJ / UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilisation nette d'eau douce	m3 / UF	7,30E-04	1,44E-03	1,10E-05	1,24E-02	5,08E-02	0	2,16E-02	-2,52E-02	-8,29E-01	-9,48E-02	7,97E-02	-6,91E-02	-8,29E-02
Paramètres décrivant les catégories de déchets														
Déchets dangereux éliminés	kg / UF	3,24E-02	9,90E-02	4,74E-03	1,77E+00	1,20E+00	0	1,65E-02	-2,55E-01	-1,19E+00	-2,57E+00	9,81E-02	-3,74E-02	-1,97E-01
Déchets non dangereux éliminés	kg / UF	2,08E+00	5,58E-01	6,16E-02	3,75E-01	5,55E+00	0	7,70E+01	-2,14E+00	-1,35E+01	-3,25E+00	5,81E+00	-9,59E-01	-3,33E+00
Déchets radioactifs éliminés	kg / UF	2,71E-04	9,30E-04	1,23E-03	1,89E-05	1,63E-03	0	1,16E-04	-1,56E-03	-3,04E-02	-8,83E-03	2,08E-03	-1,76E-03	-2,51E-03

Paramètres décrivant les flux sortants														
Composants destinés à la réutilisation	kg / UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Matériaux destinés au recyclage	kg / UF	0	0	0	4	0	432	0	0	0	-4	-4,26E+02	0	0
Matériaux destinés à la récupération d'énergie	kg / UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Énergie fournie à l'extérieur	MJ / UF	0	0	0	1068	4353	0	0	-2068	-2285	-1068	0	0	0
Énergie électrique fournie à l'extérieur	MJ / UF	0	0	0	0	210	0	0	0	-210	0	0	0	0
Énergie chaleur fournie à l'extérieur	MJ / UF	0	0	0	1068	4144	0	0	-2068	-2076	-1068	0	0	0

Tableau 31 : Résultats du scénario moyen

5.1 Analyse de gravité du scénario de référence au format « 15804+A2 »

Le scénario de référence défini dans les paragraphes ci-dessus est ci-après intitulé « FdV_REF ».

5.1.1 Indicateurs d'impacts environnementaux

Les deux figures ci-dessous présentent les impacts de la fin de vie d'une tonne de déchets bois selon le scénario de référence (« FdV_REF ») en respectant la norme EN 15804+A2 (AFNOR, 2019b). La première (Figure 6) présente les résultats avec le module D tandis que la Figure 7 les présente sans le module D pour simplifier la lecture des résultats.

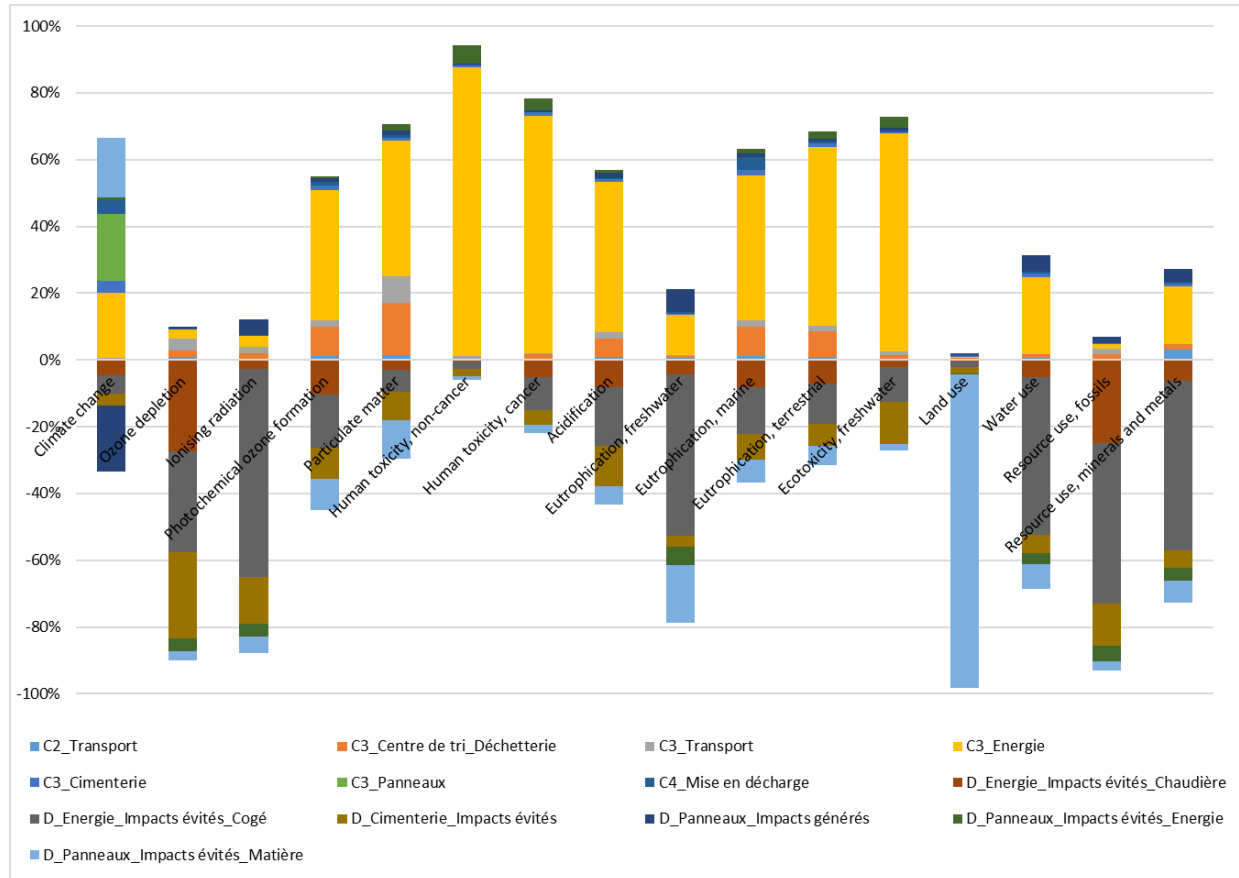


Figure 6 Analyse de gravité pour 1t de déchets bois selon le scénario de fin de vie de référence « FdV_REF » avec le module D

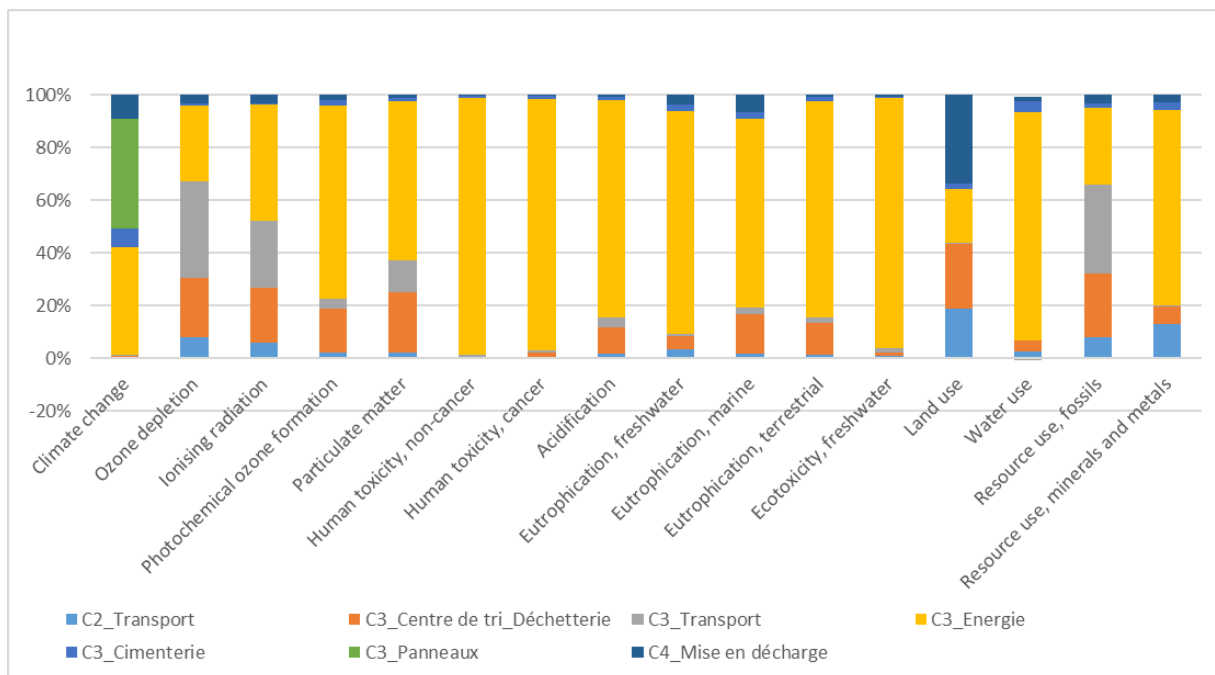


Figure 7 Analyse de gravité pour 1t de déchets bois selon le scénario de fin de vie de référence « FDV REF » sans le module D

Ces figures permettent de mettre en évidence les impacts prédominants liés à l'élimination des déchets bois par valorisation énergétique en unité de cogénération et chaudière, que ce soit au niveau des émissions lors de l'élimination des déchets (« C3_Energie ») ou des impacts évités liés à la valorisation énergétique qui en résulte (« D_Energie_Impacts évités_Chaudière » et « D_Energie_Impacts évités_Cogé »). Les émissions associées à la combustion du bois et à la gestion des résidus de combustion (cendres) sont en effet responsables de la quasi-totalité des impacts sur les indicateurs listés dans le tableau ci-dessous. Toutefois, ces émissions sont certainement en partie surestimées car certaines données sont valables pour des installations de valorisation énergétique datant des années 2000 (CITEPA et al., 2003), depuis, leurs performances ont été améliorées.

Indicateur d'impact environnemental	Emissions concernées
Changement climatique	Réémission du contenu carbone des déchets bois sous forme de CO ₂ biogénique et CH ₄ biogénique.
Formation d'ozone photochimique Acidification	Substances acidifiantes issues du processus de combustion : oxydes d'azote NOx, oxydes de soufres SOx dont dioxyde de soufre SO ₂ notamment.
Emissions de particules fines	Substances issues du processus de combustion : particules fines, c'est-à-dire, inférieure à 2,5 µm.
Toxicité humaine, non-cancérogène	Eléments métalliques lourds issus du processus de combustion: plomb, mercure notamment
Toxicité humaine, cancérogène	Eléments métalliques lourds issus du processus de combustion: chrome, plomb, mercure notamment
Eutrophisation, des eaux douces	Phosphore et phosphates émis dans le sol et l'eau et issus de la gestion des cendres (dont 25% par épandage agricole, 50% par mise en décharge)
Eutrophisation, marine Eutrophisation, terrestre	Substances azotées issues du processus de combustion principalement : NOx
Ecotoxicité, des eaux douces	Aluminium libéré dans le sol et issu de la gestion des cendres (dont 25% par épandage agricole, 50% par mise en décharge)
Utilisation d'eau	Consommation d'électricité hydraulique nécessaire au traitement des eaux usées suite à la gestion des cendres en décharge (50% des cendres) et incinérées (25%)

Tableau 32 Principaux impacts associés à la combustion des déchets bois en unités de cogénération et chaudières

La valorisation de l'énergie produite par les unités de cogénération et les chaudières permet d'économiser l'utilisation et la combustion de ressources fossiles (selon les scénarios décrits dans les paragraphes 3.2.6.1 et 3.2.6.2). L'élimination des déchets en cimenterie a également un impact non négligeable au niveau du module D grâce à leur valorisation énergétique principalement et l'économie de coke de pétrole qui y est associée.

La valorisation matière des déchets chez les fabricants de panneaux de particules entraîne des impacts supplémentaires principalement liés à la consommation d'électricité lors du tri et la fragmentation de ces déchets.

L'impact « C3_Panneaux » visible sur les deux figures ci-dessus correspond à la sortie de la matière et de son contenu carbone hors des frontières du système. Cette matière ré-entre ensuite dans le module D (cf. Figure 8 ci-dessous). Les impacts évités liés au recyclage sont moindres par rapport à ceux associés à la valorisation énergétique, excepté pour l'indicateur d'occupation des sols puisque l'utilisation de déchets permet d'éviter la consommation de rondins vierges directement issus des forêts.

La Figure 7 met également en évidence l'impact des processus de transport « C2_Transport » et « C3_Transport ». « C2_Transport » correspond aux étapes de transport des déchets des chantiers de rénovation ou de démolition vers les déchetteries publiques, les centres de tri/plateformes de valorisation ou leur destination finale directe. « C3_Transport » correspond aux étapes de transport ayant lieu en sortie de déchetterie publique (vers un centre de tri/plateforme de valorisation ou la destination finale des déchets) et en sortie de centre de tri/plateforme de valorisation (vers la destination finale des déchets). Focus sur l'indicateur d'impact changement climatique

La Figure 8 et la Figure 9 ci-dessous présentent les impacts de la fin de vie d'une tonne de déchets bois selon le scénario de référence (« FdV_REF ») respectivement pour les indicateurs de changement climatique d'origine fossile et biogénique et en se focalisant sur les flux fossiles. Sur la première figure, l'indicateur « climate change » correspond au bilan des flux fossiles et biogéniques.

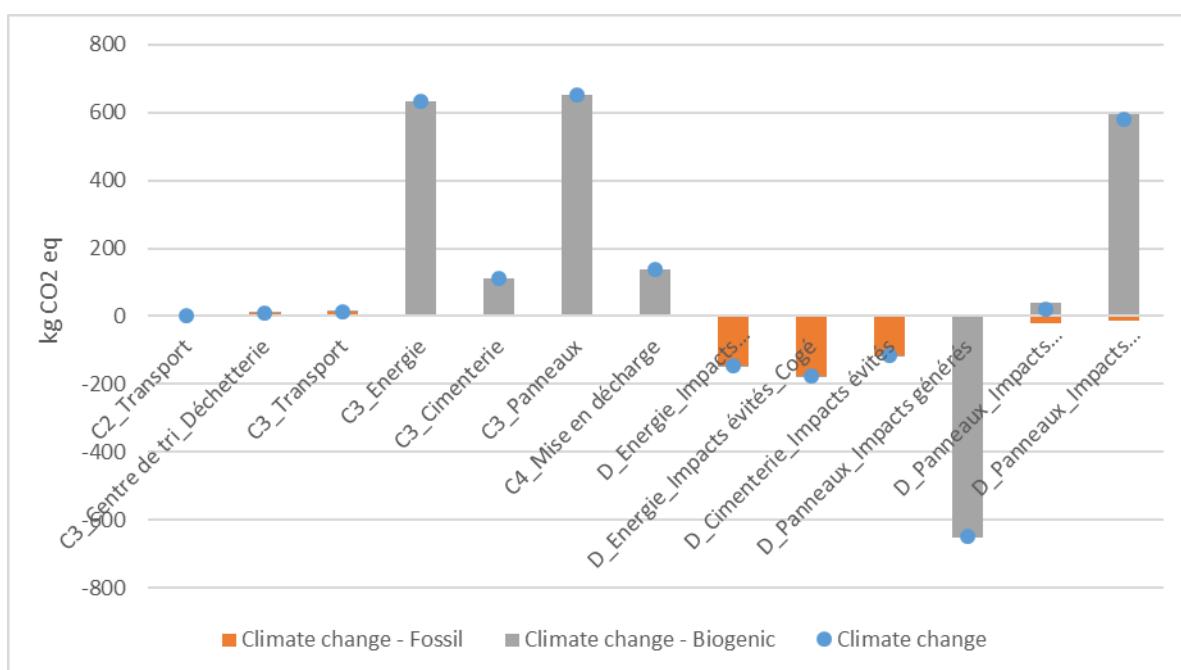


Figure 8 Analyse de gravité pour 1t de déchets bois selon le scénario de fin de vie de référence « FdV REF » avec le module D – focus sur l'indicateur de changement climatique

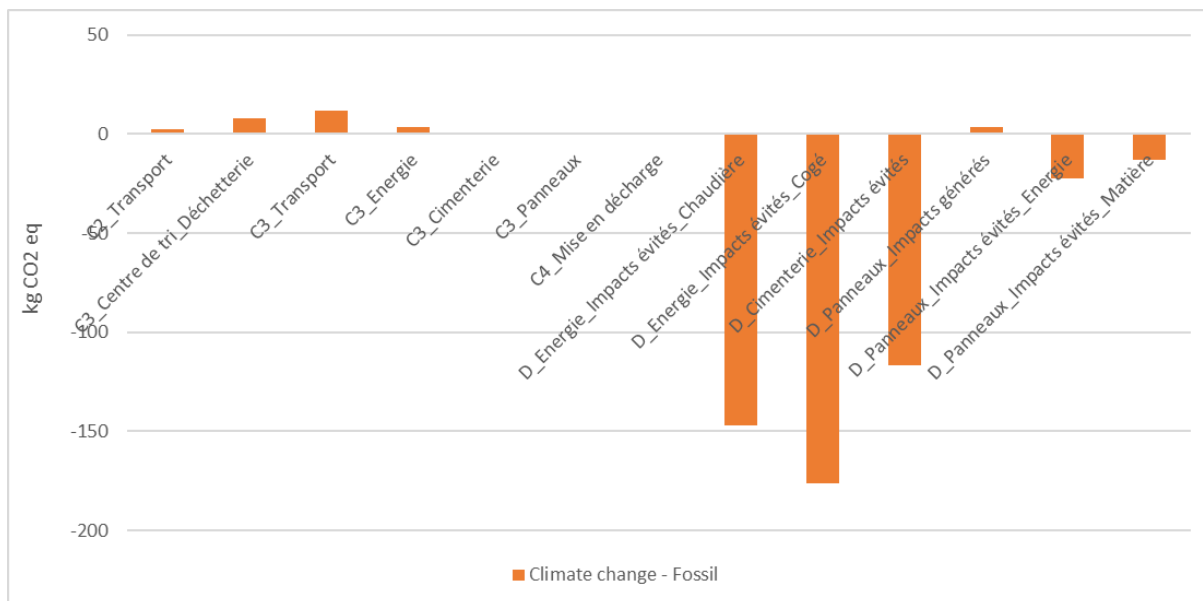


Figure 9 Analyse de gravité pour 1t de déchets bois selon le scénario de fin de vie de référence « FDV REF » avec le module D – focus sur l'indicateur de changement climatique d'origine fossile

Les différentes voies d'élimination des déchets sont caractérisées par la réémission du contenu carbone biogénique du bois. Celle-ci correspond à des émissions réelles dans le cas de la mise en décharge, de la valorisation énergétique en unité de cogénération et chaudière et de la valorisation en cimenterie. Dans le cas du recyclage des déchets bois, cette réémission est fictive puisque le stockage de carbone dans le bois est prolongé par le recyclage, seule la sortie du système est modélisée ici. La captation et la réémission du carbone biogénique sont d'un ordre de grandeur supérieur aux émissions fossiles. Les flux de GES d'origine fossile sont peu liés aux étapes de transport et de tri et préparation des déchets. Les impacts les plus importants sont liés aux impacts évités par la valorisation énergétique en unité de cogénération ou en chaudière et en cimenterie (en substitution du coke de pétrole).

5.1.2 Indicateurs décrivant l'utilisation des ressources

La figure ci-dessous présente l'utilisation des ressources liée à la gestion d'une tonne de déchets en fin de vie selon le scénario de référence (« FdV_REF »). Les flux de « ressources d'énergie primaire non renouvelable utilisée en tant que matières premières », « utilisation de combustibles secondaires renouvelables » et « utilisation de combustibles secondaires non renouvelables » ne sont pas présents sur la figure ci-dessous car nuls.

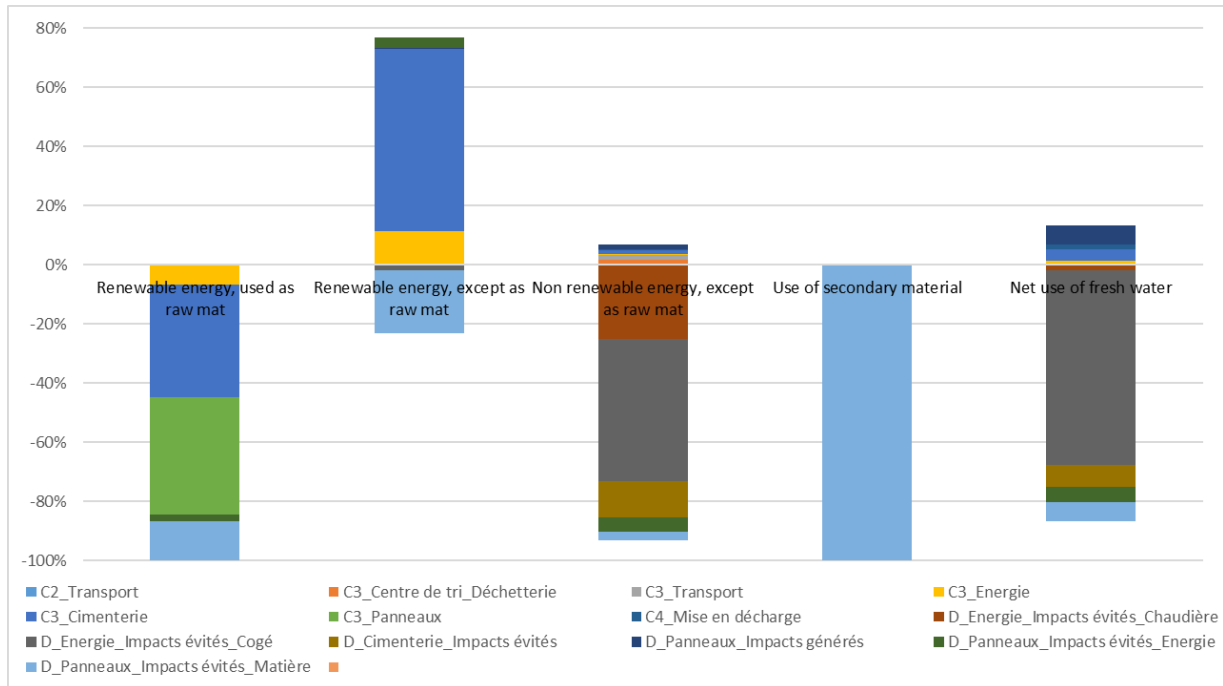


Figure 10 Utilisation des ressources pour 1t de déchets bois gérées selon le scénario de fin de vie de référence « FDV REF » avec le module D

La valeur négative de l'indicateur de consommation de « ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées en tant que matières premières » représente l'énergie sortant du système sous la forme de bois dans le cas du recyclage des déchets et sous la forme d'énergie à valoriser pour les déchets brûlés. Ce dernier flux d'énergie libéré (énergie matière) est ensuite consommé et apparaît dans l'indicateur de flux de consommation d'énergie primaire renouvelable, hors énergie utilisée en tant que matières premières. L'utilisation de déchets au lieu d'autres ressources biosourcées pour la fabrication de panneaux de particules permet d'éviter la consommation de matière (et donc d'énergie).

De la même manière, l'indicateur portant sur la consommation de ressources primaires non-renouvelables représente la consommation de ressources fossiles évitée par la valorisation des déchets. La consommation d'eau est également fortement corrélée à la consommation de ressources fossiles évitée.

L'indicateur d'utilisation de ressources secondaires représente la consommation évitée de connexes de seconde transformation par le recyclage de déchets bois pour la fabrication de panneaux de particules.

5.1.3 Indicateurs décrivant les catégories de déchets

La figure ci-dessous présente les flux de déchets ultimes liés à la gestion d'une tonne de déchets bois en fin de vie selon le scénario de référence (« FdV_REF »).

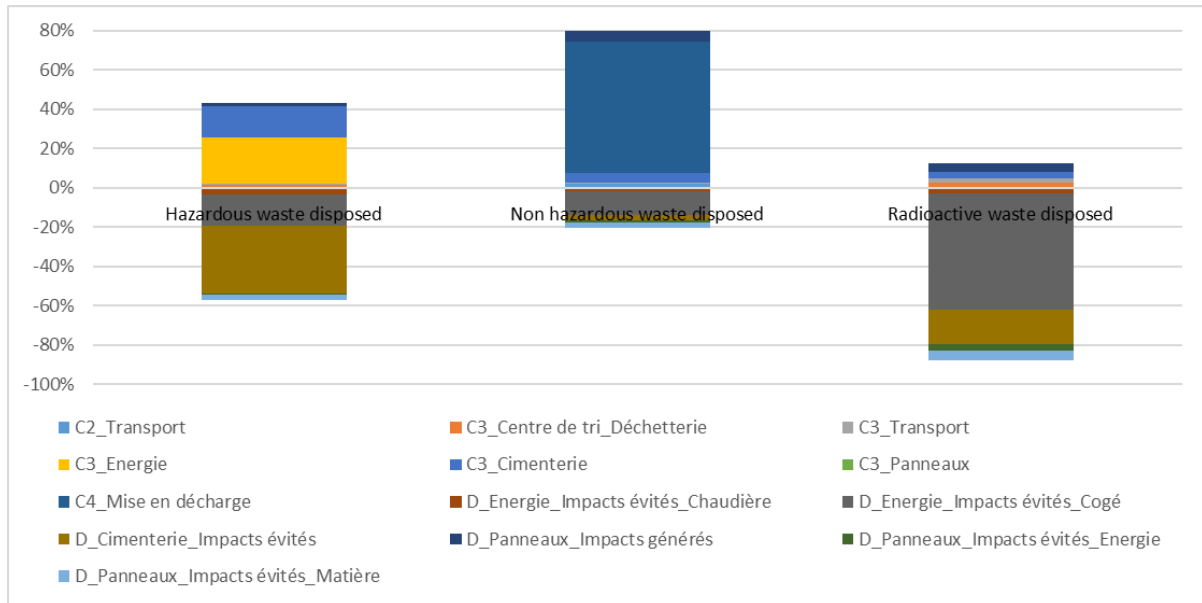


Figure 11 Catégories de déchets pour 1t de déchets bois gérées selon le scénario de fin de vie de référence « FdV REF » avec le module D

La figure ci-dessus montre l'impact associé à la valorisation énergétique des déchets qui permet d'éviter la consommation et la combustion de ressources fossiles, et de cette manière, la production de déchets dangereux et non dangereux.

Les déchets radioactifs sont liés à la consommation d'énergie nucléaire au cours de la gestion des déchets. Les impacts évités sont liés à la non utilisation d'énergie nucléaire dans le process de production de combustibles fossiles (pétrole et gaz naturel principalement).

5.1.4 Indicateurs décrivant les flux sortants

La figure ci-dessous présente les flux sortants liés à la gestion d'une tonne de déchets en fin de vie selon le scénario de référence (« FdV_REF »). Les flux « composants à réutiliser », « matière destinée à la valorisation énergétique », « électricité exportée » et « chaleur exportée » ne sont pas présents sur la figure ci-dessous car nuls.

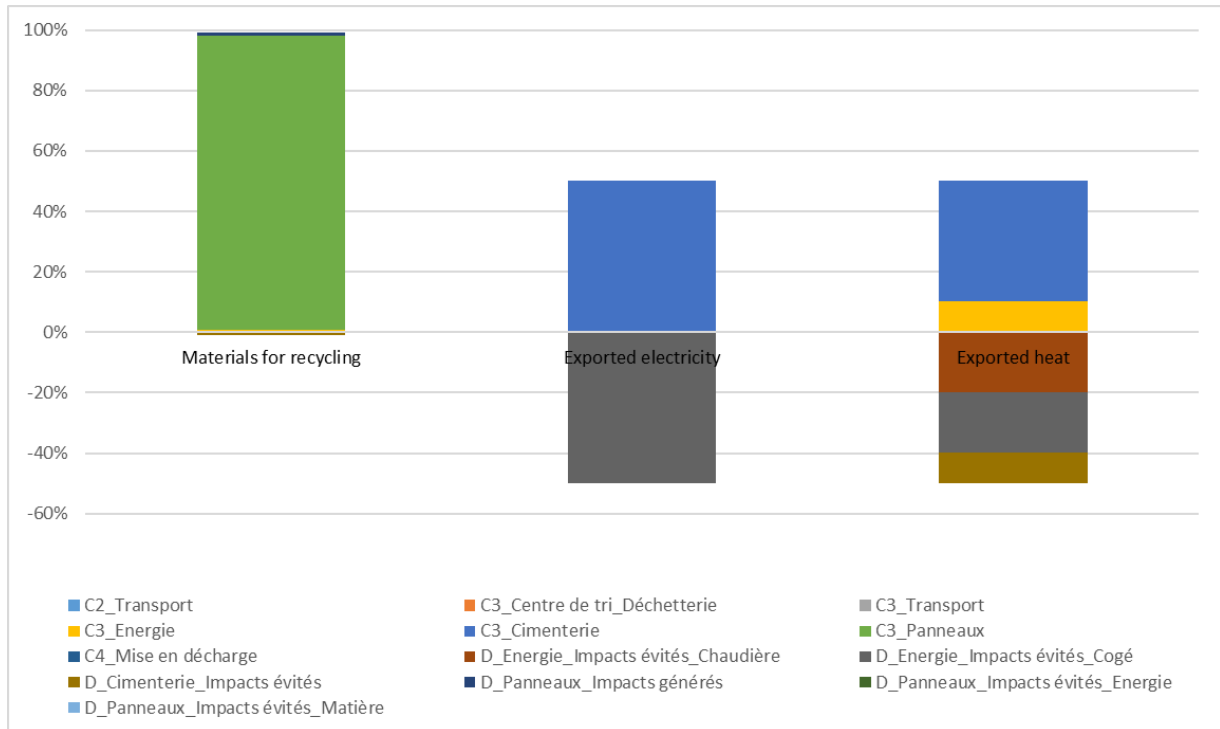


Figure 12 Flux sortants pour 1t de déchets bois gérées selon le scénario de fin de vie de référence « FDV REF » avec le module D

L'indicateur « materials for recycling » illustré par la figure ci-dessus correspond aux éléments valorisables (ferreux et non-ferreux) triés sur les sites des fabricants de panneaux de particules pour être séparés des déchets bois et destinés au recyclage.

Les indicateurs de « exported electricity » et « exported heat » représentent la production d'énergie dans les installations de valorisation énergétique et la consommation de cette énergie dans le module (à la place de ressources fossiles).

5.2 Comparaison des scénarios de fin de vie au format « 15804+A1 »

Les figures suivantes présentent les impacts de la fin de vie d'un kilo de déchets bois selon les scénarios suivants :

- Le scénario de référence défini dans le cadre de ce rapport (ci-après intitulé « FdV_Ref ») ;
- Le précédent scénario de fin de vie des déchets bois défini dans le cadre de l'étude (FCBA & CSTB, 2012) (ci-après intitulé « CODIFAB/BBF 2012 »).

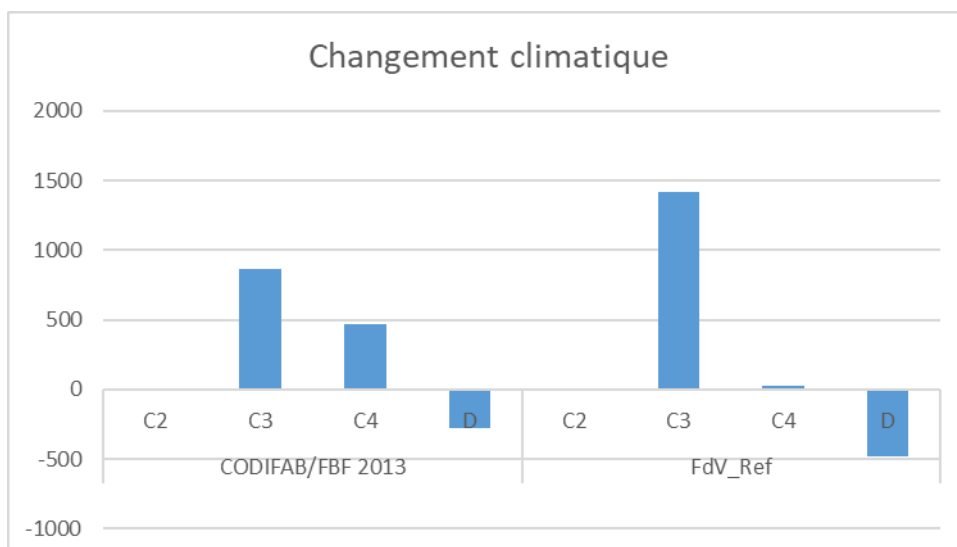


Figure 13 Comparaison du scénario CODIFAB/BBF 2022 par rapport au scénario CODIFAB/BBF 2012 pour 1 tonne de déchets bois pour l'indicateur de changement climatique en kg eq. CO₂

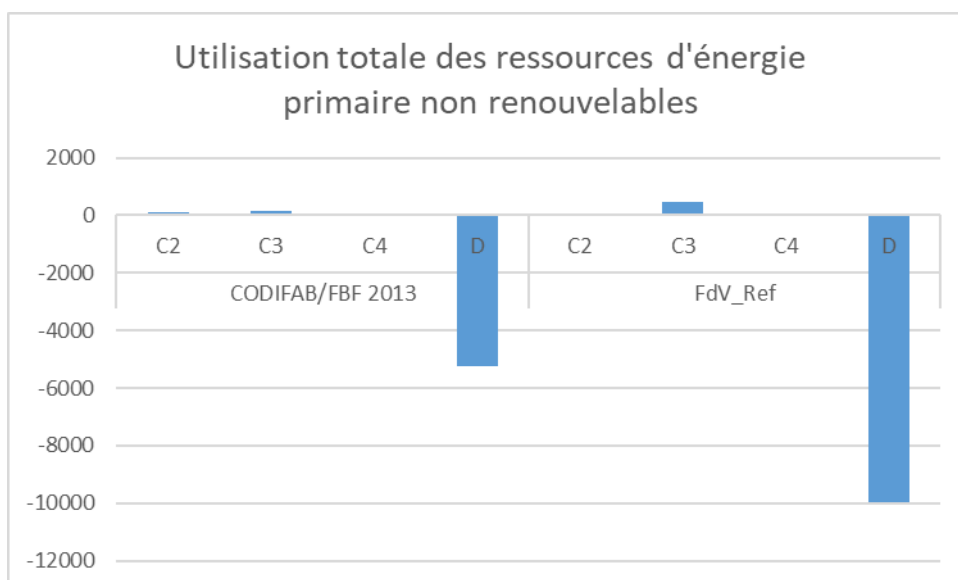


Figure 14 Comparaison du scénario CODIFAB/FBF 2022 par rapport au scénario CODIFAB/FBF 2012 pour 1 tonne de déchets bois pour l'indicateur d'Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables en MJ

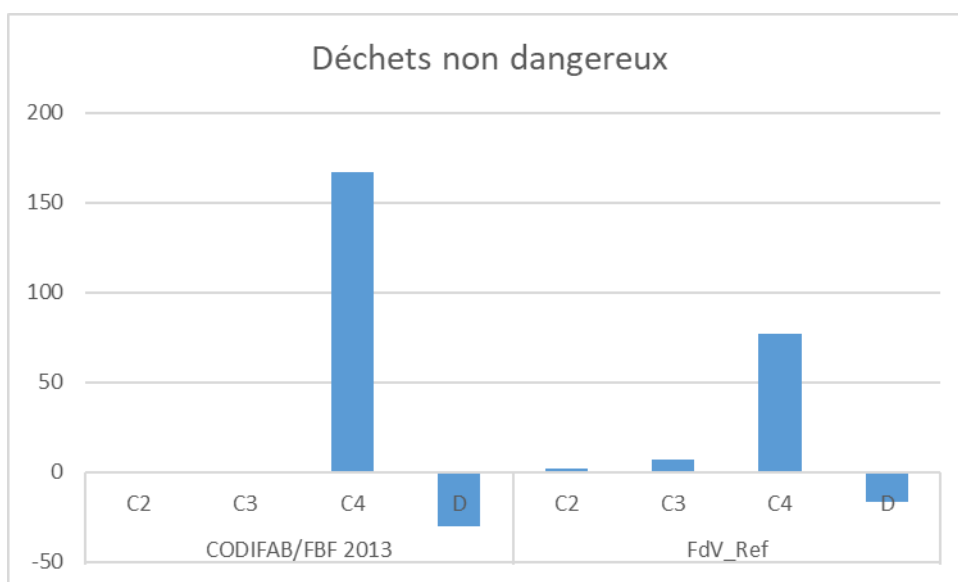


Figure 15 Comparaison du scénario FdV_Ref par rapport au scénario CODIFAB/FBF 2012 pour 1 tonne de déchets bois pour l'indicateur de production de déchets non dangereux en kg

Le scénario FdV_Ref est plus performant du point de vue du changement climatique et de la consommation d'énergie non renouvelable étant donné la valorisation énergétique plus importante en cogénération considérant une économie de production d'énergie à base principalement de gaz. La production de déchets non dangereux est diminuée du fait de la moindre mise en décharge.

5.3 Comparaison des scénarios de fin de vie au format « 15804+A2 »

La Figure 16 présente les impacts de la fin de vie d'une tonne de déchets bois selon les scénarios suivants :

- Le scénario de référence défini dans le cadre de ce rapport (« FdV_REF ») ;
- Un scénario de fin de vie basé exclusivement sur la valorisation en cimenterie (ci-après intitulé « 100%_Cimenterie ») ;
- Un scénario de fin de vie basé exclusivement sur la valorisation énergétique (ci-après intitulé « 100%_Valorisation énergétique ») ;
- Un scénario de fin de vie basé exclusivement sur la mise en décharge (ci-après intitulé « 100%_Mise en décharge ») ;
- Un scénario de fin de vie basé exclusivement sur le recyclage (ci-après intitulé « 100%_Recyclage »).

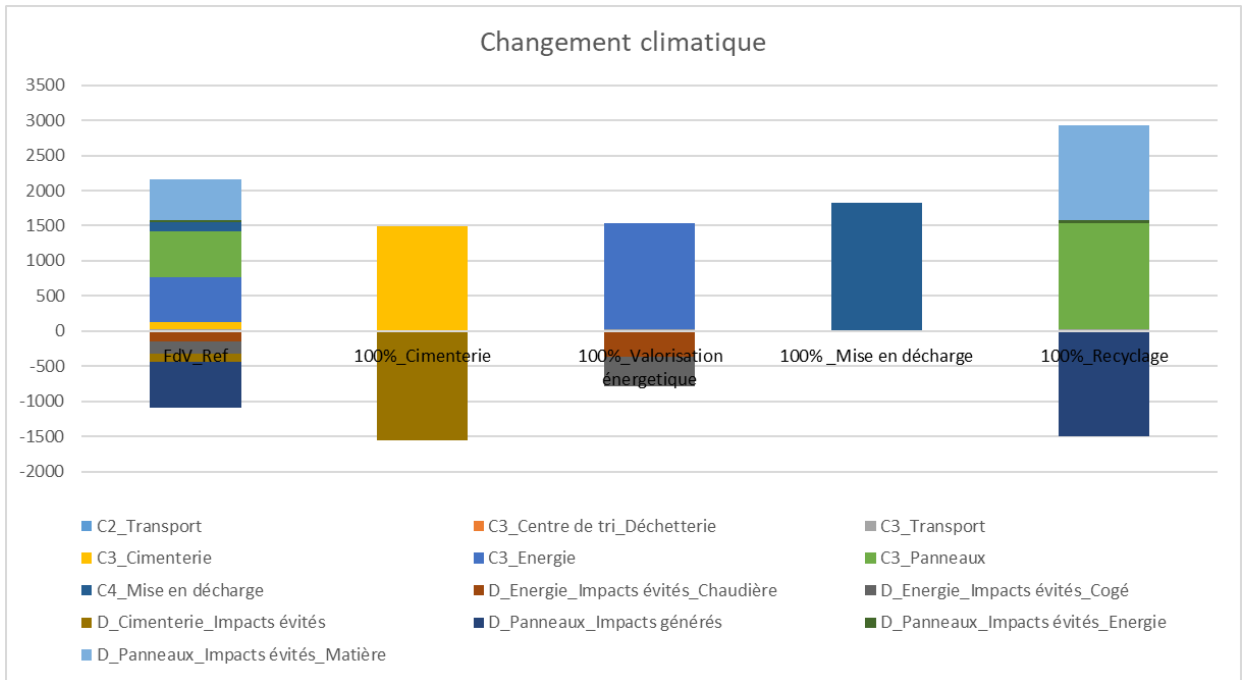


Figure 16 Comparaison de différents scénarios de fin de vie pour 1 tonne de déchets bois pour l'indicateur de changement climatique en kg eq. CO₂

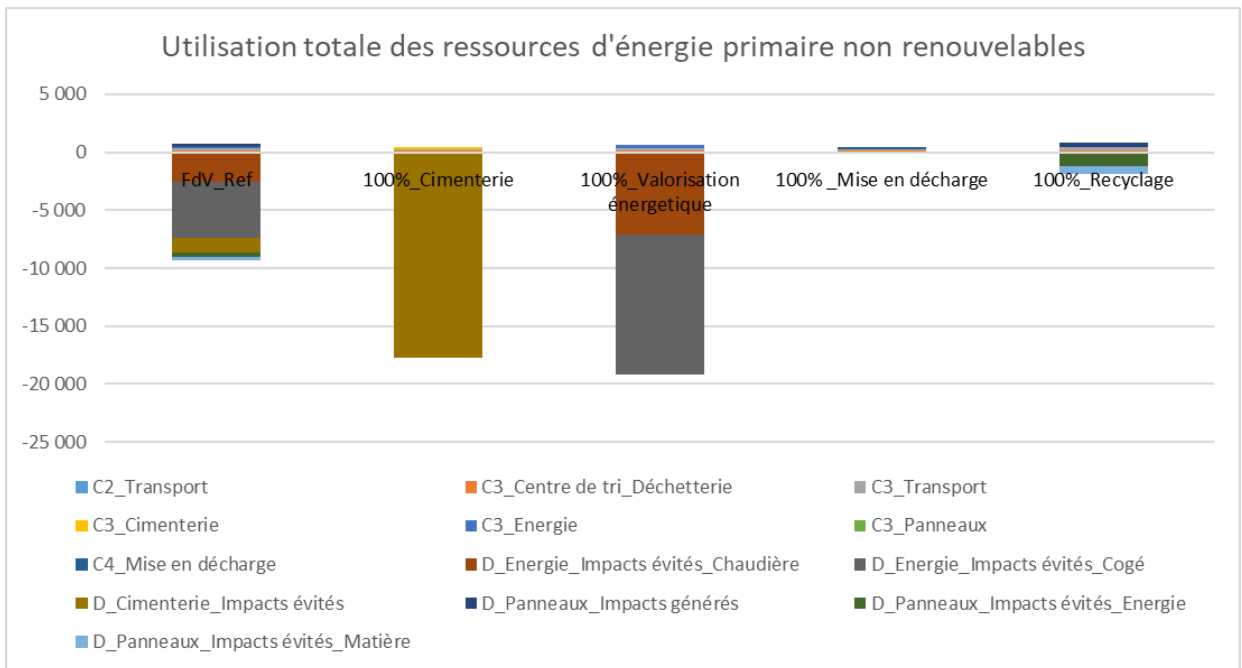


Figure 17 Comparaison de différents scénarios de fin de vie pour 1 tonne de déchets bois pour l'indicateur d'Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables en MJ

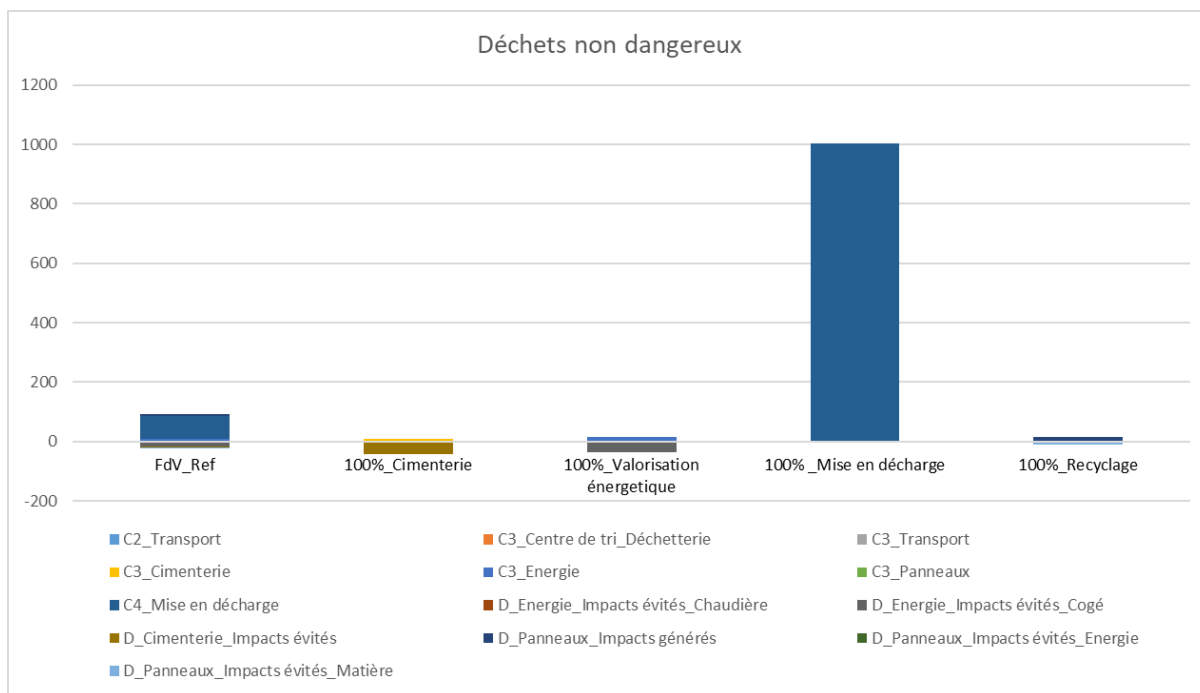


Figure 18 Comparaison de différents scénarios de fin de vie pour 1 tonne de déchets bois pour l'indicateur de production de déchets non dangereux en kg

La figure montre que, pour les trois indicateurs étudiés, le scénario de fin de vie des déchets bois le plus impactant est le scénario « 100% Mise en décharge » car cette voie d'élimination ne permet aucune valorisation des déchets et aucun impact évité associé. Le scénario de référence et les scénarios « 100% Valorisation énergétique » et « 100% Cimenterie » présentent des résultats très similaires majoritairement liés aux économies de ressources fossiles liées à la valorisation énergétique des déchets présente dans ces trois scénarios. Le scénario « 100% recyclage » présente des résultats un peu moins favorables car le processus de recyclage entraine des impacts supplémentaires. Ceux-ci ne sont pas autant compensés par les impacts évités liés au recyclage contrairement aux scénarios de valorisation énergétique en unité de cogénération, chaudière et cimenterie, où les émissions liées à la combustion des déchets bois sont plus largement compensées par les impacts évités.

6 Références

- AEA. (2012). Conversion of biomass boiler emission concentration data for comparison with Renewable Heat Incentive emission criteria.
- AFNOR. (2006a). NF EN ISO 14040—Management environnemental—Analyse du cycle de vie—Principes et cadre. AFNOR.
- AFNOR. (2006b). NF EN ISO 14044—Management environnemental—Analyse du cycle de vie—Exigences et lignes directrices. AFNOR.
- AFNOR. (2014a). NF EN 15804+A1—Contribution des ouvrages de construction au développement durable—Déclarations environnementales sur les produits—Règles régissant les catégories de produits de construction. AFNOR.
- AFNOR. (2014b). NF EN 16485 Juin 2014—Bois ronds et sciages—Déclarations environnementales de produits—Règles de définition des catégories de produits en bois et à base de bois pour l'utilisation en construction.
- AFNOR. (2014c). NF EN 16449—Produits en bois et dérivés du bois—Calcul du contenu en carbone biogénique du bois et conversion en dioxyde de carbone.
- AFNOR. (2014d). NF EN ISO 17225-1—Biocombustibles solides—Classes et spécifications des combustibles—Partie 1 : Exigences générales. AFNOR.
- AFNOR. (2016). NF EN 15804/CN Juin 2016—Contribution des ouvrages de construction au développement durable—Déclarations environnementales sur les produits—Règles régissant les catégories de produits de construction—Complément national à la NF EN 15804+A1.
- AFNOR. (2019a). NF ISO 38200 Chaîne de contrôle des produits en bois et à base de bois.
- AFNOR. (2019b). NF EN 15804/A2 -Contribution des ouvrages de construction au développement durable—Déclarations environnementales sur les produits—Règles régissant les catégories de produits de construction—Mai 2018.
- BIO Intelligence Service & Ecobilan PwC. (2000). Déchets ménagers leviers d'améliorations des impacts environnementaux : Les outils, les enjeux, les applications locales. ADEME.
- CITEPA, ADEME, & CTBA. (2003). Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France.
- CITEPA, & MTE. (2022). Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France. OMINEA - 19ème édition.

Comité national routier. (2019). Enquête longue distance 2018. CNR.

Cornillier, C., Vial, E., & Deroubaix, G. (2013). Convention DHUP/CSTB 2009 Action 33 – Sous action 6 – ACV & Déclarations environnementales pour des produits et composants de la construction bois – Volet 1 : Création d'une base de données amont. FCBA, CSTB, DHUP, FBF, CODIFAB.

DIRECTIVE (UE) 2018/2001 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (refonte), 2018/2001 (2018).

FCBA, & CSTB. (2012). Convention DHUP/CSTB 2009 Action 33 – Sous action 6 – ACV & Déclarations environnementales pour des produits et composants de la construction bois – Volet 2 : Prise en compte de la fin de vie des produits bois. FCBA, CSTB, DHUP, FBF, CODIFAB.

FCBA, & Groupe de travail plan Déchets du CSF bois. (2022). Référentiel de classification des déchets bois.

FCBA, Xerfi Specific, CODIFAB, & France Bois Forêt. (2022). Gestion des Déchets Bois du Bâtiment Phase 1 : Devenir des déchets bois issus de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment—GDBAT. CODIFAB, France Bois Forêt.

IBU. (2021). Product Category Rules for Building-Related Products and Services. Part A: Calculation Rules for the Life Cycle Assessment and Requirements on the Project Report according to EN 15804+A2:2019. Version 1.3.

Arrêté du 18 décembre 2018 relatif à la restriction d'utilisation et de mise sur le marché de certains bois traités, (2018).

Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux, (2022).

MEDDE. (2015). RAGE (Règles de l'art Grenelle Environnement) 2012—Guide—Les chaufferies au bois.

MEEDDAT. (2009). Programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité. Période 2009—2020. <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/094000317.pdf>

MTE. (2022). Note d'explication de la nomenclature ICPE des installations de gestion et de traitement de déchets. https://aida.ineris.fr/sites/aida/files/gesdoc/108472/BPGD-22-041%20Note-dechets_27042022.pdf

MTE, Ministère de l'Economie et des Finances, & Ministère de l'Industrie. (2021). Décarbonation de l'industrie. France Relance 2021. https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/plan-de-relance/20211115_DP_decarbonation_industrie.pdf

MTES, MEF, Syndicat Français de l'Industrie Cimentière SFIC, Syndicat National des Entreprises de Démolition SNED, Syndicat des Recycleurs du BTP SRBTP, & FEDEREC Palettes & Bois. (2018). Engagement pour la croissance verte relatif à la valorisation des déchets de bois issus du bâtiment en cimenterie. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/ECV%20-%20Valorisation%20des%20d%C3%A9chets%20de%20bois%20issus%20du%20b%C3%A2timent%20en%20cimenterie.pdf>

SEDDRe, & FFB. (2019). Empreinte carbone de la valorisation des déchets du bâtiment en France.

Towprayoon, S. T., Tomonori, I., Chiemchaisri, C., & Abdel-Aziz, A. O. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3 (Solid Waste Disposal). The Institute for Global Environmental Strategies.

Valbiom. (2015). Les Combustibles Bois. http://valbiom.be/files/library/Docs/Bois-Energie/150716_ValBiom_Combustibles_bois.pdf

7 Annexes

7.1 Modélisation des déchets bois éliminés par mise en décharge

7.1.1 Intrants liés à la mise en décharge des déchets bois

Input	Unit	Value
Materials/fuels		
Aluminium sulfate, powder {RER} market for aluminium sulfate, powder Cut-off, U	kg	7,81E-07
ammonia, anhydrous, liquid {RER} market for ammonia, anhydrous, liquid Cut-off, U	kg	3,47E-07
Cement, unspecified {CH} market for cement, unspecified Cut-off, U	kg	1,15E-06
Chemical, inorganic {GLO} market for chemicals, inorganic Cut-off, U	kg	9,66E-10
Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, U	kg	1,01E-08
Chromium oxide, flakes {GLO} market for Cut-off, U	kg	2,03E-10
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER} market for Cut-off, U	kg	5,80E-10
Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state {GLO} market for Cut-off, U	kg	3,98E-06
Iron sulfate {RER} market for iron sulfate Cut-off, U	kg	2,89E-06
Municipal waste incineration facility {CH} construction Cut-off, U	p	1,71E-13
Process-specific burdens, municipal waste incineration {CH} processing Cut-off, U	kg	0,00068459
Process-specific burdens, residual material landfill {CH} processing Cut-off, U	kg	2,88E-06
process-specific burdens, sanitary landfill {CH} process-specific burdens, sanitary landfill Cut-off, U	kg	1
Process-specific burdens, slag landfill {CH} processing Cut-off, U	kg	1,23E-05
Quicklime, milled, packed {RER} market for quicklime, milled, packed Cut-off, U	kg	3,30E-09
Sanitary landfill facility {CH} construction Cut-off, U	p	5,56E-10
Sewer grid, 5E9l/year, 110 km {CH} construction Cut-off, U	km	1,42E-11
Slag landfill {CH} construction Cut-off, U	p	2,18E-14
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for Cut-off, U	kg	1,82E-08
Titanium dioxide {RER} market for Cut-off, U	kg	9,93E-09
Wastewater treatment facility, capacity 5E9l/year {CH} construction Cut-off, U	p	1,42E-11
Electricity/heat		
Electricity, for reuse in municipal waste incineration only {CH} market for Cut-off, U	kWh	9,84E-05
Electricity, low voltage {CH} market for Cut-off, U	kWh	0,00192573
Heat, central or small-scale, other than natural gas {CH} market for Cut-off, U	MJ	4,38E-05
Heat, district or industrial, natural gas {CH} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	MJ	5,91E-05
Heat, for reuse in municipal waste incineration only {CH} market for Cut-off, U	MJ	5,74E-04

Tableau 33 Composition du processus de déchets bois selon les modules Ecoinvent de gestion des déchets pour 1 kg de bois mis en décharge

7.1.2 Emissions associées à la mise en décharge des déchets bois

Output	Unit	Value
Emissions to air		
Aluminium	low. pop.	kg 7,91E-12
Arsenic	low. pop.	kg 1,06E-10
Cadmium	low. pop.	kg 2,35E-11
Calcium	low. pop.	kg 4,26E-10
Carbon dioxide, biogenic	low. pop.	kg 1,19E-01
Carbon monoxide, biogenic	low. pop.	kg 8,49E-06
Chromium	low. pop.	kg 1,87E-13
Cobalt	low. pop.	kg 6,97E-13
Copper	low. pop.	kg 5,80E-13
Hydrogen chloride	low. pop.	kg 1,20E-06
Hydrogen fluoride	low. pop.	kg 8,41E-07

Iron	low. pop.	kg	5,32E-12
Lead	low. pop.	kg	5,47E-12
Magnesium	low. pop.	kg	3,05E-09
Manganese	low. pop.	kg	1,52E-09
Mercury	low. pop.	kg	8,76E-10
Methane, biogenic	low. pop.	kg	8,72E-03
Molybdenum	low. pop.	kg	2,19E-12
Nickel	low. pop.	kg	8,08E-13
Nitrogen oxides	low. pop.	kg	9,48E-08
NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	low. pop.	kg	1,61E-07
Particulates, < 2.5 um	low. pop.	kg	2,85E-06
Potassium	low. pop.	kg	1,20E-09
Sodium	low. pop.	kg	1,46E-09
Sulfur dioxide	low. pop.	kg	1,64E-06
Zinc	low. pop.	kg	1,87E-11
Aluminium	high. pop.	kg	2,39E-10
Ammonia	high. pop.	kg	2,20E-07
Arsenic	high. pop.	kg	2,13E-12
Boron	high. pop.	kg	8,39E-08
Cadmium	high. pop.	kg	9,65E-14
Calcium	high. pop.	kg	2,79E-10
Carbon dioxide, biogenic	high. pop.	kg	3,36E-03
Carbon monoxide, biogenic	high. pop.	kg	2,15E-06
Copper	high. pop.	kg	1,11E-14
Cyanide	high. pop.	kg	6,19E-09
Dinitrogen monoxide	high. pop.	kg	6,07E-07
Iron	high. pop.	kg	8,12E-11
Lead	high. pop.	kg	5,43E-13
Magnesium	high. pop.	kg	1,65E-09
Manganese	high. pop.	kg	1,63E-14
Methane, biogenic	high. pop.	kg	6,57E-06
Molybdenum	high. pop.	kg	8,62E-12
Nitrogen oxides	high. pop.	kg	2,15E-06
NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	high. pop.	kg	2,99E-08
Phosphorus	high. pop.	kg	0,00E+00
Zinc	high. pop.	kg	9,52E-13
Emissions to water			
Aluminium	groundwater, long-term	kg	6,41E-06
Ammonium, ion	groundwater, long-term	kg	3,02E-04
Arsenic	groundwater, long-term	kg	4,15E-07
BOD5 (Biological Oxygen Demand)	groundwater, long-term	kg	2,40E-02
Boron	groundwater, long-term	kg	1,15E-06
Cadmium	groundwater, long-term	kg	1,97E-07
Calcium	groundwater, long-term	kg	1,29E-04
Chloride	groundwater, long-term	kg	2,46E-04
Chromium VI	groundwater, long-term	kg	3,02E-09
Cobalt	groundwater, long-term	kg	8,52E-08
COD (Chemical Oxygen Demand)	groundwater, long-term	kg	1,01E-01
Copper	groundwater, long-term	kg	4,15E-06
DOC, Dissolved Organic Carbon	groundwater, long-term	kg	9,26E-02

Fluoride	groundwater, long-term	kg	2,02E-05
Hydrogen sulfide	groundwater, long-term	kg	8,74E-06
Iron	groundwater, long-term	kg	2,22E-06
Lead	groundwater, long-term	kg	2,79E-05
Magnesium	groundwater, long-term	kg	1,86E-04
Manganese	groundwater, long-term	kg	4,86E-05
Mercury	groundwater, long-term	kg	3,17E-07
Molybdenum	groundwater, long-term	kg	3,28E-07
Nickel	groundwater, long-term	kg	5,54E-07
Nitrate	groundwater, long-term	kg	3,20E-05
Nitrite	groundwater, long-term	kg	1,64E-05
Nitrogen, organic bound	groundwater, long-term	kg	4,93E-04
Phosphate	groundwater, long-term	kg	2,29E-06
Potassium	groundwater, long-term	kg	6,06E-05
Sodium	groundwater, long-term	kg	8,25E-06
Sulfate	groundwater, long-term	kg	3,35E-04
TOC, Total Organic Carbon	groundwater, long-term	kg	9,26E-02
Zinc	groundwater, long-term	kg	1,46E-05
Aluminium	river	kg	1,91E-09
Ammonium, ion	river	kg	1,19E-04
Arsenic	river	kg	6,68E-09
BOD5 (Biological Oxygen Demand)	river	kg	2,32E-04
Boron	river	kg	8,30E-07
Cadmium	river	kg	1,79E-09
Calcium	river	kg	1,54E-06
Chromium	river	kg	1,18E-12
Chromium VI	river	kg	3,93E-10
Cobalt	river	kg	1,42E-09
COD (Chemical Oxygen Demand)	river	kg	7,37E-04
Copper	river	kg	5,27E-10
DOC, Dissolved Organic Carbon	river	kg	1,79E-04
Iron	river	kg	1,16E-08
Lead	river	kg	1,80E-09
Magnesium	river	kg	1,10E-05
Manganese	river	kg	3,09E-06
Mercury	river	kg	6,93E-10
Molybdenum	river	kg	5,18E-09
Nickel	river	kg	1,96E-09
Nitrate	river	kg	4,35E-04
Nitrite	river	kg	2,51E-06
Nitrogen, atmospheric	river	kg	3,24E-06
Phosphate	river	kg	6,57E-07
TOC, Total Organic Carbon	river	kg	1,87E-04
Zinc	river	kg	2,61E-08
Chloride	river	kg	8,59E-05
Fluoride	river	kg	1,55E-07
Potassium	river	kg	4,78E-06
Sodium	river	kg	5,82E-06
Sulfate	river	kg	1,68E-05

Tableau 34 Emissions liées à la mise en décharge de 1kg de déchets bois selon le module Ecoinvent de gestion des déchets par mise en décharge et un taux de dégradation de 10% à horizon 100 ans (Towprayoon et al., 2019)

Entreprises des filières forêt-bois et ameublement

FCBA et ses équipes d'experts accompagnent les entreprises des filières forêt-bois et ameublement dans l'amélioration de leur compétitivité sur leur marché

L'Institut met à disposition des entreprises le savoir-faire de ses ingénieurs et techniciens et la technologie de ses laboratoires, accompagne les professionnels dans la normalisation, l'amélioration de la qualité de leurs produits et les aide à intégrer les innovations technologiques. FCBA vous propose des services de veille adaptés à vos marchés et accélère le transfert des avancées technologiques issues de la recherche et développement.

Conception et innovation

Concevoir et construire avec le bois, respecter les normes et la réglementation. Pour l'ameublement, concevoir par l'usage et proposer des matériaux innovants avec le centre de ressources INNOVATHEQUE.

R & D Usines du futur

Être le porteur de l'innovation technologique pour permettre le développement des entreprises.

Organisme de formation

Développer votre savoir-faire et vos compétences avec nos formations catalogue ou sur-mesure.

Bureau de normalisation

Animer et coordonner les travaux de normalisation du bois et des produits dérivés du bois et de l'ameublement.

Organisme certificateur

Marquage CE/RPC, CTB, NF, OFG, PEFC, FSC...

Laboratoires spécialisés

Chimie, physique, mécanique, biologie, finition, feu, biosourcés, matériaux...



INSTITUT
TECHNOLOGIQUE

Pour nous rejoindre

SIÈGE SOCIAL

10, rue Galilée
77420 Champs-sur-Mame
+33 (0)1 72 84 97 84

BORDEAUX

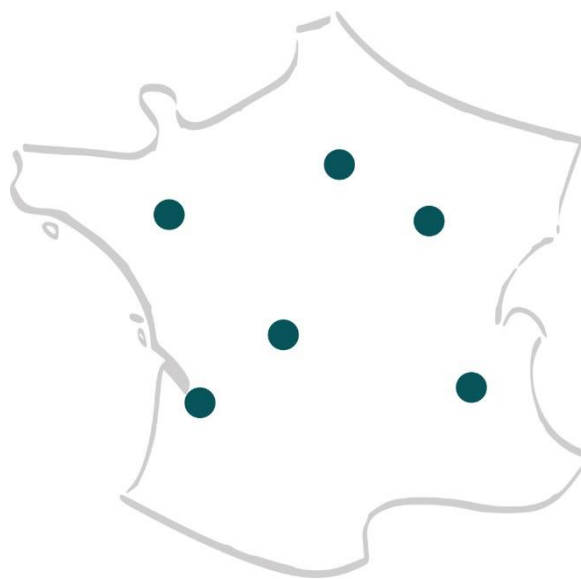
Allée de Boutaut - BP227
33028 Bordeaux Cedex
+33 (0)5 56 43 63 00

GRENOBLE

Domaine Universitaire
CS 90251
38044 Grenoble Cedex 9
+33 (0)4 56 85 25 30

CESTAS-PIERROTON

71, route d'Arcachon
33610 Cestas
+33 (0)5 56 79 95 00



NANTES

15, boulevard Léon Bureau
44200 Nantes
+33 (0)6 80 34 38 63

CHARREY-SUR-SAÔNE

60, route de Bonnencontre
21170 Charrey-sur-Saône
+33 (0)3 80 36 36 20

VERNEUIL-SUR-VIENNE

Domaine des Vaseix
87430 Verneuil-sur-Vienne
+33 (0)5 55 48 48 10



fcba.fr



Grenoble, le 13/12/2022

N/Réf. : DEE/ENV - 22.243



Rapport de revue critique

**Gestion des déchets de produits
de construction bois en fin de vie :
Modélisation ACV de la gestion des
déchets bois de classes BR1 et BR2
en France métropolitaine**

Etude FCBA

Pierre RAVEL

13/12/2022

Ce document comprend 8 pages + annexe Excel des commentaires de revue critique

Centre Scientifique et technique du bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA
ANTIPOLIS

Déclaration de revue critique

1. Description du travail ayant fait l'objet de la revue critique

Tableau 1 : Principales caractéristiques du travail ayant fait l'objet de la revue critique, et de la revue critique

Commanditaire de l'étude ACV	Comité professionnel du développement des industries françaises de l'Ameublement et du bois (CODIFAB) Et France Bois Forêt (FBF)
Auteurs de l'étude	FCBA
Processus étudié	Gestion des déchets de produits de construction bois en fin de vie : Modélisation ACV de la gestion des déchets bois de classes BR1 et BR2 en France métropolitaine
Périmètre de l'étude et utilisation	<p>Modules d'informations de l'étape de fin de vie selon NF EN 15804+A2 - Octobre 2019 C2, transport jusqu'au traitement des déchets ; C3, traitement des déchets en vue de leur réutilisation, récupération et/ou recyclage ; C4, élimination</p> <p>Et module D, Bénéfices et charges au-delà des frontières du système. Selon le cas de figure, adaptation du module D moyennant des calculs complémentaires et des données disponibles auprès de FCBA.</p> <p>Ce scénario de fin de vie des déchets bois faisant l'objet de cette revue critique est destiné à être utilisé pour les déchets bois, collectés en France métropolitaine, issus des étapes d'installation (A5), d'utilisation (B) et de fin de vie (C) selon NF EN 15804+A2 - Octobre 2019. Le scénario n'est pas adapté à la modélisation des éléments auxiliaires de type quincaillerie, verre, etc.</p> <p>L'utilisation de ce scénario est recommandée pour les produits bois en fin de vie (BR1 et BR2). Pour les produits bois pour lesquels il existe d'autres directives quant à leur fin de vie (dans le cadre de PCR (règles de catégorie de produits - product category rules) comme pour les</p>

Centre Scientifique et technique du bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA
ANTIPOLIS

	fenêtres par exemple), le choix de l'utilisation du scénario de fin de vie CODIFAB ou d'un document alternatif doit être basé sur la pertinence du scénario (représentativité géographique technologique de chaque scénario).
Unité déclarée et flux de référence associé	« Collecter (hors module de déconstruction des produits), trier, éliminer, recycler et/ou valoriser 1 tonne de déchets bois, de classe BR1 et BR2, à 20% d'humidité sur base sèche, issus des chantiers de construction ou de démolition selon un scénario moyen valable en France métropolitaine ». Le flux de référence associé est la tonne de déchets bois à 20% d'humidité sur base sèche (soit 0,2 kg d'eau pour 1 kg de matière sèche dans les déchets bois).
Norme et critères appliqués lors de la revue critique	NF EN ISO 14040 Octobre 2006 NF EN ISO 14044 Octobre 2006 XP ISO/TS 14071 Octobre 2014
Règle de catégorie de produits	NF EN 15804 A2 Octobre 2019
Etude comparative	L'étude intègre des comparaisons des résultats obtenus entre le scénario 2012 et 2022, et des scénarios hypothétiques : <ul style="list-style-type: none"> - Un scénario de fin de vie basé exclusivement sur la valorisation en cimenterie (ci-après intitulé « 100%_Cimenterie ») ; - Un scénario de fin de vie basé exclusivement sur la valorisation énergétique (ci-après intitulé « 100%_Valorisation énergétique ») ; - Un scénario de fin de vie basé exclusivement sur la mise en décharge (ci-après intitulé « 100%_Mise en décharge ») ; - Un scénario de fin de vie basé exclusivement sur le recyclage (ci-après intitulé « 100%_Recyclage »).
Publication prévue	Oui
Volume de la documentation fournie pour la revue	Rapport détaillé 65 pages et sa synthèse 12 pages intitulés « GDBAT : Gestion des déchets de produits de construction bois en fin de vie Phase 2 : Modélisation ACV de la gestion des déchets

Centre Scientifique et technique du bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA
ANTIPOLIS

	<p>Version et date : « Année publication : 12 2022 Version 1 »</p> <p>Tableur méthode de caractérisation</p> <p>Tableur processus significatifs 80% cumulés de C2à C4 et D sur les indicateurs suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Changement climatique - Déchets non dangereux éliminés - Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) <p>Etude sensibilité clinker</p> <p>Liste des paramètres de modélisation</p>
Logiciels utilisés pour les calculs	SimaPro v 9.3, développé par Pré Consultants.
Base de données d'arrière plan	Les données secondaires proviennent principalement de la base de données Ecoinvent dans sa version « cut-off », v.3.8. L'ensemble des données répond à l'exigence de « millésime » inférieur à 10 ans.
Données de premier plan	<p>Les données primaires sont principalement issues :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De la collecte de données réalisée dans le cadre de l'étude GDBAT Phase 1 (FCBA et al., 2022), FCBA, Xerfi Specific, CODIFAB, & France Bois Forêt. (2022). Gestion des Déchets Bois du Bâtiment Phase 1 : Devenir des déchets bois issus de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment - GDBAT. CODIFAB, France Bois Forêt » est public. Ce rapport est disponible sur le site du CODIFAB https://www.codifab.fr/actions-collectives/gisement-et-devenir-des-dechets-bois-issus-de-la-construction-neuve-de-la-demolition-et-de-la-renovation-du-batiment (cette partie n'a pas fait l'objet de la présente Revue Critique) - De la collecte de données réalisée auprès des industriels fabricants de panneaux de particules et base de données FCBA La modélisation des rondins (production en forêt, abattage,

Centre Scientifique et technique du bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

	débardage) est issue de la base de données « ressources forestières » de FCBA (Cornillier et al., 2013).
Représentative des données de premier plan et d'arrière plan	<ul style="list-style-type: none"> - Représentativité géographique : données valables pour la collecte des déchets et la fabrication de panneaux de particules en France ; - Représentativité temporelle : données collectées pour l'année de référence 2019 ; - Représentativité technologique : détaillée dans le rapport de projet « FCBA, CODIFAB, & France Bois Forêt. (2022). Gestion des Déchets Bois du Bâtiment Phase 2 : Modélisation ACV de la gestion des déchets bois de classes BR1 et BR2 - GDBAT. CODIFAB, France Bois Forêt »
Fourniture des données d'inventaire pour la revue	Documentée dans le rapport et dans le modèle SimaPro
Évaluation de l'impact du cycle de vie	<p>NF EN 15804 A2 Octobre 2019</p> <p>« EN 15804 +A2 Method » v1.02, disponible dans Simapro et éditée par Pré Consultants.</p> <p>Cette méthode a cependant été modifiée par FCBA afin de prendre en compte quelques ajouts et correctifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les indicateurs décrivant l'utilisation des ressources, les catégories de déchets et les flux sortants ont été ajoutés, - Les facteurs de caractérisation pour les flux de méthane et monoxyde de carbone d'origine biogénique sont été harmonisés entre les catégories : « climate change » et « climate change – biogenic ». Les facteurs de caractérisation disponibles pour la catégorie « climate change » ont été utilisés. - Des flux de minéraux ont été ajoutés (« clay », « gravel », « sand ») dans la catégorie d'impacts "resource use, minerals and metals". Les facteurs de caractérisation proviennent du complément national (AFNOR, 2016)

Centre Scientifique et technique du bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

Type de revue	La revue critique s'est déroulée à l'issue de l'étude
Période de revue et processus	Juillet 2022 à décembre 2022 Intégrant 3 itérations entre le praticien et les auteurs de l'étude et deux réunions en visioconférence
Praticien de revue critique	Pierre RAVEL ingénieur R&D dans la direction « Energie & Environnement » du CSTB, expert ACV, praticien et vérificateur de FDES

2. Processus de revue critique :

Le processus de revue critique a été réalisé conformément aux normes NF EN ISO 14040 | Octobre 2006 Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre, NF EN ISO 14044 | Octobre 2006 Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices, et à la spécification technique XP ISO/TS 14071 | Octobre 2014 Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Processus de revue critique et compétences des vérificateurs : exigences et lignes directrices supplémentaires à l'ISO 14044:2006

La revue critique s'est déroulée à l'issue de l'étude. Elle a donné lieu à des modifications et des évolutions de celui-ci.

L'ACV a été examinée en fonction des cinq aspects suivants définis dans la norme ISO 14040. Il s'agit d'évaluer si :

- les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont conformes à la présente norme internationale,
- les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont scientifiquement et techniquement valides,
- les données utilisées sont appropriées et raisonnables par rapport à l'objectif de l'étude,
- les interprétations reflètent les limites identifiées et l'objectif de l'étude, et
- le rapport d'étude est transparent et cohérent »

La revue comporte une évaluation du modèle ACV et de l'ICV, des méthodes de caractérisation des impacts et de l'interprétation.

Les discussions, commentaires et recommandations ont été réalisés sur le modèle de rapport de revue critique de la norme XP ISO/TS 14071.

Une liste détaillée de commentaires et de recommandations a été fournie dans le cadre d'un premier retour d'information sur le travail présenté. Ce premier retour du praticien de revue n'a été fourni qu'aux auteurs de l'étude. Il a été utilisé pour améliorer l'étude et n'est pas destiné à être publié.

Le rapport de revue critique est basé sur l'étude révisée et les réponses fournies par les auteurs aux commentaires détaillés. Il contient un résumé des conclusions de la revue critique et pourra être publié avec la documentation de l'étude ou sa synthèse.

Centre Scientifique et technique du bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA
ANTIPOLIS

3. Rapport de revue critique

a. Cohérence des méthodes avec les normes ACV ISO

L'unité déclarée et le flux de référence sont considérés comme appropriés pour l'objectif et l'utilisation de cette étude.

b. Validité scientifique et technique des méthodes appliquées

De manière générale le modèle d'inventaire établi est scientifiquement et techniquement valide.

c. Evaluation de l'interprétation au regard des limites de l'étude, de son objectif et de périmètre

L'interprétation reste limitée et aurait pu être plus discutée notamment sur la partie limite de l'étude ou ses faiblesses.

d. Transparence et cohérence du rapport d'étude

Toutes les informations pertinentes ont pu être trouvées dans le rapport en terme de transparence et de traçabilité. Le rapport est bien structuré et lisible, il reste toutefois un peu complexe à appréhender. Le rapport est cohérent. La mise à disposition d'une synthèse est un vrai plus pour en faciliter sa compréhension et son exploitation.

e. Résumé de la revue critique :

L'ensemble des commentaires émis lors de la revue critique ont été traités. L'évolution du rapport et de l'étude aura permis une meilleure compréhension du document, notamment via une explicitation améliorée des objectifs de l'étude, du périmètre pris en compte et de la nature des déchets couverts, des possibilités d'utilisation des résultats de l'étude. Une amélioration notable de la traçabilité des sources de données exploitées, des hypothèses de calculs et de l'évaluation la qualité des données est également à signaler.

L'étude est de bonne qualité et bien documentée. Le travail de collecte des données a été important. On peut souligner les efforts des auteurs de l'étude pour l'intégration de données spécifiques concernant les processus mobilisés dans la modélisation.

Certaines données exploitées commencent à dater et mériteraient toutefois un contrôle de leur validité. L'interprétation reste limitée et aurait pu être plus discutée notamment sur la partie limite de l'étude ou ses faiblesses.

f. Conclusion de la revue critique :

Monsieur Pierre RAVEL atteste :

Centre Scientifique et technique du bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA
ANTIPOLIS

- Avoir exercé sa mission en toute indépendance et n'être employé ni à temps plein ni à temps partiel par le commanditaire ou le réalisateur de l'étude ACV, ne pas avoir été impliqué dans la définition du champs de l'étude, ni dans l'exécution de l'une des quelconques tâches liées à la réalisation de l'ACV, ne pas avoir d'intérêts personnels financiers, politiques ou autres liés aux résultats de l'études,
- Ne pas avoir identifié d'écart significatif aux exigences des normes ISO 14040 octobre 2006 et ISO 14044 octobre 2006 et des normes NF EN 15804 A2 octobre 2019 et NF EN 15804 A2/CN octobre 2022,
- Que les données et les informations environnementales figurant dans l'étude susvisée sont plausibles, le propriétaire de l'étude reste responsable de son intégrité.

Monsieur Pierre RAVEL ne saurait être tenu pour responsable d'une mauvaise utilisation ou d'une utilisation erronée de cette étude.

Le 13/12/2022

Pierre RAVEL

Pierre RAVEL

4. Annexe : commentaires détaillés de revue critique

Se référer au fichier Excel.

Centre Scientifique et technique du bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA
ANTIPOLIS