

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

CODIFAB

comité professionnel de développement
des industries françaises de l'ameublement et du bois



Juillet 2019

Étude prospective : Évolution de la demande finale du bois dans la construction, la rénovation et l'aménagement des bâtiments

le **B**APE



**Partie 4 relative à l'évaluation des perspectives
d'amélioration de la performance environnementale du
secteur du bâtiment, neuf et existant, permises par l'emploi
de solutions en bois ou utilisant du bois**

Auteur(s) - FCBA	Version	Date
Estelle Vial Romain Radziminski	1.4	04/07/2019
Relecteur - FCBA		Date
Gérard DEROUBAIX		04/07/2019

Table des matières

1	INTRODUCTION	11
2	BASES DE CALCUL	13
2.1	ROLE DE LA FORET ET DES PRODUITS BOIS DANS L'ATTENUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	13
2.1.1	CONTENU EN CARBONE BIOGENIQUE DES PRODUITS BOIS	13
2.1.2	CONTENU ENERGETIQUE DES PRODUITS BOIS	14
2.2	CONSOLIDATION DES FLUX DE PRODUITS BOIS	14
2.2.1	CONSOLIDATION DES FLUX	14
2.2.2	CONVERSION D'UNITE ET EXTRAPOLATION	22
3	STOCKAGE – HYPOTHESES ET METHODES DE CALCUL	24
3.1	SEQUESTRATION ET STOCKAGE CARBONE	24
3.2	ESTIMATION DES STOCKS DE CARBONE DANS LES PRODUITS BOIS	24
3.2.1	ESTIMATION DE L'EVOLUTION DES STOCKS DE CARBONE	25
3.2.2	COEFFICIENTS DE DEMI-VIE	25
3.2.3	ANALYSE DE SENSIBILITE : GESTION DES IMPORTS	26
3.3	IMPACT SUR LE STOCK DE CARBONE EN FORET	31
4	SUBSTITUTION – HYPOTHESES ET METHODES DE CALCUL	33
4.1	SUBSTITUTION MATERIAUX ET ENERGIE	33
4.2	EVALUATION DES EFFETS DE SUBSTITUTION	33
4.2.1	METHODOLOGIE GENERALE	33
4.2.2	PRODUITS CONCURRENTS ET EVALUATION DU MARCHÉ	35
4.2.3	CALCUL DES COEFFICIENTS DE SUBSTITUTION	42
4.2.4	COMPILATION DES COEFFICIENTS DE SUBSTITUTION ET DES FLUX DE PRODUITS	45
4.2.5	ETUDES DE SENSIBILITE FDES	46
5	RESULTATS ET ANALYSES	51
5.1	STOCK DE L'ETUDE - RESULTATS ET ANALYSES	51
5.1.1	RESULTATS FINAUX – COMPARAISON DES SCENARIOS	51
5.1.2	SCENARIO TENDANCIEL	59
5.1.3	SCENARIO VOLONTARISTE	62
5.1.4	SCENARIO ALTERNATIF	65
5.1.5	SCENARIO OBJECTIF NEUTRALITE CARBONE	68
5.2	SUBSTITUTION MATERIAU - RESULTATS ET ANALYSE	72
5.2.1	SUBSTITUTION MATERIAU - GAZ A EFFET DE SERRE (GES)	72
5.2.2	SUBSTITUTION MATERIAU - INDICATEUR DE CONSOMMATION D'ENERGIE NON RENOUVELABLE	77
5.3	SUBSTITUTION - SENSIBILITE - UTILISATION DES COEFFICIENTS « LABEL E+/C- »	82
5.3.1	SENSIBILITE -SUBSTITUTION MATERIAU - GAZ A EFFET DE SERRE (GES)	82
5.3.1	SENSIBILITE - SUBSTITUTION MATERIAU - INDICATEUR DE CONSOMMATION D'ENERGIE NON RENOUVELABLE	86
5.4	RESULTATS CUMULES	91
6	CONCLUSIONS	97
7	BIBLIOGRAPHIE	99

8	ANNEXES	100
8.1	PARAMETRAGE DE LA BASE DE DONNEES DE CALCULS DE SUBSTITUTION	100
8.2	MODELISATION DE LA SUBSTITUTION DU PLANCHER	111
8.2.1	ETABLISSEMENT DU COEFFICIENT D'EQUIVALENCE	111
8.2.2	INVENTAIRE DE CYCLE DE VIE (ICV) DU PLANCHER BOIS	113
8.2.3	INVENTAIRE DE CYCLE DE VIE DU PLANCHER EN BETON	115
8.3	MODELISATION DE LA SUBSTITUTION DU CLT	116
8.3.1	ETABLISSEMENT DU COEFFICIENT D'EQUIVALENCE	116
8.3.2	INVENTAIRE DE CYCLE DE VIE DU CLT	116
8.3.3	INVENTAIRE DE CYCLE DE VIE DE LA PAROI PORTEUSE EN BETON	118
8.4	MODELISATION DE LA SUBSTITUTION DU SYSTEME CONSTRUCTIF MIXTE BOIS BETON	119
8.4.1	ETABLISSEMENT DU COEFFICIENT D'EQUIVALENCE	119
8.4.2	INVENTAIRE DE CYCLE DE VIE DU PLANCHER MIXTE BOIS BETON	121
8.4.3	INVENTAIRE DE CYCLE DE VIE DU PLANCHER BETON	121
8.5	COEFFICIENTS DE SUBSTITUTION UTILISES DANS CETTE ETUDE	122
8.6	QUANTITE D'ENERGIE POTENTIELLE GENeree PAR LES DIFFERENTS SCENARIOS	132
8.6.1	CONNEXES DE SCIERIE	132
8.6.1	CONNEXE DE SECONDE TRANSFORMATION	139
8.6.1	PRODUITS EN FIN DE VIE	144
8.7	DETAIL DES IMPACTS DE LA SUBSTITUTION ENTRE PRODUCTION ET FIN DE VIE	145
8.7.1	SUBSTITUTION MATERIAU - GES	145
8.7.2	SUBSTITUTION MATERIAU - CONSOMMATION D'ENERGIE NON RENOUVELABLE	146

FIGURES

Figure 1 - Schéma – Séquestration et stockage carbone	24
Figure 2 - Schéma – Substitution matériaux et énergie	33
Figure 3 - Coefficients de substitution pour les émissions de GES pour 2050	44
Figure 4 - Comparaison des coefficients de substitution obtenus à partir des FDES avec les coefficients des projets FORMIT/GESFOR (module A-D).....	50
Figure 5 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs absolues.....	51
Figure 6 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles.....	52
Figure 7 - Stock carbone de l'étude - Scénario Tendancier - 2050 - Production nationale vs imports	57
Figure 8 - Stock carbone de l'étude - Scénario Volontariste - 2050 - Production nationale vs imports	57
Figure 9 - Stock carbone de l'étude - Scénario Alternatif - 2050 - Production nationale vs imports	58
Figure 10 - Stock carbone de l'étude - Scénario ONC - 2050 - Production nationale vs imports	58
Figure 11 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Tendancier – Contribution par familles	61
Figure 12 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Tendancier - Contribution supérieure à 2%.....	61
Figure 13 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Volontariste – Contribution par familles	64
Figure 14 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Volontariste - Contribution supérieure à 2%.....	64
Figure 15 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Alternatif – Contribution par familles	67
Figure 16 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Alternatif - Contribution supérieure à 2%.....	67
Figure 17 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario ONC – Contribution par familles....	70
Figure 18 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario ONC - Contribution supérieure à 2%	70
Figure 19 - Substitution matériau - GES- Comparaisons scénarios - Valeurs différentielles .	72
Figure 20 - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario Volontariste vs Tendancier.....	75
Figure 21 - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario Alternatif vs Tendancier	75
Figure 22 - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario ONC vs Tendancier	76

<i>Figure 23 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles</i>	77
<i>Figure 24 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - 2050 - Scénario Volontariste vs Tendanciel</i>	80
<i>Figure 25 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - 2050 - Scénario Alternatif vs Tendanciel</i>	80
<i>Figure 26 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - 2050 - Scénario ONC vs Tendanciel</i>	81
<i>Figure 27 – Sensibilité – Substitution matériau - GES - Comparaisons scénarios - Valeurs différentielles - Coefficients « label E+/C- »</i>	82
<i>Figure 28 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario Volontariste vs Tendanciel</i>	85
<i>Figure 29 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario Alternatif vs Tendanciel</i>	85
<i>Figure 30 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario ONC vs Tendanciel</i> .	86
<i>Figure 31 - Sensibilité- Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles</i>	87
<i>Figure 32 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - 2050 - Scénario Volontariste vs Tendanciel</i>	89
<i>Figure 33 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - 2050 - Scénario Alternatif vs Tendanciel</i>	89
<i>Figure 34 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - 2050 - Scénario ONC vs Tendanciel</i>	90
<i>Figure 35 - Résultats cumulés – Stock de l'étude et substitution matériau GES - Comparaison scénarios</i>	91
<i>Figure 36 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario Volontariste vs Tendanciel</i>	93
<i>Figure 37 - Résultats cumulés – Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario Alternatif vs Tendanciel</i>	93
<i>Figure 38 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario ONC vs Tendanciel</i>	94
<i>Figure 39 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario Volontariste vs Tendanciel – Hors imports pour stock de l'étude - Mt CO₂ éq</i>	95
<i>Figure 40 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario Alternatif vs Tendanciel – Hors imports pour stock de l'étude - Mt CO₂ éq</i>	96
<i>Figure 41 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario ONC vs Tendanciel – Hors imports pour stock de l'étude - Mt CO₂ éq</i>	96

Figure 42 - Substitution carbone - Comparaisons scénarios - Valeurs différentielles - Phase de production 145

Figure 43 - Substitution carbone - Comparaisons scénarios - Valeurs différentielles - Phase de fin de vie..... 146

Figure 44 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles - Phase de production 147

Figure 45 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios – Valeurs différentielles - Phase de fin de vie 147

TABLEAUX

Tableau 1 – Flux - Catégorisation et découpage des flux de produits.....	15
Tableau 2 - Flux - Masses volumiques utilisées.....	22
Tableau 3 - Exemple - Produit CLT - Conversion d'unité et évolution annuelle.....	23
Tableau 4 - Stockage - Temps de demi-vie utilisés	26
Tableau 5 – Stock carbone de l'étude – Taux d'imports des produits étudiés.....	27
Tableau 6 - Exemple - Produit CLT – Stock carbone de l'étude – Scénario Alternatif.....	31
Tableau 7 - Substitution - Produits concurrents et parts de marché associées	36
Tableau 8 - Exemple - Produit « Ossature bois – Parois porteuses de façades - Bois » – Substitution – Coefficients et pondération marché.....	43
Tableau 9 - Exemple - Produit « CLT » – Substitution carbone	46
Tableau 10 - Comparaison des coefficients de substitution obtenus à partir des FDES avec les coefficients des projets FORMIT/GESFOR.....	48
Tableau 11 – Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs absolues	52
Tableau 12 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles	52
Tableau 13 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs absolues et contribution par familles de produits	54
Tableau 14 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs absolues – Production nationale et imports	56
Tableau 15 - Stock carbone de l'étude – Scénario Tendancier - Valeurs absolues et contribution par familles de produits – 2020 / 2035 / 2050.....	60
Tableau 16 - Stock carbone de l'étude – Scénario Volontariste - Valeurs absolues et contribution par familles de produits – 2020 / 2035 / 2050.....	63
Tableau 17 - Stock carbone de l'étude – Scénario Alternatif - Valeurs absolues et contribution par familles de produits – 2020 / 2035 / 2050.....	66
Tableau 18 - Stock carbone de l'étude – Scénario ONC - Valeurs absolues et contribution par familles de produits – 2020 / 2035 / 2050.....	69
Tableau 19 - Substitution matériau - GES - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles	73
Tableau 20 - Substitution matériau - GES – Valeurs différentielles par rapport au scénario Tendancier – Horizon 2050 et contribution par familles.....	74
Tableau 21 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles.....	77
Tableau 22 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Valeurs différentielles par rapport au scénario Tendancier - Horizon 2050 et contribution par familles	79

<i>Tableau 23 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles</i>	83
<i>Tableau 24 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - Valeurs différentielles - Horizon 2050 et contribution par familles - Coefficients label E+/C-</i>	84
<i>Tableau 25 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles</i>	87
<i>Tableau 26 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Valeurs différentielles– Horizon 2050 et contribution par familles – Coefficients label E+/C-</i> 88	
<i>Tableau 27 - Résultats cumulés- Stock de l'étude et effets de substitution - GES- Comparaison scénarios - Valeurs différentielles vs Tendancier – Mt CO₂ éq.</i>	92
<i>Tableau 28 - Résultats cumulés- Stock carbone de l'étude et effets de substitution - GES- Comparaison scénarios - Valeurs différentielles vs Tendancier – Hors imports pour stock de l'étude - Mt CO₂ éq.</i>	95
<i>Tableau 29 - Liste des paramètres et valeurs associées de la base de données sur la substitution</i>	101
<i>Tableau 30 - Description des planchers bois et concurrents pour un plancher de maison individuelle</i>	111
<i>Tableau 31 - Description des planchers bois et concurrents pour un plancher de bureaux.</i>	112
<i>Tableau 32 - Composition d'une pré-dalle</i>	112
<i>Tableau 33 - Données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) pour la fabrication d'1 m² de plancher bois</i>	114
<i>Tableau 34 - Données d'inventaire pour la fabrication d'1 m² de plancher béton</i>	115
<i>Tableau 35 - Description de la solution bois et de la solution béton pour le CLT</i>	116
<i>Tableau 36 - Données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) pour la fabrication d'1 m³ de CLT</i>	117
<i>Tableau 37 - Données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) d'une paroi porteuse en béton pour 1 m² de surface habitable</i>	118
<i>Tableau 38 - Description de la solution bois et de la solution béton pour le système constructif mixte bois béton</i>	120
<i>Tableau 39 - Données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) d'un plancher béton pour 1 m² de surface habitable</i>	121
<i>Tableau 40 - Ensemble des coefficients de substitution matériau utilisés dans l'étude</i>	123
<i>Tableau 41 – Coefficients de substitution GES matériau moyens par usage en 2050</i>	131
<i>Tableau 42 - Connexes de scierie produits (France et Import, par scénario et année, feuillus / résineux)</i>	133
<i>Tableau 43 - Connexes de scierie produits (France et Import, par scénario et année, total feuillus et résineux)</i>	134

<i>Tableau 44 – Connexes de scierie utilisés en énergie (France et Import, par scénario et année, total feuillus et résineux).....</i>	<i>135</i>
<i>Tableau 45 - Connexes de scierie produits (France, par scénario et année, feuillus / résineux)</i>	<i>136</i>
<i>Tableau 46 - Connexes de scierie produits (France, par scénario et année, total feuillus et résineux)</i>	<i>137</i>
<i>Tableau 47 - Connexes de scierie utilisés en énergie (France et Import, par scénario et année, total feuillus et résineux).....</i>	<i>138</i>
<i>Tableau 48 - Connexes de seconde transformation issus de sciages (France et Import, par scénario et année, feuillus / résineux)</i>	<i>140</i>
<i>Tableau 49 - Connexes de seconde transformation issus de sciages (France et Import, par scénario et année, total feuillus et résineux).....</i>	<i>141</i>
<i>Tableau 50 - Connexes de seconde transformation issus de panneaux (France et Import, par scénario et année).....</i>	<i>142</i>
<i>Tableau 51 - Connexes de seconde transformation issus de panneaux et de sciages (France et Import, par scénario et année, total sciages et panneaux).....</i>	<i>143</i>
<i>Tableau 52 - Produits en fin de vie (France et Import, par scénario et année, total sciages et panneaux)</i>	<i>144</i>

GLOSSAIRE

ACV	Analyse du Cycle de Vie
BIPE	Bureau d'Informations et de Prévisions Economiques
CIAT	Consultance, Innovation et Appui Technique du FCBA
CLT	<i>Cross Laminated Timber</i> (bois lamellé croisé)
DGEC	Direction Générale de l'Energie et du Climat
FCBA	Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement
FDES	Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire
HDF	<i>High Density Fiberboard</i> (panneau de fibres à haute densité)
ICV	Inventaire de cycle de vie
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ITE	Isolation Thermique par l'Extérieur
LDF	<i>Light Density Fiberboard</i> (panneau de fibres à basse densité)
LTECV	Loi de transition énergétique pour la croissance verte
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> (panneau de fibres à densité moyenne)
ONC	Objectif Neutralité Carbone
OSB	<i>Oriented Strand Board</i> (panneau de lamelles minces, longues et orientées)
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
PP	Panneaux de Particules
SNBC	Stratégie Nationale Bas Carbone
UFRB	Unité Fonctionnelle de Référence Bois
UTCATF	Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie
VEM-FB	Veille Economique Mutualisée de la filière Forêt-Bois

1 Introduction

Dans cette étude prospective, la phase 4 porte sur l'impact de l'emploi de solutions bois sur la performance environnementale du secteur du bâtiment.

Dans la lignée de l'accord de Paris, l'État et les acteurs de la construction se sont engagés à produire des bâtiments à énergie positive et bas carbone. La loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV (1)) votée en 2015 prévoit la mise en place d'une nouvelle réglementation liée à la consommation énergétique des bâtiments et à leur empreinte carbone.

La loi Elan votée en 2018 a fixé l'entrée en vigueur de cette nouvelle réglementation pour 2020. Une expérimentation nationale a débuté à l'automne 2016 pour tester sur le terrain l'adéquation entre niveau d'ambition environnementale, maîtrise des coûts de construction, capacité des entreprises et des équipementiers à satisfaire ces ambitions. Elle est notamment portée par le label E+/C- et son référentiel « Energie – Carbone ». En 2018, une phase de travaux techniques préparatoires et une phase de concertation ont été lancés pour finaliser les seuils et les méthodes réglementaires. L'un des groupes d'expertise a travaillé sur la prise en compte du stockage temporaire de carbone dans l'évaluation de l'empreinte carbone du bâtiment. Cette prise en compte n'est pour l'instant pas effective dans le référentiel du label E+/C-.

L'étude se place également dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) qui prévoit une augmentation de la récolte de bois (80% de l'accroissement biologique à 2050) et de la proportion du bois destinée à des produits à longue durée de vie (25% en 2015 d'utilisation du bois en matériau par rapport à l'énergie contre 50% en 2050). Ceci se traduit par une réduction du rythme d'augmentation des stocks de carbone dans les forêts mais par une forte augmentation des stocks de carbone dans les produits (augmentation des stocks de carbone dans les produits égale à 20 Mt CO₂ par an en 2050).

Dans ce contexte encore mouvant, la phase 4 s'attache à quantifier l'impact environnemental de l'augmentation d'utilisation du bois, dans le secteur du bâtiment et les secteurs de transformation qui le fournissent, à travers, d'une part, l'évolution du stock de carbone biogénique contenu dans les produits bois et d'autre part, le différentiel d'empreinte carbone entre les produits bois et les produits de matériaux concurrents, soit l'impact de substitution. L'impact sur l'évolution des stocks de carbone en forêt selon la gestion sylvicole mise en place dans les différents scénarios d'utilisation du bois dans le bâtiment n'a pas été étudié dans le cadre de cette étude.

FCBA a proposé pour cette étude l'utilisation de coefficients de substitution issus des études FORMIT et GESFOR (Valada et al., 2016) et (Vial, Cornillier, Fortin, & Martel, 2018). Un complément a été apporté pour les produits importants dont les coefficients de substitution n'avaient pas été évalués dans ces études. Une deuxième simulation a été réalisée en considérant les coefficients de substitution calculés à partir des FDES issues de la base INIES, afin d'évaluer l'impact du développement de l'utilisation du bois sur les calculs de performance environnementale du bâtiment avec les méthodologies en vigueur.

Pour rappel, seuls les produits bois dédiés au secteur de la construction et une partie de l'ameublement ont été retenus dans le cadre de cette évaluation.

Les calculs effectués sont réalisés de la manière suivante :

- Bases de calcul :
 - Flux utilisés pour chaque scénario ;
 - Contenus carbone et énergétique des produits bois.
- Méthodologie spécifique liée :

- au calcul de l'évolution du stock ;
 - aux effets de substitution.
- Sortie des résultats :
 - par scénario ;
 - en valeurs absolues et/ou différentiels ;
 - en cumulés.

Dans la phase calculatoire, une analyse par typologie de produits a également été utilisée afin d'améliorer la granulométrie des résultats présentés.

2 Bases de calcul

2.1 Rôle de la forêt et des produits bois dans l'atténuation du changement climatique

Le rôle de la forêt dans l'atténuation du changement climatique repose sur le concept des « 5S » (Picard, 2019) :

- Séquestration en forêt,
- Stockage de carbone dans les sols forestiers,
- Stockage dans les produits,
- Substitution à des énergies non renouvelables,
- Substitution à des matériaux minéraux ou fossiles.

La séquestration en forêt est réalisée par le mécanisme naturel de la photosynthèse. En effet, la forêt capte le dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère et le séquestre dans les feuilles, les branches, les troncs, les racines mais également dans le sol. Les différents modes de gestion sylvicoles impactent le niveau de séquestration du carbone dans les écosystèmes forestiers.

Les produits en bois contribuent également à la prolongation du stockage de carbone. Ce stockage peut être de l'ordre de quelques mois pour les usages type énergie mais peut atteindre des durées de plus de 100 ans pour le bois construction.

Enfin, il est également à signaler que l'utilisation du bois « en cascade », c'est-à-dire avec une première valorisation à forte valeur ajoutée puis un recyclage pour un autre usage (type panneau exemple) ou une valorisation énergétique permet d'optimiser le bilan carbone en cumulant les effets de substitution.

Cette section reprend les données de base utilisées pour effectuer l'ensemble des calculs liés au stockage dans les produits et à la substitution. Les variations de stock de carbone en forêt liées aux différents scénarios de gestion n'ont pas été évaluées dans le cadre de l'étude.

2.1.1 Contenu en carbone biogénique des produits bois

Le contenu en carbone biogénique des produits est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Contenu } CO_2 = \text{masse anhydre de bois} \times cf \times \frac{44}{12}$$

Où :

- « 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 du bois soit 49,4% ;
- « 44/12 » est le ratio des masses moléculaires entre le dioxyde de carbone (CO₂) et le carbone (C).

Les masses volumiques du bois différent entre les feuillus et les résineux. Les données utilisées sont reprises dans le Tableau 2.

Par simplification le taux d'humidité considéré pour tous les produits est de 15%¹.

¹ Masse d'eau / masse anhydre

L'unité utilisée est le kg. CO₂ éq.

2.1.2 Contenu énergétique des produits bois

Le contenu énergétique des produits est calculé selon la formule suivante :

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

Où :

- « 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.

L'unité utilisée est le MJ et l'énergie est considérée d'origine renouvelable.

2.2 Consolidation des flux de produits bois

FCBA a travaillé sur la consolidation des données fournies par le BIPE à l'issue de la phase 2 de l'étude, sur l'évolution des flux de produits à l'horizon 2020, 2035 et 2050 pour les scénarios suivants :

- Tendancier ; ce scénario correspond au prolongement des tendances constatées du marché du logement et à la stagnation des parts de marché des produits bois,
- Volontariste ; ce scénario correspond à un fort développement des produits bois avec un objectif de forte réduction de gaz à effet de serre,
- Alternatif ; ce scénario est un scénario intermédiaire entre les deux précédents,
- ONC pour Objectif Neutralité Carbone. Ce scénario correspond au scénario pour la forêt et les produits bois de la Stratégie Nationale Bas Carbone et est au-delà du scénario Volontariste en terme de développement du bois matériau.

La description détaillée des scénarios est disponible dans le livrable des phases 1 et 2 de cette étude. La terminologie utilisée a été conservée. Néanmoins, les données relatives à ces flux ne sont pas reprises dans cette partie. Pour les obtenir, il convient de se référer à la partie dédiée du livrable.

2.2.1 Consolidation des flux

La première étape a été de consolider les flux mis à disposition par le BIPE afin de pouvoir récupérer les informations suivantes :

- famille de produits ;
- ouvrage ;
- produit ;
- flux associés aux années 2015, 2020, 2035 et 2050.

Le tableau suivant reprend le découpage des flux de produits étudiés dans le cadre de cette étude.

A noter que pour les produits concernés, une distinction entre la part en bois massifs (« Bois ») et les panneaux (« Panneaux ») a été effectuée par le BIPE.

Dans ce tableau, le terme « nc » pour « non concerné » signifie que, dans les données fournies par le BIPE, les valeurs n'étaient pas renseignées. En d'autres termes, cela signifie que la colonne « Produit » est vide.

Selon la granulométrie souhaitée, les résultats peuvent être exploités par famille de produits, par ouvrage ou par produit directement.

Tableau 1 – Flux - Catégorisation et découpage des flux de produits

Type d'usage des produits bois	Famille de produits	Ouvrage	Produit	Ouvrage - Produit
Eléments de structure	Systèmes constructif	CLT	Parois porteuses de façades	CLT - Parois porteuses de façades
Eléments de structure	Systèmes constructif	CLT	Parois porteuses internes	CLT - Parois porteuses internes
Eléments de structure	Systèmes constructif	CLT	Planchers	CLT - Planchers
Eléments de structure	Systèmes constructif	Ossature bois	Parois porteuses de façades - Bois	Ossature bois - Parois porteuses de façades - Bois
Eléments de structure	Systèmes constructif	Ossature bois	Parois porteuses de façades - Panneaux	Ossature bois - Parois porteuses de façades - Panneaux
Eléments de structure	Systèmes constructif	Ossature bois	Parois porteuses internes - Bois	Ossature bois - Parois porteuses internes - Bois
Eléments de structure	Systèmes constructif	Ossature bois	Parois porteuses internes - Panneaux	Ossature bois - Parois porteuses internes - Panneaux
Eléments de structure	Systèmes constructif	Ossature bois	Planchers - Bois	Ossature bois - Planchers - Bois
Eléments de structure	Systèmes constructif	Ossature bois	Planchers - Panneaux	Ossature bois - Planchers - Panneaux
Eléments de structure	Systèmes constructif	Poteaux poutres	Porteurs verticaux	Poteaux poutres - Porteurs verticaux
Eléments de structure	Systèmes constructif	Poteaux poutres	Parois ossatures de remplissage interne - Bois	Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage interne - Bois
Eléments de structure	Systèmes constructif	Poteaux poutres	Parois ossatures de remplissage interne - Panneaux	Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage interne - Panneaux
Eléments de structure	Systèmes constructif	Poteaux poutres	Planchers - Bois	Poteaux poutres - Planchers - Bois
Eléments de structure	Systèmes constructif	Poteaux poutres	Planchers - Panneaux	Poteaux poutres - Planchers - Panneaux
Eléments de structure	Systèmes constructif	Poteaux poutres	Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) bois	Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) bois

Type d'usage des produits bois	Famille de produits	Ouvrage	Produit	Ouvrage - Produit
Eléments de structure	Systèmes constructif	Poteaux poutres	Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) panneaux	Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) panneaux
Eléments de structure	Système constructif mixte	Système constructif mixte	Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Bois	Système constructif mixte - Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Bois
Eléments de structure	Système constructif mixte	Système constructif mixte	Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Panneaux	Système constructif mixte - Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Panneaux
Eléments de structure	Système constructif mixte	Système constructif mixte	Planchers mixte bois-béton - Bois	Système constructif mixte - Planchers mixte bois-béton - Bois
Eléments de structure	Système constructif mixte	Système constructif mixte	Planchers mixte bois-béton - Panneaux	Système constructif mixte - Planchers mixte bois-béton - Panneaux
Eléments de structure	Charpentes	Charpente industrielle	Charpentes industrielles en bois	Charpente industrielle - Charpentes industrielles en bois
Eléments de structure	Charpentes	Charpente traditionnelle	Pannes, fermes et chevrons bois	Charpente traditionnelle - Pannes, fermes et chevrons bois
Eléments de structure	Charpentes	Charpente traditionnelle	Pannes, fermes et chevrons en lamellé collé	Charpente traditionnelle - Pannes, fermes et chevrons en lamellé collé
Eléments de structure	Charpentes	Charpente traditionnelle	Système mixte chevrons bois / pannes et fermes autres	Charpente traditionnelle - Système mixte chevrons bois / pannes et fermes autres
Eléments de structure	Charpentes	Charpente traditionnelle	Bois support de couverture Lattis	Charpente traditionnelle - Bois support de couverture - Lattis
Eléments de structure	Charpentes	Charpente traditionnelle	Bois support de couverture Volige	Charpente traditionnelle - Bois support de couverture - Volige
Eléments de structure	Charpentes	Structure porteuse de la toiture-terrasse	Support bois de la toiture terrasse - Bois	Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support bois de la toiture terrasse - Bois

Type d'usage des produits bois	Famille de produits	Ouvrage	Produit	Ouvrage - Produit
Eléments de structure	Charpentes	Structure porteuse de la toiture-terrasse	Support bois de la toiture terrasse - Panneaux	Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support bois de la toiture terrasse - Panneaux
Eléments de structure	Charpentes	Structure porteuse de la toiture-terrasse	Support lamellé collé de la toiture terrasse	Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support lamellé collé de la toiture terrasse
Bois dans l'isolation	Bois dans l'isolation	Bois d'ITE (Isolation Thermique par l'Extérieur)	Bois d'ITE	Bois d'ITE - Bois d'ITE
Bois dans l'isolation	Bois dans l'isolation	Fibre bois isolante	Fibre bois isolante	Fibre bois isolante - Fibre bois isolante
Aménagement intérieur	Revêtement des sols	Parquets	Regroupe a) les parquets en bois massifs cloués sur profils bois (lambourdes ou solives), b) les parquets contre collés posés, c) Les parquets collés en bois massif	Parquets - Regroupe a) les parquets en bois massifs cloués sur profils bois (lambourdes ou solives), b) les parquets contre collés posés, c) Les parquets collés en bois massif
Aménagement intérieur	Revêtement des sols	Stratifiés		Stratifiés - nc
Aménagement intérieur	Revêtement des sols	Planchers-plaque		Planchers-plaque - nc
Aménagement intérieur	Escaliers	Escaliers mixtes bois/acier (garde-corps ou mains courantes simple face)		Escaliers mixtes bois/acier (garde-corps ou mains courantes simple face) - nc
Aménagement intérieur	Escaliers	Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Bois		Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Bois - nc
Aménagement intérieur	Escaliers	Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Panneaux		Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Garde corps	Garde corps		Garde corps - nc

Type d'usage des produits bois	Famille de produits	Ouvrage	Produit	Ouvrage - Produit
Aménagement intérieur	Portes	Portes palières (bois) - Bois		Portes palières (bois) - Bois - nc
Aménagement intérieur	Portes	Porte coupe-feu (bois) - Bois		Porte coupe-feu (bois) - Bois - nc
Aménagement intérieur	Portes	Portes intérieures non techniques - Bois		Portes intérieures non techniques - Bois - nc
Aménagement intérieur	Portes	Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Bois		Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Bois - nc
Aménagement intérieur	Portes	Portes de bureau (isolation acoustique) - Bois		Portes de bureau (isolation acoustique) - Bois - nc
Aménagement intérieur	Portes d'entrées	Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre) - Bois		Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre) - Bois - nc
Aménagement intérieur	Portes	Portes palières (bois) - Panneaux		Portes palières (bois) - Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Portes	Porte coupe-feu (bois) - Panneaux		Porte coupe-feu (bois) - Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Portes	Portes intérieures non techniques - Panneaux		Portes intérieures non techniques - Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Portes	Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Panneaux		Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Portes	Portes de bureau (isolation acoustique) - Panneaux		Portes de bureau (isolation acoustique) - Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Portes d'entrées	Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre)- Panneaux		Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre)- Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Cloisons	Cloisons non porteuses (bois)	Ossature non porteuse bois - Bois	Cloisons non porteuses (bois) - Ossature non porteuse bois - Bois
Aménagement intérieur	Cloisons	Cloisons non porteuses (bois)	Ossature non porteuse bois - Panneaux	Cloisons non porteuses (bois) - Ossature non porteuse bois - Panneaux

Type d'usage des produits bois	Famille de produits	Ouvrage	Produit	Ouvrage - Produit
Aménagement intérieur	Cloisons	Cloisonnement du bâtiment (fixe ou démontable)		Cloisonnement du bâtiment (fixe ou démontable) - nc
Aménagement intérieur	Cloisons	Cloisons des pièces humides		Cloisons des pièces humides - nc
Aménagement intérieur	Cloisons	Cloisons coupe-feu - Bois		Cloisons coupe-feu - Bois - nc
Aménagement intérieur	Cloisons	Cloisons coupe-feu - Panneaux		Cloisons coupe-feu - Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Lambris	Plafonds en bois - Bois		Plafonds en bois - Bois - nc
Aménagement intérieur	Lambris	Doublage intérieur bois des murs - Bois		Doublage intérieur bois des murs - Bois - nc
Aménagement intérieur	Lambris	Plafonds en bois - Panneaux		Plafonds en bois - Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Lambris	Doublage intérieur bois des murs - Panneaux		Doublage intérieur bois des murs - Panneaux - nc
Aménagement intérieur	Aménagement intérieur	Cuisine		Cuisine - nc
Aménagement intérieur	Aménagement intérieur	Salle de bain		Salle de bain - nc
Aménagement intérieur	Aménagement intérieur	Placard		Placard - nc
Aménagement intérieur	Produits profilés et moulurés	Planches de rive, tasseaux, moulures, baguette, plinthes) - Bois		Planches de rive, tasseaux, moulures, baguette, plinthes) - Bois - nc
Menuiseries et aménagements extérieurs	Fenêtres et portes	Fenêtres bois		Fenêtres bois - nc

Type d'usage des produits bois	Famille de produits	Ouvrage	Produit	Ouvrage - Produit
Menuiseries et aménagements extérieurs	Fenêtres et portes	Fenêtres mixte bois/aluminium		Fenêtres mixte bois/aluminium - nc
Menuiseries et aménagements extérieurs	Fenêtres et portes	Fenêtres de toits en bois		Fenêtres de toits en bois - nc
Menuiseries et aménagements extérieurs	Fenêtres et portes	Volets (battants, coulissants, roulants, Persiennes/Jalousies)		Volets (battants, coulissants, roulants, Persiennes/Jalousies) - nc
Menuiseries et aménagements extérieurs	Fenêtres et portes	Portes de garage		Portes de garage - nc
Menuiseries et aménagements extérieurs	Platelage	Toiture terrasse revêtement bois		Toiture terrasse revêtement bois - nc
Menuiseries et aménagements extérieurs	Platelage	Platelage au sol		Platelage au sol - nc
Menuiseries et aménagements extérieurs	Parement verticaux extérieurs	Revêtements en bois des façades / Bardage bois	Regroupe bardage lame et plaque - Bois	Revêtements en bois des façades / Bardage bois - Regroupe bardage lame et plaque - Bois
Menuiseries et aménagements extérieurs	Parement verticaux extérieurs	Revêtements en bois des façades / Bardage bois	Regroupe bardage lame et plaque - Panneaux	Revêtements en bois des façades / Bardage bois - Regroupe bardage lame et plaque - Panneaux
Menuiseries et aménagements extérieurs	Habillages	Éléments rapportés en façade et brise-soleils		Éléments rapportés en façade et brise-soleils - nc
Menuiseries et aménagements extérieurs	Habillages	Sous-faces / avancée de toiture		Sous-faces / avancée de toiture - nc

Type d'usage des produits bois	Famille de produits	Ouvrage	Produit	Ouvrage - Produit
Eléments architecturaux spécifiques	Clôtures	Portails bois		Portails bois - nc
Eléments architecturaux spécifiques	Clôtures	Panneaux pare-vue		Panneaux pare-vue - nc
Eléments architecturaux spécifiques	Balcons	Balcons		Balcons - nc

2.2.2 Conversion d'unité et extrapolation

Au-delà de la segmentation présentée précédemment, il a été nécessaire d'effectuer un changement d'unités. En effet, les flux initiaux fournis par le BIPE étaient fournis en **milliers de m³ de produits finis**.

La première opération calculatoire a donc été d'effectuer un changement d'unité pour obtenir ces flux **en tonnes de produits finis**.

Afin d'effectuer ce changement d'unité, l'utilisation de masses volumiques a été nécessaire. Afin d'être en cohérence avec les projets précédents et de simplifier au maximum l'approche globale, les masses volumiques (en kg/m³) utilisées dans le cadre du projet FORMIT (source ECOINVENT) ont été utilisées à savoir :

Tableau 2 - Flux - Masses volumiques utilisées

Produit	Valeur	Unité
Panneaux OSB	585	kg/m ³
Panneaux MDF	780	kg/m ³
Panneaux PP	680	kg/m ³
Sciages massifs résineux	540	kg/m ³
Sciages massifs feuillus	715	kg/m ³
Panneaux Contreplaqué	784	kg/m ³
Laine de bois	140	kg/m ³
Panneaux HDF	900	kg/m ³
Moyenne par défaut	681	kg/m ³

A noter, qu'en cas de difficultés à catégoriser un produit, une valeur moyenne par défaut a été utilisée.

Pour l'ensemble des calculs portant sur le stockage et la substitution, l'utilisation de flux annuels est nécessaire. Hors les flux initiaux ne portent que sur 4 années. Aussi, afin d'estimer l'évolution de ces flux annuellement, il a été estimé que tous les flux variaient de manière linéaire entre les pas de temps fournis par le BIPE à savoir :

- 2015 – 2020 ;
- 2020 – 2035 ;
- 2035 – 2050.

Un exemple sur le produit CLT est repris dans le tableau suivant.

Tableau 3 - Exemple - Produit CLT - Conversion d'unité et évolution annuelle

Paramètre	Valeurs pour CLT
Flux BIPE – 2015 – Total*	16,6 milliers de m ³
Flux BIPE – 2020 – Total* – Scénario Alternatif	52,01 milliers de m ³
Conversion d'unité	
Masse volumique retenue	540 kg/m ³
Flux convertis – 2015 – Total*	8 970 tonnes
Flux convertis – 2020 – Total* – Scénario Alternatif	28 084 tonnes
Evolution annuelle	
Flux convertis – 2015 – Total*	8 970 tonnes
Flux convertis – 2016 – Total* – Scénario Alternatif	12 793 tonnes
Flux convertis – 2017 – Total* – Scénario Alternatif	16 615 tonnes
Flux convertis – 2018 – Total* – Scénario Alternatif	20 438 tonnes
Flux convertis – 2019 – Total* – Scénario Alternatif	24 261 tonnes
Flux convertis – 2020 – Total* – Scénario Alternatif	28 084 tonnes

* Le total représente le total de la consommation estimée à l'année donnée

Ces conversions et évolutions annuelles ont été effectuées pour l'ensemble des produits et pour les quatre scénarios retenus sur les intervalles de temps allant de 2015 à 2050.

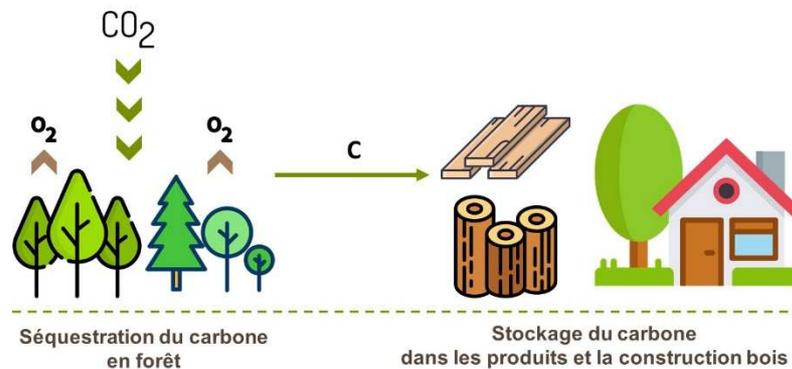
3 Stockage – Hypothèses et méthodes de calcul

Afin d'évaluer les stocks de carbone contenus dans les produits bois et la variation annuelle associée, plusieurs hypothèses et formules de calcul ont été utilisées. Ces dernières sont présentées dans les paragraphes suivants.

3.1 Séquestration et stockage carbone

Le dioxyde de carbone est nécessaire à la croissance du bois. Sous l'action de l'énergie solaire, la biomasse forestière élabore des matières organiques (hydrates de carbone) en absorbant le gaz carbonique (CO_2) atmosphérique et en rejetant de l'oxygène (O_2). Ce mécanisme naturel est la photosynthèse. Le carbone est ensuite stocké dans la biomasse et les sols des forêts ce qui permet de maintenir le carbone en dehors de l'atmosphère. Les différents modes de gestion sylvicoles impactent le niveau de séquestration du carbone dans les écosystèmes forestiers.

Figure 1 - Schéma – Séquestration et stockage carbone



Pour rappel, l'évolution des stocks de carbone en forêt selon la gestion sylvicole mise en place dans les différents scénarios d'utilisation du bois dans le bâtiment n'a pas été étudié dans le cadre de cette étude.

Après la récolte, le carbone est transféré dans les produits qui constituent un stock.

Si ce stock s'accroît, les produits ligneux récoltés sont un « puits de carbone » alors que s'il décroît, ils deviennent une « source ».

3.2 Estimation des stocks de carbone dans les produits bois

L'estimation des stocks de carbone dans les produits bois porte sur la temporalité de cette étude, à savoir 2015 – 2050. Pour cela, les flux mentionnés dans la première partie de cette section ont été utilisés.

A noter que le stock des produits bois mis sur le marché avant 2015 et leur devenir après 2015 ne sont pas inclus dans les évaluations. **Ainsi, les stocks de l'étude présentés en valeur absolue ne représentent qu'une partie du stock total de produits bois.** Ces données de stock avant 2015 et le devenir de ce stock sont identiques pour tous les scénarios. Le différentiel entre scénarios à un horizon de temps donné et le différentiel de stock entre 2 horizons de temps pour un scénario ne sont pas affectés par cette hypothèse.

3.2.1 Estimation de l'évolution des stocks de carbone

Pour rappel, la détermination du contenu en carbone biogénique est reprise dans le paragraphe 2.1.1.

Afin d'évaluer le stock de carbone contenu dans les produits bois dédiés au secteur de la construction et de l'ameublement ainsi que son évolution annuelle, la méthode par défaut TIER 1 des lignes directrices de l'IPCC de 2006 a été utilisée (Pingoud, Skog, Martino, Tonosaki, & Xiaoquan, 2006).

Les formules utilisées sont reprises dans l'équation 12.1 du chapitre 12 issu du [volume 4](#) de ces mêmes lignes directrices. Ces dernières sont détaillées ci-dessous.

La variation de stock entre deux années est basée sur la formule suivante.

$$\Delta C(i) = C(i + 1) - C(i)$$

Où :

- i : année ;
- $C(i)$: stock de carbone en début d'année i (en kg eq. CO₂) ;

Pour estimer le stock de carbone, le calcul est basé sur la formule suivante.

$$C(i + 1) = e^{-k} \times C(i) + \left[\frac{(1 - e^{-k})}{k} \right] \times Inflow(i)$$

Où :

- i : année ;
- $C(i)$: stock de carbone en début d'année i (en kg eq. CO₂) ;
- k : constante de désintégration issue de la fonction exponentielle décroissante (en année⁻¹) ;
- $Inflow(i)$: flux durant l'année i (en kg eq. CO₂ année⁻¹).

Le calcul de la constante k est basé sur la formule suivante.

$$k = \frac{\ln(2)}{HL}$$

Où :

- HL : temps de demi-vie.

3.2.2 Coefficients de demi-vie

Les coefficients de demi-vie correspondent au nombre d'années nécessaires pour atteindre la disparition de la moitié du stock du produit concerné.

Aussi, afin d'être le plus en cohérence possible avec les hypothèses utilisées par la DGEC (Direction Générale de l'Energie et du Climat) dans le cadre de la SNBC (Stratégie Nationale Bas-Carbone), une augmentation de ces temps de demi-vie par rapport à l'année de référence a été intégrée au calcul, à savoir :

- + 1 an entre 2015 et 2030 ;
- + 2 ans entre 2015 et 2050 ;

Par défaut, il a été estimé que cette évolution se réalisait de manière linéaire entre les pas de temps considérés dans cette étude. Cette augmentation « artificielle » de la durée de vie est utilisée pour prendre en considération l'évolution future des pratiques de recyclage.

Le tableau suivant reprend les demi-vies utilisées par typologie de produits.

Tableau 4 - Stockage - Temps de demi-vie utilisés

Produit	Valeur de demi-vie	Unité
Panneaux	25	Années
Autres produits bois	35	Années

La distinction entre « panneaux » et « autres produits bois » est basée sur les données fournies par le BIPE.

3.2.3 Analyse de sensibilité : gestion des imports

Il a été demandé à FCBA d'estimer l'influence des produits fabriqués à partir de bois domestiques sur les résultats obtenus. Pour cela, les taux d'import qui combinent les parts de produits fabriqués à l'étranger et la part de produits fabriqués en France à partir de bois non récoltés en France par typologie ont été fournis par FCBA et sont notamment issus de la VEM-FB.

Cette analyse est à considérer comme une analyse de sensibilité et est donnée à titre informatif.

Dans le tableau suivant, le taux d'import représente donc la part des produits fabriqués à l'étranger ainsi que celle fabriquée en France à partir de bois non récoltés sur le territoire. A l'inverse, le taux de production nationale représente la part des produits fabriqués en France à partir de bois récoltés sur le territoire.

A noter qu'en l'absence de données, ce taux a été considéré comme constant entre 2015 et 2050. Cela représente une limite de l'étude. Néanmoins, comme stipulé, l'analyse de sensibilité a été réalisée à titre informatif.

Le tableau suivant reprend les taux d'imports considérés dans cette étude.

Tableau 5 – Stock carbone de l'étude – Taux d'imports des produits étudiés

Ouvrage - Produit	Taux d'import (%)	Taux de production nationale (%)
<i>CLT - Parois porteuses de façades</i>	87	13
<i>CLT - Parois porteuses internes</i>	87	13
<i>CLT - Planchers</i>	87	13
<i>Ossature bois - Parois porteuses de façades - Bois</i>	40	60
<i>Ossature bois - Parois porteuses de façades - Panneaux</i>	64	36
<i>Ossature bois - Parois porteuses internes - Bois</i>	40	60
<i>Ossature bois - Parois porteuses internes - Panneaux</i>	64	36
<i>Ossature bois - Planchers - Bois</i>	40	60
<i>Ossature bois - Planchers - Panneaux</i>	64	36
<i>Poteaux poutres - Porteurs verticaux</i>	71	29
<i>Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage interne - Bois</i>	40	60
<i>Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage interne - Panneaux</i>	64	36
<i>Poteaux poutres - Planchers - Bois</i>	40	60
<i>Poteaux poutres - Planchers - Panneaux</i>	64	36
<i>Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) bois</i>	40	60
<i>Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) panneaux</i>	64	36
<i>Système constructif mixte - Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Bois</i>	40	60
<i>Système constructif mixte - Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Panneaux</i>	64	36
<i>Système constructif mixte - Planchers mixte bois-béton - Bois</i>	40	60
<i>Système constructif mixte - Planchers mixte bois-béton - Panneaux</i>	64	36
<i>Charpente industrielle - Charpentes industrielles en bois</i>	40	60

Ouvrage - Produit	Taux d'import (%)	Taux de production nationale (%)
<i>Charpente traditionnelle - Pannes, fermes et chevrons bois</i>	40	60
<i>Charpente traditionnelle - Pannes, fermes et chevrons en lamellé collé</i>	71	29
<i>Charpente traditionnelle - Système mixte chevrons bois / pannes et fermes autres</i>	40	60
<i>Charpente traditionnelle - Bois support de couverture - Lattis</i>	40	60
<i>Charpente traditionnelle - Bois support de couverture - Volige</i>	40	60
<i>Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support bois de la toiture terrasse - Bois</i>	40	60
<i>Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support bois de la toiture terrasse - Panneaux</i>	64	36
<i>Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support lamellé collé de la toiture terrasse</i>	71	29
<i>Bois d'ITE - Bois d'ITE</i>	40	60
<i>Fibre bois isolante - Fibre bois isolante</i>	64	36
<i>Parquets - Regroupe a) les parquets en bois massifs cloués sur profils bois (lambourdes ou solives), b) les parquets contre collés posés, c) Les parquets collés en bois massif</i>	37,5	62,5
<i>Stratifiés - nc</i>	64	36
<i>Planchers-plaque - nc</i>	64	36
<i>Escaliers mixtes bois/acier (garde-corps ou mains courantes simple face) - nc</i>	12	88
<i>Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Bois - nc</i>	12	88
<i>Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Panneaux - nc</i>	12	88
<i>Garde corps - nc</i>	0	100
<i>Portes palières (bois) - Bois - nc</i>	14	86
<i>Porte coupe-feu (bois) - Bois - nc</i>	14	86
<i>Portes intérieures non techniques - Bois - nc</i>	14	86
<i>Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Bois - nc</i>	14	86

Ouvrage - Produit	Taux d'import (%)	Taux de production nationale (%)
<i>Portes de bureau (isolation acoustique) - Bois - nc</i>	14	86
<i>Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre) - Bois - nc</i>	11	89
<i>Portes palières (bois) - Panneaux - nc</i>	14	86
<i>Porte coupe-feu (bois) - Panneaux - nc</i>	14	86
<i>Portes intérieures non techniques - Panneaux - nc</i>	14	86
<i>Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Panneaux - nc</i>	14	86
<i>Portes de bureau (isolation acoustique) - Panneaux - nc</i>	14	86
<i>Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre)- Panneaux - nc</i>	11	89
<i>Cloisons non porteuses (bois) - Ossature non porteuse bois - Bois</i>	40	60
<i>Cloisons non porteuses (bois) - Ossature non porteuse bois - Panneaux</i>	64	36
<i>Cloisonnement du bâtiment (fixe ou démontable) - nc</i>	64	36
<i>Cloisons des pièces humides - nc</i>	64	36
<i>Cloisons coupe-feu - Bois - nc</i>	40	60
<i>Cloisons coupe-feu - Panneaux - nc</i>	64	36
<i>Plafonds en bois - Bois - nc</i>	17	83
<i>Doublage intérieur bois des murs - Bois - nc</i>	17	83
<i>Plafonds en bois - Panneaux - nc</i>	64	36
<i>Doublage intérieur bois des murs - Panneaux - nc</i>	64	36
<i>Cuisine - nc</i>	64	36
<i>Salle de bain - nc</i>	64	36
<i>Placard - nc</i>	64	36
<i>Planches de rive, tasseaux, moulures, baguette, plinthes) - Bois - nc</i>	8	92

Ouvrage - Produit	Taux d'import (%)	Taux de production nationale (%)
<i>Fenêtres bois - nc</i>	11	89
<i>Fenêtres mixte bois/aluminium - nc</i>	11	89
<i>Fenêtres de toits en bois - nc</i>	11	89
<i>Volets (battants, coulissants, roulants, Persiennes/Jalousies) - nc</i>	11	89
<i>Portes de garage - nc</i>	11	89
<i>Toiture terrasse revêtement bois - nc</i>	51	49
<i>Platelage au sol - nc</i>	51	49
<i>Revêtements en bois des façades / Bardage bois - Regroupe bardage lame et plaque - Bois</i>	25	75
<i>Revêtements en bois des façades / Bardage bois - Regroupe bardage lame et plaque - Panneaux</i>	64	36
<i>Éléments rapportés en façade et brise-soleils - nc</i>	25	75
<i>Sous-faces / avancée de toiture - nc</i>	25	75
<i>Portails bois - nc</i>	11	89
<i>Panneaux pare-vue - nc</i>	11	89
<i>Balcons - nc</i>	11	89

Un exemple sur le produit CLT est repris dans le tableau suivant.

Tableau 6 - Exemple - Produit CLT – Stock carbone de l'étude – Scénario Alternatif

Paramètre	Valeurs pour CLT
Evolution annuelle	Scénario Alternatif
Flux convertis – 2015 – Total*	8 970 tonnes
Flux convertis – 2016 – Total* – Scénario Alternatif	12 793 tonnes
Flux convertis – 2017 – Total* – Scénario Alternatif	16 615 tonnes
Flux convertis – 2018 – Total* – Scénario Alternatif	20 438 tonnes
Flux convertis – 2019 – Total* – Scénario Alternatif	24 261 tonnes
Flux convertis – 2020 – Total* – Scénario Alternatif	28 084 tonnes
Paramètres de calcul	
Humidité du produit	15%
Coefficient de demi-vie	35 ans
Ajustement du coefficient de demi-vie	+1 soit 36 ans à 2020
Taux d'import	87%
Estimation du carbone stocké dans les produits	Scénario Alternatif
Stock carbone dans produit – 2015 – Total*	14 128 tonnes de CO2
Stock carbone dans produit – 2016 – Total* – Scénario Alternatif	28 537 tonnes de CO2
Stock carbone dans produit – 2017 – Total* – Scénario Alternatif	42 827 tonnes de CO2
Stock carbone dans produit – 2018 – Total* – Scénario Alternatif	57 536 tonnes de CO2
Stock carbone dans produit – 2019 – Total* – Scénario Alternatif	72 483 tonnes de CO2
Stock carbone dans produit – 2020 – Total* – Scénario Alternatif	87 667 tonnes de CO2

* Le total représente le total de la consommation estimée à l'année donnée

3.3 Impact sur le stock de carbone en forêt

L'une des conclusions du séminaire scientifique organisé par l'ADEME en 2018 sur la forêt, le bois et l'atténuation du Changement Climatique est « qu'une augmentation des prélèvements de bois modifie le puits forestier ». La recommandation de l'ADEME est de prendre en compte cet impact dans le calcul du bilan global des émissions et captations de gaz à effet de serre. Cette évaluation n'est pas incluse dans cette étude.

L'évaluation de l'impact d'une augmentation significative de la récolte sur la quantité de carbone séquestrée annuellement par la forêt a été réalisée dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas Carbone. Celle-ci prévoit une augmentation du réservoir de produits bois de 20 Mt CO2 par an en

2050 par rapport à une augmentation de 1,72 Mt CO₂ par an en 2015 sur la base de l'utilisation de la ressource nationale, notamment feuillue. Le puits forestier quant à lui baisserait de 59 Mt CO₂ par an en 2015 à 17 Mt CO₂ par an en 2050 pour la forêt existante tout en restant un puits : c'est-à-dire que le stock en forêts continuerait à croître. Des efforts de reboisement permettraient d'atteindre un puit forestier de 31 Mt CO₂ par an. Le choix d'orienter une partie du puits forestier vers les produits bois s'explique par une volonté d'adapter la forêt au changement climatique et de limiter le déstockage brutal lié aux risques naturels (tempêtes, incendies, sécheresses, risques sanitaires). De plus, à plus long-terme (horizon 2080/2100), le stock de carbone continuerait d'augmenter dans ce scénario contrairement à un scénario avec une gestion moins intensive de la forêt où le puits forestier atteindrait plus rapidement l'équilibre.

² Chiffre de l'inventaire national des gaz à effet de serre pour 2017 réalisé dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

4 Substitution – Hypothèses et méthodes de calcul

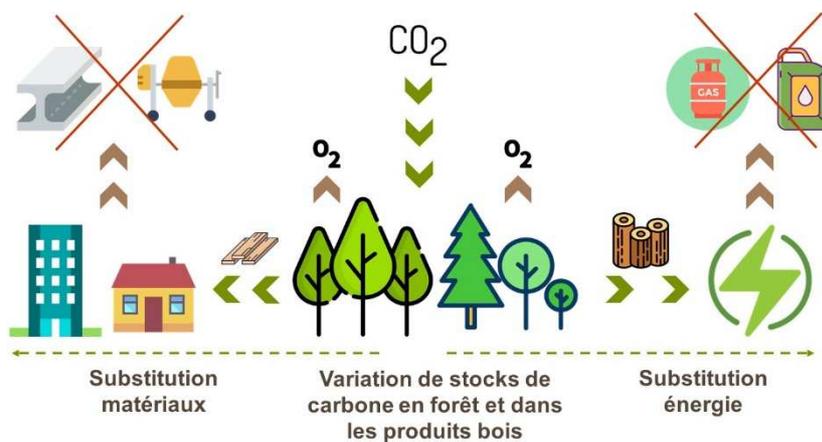
En parallèle de l'aspect de stockage carbone dans les produits, les effets de substitution ont également été évalués.

4.1 Substitution matériaux et énergie

La substitution consiste à évaluer les impacts de l'utilisation de bois venant se substituer à des matériaux ayant la même unité fonctionnelle. On peut distinguer deux cas de substitution :

- la substitution énergie consiste à évaluer les impacts du bois énergie venant se substituer aux ressources fossiles telles que le charbon, le fioul ou le gaz naturel ;
- la substitution matériaux consiste à évaluer les émissions fossiles évitées par l'usage du bois à la place de matériaux concurrents tels que le béton, l'acier ou l'aluminium.

Figure 2 - Schéma – Substitution matériaux et énergie



68

Schéma – Substitution matériaux et énergie

4.2 Evaluation des effets de substitution

4.2.1 Méthodologie générale

Le champ de l'étude correspond au calcul de l'impact environnemental de la substitution d'un produit à base de bois par rapport à un produit concurrent, soit la substitution matériau. Les indicateurs évalués sont les Gaz à Effet de Serre (GES) et la consommation d'énergie primaire non renouvelable. Le raisonnement se fait au niveau de l'unité fonctionnelle (soit le produit fini) et non pas au niveau du matériau utilisé. Par exemple, il n'est pas possible de comparer directement un kg de bois et un kg d'aluminium. En revanche, il est possible de comparer une fenêtre bois et une fenêtre aluminium.

L'effet de substitution est ensuite calculé en utilisant des facteurs de déplacement (ou de substitution). Selon (Rüter et al., 2016), la substitution est « un moyen de mesurer le différentiel d'émissions de gaz à effet de serre entre un produit / fuel à base de bois et un autre produit fonctionnellement équivalent ».

La formule utilisée est la suivante :

$$Coef_{Sub}CO_2 = \frac{EGES_{ProduitBois} - EGES_{ProduitConcurrent}}{Masse\ de\ bois_{ProduitBois} - Masse\ de\ bois_{ProduitConcurrent}}$$

Où :

- $Coef_{Sub}CO_2$ est le coefficient de déplacement ou de substitution pour l'indicateur d'impact sur le changement climatique ;
- EGES sont les émissions de gaz à effet de serre ;

Pour l'indicateur de consommation d'énergie primaire non renouvelable, la formule devient :

$$Coef_{Sub}Energie = \frac{Energie\ Non\ Renouvelable_{ProduitBois} - Energie\ Non\ Renouvelable_{ProduitConcurrent}}{Masse\ de\ bois_{ProduitBois} - Masse\ de\ bois_{ProduitConcurrent}}$$

Où :

- $Coef_{Sub}Energie$ est le coefficient de déplacement ou de substitution pour l'indicateur de consommation d'énergie primaire non renouvelable ;
- Energie Non Renouvelable correspond à la consommation d'énergie primaire non renouvelable nécessaire au cycle de vie d'un produit (énergie nécessaire à la production d'électricité, énergie contenue dans le diesel pour le transport, énergie nécessaire à la production du diesel etc.) ;

Le calcul se réalise en trois étapes distinctes :

1. Détermination des produits concurrents et parts de marché associées ;
2. Calcul du coefficient de substitution basé sur l'utilisation de données d'ACV (analyse du cycle de vie) pour la production et la fin de vie des produits étudiés (bois et concurrents) ;
3. Multiplication des coefficients de substitution par les flux de produits étudiés.

Basé sur (Rüter et al., 2016) et (Werner, Taverna, Hofer, & Richter, 2006), pour chaque Unité Fonctionnelle de Référence Bois (UFRB - produit bois remplissant une fonction précise et quantifiée), le système étudié pour calculer l'effet de substitution est constitué de quatre composantes :

- la production du produit bois y compris la valorisation des déchets de seconde transformation ;
- la production de produits concurrents ;
- la fin de vie du produit bois, y compris la substitution associée à la valorisation énergétique ou matière :
 - par exemple, si un produit du bois est envoyé à une usine de valorisation énergétique, la production de l'énergie économisée par cette incinération est incluse dans cette étape.
- la fin de vie du produit substitué, y compris la substitution associée à la valorisation énergétique ou matière :
 - par exemple, si un revêtement en acier est recyclé, la production d'acier vierge économisée par ce recyclage est incluse dans cette étape.

Selon les études, ces quatre composantes sont regroupées en un coefficient ou séparées pour tenir compte de la temporalité des effets de substitution entre la production et la fin de vie influencée par la durée de vie du produit. Dans la présente étude, le coefficient de substitution n'est pas

temporalisé. L'annexe 8.7 donne le détail entre l'impact de la substitution liée à la phase de production et l'impact de la substitution lié à la fin de vie.

La production des sciages génère des connexes qui sont utilisés en énergie à l'extérieur de la filière forêt bois. En effet, les granulés et les plaquettes de scierie sont considérés comme des produits en eux-mêmes. L'impact de la substitution associée aux connexes n'est pas inclus dans l'étude. Les connexes sont quantifiés dans l'annexe 0.

4.2.2 Produits concurrents et évaluation du marché

Avant de débiter tout calcul de substitution, il est nécessaire de répondre à la question suivante : quels sont les produits auxquels le produit bois étudié se substitue ?

Pour cela, un travail avec les experts construction de FCBA a permis de définir des Unités Fonctionnelles de Référence Bois (UFRB) pour chaque typologie de produit. Ces UFRB permettent de savoir à quoi se substitue chaque produit étudié et d'estimer la quantité de matériaux concurrents pour répondre à la même fonction.

Le tableau suivant reprend les produits concurrents retenus pour chaque produit étudié, les sources des données utilisées pour les coefficients de substitution ainsi que les parts de marché relatives. Certains produits n'étant pas couverts par un coefficient de substitution, une valeur par défaut a été utilisée qui est la moyenne des coefficients de substitution.

Tableau 7 - Substitution - Produits concurrents et parts de marché associées

Ouvrage - Produit	Système bois modélisé pour la substitution et source du coefficient d'équivalence	Produits concurrents (part de marché par rapport aux autres matériaux concurrents)
<i>CLT - Parois porteuses de façades</i>	CLT (voir Annexe 8.3)	Voile béton (100%)
<i>CLT - Parois porteuses internes</i>	CLT (voir Annexe 8.3)	Voile béton (100%)
<i>CLT - Planchers</i>	CLT (voir Annexe 8.3)	Voile béton (100%)
<i>Ossature bois - Parois porteuses de façades - Bois</i>	Ossature bois, bois massif (Valada et al., 2016)	Mur en brique avec chaînage en béton armé (56%), mur en bloc béton avec chaînage en béton armé (44%)
<i>Ossature bois - Parois porteuses de façades - Panneaux</i>	Ossature bois, OSB (Valada et al., 2016)	Mur en brique avec chaînage en béton armé (56%), mur en bloc béton avec chaînage en béton armé (44%)
<i>Ossature bois - Parois porteuses internes - Bois</i>	Ossature bois, bois massif (Valada et al., 2016)	Mur en brique avec chaînage en béton armé (56%), mur en bloc béton avec chaînage en béton armé (44%)
<i>Ossature bois - Parois porteuses internes - Panneaux</i>	Ossature bois, OSB (Valada et al., 2016)	Mur en brique avec chaînage en béton armé (56%), mur en bloc béton avec chaînage en béton armé (44%)
<i>Ossature bois - Planchers - Bois</i>	Plancher, bois massif (voir Annexe 8.2)	Plancher béton (50% dalle pleine, 50% avec pré-dalle) (100%)
<i>Ossature bois - Planchers - Panneaux</i>	Plancher, OSB (voir Annexe 8.2)	Plancher béton (50% dalle pleine, 50% avec pré-dalle) (100%)
<i>Poteaux poutres - Porteurs verticaux</i>	Charpente en lamellé collé (Valada et al., 2016)	Charpente béton (51%), charpente métallique (49%)
<i>Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage interne - Bois</i>	Ossature bois, bois massif (Valada et al., 2016)	Mur en brique avec chaînage en béton armé (56%), mur en bloc béton avec chaînage en béton armé (44%)

Ouvrage - Produit	Système bois modélisé pour la substitution et source du coefficient d'équivalence	Produits concurrents (part de marché par rapport aux autres matériaux concurrents)
<i>Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage interne - Panneaux</i>	Ossature bois, OSB (Valada et al., 2016)	Mur en brique avec chaînage en béton armé (56%), mur en bloc béton avec chaînage en béton armé (44%)
<i>Poteaux poutres - Planchers - Bois</i>	Plancher, bois massif (voir Annexe 8.2)	Plancher béton (50% dalle pleine, 50% avec pré-dalle) (100%)
<i>Poteaux poutres - Planchers - Panneaux</i>	Plancher, bois massif (voir Annexe 8.2)	Plancher béton (50% dalle pleine, 50% avec pré-dalle) (100%)
<i>Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) bois</i>	Ossature bois, bois massif (Valada et al., 2016)	Mur en brique avec chaînage en béton armé (56%), mur en bloc béton avec chaînage en béton armé (44%)
<i>Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) panneaux</i>	Ossature bois, OSB (Valada et al., 2016)	Mur en brique avec chaînage en béton armé (56%), mur en bloc béton avec chaînage en béton armé (44%)
<i>Système constructif mixte - Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Bois</i>	Données par défaut	
<i>Système constructif mixte - Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Panneaux</i>	Données par défaut	
<i>Système constructif mixte - Planchers mixte bois-béton - Bois</i>	Système constructif mixte bois béton, bois massif (voir Annexe 0)	Plancher béton (dalle pleine)(100%)
<i>Système constructif mixte - Planchers mixte bois-béton - Panneaux</i>	Système constructif mixte bois béton, contreplaqué (voir Annexe 0)	Plancher béton (dalle pleine)(100%)
<i>Charpente industrielle - Charpentes industrielles en bois</i>	Charpente en bois massif (Valada et al., 2016)	Charpente métallique (100%)
<i>Charpente traditionnelle - Pannes, fermes et chevrons bois</i>	Charpente en bois massif (Valada et al., 2016)	Charpente métallique (100%)

Ouvrage - Produit	Système bois modélisé pour la substitution et source du coefficient d'équivalence	Produits concurrents (part de marché par rapport aux autres matériaux concurrents)
<i>Charpente traditionnelle - Pannes, fermes et chevrons en lamellé collé</i>	Charpente en lamellé collé (Valada et al., 2016)	Charpente béton (51%), charpente métallique (49%)
<i>Charpente traditionnelle - Système mixte chevrons bois / pannes et fermes autres</i>	Charpente en bois massif (Valada et al., 2016)	Charpente métallique (100%)
<i>Charpente traditionnelle - Bois support de couverture - Lattis</i>	Charpente en bois massif (Valada et al., 2016)	Charpente métallique (100%)
<i>Charpente traditionnelle - Bois support de couverture - Volige</i>	Charpente en bois massif (Valada et al., 2016)	Charpente métallique (100%)
<i>Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support bois de la toiture terrasse - Bois</i>	Plancher, bois massif (voir Annexe 8.2)	Plancher béton (50% dalle pleine, 50% avec pré-dalle) (100%)
<i>Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support bois de la toiture terrasse - Panneaux</i>	Plancher, OSB (voir Annexe 8.2)	Plancher béton (50% dalle pleine, 50% avec pré-dalle) (100%)
<i>Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support lamellé collé de la toiture terrasse</i>	Charpente en lamellé collé (Valada et al., 2016)	Charpente béton (51%), charpente métallique (49%)
<i>Bois d'ITE - Bois d'ITE</i>	Charpente en bois massif (Valada et al., 2016)	Charpente métallique (100%)
<i>Fibre bois isolante - Fibre bois isolante</i>	Isolants (Valada et al., 2016)	PS(44%), laine de verre (28%), laine de roche (28%)
<i>Parquets - Regroupe a) les parquets en bois massifs cloués sur profils bois (lambourdes ou solives), b) les parquets contre collés posés, c) Les parquets collés en bois massif</i>	Parquets (Valada et al., 2016)	Carrelage (99%), pierre (1%)
<i>Stratifiés - nc</i>	Sols stratifiés (Valada et al., 2016)	Sol plastique (100%)
<i>Planchers-plaque - nc</i>	Parquets (Valada et al., 2016)	Carrelage (99%), pierre (1%)
<i>Escaliers mixtes bois/acier (garde-corps ou mains courantes simple face) - nc</i>	Données par défaut	

Ouvrage - Produit	Système bois modélisé pour la substitution et source du coefficient d'équivalence	Produits concurrents (part de marché par rapport aux autres matériaux concurrents)
<i>Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Bois - nc</i>	Données par défaut	
<i>Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Panneaux - nc</i>	Données par défaut	
<i>Garde corps - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portes palières (bois) - Bois - nc</i>	Données par défaut	
<i>Porte coupe-feu (bois) - Bois - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portes intérieures non techniques - Bois - nc</i>	Données par défaut	
<i>Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Bois - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portes de bureau (isolation acoustique) - Bois - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre) - Bois - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portes palières (bois) - Panneaux - nc</i>	Données par défaut	
<i>Porte coupe-feu (bois) - Panneaux - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portes intérieures non techniques - Panneaux - nc</i>	Données par défaut	
<i>Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Panneaux - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portes de bureau (isolation acoustique) - Panneaux - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre)- Panneaux - nc</i>	Données par défaut	
<i>Cloisons non porteuses (bois) - Ossature non porteuse bois - Bois</i>	Charpente en bois massif (Valada et al., 2016)	Charpente métallique (100%)
<i>Cloisons non porteuses (bois) - Ossature non porteuse bois - Panneaux</i>	Cloison, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Plaque de plâtre (100%)

Ouvrage - Produit	Système bois modélisé pour la substitution et source du coefficient d'équivalence	Produits concurrents (part de marché par rapport aux autres matériaux concurrents)
<i>Cloisonnement du bâtiment (fixe ou démontable) - nc</i>	Cloison, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Plaque de plâtre (100%)
<i>Cloisons des pièces humides - nc</i>	Cloison, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Plaque de plâtre (100%)
<i>Cloisons coupe-feu - Bois - nc</i>	Cloison, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Plaque de plâtre (100%)
<i>Cloisons coupe-feu - Panneaux - nc</i>	Cloison, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Plaque de plâtre (100%)
<i>Plafonds en bois - Bois - nc</i>	Cloison, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Plaque de plâtre (100%)
<i>Doublage intérieur bois des murs - Bois - nc</i>	Cloison, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Plaque de plâtre (100%)
<i>Plafonds en bois - Panneaux - nc</i>	Cloison, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Plaque de plâtre (100%)
<i>Doublage intérieur bois des murs - Panneaux - nc</i>	Cloison, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Plaque de plâtre (100%)
<i>Cuisine - nc</i>	Meuble, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Meuble métallique (100%)
<i>Salle de bain - nc</i>	Meuble, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Meuble métallique (100%)
<i>Placard - nc</i>	Meuble, panneau de particule (Valada et al., 2016)	Meuble métallique (100%)
<i>Planches de rive, tasseaux, moulures, baguette, plinthes) - Bois - nc</i>	Données par défaut	

Ouvrage - Produit	Système bois modélisé pour la substitution et source du coefficient d'équivalence	Produits concurrents (part de marché par rapport aux autres matériaux concurrents)
<i>Fenêtres bois - nc</i>	Fenêtre (Valada et al., 2016)	Fenêtre aluminium (28%), fenêtre PVC (72%)
<i>Fenêtres mixte bois/aluminium - nc</i>	Données par défaut	
<i>Fenêtres de toits en bois - nc</i>	Fenêtre (Valada et al., 2016)	Fenêtre aluminium (28%), fenêtre PVC (72%)
<i>Volets (battants, coulissants, roulants, Persiennes/Jalousies) - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portes de garage - nc</i>	Données par défaut	
<i>Toiture terrasse revêtement bois - nc</i>	Données par défaut	
<i>Platelage au sol - nc</i>	Données par défaut	
<i>Revêtements en bois des façades / Bardage bois - Regroupe bardage lame et plaque - Bois</i>	Bardage, bois massif (Valada et al., 2016)	Bardage métallique (100%)
<i>Revêtements en bois des façades / Bardage bois - Regroupe bardage lame et plaque - Panneaux</i>	Bardage, contreplaqué (Valada et al., 2016)	Bardage métallique (100%)
<i>Éléments rapportés en façade et brise-soleils - nc</i>	Données par défaut	
<i>Sous-faces / avancée de toiture - nc</i>	Données par défaut	
<i>Portails bois - nc</i>	Données par défaut	
<i>Panneaux pare-vue - nc</i>	Données par défaut	
<i>Balcons - nc</i>	Données par défaut	

Les parts de marché données correspondent aux parts de marché relatives hors filière bois : les parts relatives des matériaux qui peuvent « remplacer » le bois.

Lorsqu'il est possible de modéliser la substitution par plusieurs matériaux concurrents, les parts de marché proviennent de la base de données Batiétude (2018) à l'exception des isolants dont les parts de marché proviennent d'une étude menée par TBC Innovation publiée en 2017.

4.2.3 Calcul des coefficients de substitution

Les coefficients de substitution ont été calculés pour les aspects carbone (en éq. CO₂) et énergétique avec l'énergie primaire non renouvelable (en MJ).

Le calcul des coefficients de substitution est basé sur la méthodologie et les données issues du document (Valada et al., 2016) élaboré à partir du projet FORMIT et du projet GESFOR.

Ce travail a permis de constituer une base de données paramétrée sur le logiciel SimaPro (logiciel de référence de l'ACV) relative à la substitution pour différents produits. Les paramètres utilisés dans le cadre de cette étude sont donnés en Annexe 8.1.

Trois produits ont été ajoutés aux données existantes afin de couvrir plus de produits couverts par l'étude :

- le plancher bois ;
- la façade porteuse en CLT ;
- le plancher mixte bois béton.

La modélisation de la substitution pour ces trois produits est décrite dans les annexes 8.2, 8.3, et 0.

Concernant les données environnementales, la base de données utilisée est la base de données de référence Ecoinvent. Les données de cette base sont homogènes et représentatives de l'Europe.

Les coefficients de substitution ont été calculés pour les années 2015 et 2050 en tenant compte des évolutions relatives à la fin de vie. En effet, des hypothèses similaires à celles adoptées pour la prise en compte du stockage ont été faites pour la modélisation de la substitution en fin de vie (voir section 3.2.2). Ainsi, dans la SNBC, il est considéré que la durée de vie des produits intègre le recyclage et cette durée de vie augmente suite à l'augmentation du recyclage. En dehors du recyclage, la modélisation du devenir des produits bois dans la SNBC est basée sur deux échéances :

- 2015 : 35% de mise en décharge, 65% de valorisation énergétique ;
- 2050 : 5% de mise en décharge, 95% de valorisation énergétique.

Or dans l'étude (FCBA & CSTB, 2013), le scénario de fin de vie en dehors du recyclage donne déjà 50% de mise en décharge et 50% de valorisation énergétique pour 2012. En 2015, c'est donc ces dernières données qui ont été utilisées. Les coefficients de substitution évoluent de manière linéaire selon une fonction type $y = ax + b$ où :

- « y » est la valeur du coefficient de substitution à 2015 ;
- « x » est l'année.

Dans le cas de plusieurs produits concurrents, les coefficients « a » et « b » ont été pondérés par les parts de marché relatives à chaque produit.

Un exemple sur le produit « Ossature bois - Parois porteuses de façades - Bois » est repris dans le tableau suivant.

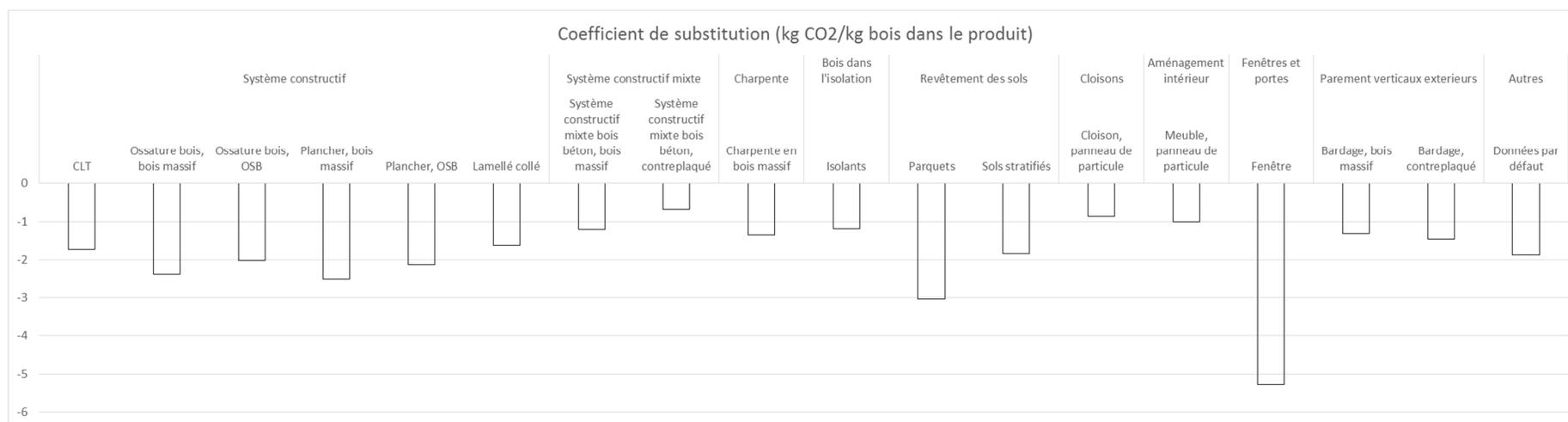
Tableau 8 - Exemple - Produit « Ossature bois – Parois porteuses de façades - Bois » – Substitution – Coefficients et pondération marché

Paramètre	Valeurs
Paramètres	
Nombre de produit concurrent	2
Produit concurrent 1 à partir de briques	
Part de marché	60%
Coefficient de substitution – 2015	- 2,02
Coefficient de substitution – 2050	- 2,61
Estimation du coefficient directeur (a)	- 0,02
Estimation de l'ordonnée à l'origine (b)	- 2,02
Produit concurrent 2 à partir de béton	
Part de marché	40%
Coefficient de substitution - 2015	- 1,51
Coefficient de substitution – 2050	- 2,1
Estimation du coefficient directeur (a)	- 0,02
Estimation de l'ordonnée à l'origine (b)	- 1,51
Pondération marché	
Estimation du coefficient directeur (a) pondéré	- 0,02
Estimation de l'ordonnée à l'origine (b) pondéré	- 1,79

Il n'existe pas de données de substitution pour tous les produits considérés dans cette étude. Un coefficient de substitution par défaut a été utilisé correspondant à la moyenne pondérée des coefficients disponibles par les volumes de produits en 2015 et en 2050 pour le scénario tendanciel.

Les coefficients de substitution pour 2050 sont présentés ci-dessous pour les produits qui bénéficient de données de substitution (voir Tableau 7).

Figure 3 - Coefficients de substitution pour les émissions de GES pour 2050



Les coefficients de substitution finaux sont présentés de manière plus détaillée pour chaque produit en Annexe 8.5.

4.2.4 Compilation des coefficients de substitution et des flux de produits

La dernière étape du calcul consiste à multiplier les coefficients de substitution pour l'indicateur d'émissions de GES et pour l'indicateur de consommation d'énergie non renouvelable par les flux de produits concernés. Ce calcul a été effectué de manière annuelle.

Un exemple sur le produit « CLT » est repris dans le tableau suivant.

Tableau 9 - Exemple - Produit « CLT » – Substitution carbone

Paramètre	Valeurs
Evolution annuelle	Scénario Alternatif
Flux convertis – 2015 – Total	8 970 tonnes
Flux convertis – 2016 – Total – Scénario Alternatif	12 793 tonnes
Flux convertis – 2017 – Total – Scénario Alternatif	16 615 tonnes
Flux convertis – 2018 – Total – Scénario Alternatif	20 438 tonnes
Flux convertis – 2019 – Total – Scénario Alternatif	24 261 tonnes
Flux convertis – 2020 – Total – Scénario Alternatif	28 084 tonnes
Paramètres de calcul	
Nombre de produits concurrents	1
Produit concurrent	
Part de marché	100%
Coefficient de substitution - 2015	- 1,15
Coefficient de substitution – 2050	- 2,61
Estimation du coefficient directeur (a)	- 0,02
Estimation de l'ordonnée à l'origine (b)	- 2,02
Coefficients de substitution - Carbone	
Coefficient de substitution – Carbone – 2015	- 1,15
Coefficient de substitution – Carbone – 2016	- 1,16
Coefficient de substitution – Carbone – 2017	- 1,18
Coefficient de substitution – Carbone – 2018	- 1,20
Coefficient de substitution – Carbone – 2019	- 1,21
Coefficient de substitution – Carbone - 2020	- 1,23
Coefficients de substitution - Carbone	Scénario Alternatif
Substitution – Carbone – 2015	- 10 296 tonnes de CO₂ économisées
Substitution – Carbone – 2016	- 14 893 tonnes de CO₂ économisées
Substitution – Carbone – 2017	- 19 616 tonnes de CO₂ économisées
Substitution – Carbone – 2018	- 24 464 tonnes de CO₂ économisées
Substitution – Carbone – 2019	- 29 437 tonnes de CO₂ économisées
Substitution – Carbone - 2020	- 34 536 tonnes de CO₂ économisées

4.2.5 Etudes de sensibilité FDES

Une étude de sensibilité a également été menée avec certains facteurs de substitution basés sur les données issues des FDES de la base INIES.

Pour rappel, la base INIES est la base nationale française de référence sur les déclarations environnementales et sanitaires des produits, équipements et services pour l'évaluation de la performance des ouvrages. Pour certaines autres données, les configurateurs Save-construction (filiale acier) et BETle (filiale béton) ont été utilisés.

Le tableau suivant présente les coefficients de substitution calculés à partir des FDES :

- en tenant compte de l'ensemble du cycle de vie des produits bois et des produits concurrents (modules A, B, et C des FDES selon la norme EN 15804/A1 : 2014) et des bénéfices et impacts associés à la valorisation et au recyclage des produits en fin de vie (module D). Ce mode de calcul est le même que celui considéré dans les calculs réalisés dans les projets FORMIT et GESFOR ;
- en tenant compte de l'ensemble du cycle de vie des produits bois et des produits concurrents (modules A, B, et C des FDES selon la norme EN 15804/A1 :2014) et de 1/3 des bénéfices et impacts associés à la valorisation et au recyclage des produits en fin de vie (1/3 du module D). En effet, dans le calcul de la performance environnementale du bâtiment retenu dans le référentiel « Energie-Carbone » du label E+C-, le module D n'est pris en compte qu'à hauteur d'un tiers de sa valeur ;
- en faisant le premier calcul sans tenir compte de la carbonatation³ du béton notamment pour les bétons armés.

Les coefficients calculés à partir des données des projets FORMIT et GESFOR sont également présentés dans ce rapport pour les horizons 2015 et 2050, sachant que la fin de vie des produits dans les FDES correspond à l'horizon 2015. Enfin la source des FDES est fournie.

³ Le mélange d'eau et de ciment conduit à la formation d'hydrates à l'origine de la fabrication des bétons. La présence de CO₂ dans l'atmosphère provoque une carbonatation lente de ces hydrates. Ce phénomène de carbonatation atmosphérique dégrade les bétons armés et peut entraîner la mise à nu des armatures en acier. Dans ce cas, des problèmes de durabilité et de résistance peuvent survenir.

Tableau 10 - Comparaison des coefficients de substitution obtenus à partir des FDES avec les coefficients des projets FORMIT/GESFOR

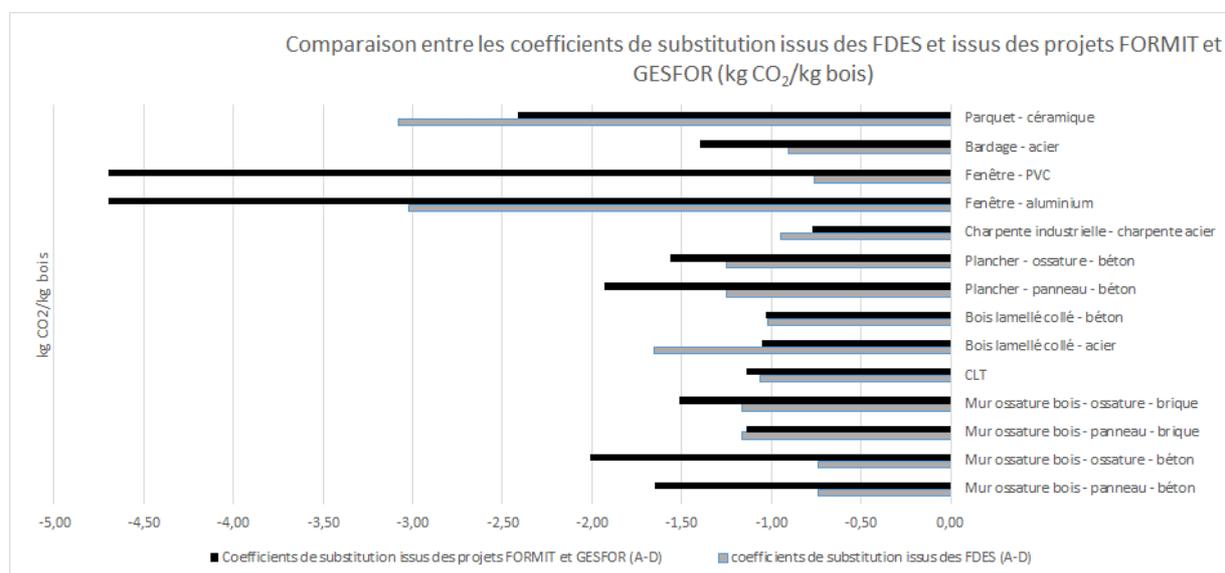
Produit	Calculs FDES			Calculs FORMIT/ GESFOR		Source des FDES utilisées pour les produits de construction bois	Source des FDES utilisées pour les produits de construction concurrents
	A-D	E+C-	A-D sans carbonatation	A-D 2015	A-D 2050		
	kg CO ₂ /kg bois						
Mur ossature bois - panneau - béton	-0,74	-0,59	-0,95	-1,65	-2,24	FDES CODIFAB MOB	FDES bloc béton CERIB, BETIE, FDES ISOCONFORT 21
Mur ossature bois - ossature - béton	-0,74	-0,59	-0,95	-2,01	-2,61	Idem ci-dessus	Idem ci-dessus
Mur ossature bois - panneau - brique	-1,16	-1,01	-1,16	-1,14	-1,14	Idem ci-dessus	FDES BIOBRIC, BETIE, FDES ISOCONFORT 21
Mur ossature bois - ossature - brique	-1,16	-1,01	-1,16	-1,51	-1,51	Idem ci-dessus	Idem ci-dessus
CLT	-1,06	-0,90	-1,19	-1,14	-1,72	FDES CODIFAB CLT	BETIE
Bois lamellé collé - acier	-1,65	-1,80	-1,65	-1,05	-1,65	FDES CODIFAB Poutre en bois lamellé collé	SAVE
Bois lamellé collé - béton	-1,02	-0,86	-1,08	-1,03	-1,63	FDES CODIFAB Poutre en bois lamellé collé	BETIE
Plancher - panneau - béton	-1,25	-1,28	-1,42	-1,93	-2,51	FDES CODIFAB Plancher	BETIE
Plancher - ossature - béton	-1,25	-1,28		-1,56	-2,13	Idem ci-dessus	BETIE

Produit	Calculs FDES			Calculs FORMIT/ GESFOR		Source des FDES utilisées pour les produits de construction bois	Source des FDES utilisées pour les produits de construction concurrents
	A-D	E+C-	A-D sans carbonatation	A-D 2015	A-D 2050		
	kg CO ₂ /kg bois						
Charpente industrielle - acier	-0,95	-0,89		-0,77	-1,34	FDES CODIFAB Charpente industrielle	SAVE
Fenêtre - aluminium	-3,02	-3,79		-4,7	-5,3	FDES CODIFAB Fenêtre en bois européen	FDES SNFA fenêtre aluminium
Fenêtre - PVC	-0,76	-0,76		-4,7	-5,3	Idem ci-dessus	FDES SNEP fenêtre PVC
Bardage - acier	-0,90	-1,25		-1,4	-1,26	FDES France Douglas bardage non traité (50%), FDES FNB Commerce du bois bardage peint (50%)	SAVE
Parquet - céramique	-3,1	-2,9		-2,41	-3	FDES UFFEP parquet massif (50%), FDES UFFEP parquet contre collé (50%)	FDES terre cuite CTMNC (50%), FDES carreau céramique ép 9-11 mm Saloni Ceramica (50%)
Escalier	-0,42	-0,79				FDES FIBC escalier en bois résineux (50%) et FDES escalier en bois feuillus (50%)	FDES escalier hélicoïdal en acier (Union des Métalliers)

Le graphique ci-dessous permet de constater que les coefficients calculés à partir des FDES sont plus faibles que ceux calculés à partir des projets FORMIT et GESFOR et basés sur Ecoinvent à l'exception des parquets et des comparaisons entre charpente bois et acier (lamellé et industrielle). Ce constat peut s'expliquer par les éléments suivant :

- Les FDES bénéficient de données a priori plus récentes ;
- Les FDES n'intègrent pas la substitution associée aux déchets de seconde transformation ;
- Les FDES intègrent la carbonatation du béton ;
- Les profils des produits concurrents sont très optimisés en profitant des imprécisions des normes en vigueur (pas de prise en compte des émissions liées à la combustion des déchets utilisés par la fabrication du ciment, allocation non conforme des gaz de hauts fourneaux pour la fabrication de l'acier, pas de cohérence entre la filière béton et la filière acier pour l'allocation des laitiers, optimisation des profils choisis pour les fenêtres aluminium et PVC).

Figure 4 - Comparaison des coefficients de substitution obtenus à partir des FDES avec les coefficients des projets FORMIT/GESFOR (module A-D)



Les coefficients de substitution finaux sont présentés en Annexe 8.5.

5 Résultats et analyses

Les résultats entre l'évolution du stockage carbone et les effets de substitution sont présentés dans les paragraphes ci-dessous.

5.1 Stock de l'étude - Résultats et analyses

Cette section reprend les principaux résultats liés au stock carbone de l'étude dans les produits bois.

Pour rappel, une augmentation du stockage de carbone dans les produits représente un effet bénéfique d'un point de vue du changement climatique. En effet, ce stockage temporaire dans les produits bois permet de stocker du carbone biogénique tout en évitant d'en émettre dans le même temps.

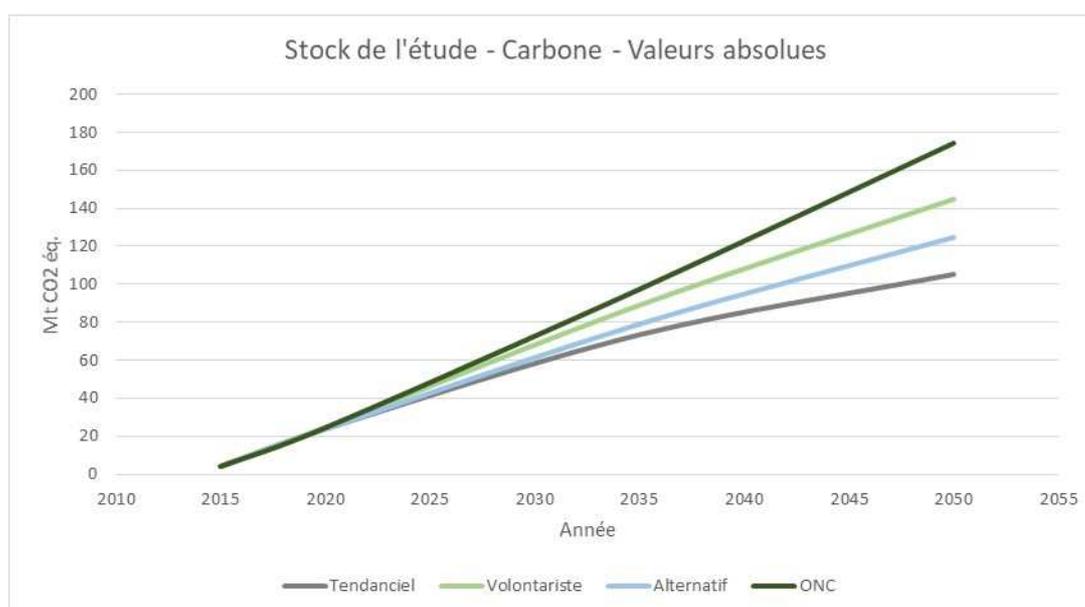
Dans un premier temps, les résultats finaux seront présentés afin de permettre une comparaison des scénarios. Un focus particulier a été apporté sur la gestion des imports et est présenté en tant qu'analyse de sensibilité. Par la suite, chaque scénario retenu sera analysé plus finement de manière indépendante.

5.1.1 Résultats finaux – comparaison des scénarios

Les graphiques suivants reprennent les stocks de carbone étudiés dans le cadre de cette étude pour les 4 scénarios retenus. Le premier graphique est en valeurs absolues alors que le second est en valeurs différentielles par rapport au scénario Tendancier. Cette dernière analyse permet d'évaluer les scénarios par rapport aux futures règles de comptabilisation des inventaires nationaux.

Les stocks de l'étude en valeur absolue ne représentent pas l'ensemble du stock de produits bois en France. En effet, seuls les stocks de produits fabriqués après 2015 sont comptabilisés.

Figure 5 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs absolues



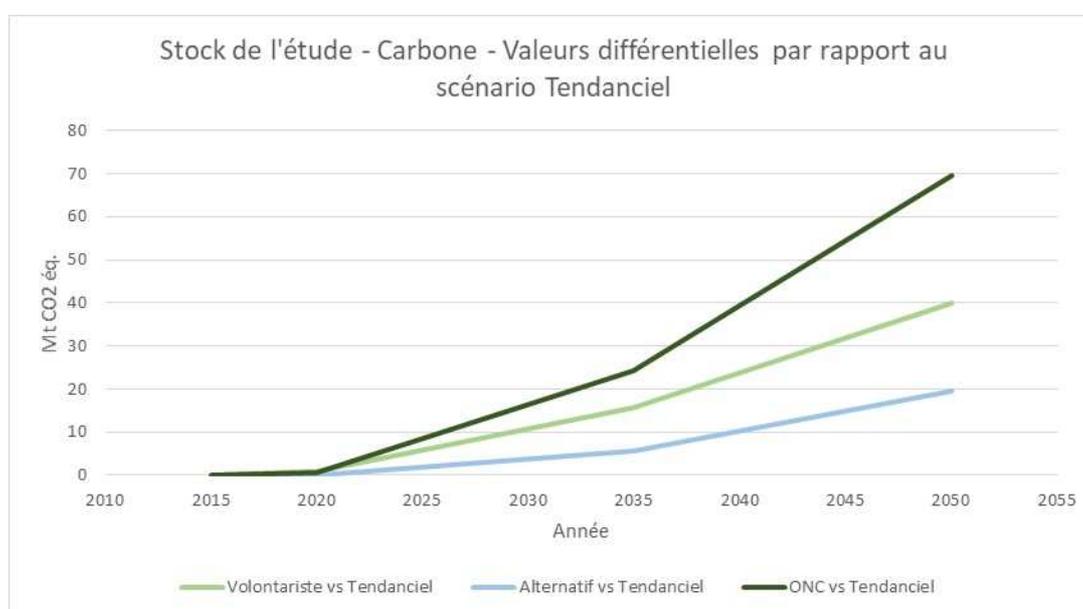
Le tableau suivant reprend les valeurs estimées pour l'ensemble des scénarios et des horizons choisis.

Tableau 11 – Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs absolues

Année	Scénario Tendanciel	Scénario Volontariste	Scénario Alternatif	Scénario Objectif Neutralité Carbone
/	Mt CO2 éq.	Mt CO2 éq.	Mt CO2 éq.	Mt CO2 éq.
2015	4	4	4	4
2020	24	24	24	24
2035	73	89	79	97
2050	105	145	125	174

Les résultats obtenus sont étroitement liés aux volumes de produits considérés dans chaque scénario étudié.

Figure 6 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles



Le tableau suivant reprend les valeurs estimées par rapport au scénario Tendanciel pour l'ensemble des scénarios et des horizons choisis.

Tableau 12 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles

Année	Scénario Tendanciel	Scénario Volontariste	Scénario Alternatif	Scénario Objectif Neutralité Carbone
/	Mt CO2 éq.	Mt CO2 éq.	Mt CO2 éq.	Mt CO2 éq.
2015	0	0	0	0
2020	0	1	0	1
2035	0	16	6	24
2050	0	40	20	70

Sur cette représentation graphique et ce tableau, il est également possible de voir que le scénario Objectif Neutralité Carbone se distingue fortement des autres à partir de l'année 2035 avec une forte augmentation du stock de carbone considéré dans l'étude.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées par famille de produits selon les scénarios retenus à l'horizon 2050. Les contributions de chaque famille de produits ont également été reprises dans ce tableau dans la colonne « Contrib. (%) ».

Tableau 13 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs absolues et contribution par familles de produits

Familles	Scénario Tendanciel - 2050		Scénario Volontariste - 2050		Scénario Alternatif - 2050		Scénario ONC - 2050	
	Valeurs	Contrib. (%)	Valeurs	Contrib. (%)	Valeurs	Contrib. (%)	Valeurs	Contrib. (%)
Systèmes constructif	6 640	6%	22 386	15%	15 645	13%	20 767	12%
Système constructif mixte	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Charpentes	19 643	19%	21 878	15%	19 344	16%	44 875	26%
Bois dans l'isolation	1 584	2%	2 355	2%	1 933	2%	2 171	1%
Revêtement des sols	8 877	8%	11 892	8%	9 932	8%	15 288	9%
Escaliers	6 620	6%	8 255	6%	9 042	7%	8 254	5%
Garde-corps	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Portes	2 693	3%	2 902	2%	2 675	2%	2 896	2%
Portes d'entrées	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Cloisons	177	0%	275	0%	230	0%	215	0%
Lambris	5 002	5%	7 420	5%	6 210	5%	7 309	4%
Aménagement intérieur	29 638	28%	35 583	25%	31 265	25%	35 583	20%
Produits profilés et moulurés	3 817	4%	4 681	3%	4 142	3%	4 252	2%
Fenêtres et portes	5 734	5%	8 652	6%	7 052	6%	9 387	5%
Platelage	5 566	5%	6 974	5%	6 388	5%	6 891	4%
Parement verticaux extérieurs	8 542	8%	11 015	8%	10 199	8%	16 017	9%
Habillages	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Clôtures	402	0%	552	0%	452	0%	552	0%
Balcons	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL	104 934	100%	144 820	100%	124 510	100%	174 454	100%

Dans le tableau précédent, il est possible de voir que le scénario Objectif Neutralité Carbone semble apporter plus de poids à la famille des charpentes (26%) que les autres scénarios retenus (de 15% à 19%). Une analyse plus détaillée par scénario est proposée dans les paragraphes suivants.

5.1.1.1 Analyse de sensibilité : gestion des imports

Dans les inventaires nationaux au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), du Protocole de Kyoto en général et de l'amendement de Doha établissant la 2^{ème} période d'engagement au Protocole de Kyoto (2013-2020), les produits importés ne peuvent pas être comptabilisés.

La Stratégie Nationale Bas Carbone permet de fournir l'ensemble des volumes de produits bois à partir de la récolte nationale, ceci supposant un investissement important dans l'ensemble de la filière forêt bois française.

Le comité du pilotage de l'étude a souhaité connaître l'évolution du stock carbone de l'étude associé à la récolte nationale si les taux d'importation des produits bois n'évoluaient pas. Les taux d'imports considérés sont repris au paragraphe 3.2.3 et sont donc les taux actuels qui restent constant jusqu'en 2050. Pour rappel, le taux d'import représente la part des produits fabriqués à l'étranger ainsi que celle fabriquée en France à partir de bois non récoltés sur le territoire. A l'inverse, le taux de production nationale représente la part des produits fabriqués en France à partir de bois récoltés sur le territoire.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées à l'horizon 2050 pour les scénarios retenus. Dans ce tableau, « FR » représente donc la part liée à la production à base de bois français et « Import » celle liée aux importations et aux produits fabriqués en France à partir de bois importés selon les taux retenus dans cette étude.

Tableau 14 - Stock carbone de l'étude - Comparaison scénarios - Valeurs absolues - Production nationale et imports

Famille	Scénario Tendanciel - 2050		Scénario Volontariste - 2050		Scénario Alternatif - 2050		Scénario ONC - 2050	
	FR	IMPORT	FR	IMPORT	FR	IMPORT	FR	IMPORT
Systèmes constructif	3 165	3 475	7 458	14 928	5 499	10 145	9 298	11 469
Système constructif mixte	0	0	0	0	0	0	0	0
Charpentes	10 825	8 817	12 009	9 869	10 624	8 720	23 865	21 010
Bois dans l'isolation	570	1 014	848	1 507	696	1 237	781	1 389
Revêtement des sols	4 702	4 175	6 274	5 618	5 206	4 726	8 008	7 279
Escaliers	5 825	794	7 264	991	7 957	1 085	7 263	990
Garde-corps	0	0	0	0	0	0	0	0
Portes	2 316	377	2 496	406	2 300	374	2 490	405
Portes d'entrées	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloisons	95	83	145	130	120	110	114	100
Lambris	2 791	2 211	4 126	3 294	3 457	2 753	4 065	3 245
Aménagement intérieur	10 670	18 968	12 810	22 773	11 255	20 010	12 810	22 773
Produits profilés et moulurés	3 512	305	4 307	374	3 811	331	3 912	340
Fenêtres et portes	5 104	631	7 701	952	6 276	776	8 354	1 033
Platelage	2 727	2 839	3 417	3 557	3 130	3 258	3 376	3 514
Parement verticaux extérieurs	6 327	2 214	6 180	4 834	7 552	2 647	11 698	4 319
Habillages	0	0	0	0	0	0	0	0
Clôtures	357	44	491	61	403	50	491	61
Balcons	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	58 987	45 947	75 527	69 294	68 287	56 223	96 526	77 928

Les graphiques suivants reprennent les informations du tableau précédent pour chaque scénario.

Figure 7 - Stock carbone de l'étude - Scénario Tendanciel - 2050 - Production nationale vs imports

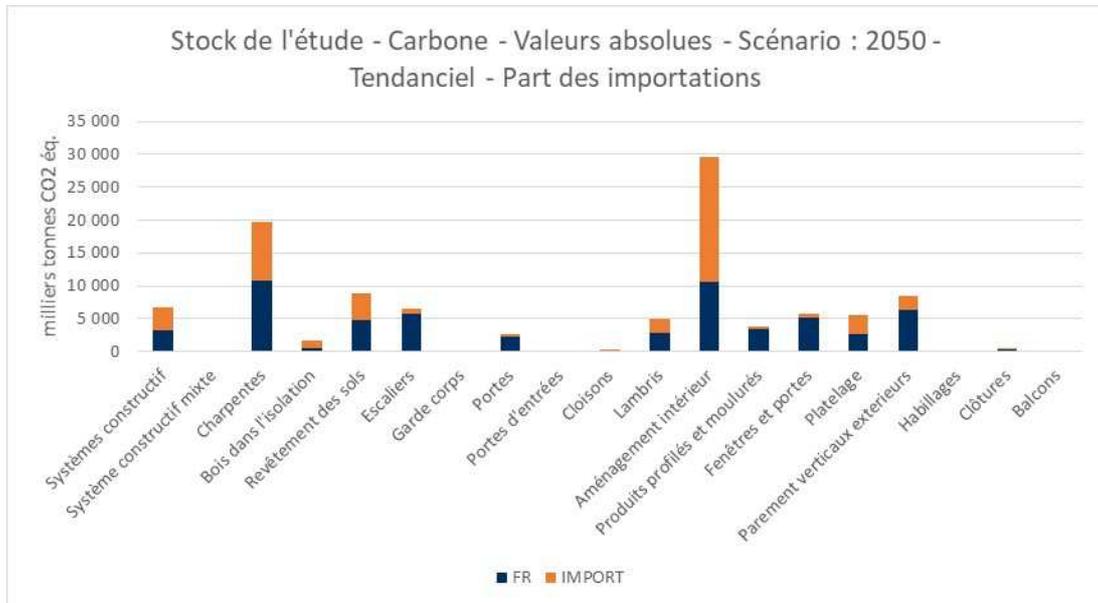


Figure 8 - Stock carbone de l'étude - Scénario Volontariste - 2050 - Production nationale vs imports

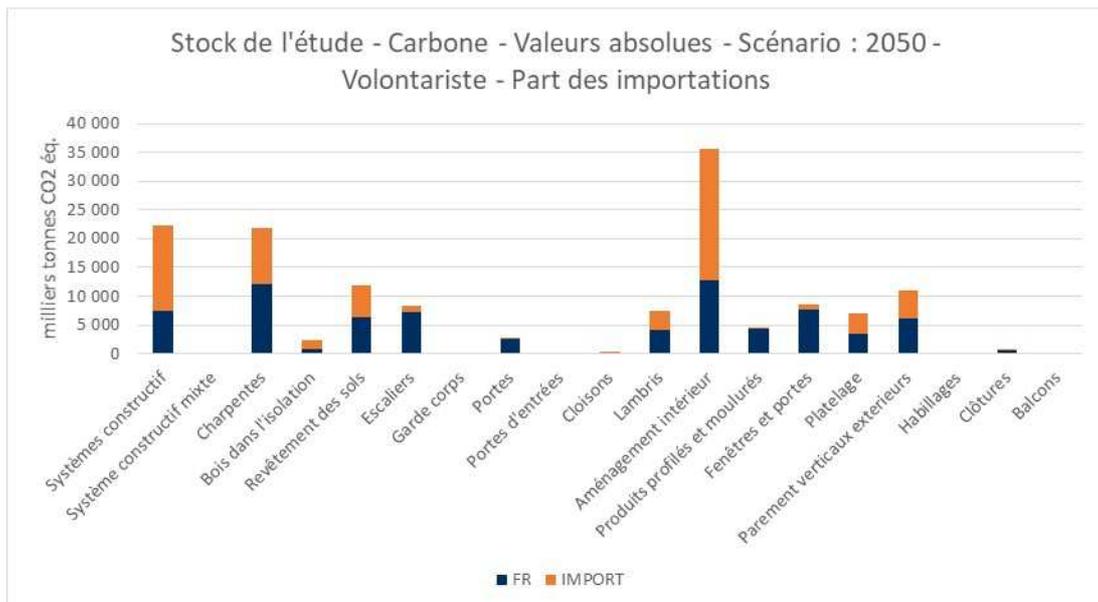


Figure 9 - Stock carbone de l'étude - Scénario Alternatif - 2050 - Production nationale vs imports

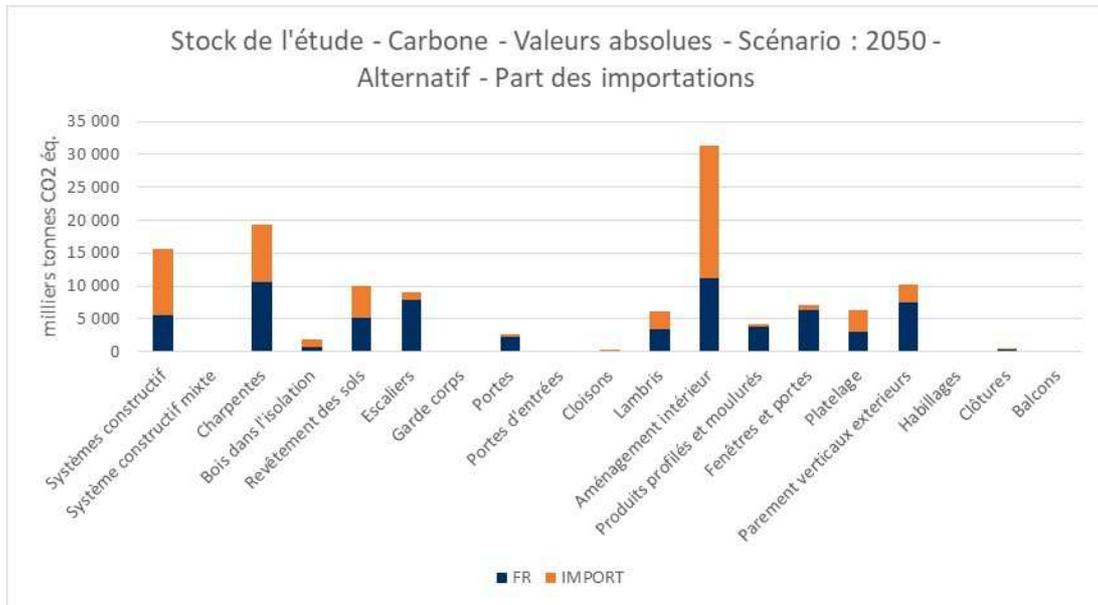
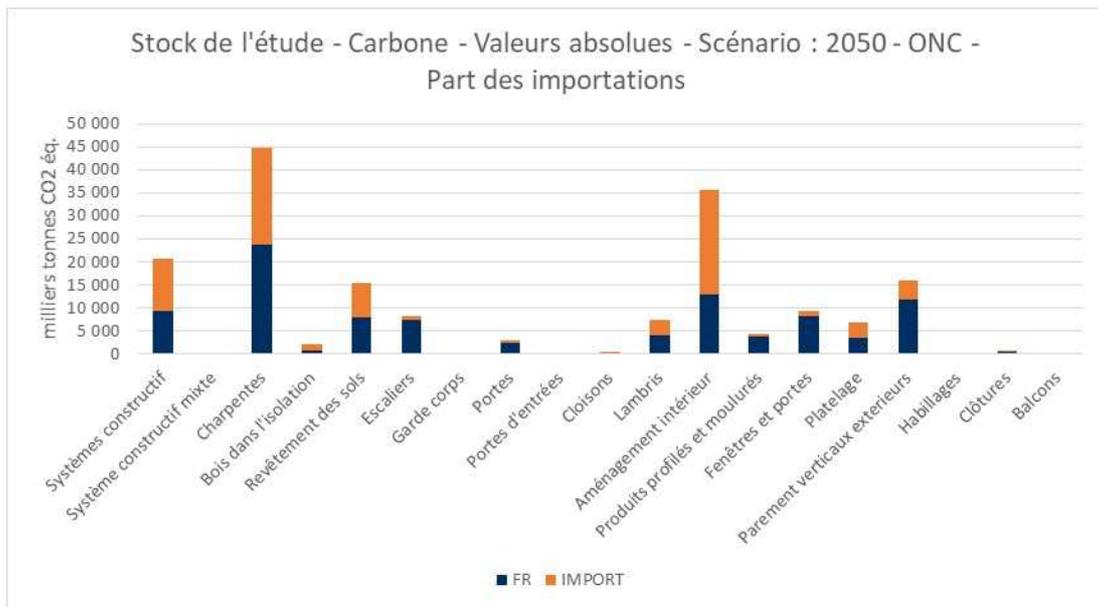


Figure 10 - Stock carbone de l'étude - Scénario ONC - 2050 - Production nationale vs imports



Selon les données d'import utilisées dans cette étude, cette simulation permet de s'apercevoir que la part des produits importés est non négligeable pour les trois familles de produits ayant le plus de contribution sur le stock de carbone de l'étude (aménagement intérieur, systèmes constructifs, charpentes). Il est cependant probable qu'une hausse de la demande aura pour conséquence un développement de l'offre française (voir Partie 3).

L'analyse permet cependant d'apporter un éclairage sur l'impact d'une augmentation de la demande en produits bois sans un développement accéléré de la filière française. En effet, en 2050, le taux moyen de stocks de produits bois ne provenant pas de la récolte nationale et donc non comptabilisables dans les inventaires nationaux serait de 44%, si l'on considère que la filière bois française ne gagne pas de part de marchés par rapport aux pays d'importation (Figure 10).

5.1.2 Scénario Tendancier

Cette section reprend les résultats et les analyses spécifiques au scénario Tendancier retenu dans le cadre de cette étude.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées par famille de produits selon les horizons choisis.

Les valeurs absolues sont reprises dans ce tableau ainsi que la part relative des contributions de chaque famille. Les valeurs en pourcentage ont été arrondies.

Les stocks de l'étude en valeur absolue ne représentent pas l'ensemble du stock de produits bois en France. En effet, seuls les stocks de produits fabriqués après 2015 sont comptabilisés.

Tableau 15 - Stock carbone de l'étude – Scénario Tendanciel - Valeurs absolues et contribution par familles de produits – 2020 / 2035 / 2050

Famille	Scénario Tendanciel - 2020		Scénario Tendanciel - 2035		Scénario Tendanciel - 2050	
	Valeurs en milliers tonnes CO ₂ éq.	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs
Systèmes constructif	1 554	7%	4 628	6%	6 640	6%
Système constructif mixte	0	0%	0	0%	0	0%
Charpentes	4 480	19%	14 100	19%	19 643	19%
Bois dans l'isolation	371	2%	1 112	2%	1 584	2%
Revêtement des sols	2 008	8%	6 197	8%	8 877	8%
Escaliers	1 452	6%	4 479	6%	6 620	6%
Garde-corps	0	0%	0	0%	0	0%
Portes	585	2%	1 909	3%	2 693	3%
Portes d'entrées	0	0%	0	0%	0	0%
Cloisons	37	0%	124	0%	177	0%
Lambris	1 117	5%	3 397	5%	5 002	5%
Aménagement intérieur	6 930	29%	21 035	29%	29 638	28%
Produits profilés et moulurés	817	3%	2 632	4%	3 817	4%
Fenêtres et portes	1 218	5%	3 806	5%	5 734	5%
Platelage	1 192	5%	3 727	5%	5 566	5%
Parement verticaux extérieurs	1 819	8%	5 744	8%	8 542	8%
Habillages	0	0%	0	0%	0	0%
Clôtures	86	0%	271	0%	402	0%
Balcons	0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL	23 665	100%	73 161	100%	104 934	100%

Les graphiques suivants représentent les contributions par famille de produits de manière graphique sous forme d'histogramme d'une part et de diagramme en secteur d'autre part uniquement pour l'horizon 2050.

Sur le graphique sous forme d'histogrammes, la ligne orange représente une limite de contribution fixée à 5% du total. Cela permet d'identifier rapidement les contributeurs importants. Les valeurs sont fournies en milliers de tonnes CO₂ éq.

Sur le diagramme en secteur, afin de faciliter la compréhension, seules les familles de produits contribuant à plus de 2% du total ont été représentées. La somme des pourcentages représentée n'est donc pas de 100%.

Figure 11 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Tendanciel – Contribution par familles

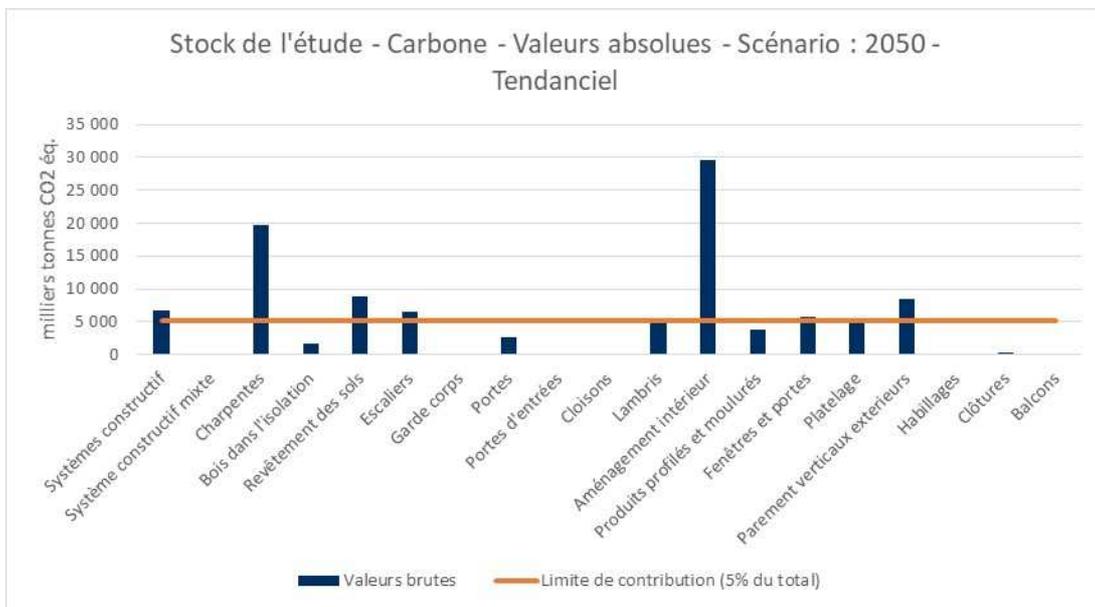
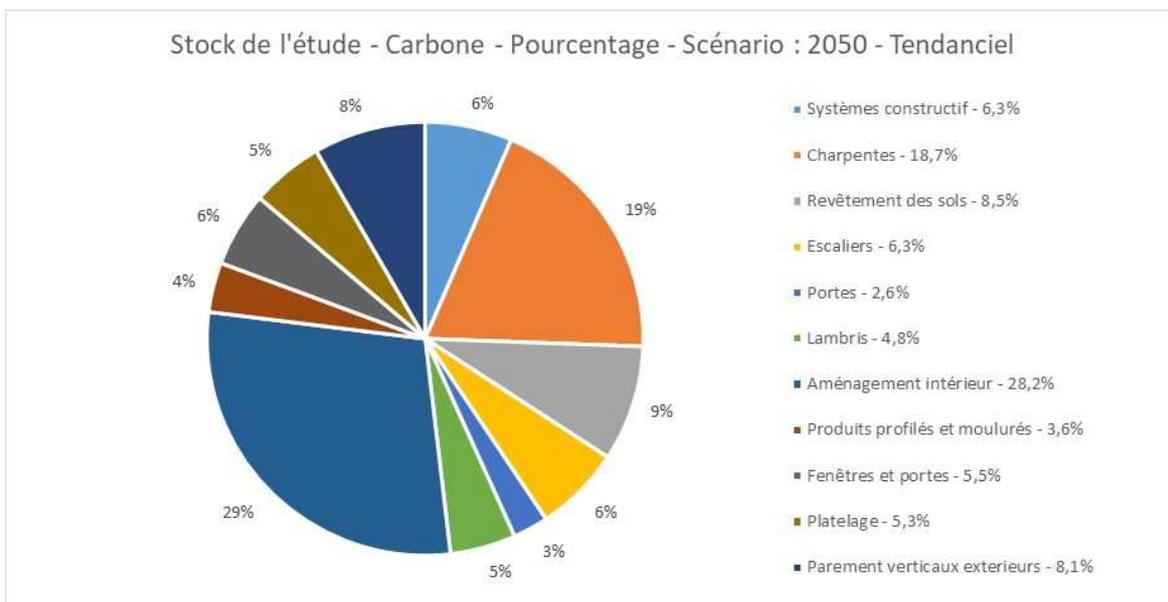


Figure 12 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Tendanciel - Contribution supérieure à 2%



A l'horizon 2050, pour le scénario Tendanciel, le stock carbone de l'étude est essentiellement porté par les aménagements intérieurs (29%) et les charpentes (19%).

Les aménagements intérieurs permettent un stock de 29 638 milliers de tonnes CO₂ éq. représentant 29% du total. Pour cette famille, les éléments de cuisine contribuent très largement (80%) suivis par les placards (14%).

La famille des charpentes permet un stock de 19 643 milliers de tonnes CO₂ éq soit 19% du total. Pour cette famille de produits, les charpentes industrielles représentent 40% de la contribution contre 60% pour les charpentes traditionnelles.

Les autres familles de produits contribuant au stock de carbone de l'étude sont :

- les revêtements de sols (9%) portés par les parquets (64%) ;
- les parements verticaux extérieurs (8%) avec les bardages en bois ;
- les systèmes constructifs (6%) avec l'ossature bois (69%) et les poteaux poutres (26%) notamment ;
- les fenêtres et portes (6%) avec les fenêtres bois et les volets à proportion équivalentes (environ 40%) ;
- les escaliers (6%) notamment mixte bois-acier ;
- les platelages (5%) et lambris (5%) avec les plafonds bois.

5.1.3 Scénario Volontariste

Cette section reprend les résultats et les analyses spécifiques au scénario Volontariste retenu dans le cadre de cette étude.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées par famille de produits selon les horizons choisis.

Les valeurs absolues sont reprises dans ce tableau ainsi que la part relative des contributions de chaque famille. Les valeurs en pourcentage ont été arrondies.

Les stocks de l'étude en valeur absolue ne représentent pas l'ensemble du stock de produits bois en France. En effet, seuls les stocks de produits fabriqués après 2015 sont comptabilisés.

Tableau 16 - Stock carbone de l'étude – Scénario Volontariste - Valeurs absolues et contribution par familles de produits – 2020 / 2035 / 2050

Famille	Scénario Volontariste - 2020		Scénario Volontariste - 2035		Scénario Volontariste - 2050		
	Valeurs en milliers tonnes CO ₂ éq.	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)
Systèmes constructif		2 001	8%	11 801	13%	22 386	15%
Système constructif mixte		0	0%	0	0%	0	0%
Charpentes		4 546	19%	15 087	17%	21 878	15%
Bois dans l'isolation		394	2%	1 279	1%	2 355	2%
Revêtement des sols		2 048	8%	7 143	8%	11 892	8%
Escaliers		1 467	6%	4 889	5%	8 255	6%
Garde-corps		0	0%	0	0%	0	0%
Portes		587	2%	1 968	2%	2 902	2%
Portes d'entrées		0	0%	0	0%	0	0%
Cloisons		39	0%	166	0%	275	0%
Lambris		1 140	5%	4 066	5%	7 420	5%
Aménagement intérieur		7 003	29%	23 547	26%	35 583	25%
Produits profilés et moulurés		823	3%	2 853	3%	4 681	3%
Fenêtres et portes		1 247	5%	4 646	5%	8 652	6%
Platelage		1 211	5%	4 327	5%	6 974	5%
Parement verticaux extérieurs		1 864	8%	6 840	8%	11 015	8%
Habillages		0	0%	0	0%	0	0%
Clôtures		88	0%	310	0%	552	0%
Balcons		0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL		24 458	100%	88 923	100%	144 820	100%

Les graphiques suivants représentent les contributions par famille de produits de manière graphique sous forme d'histogramme d'une part et de diagramme en secteur d'autre part uniquement pour l'horizon 2050.

Sur le graphique sous forme d'histogrammes, la ligne orange représente une limite de contribution fixée à 5% du total. Cela permet d'identifier rapidement les contributeurs importants. Les valeurs sont fournies en milliers de tonnes CO₂ éq.

Sur le diagramme en secteur, afin de faciliter la compréhension, seules les familles de produits contribuant à plus de 2% du total ont été représentées. La somme des pourcentages représentée n'est donc pas de 100%.

Figure 13 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Volontariste – Contribution par familles

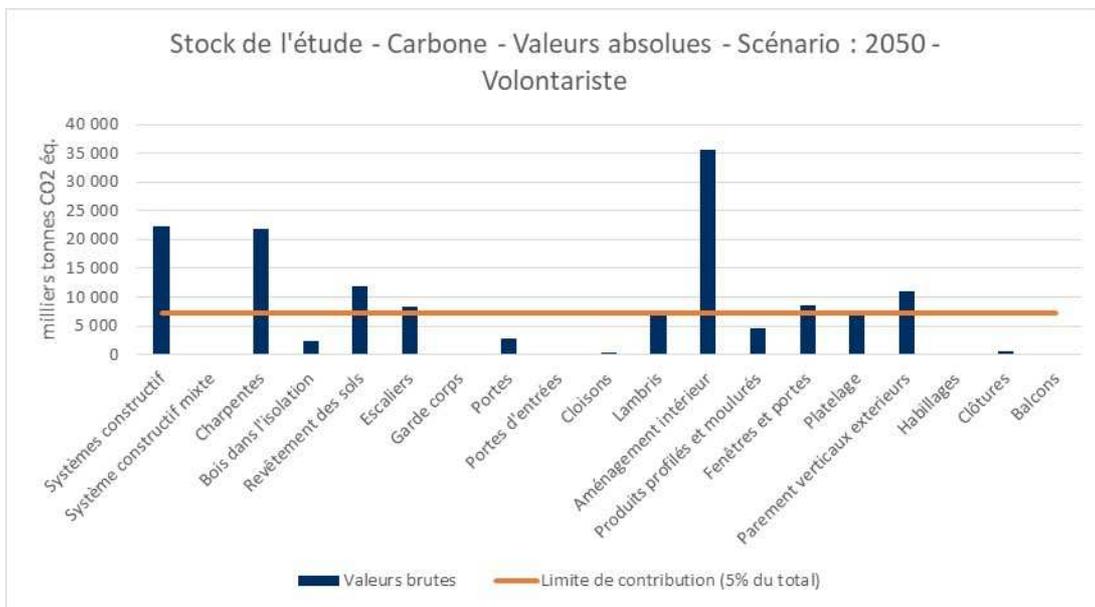
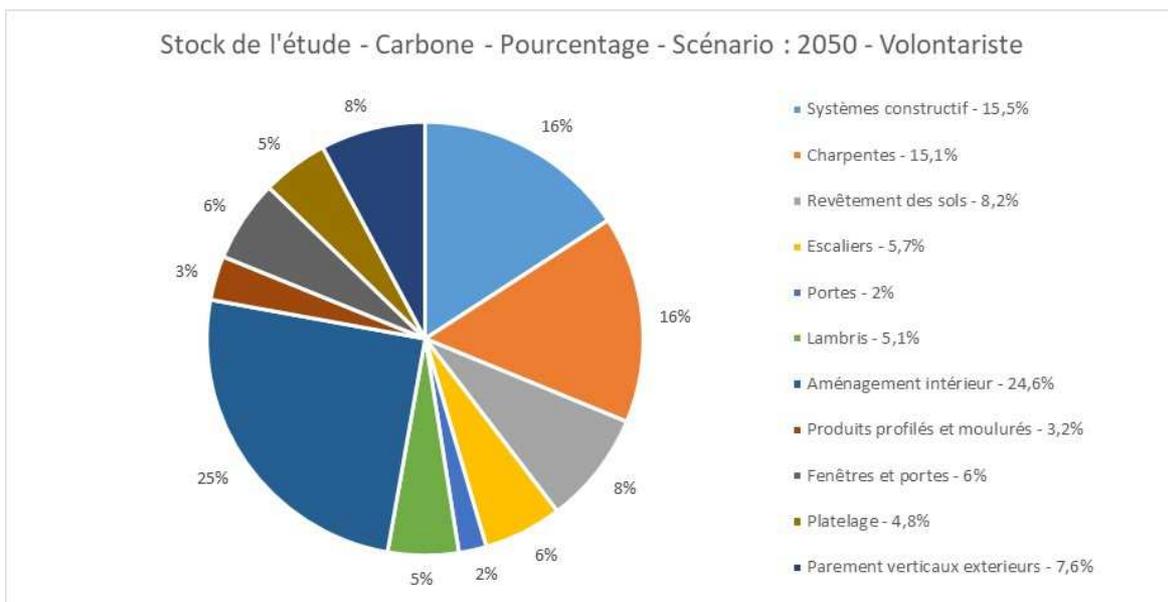


Figure 14 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Volontariste - Contribution supérieure à 2%



A l'horizon 2050, pour le scénario Volontariste, le stock carbone de l'étude est essentiellement porté par les aménagements intérieurs (25%), les systèmes constructifs (16%) et les charpentes (15%).

Les aménagements intérieurs permettent un stock de 35 583 milliers de tonnes CO₂ éq soit 25% du total. Dans cette famille, les éléments de cuisine contribuent très largement (81%) suivis par les placards (14%).

Au sein des systèmes constructifs qui permettent un stock de 22 386 milliers de tonnes CO₂ éq. soit 15% du total, les panneaux CLT (44%) et l'ossature bois (41%) sont les deux ouvrages / produits les plus contributeurs.

Les charpentes quant à elles permettent de stocker 21 878 milliers de tonnes CO₂ éq. soit 15% du total. Pour cette famille, les charpentes industrielles représentent 37% de la contribution contre 63% pour les charpentes traditionnelles.

Les autres familles de produits contribuant au stock de carbone de l'étude sont :

- les revêtements de sols (8%) portés par les parquets (63%) ;
- les parements verticaux extérieurs (8%) avec les bardages en bois ;
- les fenêtres et portes (6%) avec les fenêtres bois et les volets à proportion équivalentes (environ 40%) ;
- les escaliers (6%) notamment mixte bois-acier ;
- les platelages (5%) et les lambris (5%).

5.1.4 Scénario Alternatif

Cette section reprend les résultats et les analyses spécifiques au scénario Alternatif retenu dans le cadre de cette étude.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées par famille de produits selon les horizons choisis.

Les valeurs absolues sont reprises dans ce tableau ainsi que la part relative des contributions de chaque famille. Les valeurs en pourcentage ont été arrondies.

Les stocks de l'étude en valeur absolue ne représentent pas l'ensemble du stock de produits bois en France. En effet, seuls les stocks de produits fabriqués après 2015 sont comptabilisés.

Tableau 17 - Stock carbone de l'étude – Scénario Alternatif - Valeurs absolues et contribution par familles de produits – 2020 / 2035 / 2050

Famille	Scénario Alternatif - 2020		Scénario Alternatif - 2035		Scénario Alternatif - 2050		
	Valeurs en milliers tonnes CO ₂ éq.	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)
Systèmes constructif		1 713	7%	8 378	11%	15 645	13%
Système constructif mixte		0	0%	0	0%	0	0%
Charpentes		4 421	19%	13 606	17%	19 344	16%
Bois dans l'isolation		384	2%	1 163	1%	1 933	2%
Revêtement des sols		1 974	8%	6 307	8%	9 932	8%
Escaliers		1 542	7%	5 471	7%	9 042	7%
Garde-corps		0	0%	0	0%	0	0%
Portes		560	2%	1 802	2%	2 675	2%
Portes d'entrées		0	0%	0	0%	0	0%
Cloisons		38	0%	145	0%	230	0%
Lambris		1 129	5%	3 725	5%	6 210	5%
Aménagement intérieur		6 758	29%	21 145	27%	31 265	25%
Produits profilés et moulurés		812	3%	2 662	3%	4 142	3%
Fenêtres et portes		1 226	5%	4 143	5%	7 052	6%
Platelage		1 169	5%	3 879	5%	6 388	5%
Parement verticaux extérieurs		1 835	8%	6 200	8%	10 199	8%
Habillages		0	0%	0	0%	0	0%
Clôtures		84	0%	274	0%	452	0%
Balcons		0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL		23 646	100%	78 901	100%	124 510	100%

Les graphiques suivants représentent les contributions par famille de produits de manière graphique sous forme d'histogramme d'une part et de diagramme en secteur d'autre part uniquement pour l'horizon 2050.

Sur le graphique sous forme d'histogrammes, la ligne orange représente une limite de contribution fixée à 5% du total. Cela permet d'identifier rapidement les contributeurs importants. Les valeurs sont fournies en milliers de tonnes CO₂ éq.

Sur le diagramme en secteur, afin de faciliter la compréhension, seules les familles de produits contribuant à plus de 2% du total ont été représentées. La somme des pourcentages représentée n'est donc pas de 100%.

Figure 15 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Alternatif – Contribution par familles

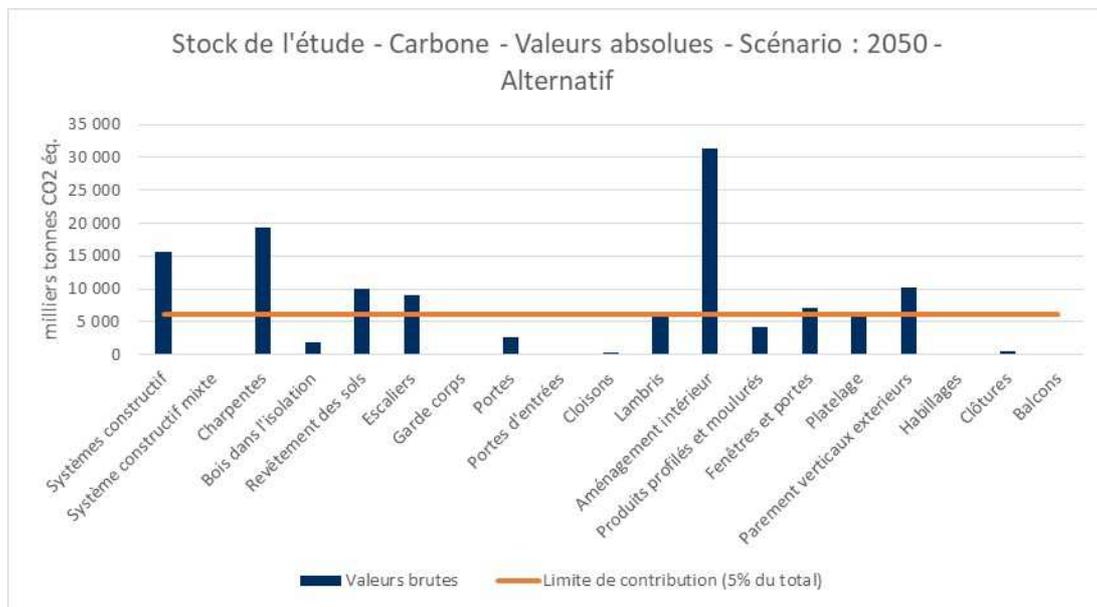
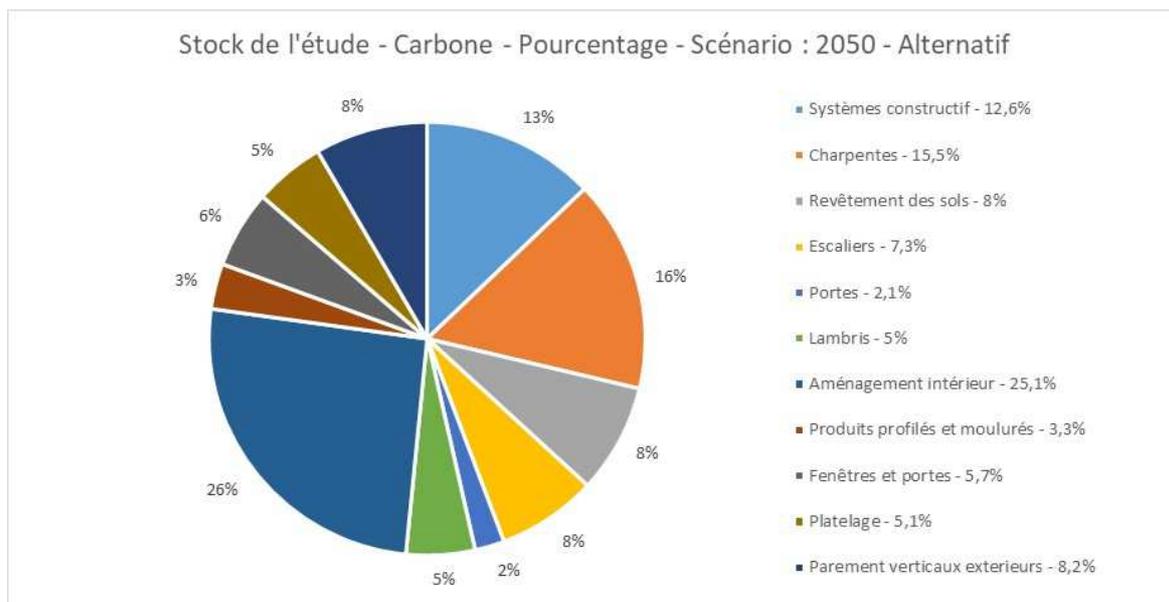


Figure 16 - Stock carbone de l'étude – 2050 – Scénario Alternatif - Contribution supérieure à 2%



A l'horizon 2050, pour le scénario Alternatif, le stock carbone de l'étude est essentiellement porté par les aménagements intérieurs (26%), les charpentes (16%) et les systèmes constructifs (13%).

Les aménagements intérieurs permettent un stock de 31 265 milliers de tonnes CO₂ éq. soit 26% du total. Parmi ces aménagements intérieurs, les éléments de cuisine contribuent très largement (81%) suivis par les placards (13%).

Le stock obtenu par la famille des charpentes est de 19 344 milliers de tonnes CO₂ éq. soit 16% du total. Dans cette famille, les charpentes industrielles représentent 37% de la contribution contre 63% pour les charpentes traditionnelles.

Au sein des systèmes constructifs qui permettent un stock de 15 645 milliers de tonnes CO₂ éq. (13% du total), l'ossature bois (43%) et les panneaux CLT (39%) sont les deux ouvrages / produits les plus contributeurs.

Les autres familles de produits contribuant au stock de carbone de l'étude sont :

- les revêtements de sols (8%) portés par les parquets (62%) ;
- les parements verticaux extérieurs (8%) avec les bardages en bois ;
- les escaliers (7%) notamment mixte bois-acier ;
- les fenêtres et portes (6%) avec les fenêtres bois et les volets à proportion équivalentes (environ 41%) ;
- les platelages (5%) et les lambris (5%).

5.1.5 Scénario Objectif Neutralité Carbone

Cette section reprend les résultats et les analyses spécifiques au scénario Objectif Neutralité Carbone (ONC) retenu dans le cadre de cette étude.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées par famille de produits selon les horizons choisis.

Les valeurs absolues sont reprises dans ce tableau ainsi que la part relative des contributions de chaque famille. Les valeurs en pourcentage ont été arrondies.

Les stocks de l'étude en valeur absolue ne représentent pas l'ensemble du stock de produits bois en France. En effet, seuls les stocks de produits fabriqués après 2015 sont comptabilisés.

Tableau 18 - Stock carbone de l'étude – Scénario ONC - Valeurs absolues et contribution par familles de produits – 2020 / 2035 / 2050

Famille	Scénario ONC - 2020		Scénario ONC - 2035		Scénario ONC - 2050		
	Valeurs en milliers tonnes CO ₂ éq.	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)
Systèmes constructif		2 001	8%	10 203	10%	20 767	12%
Système constructif mixte		0	0%	0	0%	0	0%
Charpentes		4 431	18%	22 492	23%	44 875	26%
Bois dans l'isolation		394	2%	1 230	1%	2 171	1%
Revêtement des sols		2 048	8%	8 230	8%	15 288	9%
Escaliers		1 467	6%	4 889	5%	8 254	5%
Garde-corps		0	0%	0	0%	0	0%
Portes		587	2%	1 965	2%	2 896	2%
Portes d'entrées		0	0%	0	0%	0	0%
Cloisons		39	0%	141	0%	215	0%
Lambris		1 140	5%	4 018	4%	7 309	4%
Aménagement intérieur		7 003	29%	23 547	24%	35 583	20%
Produits profilés et moulurés		823	3%	2 853	3%	4 252	2%
Fenêtres et portes		1 247	5%	4 859	5%	9 387	5%
Platelage		1 211	5%	4 294	4%	6 891	4%
Parement verticaux extérieurs		1 838	8%	8 422	9%	16 017	9%
Habillages		0	0%	0	0%	0	0%
Clôtures		88	0%	310	0%	552	0%
Balcons		0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL		24 318	100%	97 452	100%	174 454	100%

Les graphiques suivants représentent les contributions par famille de produits de manière graphique sous forme d'histogramme d'une part et de diagramme en secteur d'autre part uniquement pour l'horizon 2050.

Sur le graphique sous forme d'histogrammes, la ligne orange représente une limite de contribution fixée à 5% du total. Cela permet d'identifier rapidement les contributeurs importants. Les valeurs sont fournies en milliers de tonnes CO₂ éq.

Sur le diagramme en secteur, afin de faciliter la compréhension, seules les familles de produits contribuant à plus de 2% du total ont été représentées. La somme des pourcentages représentée n'est donc pas de 100%.

Figure 17 - Stock carbone de l'étude - 2050 - Scénario ONC - Contribution par familles

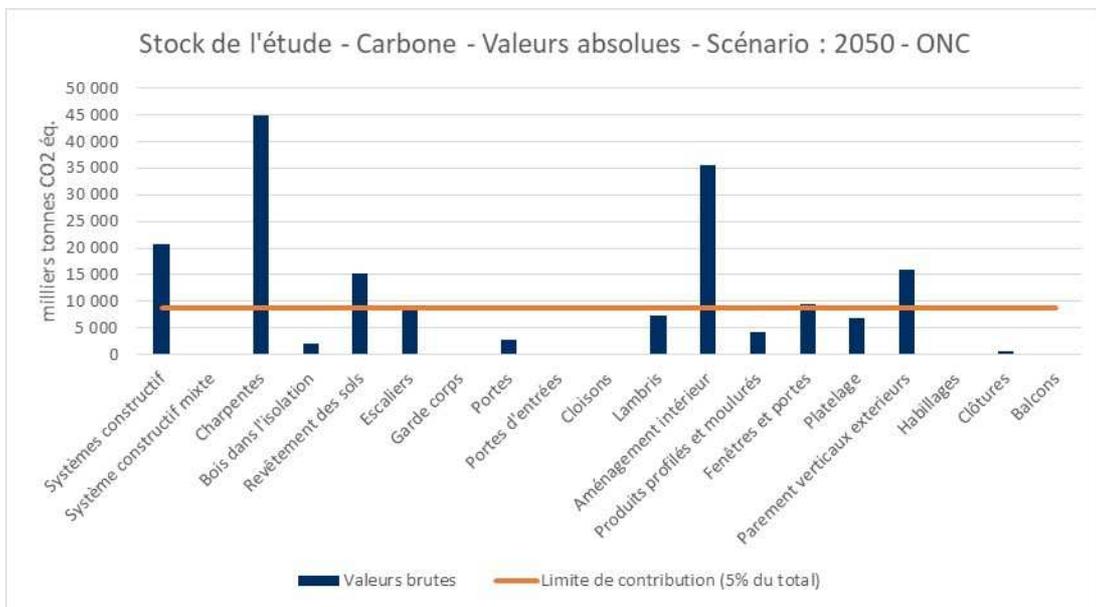
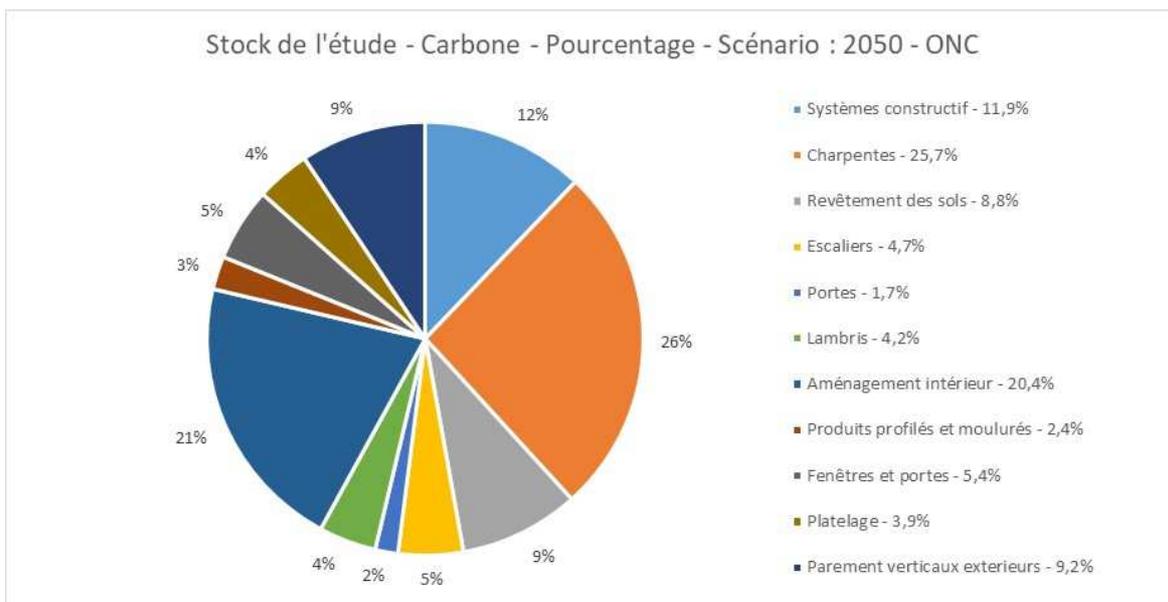


Figure 18 - Stock carbone de l'étude - 2050 - Scénario ONC - Contribution supérieure à 2%



A l'horizon 2050, pour le scénario Objectif Neutralité Carbone, le stock carbone de l'étude est essentiellement porté par les charpentes (26%), les aménagements intérieurs (21%) et les charpentes (12%).

La famille des charpentes permet un stock de 44 875 milliers de tonnes de CO₂ éq. soit 26% du total. Dans cette famille, les charpentes industrielles représentent 32% de la contribution contre 68% pour les charpentes traditionnelles.

Concernant les aménagements intérieurs qui permettent un stock de 35 583 milliers de tonnes de CO₂ éq (21% du total), les éléments de cuisine contribuent très largement (81%) suivis par les placards (13%).

Le stock obtenu avec les systèmes constructifs est de 20 767 milliers de tonnes de CO₂ éq. soit 12% du total. Les contributions respectives sont de 68% pour l'ossature bois, 19% pour les poteaux poutres et de 13% pour les panneaux CLT.

Les autres familles de produits contribuant au stock de carbone de l'étude sont :

- les revêtements de sols (9%) portés par les parquets (62%) ;
- les parements verticaux extérieurs (9%) avec les bardages en bois ;
- les escaliers (5%) notamment mixte bois-acier ;
- les fenêtres et portes (5%) avec les fenêtres bois (44%) et les volets (37%) ;
- les platelages (4%) et les lambris (4%).

5.2 Substitution matériau - Résultats et analyse

Cette section reprend les principaux résultats correspondants aux effets de substitution liés aux produits bois.

La substitution est cumulative dans le temps, c'est-à-dire qu'à 2050, les effets de substitution retenus représentent la somme de ces effets annuels entre 2015 et 2050.

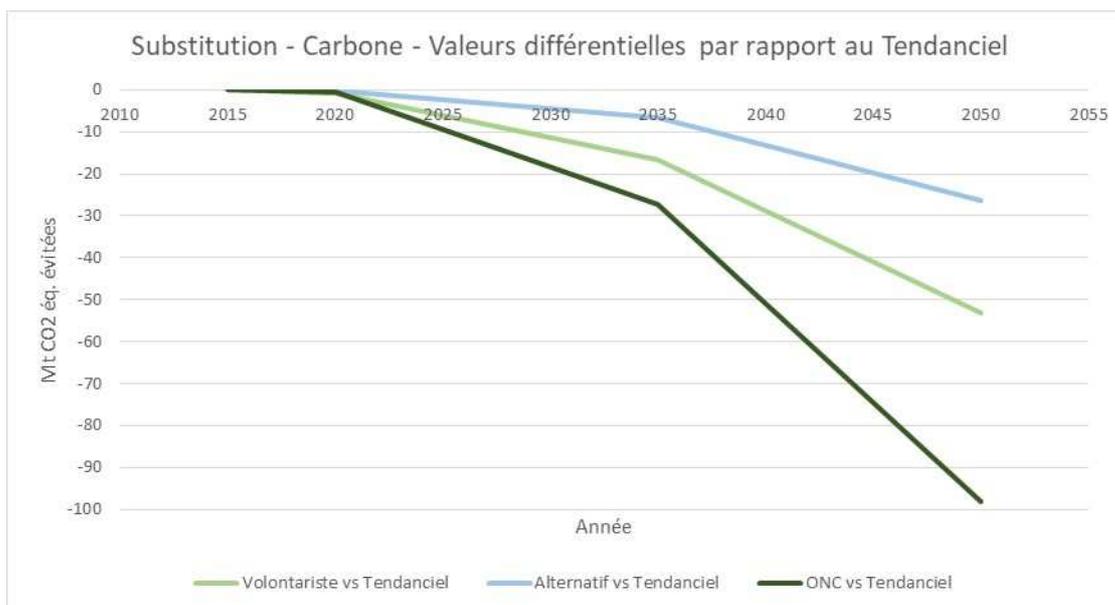
Pour rappel, la substitution représente des émissions fossiles évitées. Par conséquent, les valeurs présentées sont négatives. Aussi, plus ces émissions évitées sont importantes (valeurs fortement négatives), plus l'effet est bénéfique d'un point de vue du changement climatique.

Enfin, il est important d'avoir en tête que seuls des résultats présentés en valeurs différentielles par rapport à un scénario de référence (scénario « Tendanciel ») peuvent être exploités. En effet, les valeurs absolues seules ne peuvent être interprétées.

5.2.1 Substitution matériau - Gaz à effet de serre (GES)

Les effets de substitution (en différentiel par rapport au scénario « Tendanciel ») pour les différents scénarios retenus sont repris dans le graphique suivant.

Figure 19 - Substitution matériau - GES- Comparaisons scénarios - Valeurs différentielles



Le tableau suivant reprend les valeurs estimées par rapport au scénario Tendanciel pour l'ensemble des scénarios et des horizons choisis. Les valeurs présentées sont en millions de tonnes CO₂ éq.

Tableau 19 - Substitution matériau - GES - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles

Année	Scénario Tendanciel	Scénario Volontariste	Scénario Alternatif	Scénario Objectif Neutralité Carbone
/	Mt CO2 éq.	Mt CO2 éq.	Mt CO2 éq.	Mt CO2 éq.
2015	0	0	0	0
2020	0	- 1	0	- 0,5
2035	0	- 17	- 7	- 26
2050	0	- 53	- 26	- 98

Comme pour le stock carbone de l'étude, il est possible de voir que le scénario ONC se distingue fortement des autres à partir de l'année 2035 avec une forte augmentation des effets de substitution liés aux produits bois.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées par famille de produits selon les horizons choisis. Les valeurs en différentielles par rapport au scénario Tendanciel sont reprises dans ce tableau ainsi que la part relative des contributions de chaque famille. Les valeurs en pourcentage ont été arrondies.

Tableau 20 - Substitution matériau - GES -- Valeurs différentielles par rapport au scénario Tendanciel – Horizon 2050 et contribution par familles

Famille	2050 - Volontariste vs Tendanciel		2050 - Alternatif vs Tendanciel		2050 - ONC vs Tendanciel		
	Valeurs en milliers tonnes CO ₂ éq.	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)
Systèmes constructif		-21 905	41%	-12 231	46%	-22 203	23%
Système constructif mixte		-1 759	3%	-911	3%	-277	0%
Charpentes		-2 228	4%	257	-1%	-35 427	36%
Bois dans l'isolation		-627	1%	-282	1%	-476	0%
Revêtement des sols		-5 766	11%	-1 896	7%	-12 511	13%
Escaliers		-2 109	4%	-3 193	12%	-2 108	2%
Garde-corps		0	0%	0	0%	0	0%
Portes		-271	1%	43	0%	-262	0%
Portes d'entrées		0	0%	0	0%	0	0%
Cloisons		-77	0%	-39	0%	-30	0%
Lambris		-2 082	4%	-1 038	4%	-1 985	2%
Aménagement intérieur		-4 053	8%	-1 100	4%	-4 053	4%
Produits profilés et moulurés		-1 115	2%	-411	2%	-580	1%
Fenêtres et portes		-6 882	13%	-3 109	12%	-9 446	10%
Platelage		-1 859	3%	-1 050	4%	-1 749	2%
Parement verticaux extérieurs		-2 219	4%	-1 468	6%	-6 734	7%
Habillages		0	0%	0	0%	0	0%
Clôtures		-194	0%	-64	0%	-194	0%
Balcons		0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL		- 53 150	100%	- 26 500	100%	- 98 000	100%

Les graphiques suivants représentent les contributions par famille de produits de manière graphique sous forme d'histogramme uniquement pour l'horizon 2050.

Les valeurs sont fournies en milliers de tonnes CO₂ éq. évitées.

La ligne orange représente une limite de contribution fixée à 5% du total. Cela permet d'identifier rapidement les contributeurs importants aux effets de substitution par scénario.

Attention, pour améliorer la lisibilité sur ces questions de contribution, les valeurs négatives ont été rendues positives.

Figure 20 - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario Volontariste vs Tendanciel

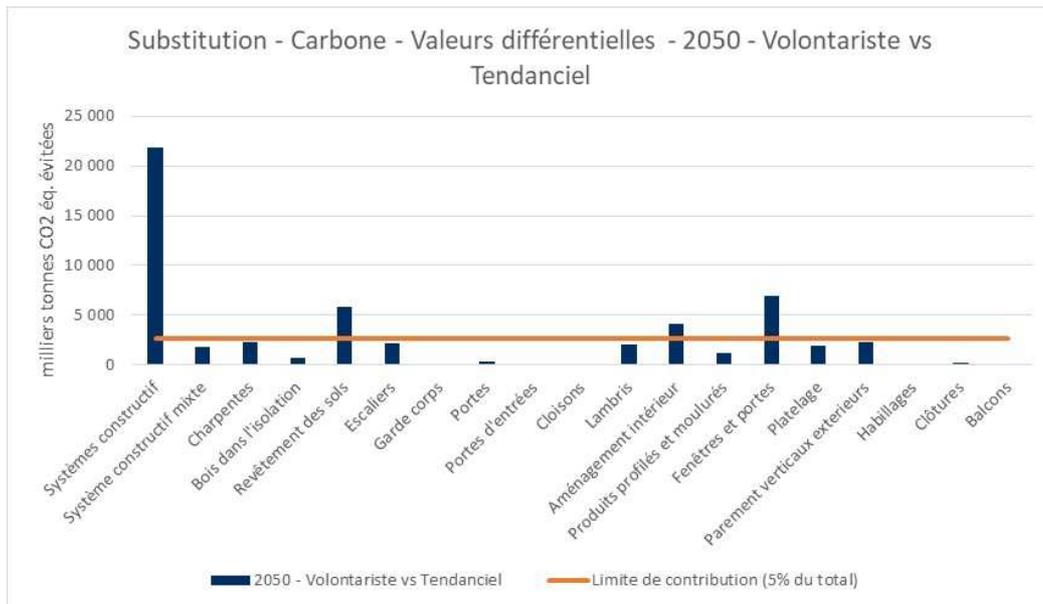


Figure 21 - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario Alternatif vs Tendanciel

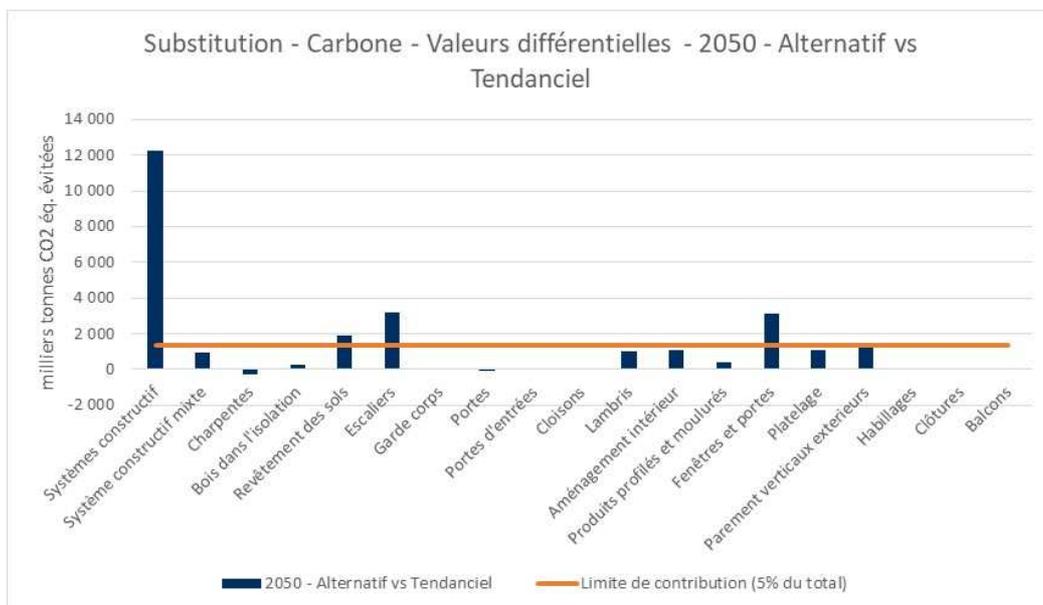
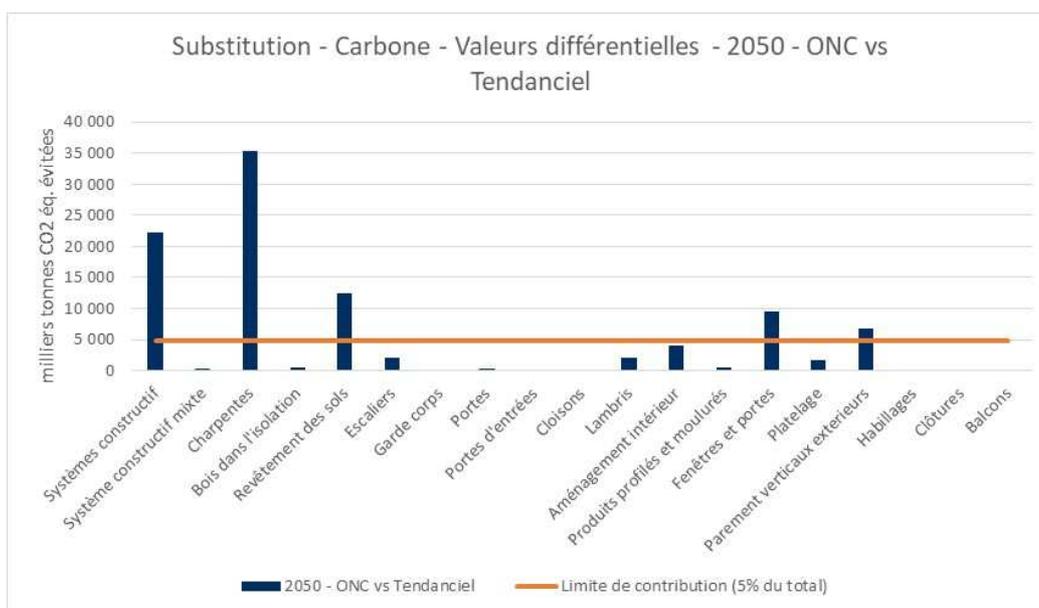


Figure 22 - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario ONC vs Tendanciel



Pour les trois scénarios considérés, il apparaît que les effets de substitution carbone sont essentiellement portés par les systèmes constructifs et les charpentes (notamment dans le cas du scénario Objectif Neutralité Carbone comme évoqué précédemment). Cette prépondérance est principalement liée aux volumes mis en jeu étant donné que les coefficients de substitution associés aux systèmes constructifs et aux charpentes sont dans la moyenne, plutôt haute, des coefficients de substitution (voir Tableau 42). Pour les scénarios alternatifs et volontaristes, la contribution est essentiellement portée par l'ossature bois et les panneaux CLT qui sont considérés comme les moteurs de la construction bois. Ces systèmes viennent se substituer à des éléments de structure type acier ou béton. Une partie des effets de substitution (30% environ selon les scénarios) aura lieu hors de France si les taux d'importations restent constants sur la période étudiée.

Comme expliqué pour le stock carbone de l'étude, le scénario « ONC » accorde une grande importance aux charpentes d'où une contribution d'environ 40% sur les effets de substitution. On peut cependant supposer qu'il s'agit en fait d'un accent mis sur les systèmes constructifs bois incluant les charpentes ce qui porte à 59% le poids des éléments de structure dans l'impact de substitution du scénario ONC.

A la différence du stock carbone de l'étude, les aménagements intérieurs ne sont plus prépondérants mais ont une contribution de l'ordre de 5% environ. En revanche, les fenêtres et les portes ainsi que les revêtements de sols qui peuvent notamment être réalisés en feuillus apparaissent dorénavant comme un contributeur non négligeable. En effet, les coefficients de substitution associés à ces produits sont élevés (voir annexe 8.5).

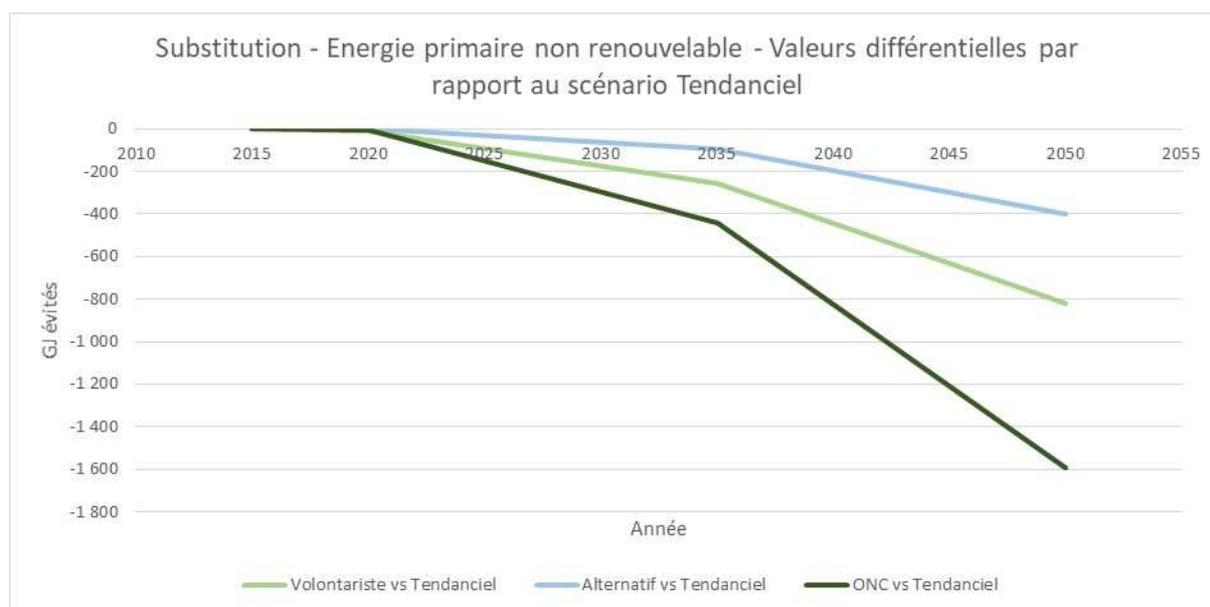
Enfin, les escaliers et les parements restent également des contributeurs non négligeables sur ces effets de substitution.

5.2.2 Substitution matériau - Indicateur de consommation d'énergie non renouvelable

Pour rappel, il s'agit de la différence de consommation d'énergie primaire non renouvelable entre le cycle de vie d'un produit bois et d'un produit concurrent (voir aussi la section 4).

Les effets de substitution (en différentiel par rapport au scénario Tendanciel) pour les différents scénarios retenus sont repris dans le graphique suivant.

Figure 23 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles



Le tableau suivant reprend les valeurs estimées par rapport au scénario Tendanciel pour l'ensemble des scénarios et des horizons choisis. Les valeurs présentées sont en GJ évités.

Tableau 21 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles

Année	Scénario Tendanciel	Scénario Volontariste	Scénario Alternatif	Scénario Objectif Neutralité Carbone
/	GJ	GJ	GJ	GJ
2015	0	0	0	0
2020	0	- 10	- 0,5	- 8
2035	0	- 255	- 97	- 442
2050	0	- 822	- 403	- 1 592

Comme pour les effets de substitution carbone, il est possible de voir que le scénario ONC se distingue fortement des autres à partir de l'année 2035 avec une forte augmentation des effets de substitution liés aux produits bois.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées par famille de produits selon les horizons choisis. Les valeurs en différentielles par rapport au scénario Tendanciel sont reprises dans

ce tableau ainsi que la part relative des contributions de chaque famille. Les valeurs en pourcentage ont été arrondies.

Tableau 22 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Valeurs différentielles par rapport au scénario Tendanciel - Horizon 2050 et contribution par familles

Famille	2050 - Volontariste vs Tendanciel		2050 - Alternatif vs Tendanciel		2050 - ONC vs Tendanciel		
	Valeurs en MJ.	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)
Systèmes constructif		-302 257	37%	-172 559	43%	-269 930	17%
Système constructif mixte		-23 747	3%	-12 290	3%	-3 737	0%
Charpentes		-43 371	5%	6 666	-2%	-632 044	40%
Bois dans l'isolation		-11 588	1%	-5 198	1%	-8 796	1%
Revêtement des sols		-103 433	13%	-33 612	8%	-227 480	14%
Escaliers		-34 874	4%	-53 044	13%	-34 852	2%
Garde-corps		0	0%	0	0%	0	0%
Portes		-4 478	1%	774	0%	-4 328	0%
Portes d'entrées		0	0%	0	0%	0	0%
Cloisons		-1 548	0%	-736	0%	-614	0%
Lambris		-34 491	4%	-17 196	4%	-32 874	2%
Aménagement intérieur		-74 009	9%	-19 746	5%	-74 009	5%
Produits profilés et moulurés		-18 443	2%	-6 760	2%	-9 654	1%
Fenêtres et portes		-87 222	11%	-39 313	10%	-115 760	7%
Platelage		-30 884	4%	-17 326	4%	-29 058	2%
Parement verticaux extérieurs		-48 954	6%	-32 093	8%	-145 734	9%
Habillages		0	0%	0	0%	0	0%
Clôtures		-3 216	0%	-1 049	0%	-3 216	0%
Balcons		0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL		- 822 500	100%	- 403 500	100%	- 1 592 000	100%

Les graphiques suivants représentent les contributions par famille de produits de manière graphique sous forme d’histogramme uniquement pour l’horizon 2050.

Les valeurs sont fournies en GJ évités.

La ligne orange représente une limite de contribution fixée à 5% du total. Cela permet d’identifier rapidement les contributeurs importants aux effets de substitution par scénario.

Attention, pour améliorer la lisibilité sur ces questions de contribution, les valeurs négatives ont été rendues positives.

Figure 24 - Substitution matériau - Consommation d’énergie non renouvelable - 2050 - Scénario Volontariste vs Tendanciel

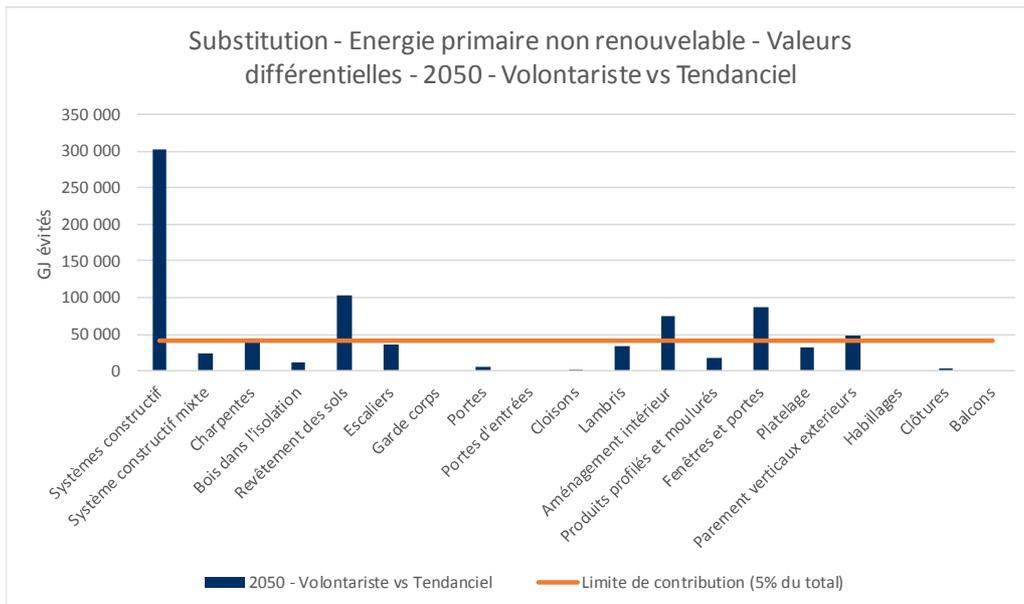


Figure 25 - Substitution matériau - Consommation d’énergie non renouvelable - 2050 - Scénario Alternatif vs Tendanciel

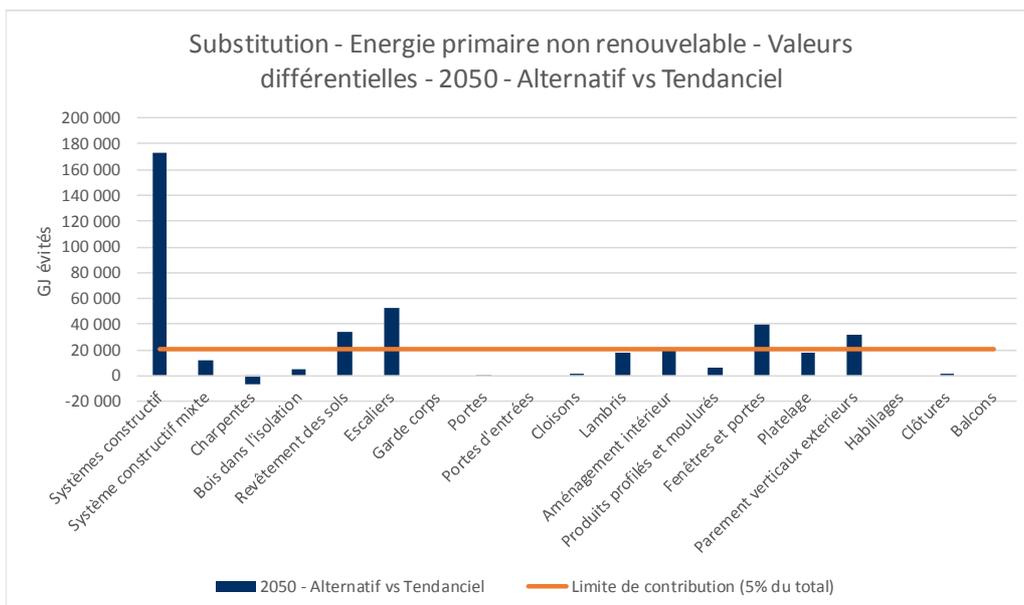
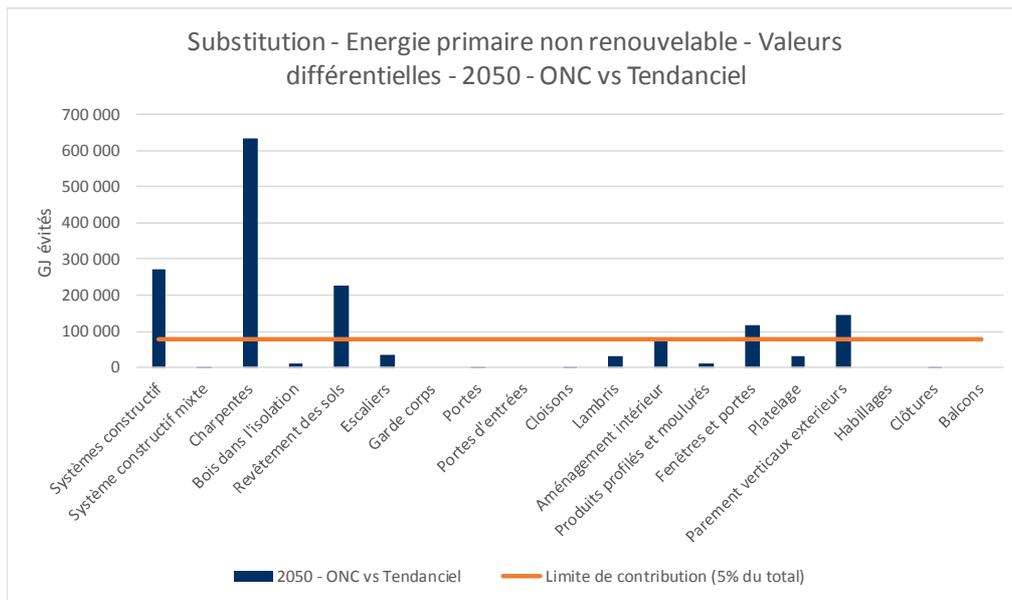


Figure 26 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - 2050 - Scénario ONC vs Tendanciel



Pour les trois scénarios considérés, il apparaît que les effets de substitution de consommation d'énergie primaire non renouvelable sont essentiellement portés par les systèmes constructifs et les charpentes (notamment dans le cas du scénario Objectif Neutralité Carbone comme évoqué précédemment). Pour les systèmes constructifs, la contribution est essentiellement portée par l'ossature bois et les panneaux CLT (hors scénario Objectif Neutralité Carbone) principalement par le fait que les volumes en jeu sont importants.

Pour les scénarios Alternatif et Volontariste, les produits de construction du second œuvre (fenêtres, revêtements de sol, lambris, aménagement intérieur, produits profilés, platelage) sont des contributeurs importants sur ces effets de substitution.

Comme expliqué pour le stock carbone de l'étude, le scénario Objectif Neutralité Carbone semble avoir accordé une grande importance aux charpentes d'où une contribution d'environ 40% sur l'effet de substitution associé à l'indicateur d'énergie non renouvelable.

5.3 Substitution - Sensibilité - Utilisation des coefficients « label E+/C- »

Pour le calcul type « label E+/C- », les données utilisées sont celles issues des FDES des produits comme détaillé dans la section 4.2.5. Sont comptabilisés dans le cycle de vie des produits, les modules A (production), B (vie en œuvre) et C (fin de vie) des FDES ainsi qu'une partie des impacts et bénéfiques associés au recyclage et à la valorisation du produit en fin de vie (module D). Le référentiel de calcul de l'expérimentation E+/C- ne considère en effet qu'un tiers du module D pour évaluer l'impact d'un produit de construction.

Cette section reprend les principaux résultats correspondants aux effets de substitution liés aux produits bois avec ces nouveaux coefficients.

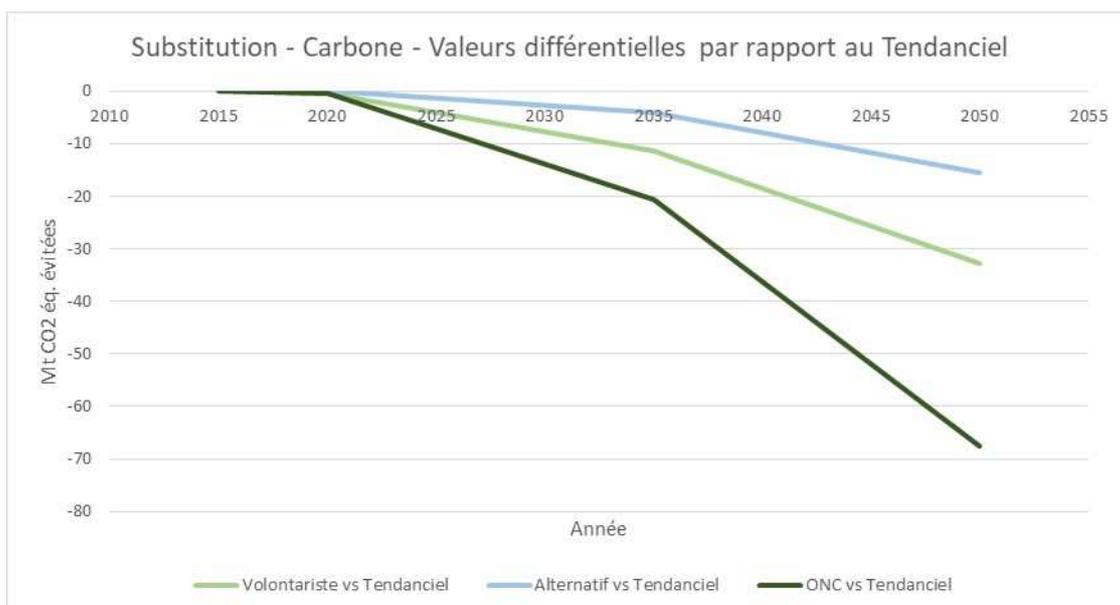
Pour rappel :

- la substitution est cumulative dans le temps, c'est-à-dire qu'à 2050, les effets de substitution retenus représentent la somme de ces effets annuels entre 2015 et 2050 ;
- la substitution représente des émissions évitées. Par conséquent, les valeurs présentées sont négatives. Aussi, plus ces émissions évitées sont importantes (valeurs fortement négatives), plus l'effet est bénéfique du point de vue du changement climatique ;
- seuls des résultats présentés en valeurs différentielles par rapport à un scénario de référence (scénario « Tendanciel ») peuvent être exploités. En effet, les valeurs absolues seules ne peuvent être interprétées.

5.3.1 Sensibilité -Substitution matériau - Gaz à effet de serre (GES)

Les effets de substitution (en différentiel par rapport au scénario « Tendanciel ») pour les différents scénarios retenus sont repris dans le graphique suivant.

Figure 27 – Sensibilité – Substitution matériau - GES - Comparaisons scénarios - Valeurs différentielles - Coefficients « label E+/C- »



Le tableau suivant reprend les valeurs estimées par rapport au scénario Tendanciel pour l'ensemble des scénarios et des horizons choisis. Les valeurs présentées sont en millions de tonnes CO₂ eq.

Tableau 23 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles

Année	Scénario Tendanciel	Scénario Volontariste	Scénario Alternatif	Scénario Objectif Neutralité Carbone
/	Mt CO ₂ éq.			
2015	0	0	0	0
2020	0	- 0,5	0	- 0,4
2035	0	- 11	- 4	- 21
2050	0	- 33	- 15	- 67

Pour le scénario Objectif Neutralité Carbone, il est possible de constater une différence d'environ 30 Mt CO₂ par rapport au calcul réalisé avec les coefficients de substitution des projets FORMIT et GESFOR (-67 Mt CO₂ éq. vs - 98 Mt CO₂ éq.).

Cette différence pourrait s'expliquer par :

- La prise en compte que d'une partie des bénéfices associés à la valorisation et au recyclage des produits en fin de vie ;
- L'absence de prise en compte de la valorisation des déchets de seconde transformation dans les FDES ;
- La non prise en compte de la carbonatation du béton dans les projets FORMIT et GESFOR ;
- L'optimisation des FDES de certains produits (non comptabilisation des émissions associées à l'utilisation de déchets comme combustible pour le ciment, choix méthodologiques non conformes à la norme EN 15804 dans les bases de données Worldsteel, profils optimisés des fenêtres).

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées par famille de produits selon les horizons choisis. Les valeurs en différentielles par rapport au scénario Tendanciel sont reprises dans ce tableau ainsi que la part relative des contributions de chaque famille. Les valeurs en pourcentage ont été arrondies.

Tableau 24 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - Valeurs différentielles - Horizon 2050 et contribution par familles - Coefficients label E+/C-

Famille	2050 - Volontariste vs Tendanciel		2050 - Alternatif vs Tendanciel		2050 - ONC vs Tendanciel		
	Valeurs en milliers tonnes CO ₂ éq.	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)
Systèmes constructif		-12 167	37%	-6 910	45%	-11 311	17%
Système constructif mixte		-854	3%	-441	3%	-136	0%
Charpentes		-1 787	5%	267	-2%	-26 622	39%
Bois dans l'isolation		-342	1%	-151	1%	-259	0%
Revêtement des sols		-5 418	16%	-1 715	11%	-11 882	18%
Escaliers		-978	3%	-1 525	10%	-977	1%
Garde-corps		0	0%	0	0%	0	0%
Portes		-200	1%	51	0%	-194	0%
Portes d'entrées		0	0%	0	0%	0	0%
Cloisons		-46	0%	-21	0%	-19	0%
Lambris		-1 224	4%	-609	4%	-1 165	2%
Aménagement intérieur		-1 938	6%	-448	3%	-1 938	3%
Produits profilés et moulurés		-823	3%	-293	2%	-446	1%
Fenêtres et portes		-3 119	9%	-1 397	9%	-3 987	6%
Platelage		-1 411	4%	-762	5%	-1 328	2%
Parement verticaux extérieurs		-2 387	7%	-1 520	10%	-7 046	10%
Habillages		0	0%	0	0%	0	0%
Clôtures		-144	0%	-45	0%	-144	0%
Balcons		0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL		- 32 840	100%	- 15 500	100%	- 67 455	100%

Les graphiques suivants représentent les contributions par famille de produits de manière graphique sous forme d'histogramme uniquement pour l'horizon 2050.

Les valeurs sont fournies en milliers de tonnes CO₂ éq. évitées.

La ligne orange représente une limite de contribution fixée à 5% du total. Cela permet d'identifier rapidement les contributeurs importants aux effets de substitution par scénario.

Attention, pour améliorer la lisibilité sur ces questions de contribution, les valeurs négatives ont été rendues positives.

Figure 28 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario Volontariste vs Tendanciel

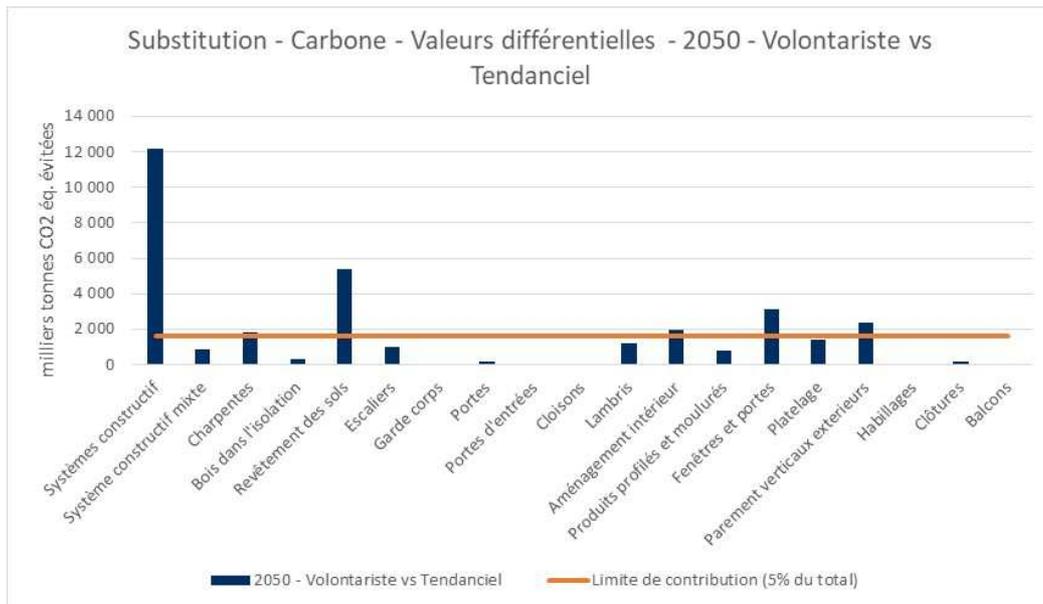


Figure 29 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario Alternatif vs Tendanciel

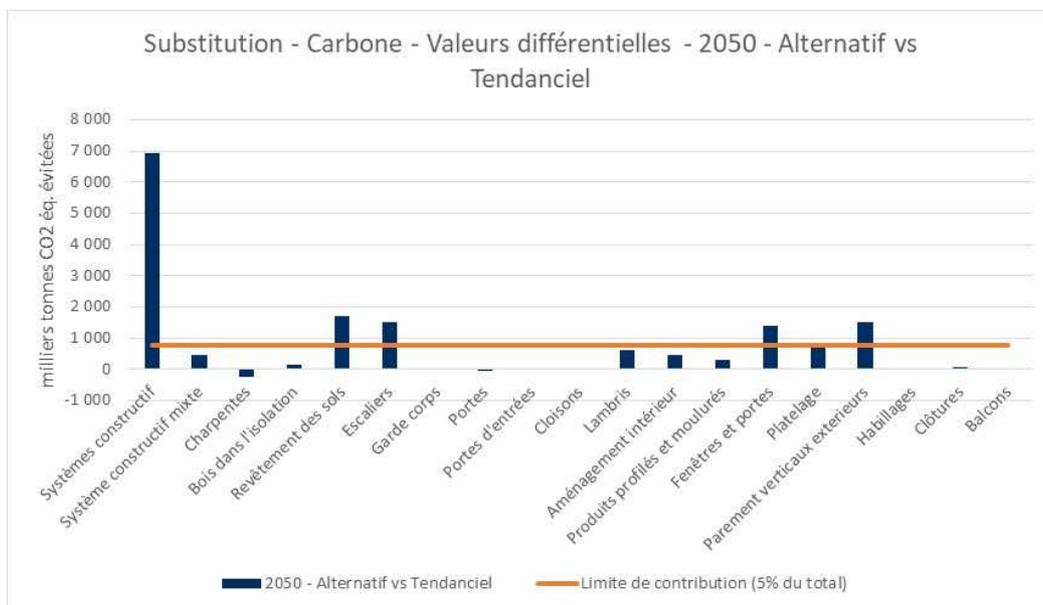
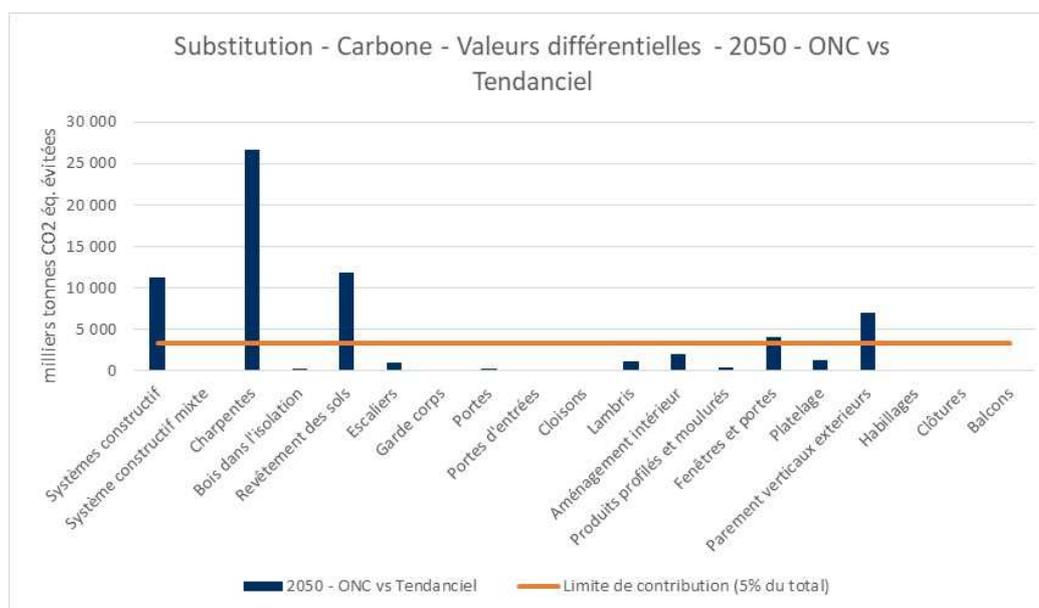


Figure 30 - Sensibilité - Substitution matériau - GES - 2050 - Scénario ONC vs Tendanciel



Les tendances générales de contribution sont similaires à celles établies pour les coefficients de substitution calculés dans les projets FORMIT et GESFOR. A savoir, une contribution prépondérante des systèmes constructifs du fait des volumes importants consommés, excepté pour le scénario Objectif Neutralité Carbone porté par les charpentes. Les revêtements de sol, les escaliers, les parements ainsi que les portes et fenêtres représentent également une part non négligeable.

Pour les systèmes constructifs, la contribution est essentiellement portée par l'ossature bois et les panneaux CLT (hors scénario Objectif Neutralité Carbone).

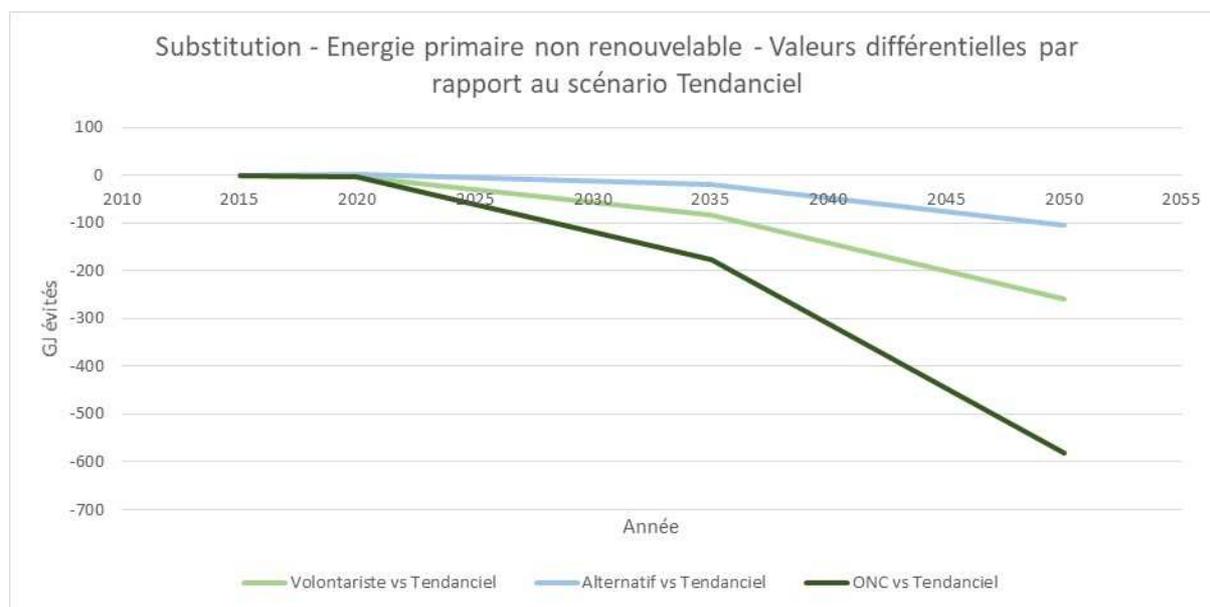
Pour le scénario Objectif Neutralité Carbone, si l'on additionne le poids des charpentes et des systèmes constructifs, on obtient une contribution de 56% à l'effet de substitution total.

5.3.1 Sensibilité - Substitution matériau - Indicateur de consommation d'énergie non renouvelable

Pour rappel, il s'agit de la différence de consommation d'énergie primaire non renouvelable entre le cycle de vie d'un produit bois et d'un produit concurrent (voir aussi la section 4).

Les effets de substitution (en différentiel par rapport au scénario Tendanciel) pour les différents scénarios retenus sont repris dans le graphique suivant.

Figure 31 - Sensibilité- Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles



Le tableau suivant reprend les valeurs estimées par rapport au scénario Tendancier pour l'ensemble des scénarios et des horizons choisis. Les valeurs présentées sont en GJ évités.

Tableau 25 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles

Année	Scénario Tendancier	Scénario Volontariste	Scénario Alternatif	Scénario Objectif Neutralité Carbone
/	GJ	GJ	GJ	GJ
2015	0	0	0	0
2020	0	- 3	1	- 2
2035	0	- 83	- 19	- 180
2050	0	- 258	- 106	- 582

Il est possible de constater que, comme pour le carbone, il existe un différentiel entre l'effet de substitution calculé en utilisation les coefficients de substitution des projets FORMIT et GESFOR et les coefficients calculés en utilisant les FDES. Les raisons potentielles de ce décalage sont explicitées en section 5.3.1.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des valeurs estimées par famille de produits selon les horizons choisis. Les valeurs en différentielles par rapport au scénario Tendancier sont reprises dans ce tableau ainsi que la part relative des contributions de chaque famille. Les valeurs en pourcentage ont été arrondies.

Tableau 26 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Valeurs différentielles- Horizon 2050 et contribution par familles – Coefficients label E+/C-

Famille	2050 - Volontariste vs Tendanciel		2050 - Alternatif vs Tendanciel		2050 - ONC vs Tendanciel		
	Valeurs en MJ.	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)	Valeurs	Contribution (%)
Systèmes constructif		-36 736	14%	-22 527	21%	-53 316	9%
Système constructif mixte		-7 693	3%	-3 971	4%	-1 223	0%
Charpentes		-19 089	7%	2 545	-2%	-282 011	48%
Bois dans l'isolation		-6 988	3%	-3 085	3%	-5 296	1%
Revêtement des sols		-36 449	14%	-11 773	11%	-77 550	13%
Escaliers		-5 717	2%	-8 916	8%	-5 713	1%
Garde-corps		0	0%	0	0%	0	0%
Portes		-3 495	1%	894	-1%	-3 376	1%
Portes d'entrées		0	0%	0	0%	0	0%
Cloisons		-1 050	0%	-457	0%	-430	0%
Lambris		-21 357	8%	-10 624	10%	-20 321	3%
Aménagement intérieur		-39 920	15%	-9 236	9%	-39 920	7%
Produits profilés et moulurés		-14 343	6%	-5 117	5%	-7 774	1%
Fenêtres et portes		-28 026	11%	-12 374	12%	-29 449	5%
Platelage		-24 608	10%	-13 282	13%	-23 163	4%
Parement verticaux extérieurs		-10 030	4%	-6 388	6%	-29 610	5%
Habillages		0	0%	0	0%	0	0%
Clôtures		-2 504	1%	-788	1%	-2 504	0%
Balcons		0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL		- 258 000	100%	- 106 000	100%	- 582 000	100%

Les graphiques suivants représentent les contributions par famille de produits de manière graphique sous forme d’histogramme uniquement pour l’horizon 2050.

Les valeurs sont fournies en GJ évitées.

La ligne orange représente une limite de contribution fixée à 5% du total. Cela permet d’identifier rapidement les contributeurs importants aux effets de substitution par scénario.

Attention, pour améliorer la lisibilité sur ces questions de contribution, les valeurs négatives ont été rendues positives.

Figure 32 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d’énergie non renouvelable - 2050 - Scénario Volontariste vs Tendanciel

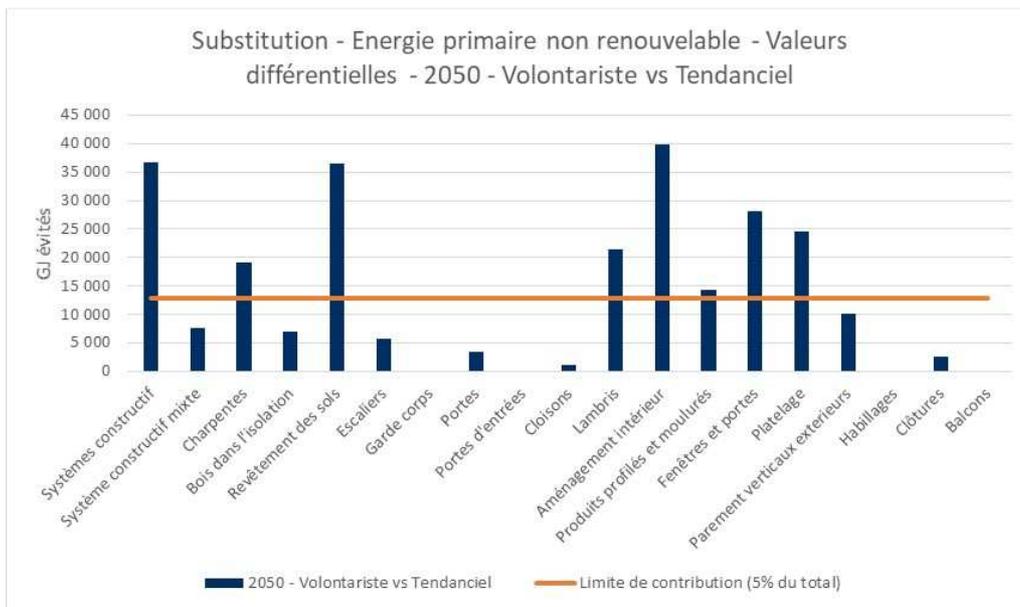


Figure 33 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d’énergie non renouvelable - 2050 - Scénario Alternatif vs Tendanciel

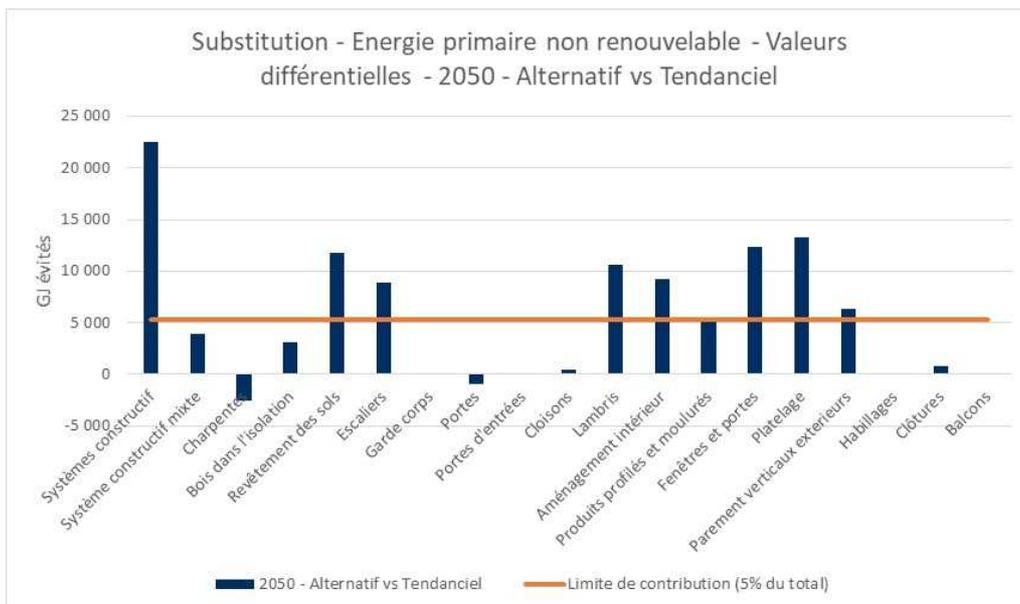
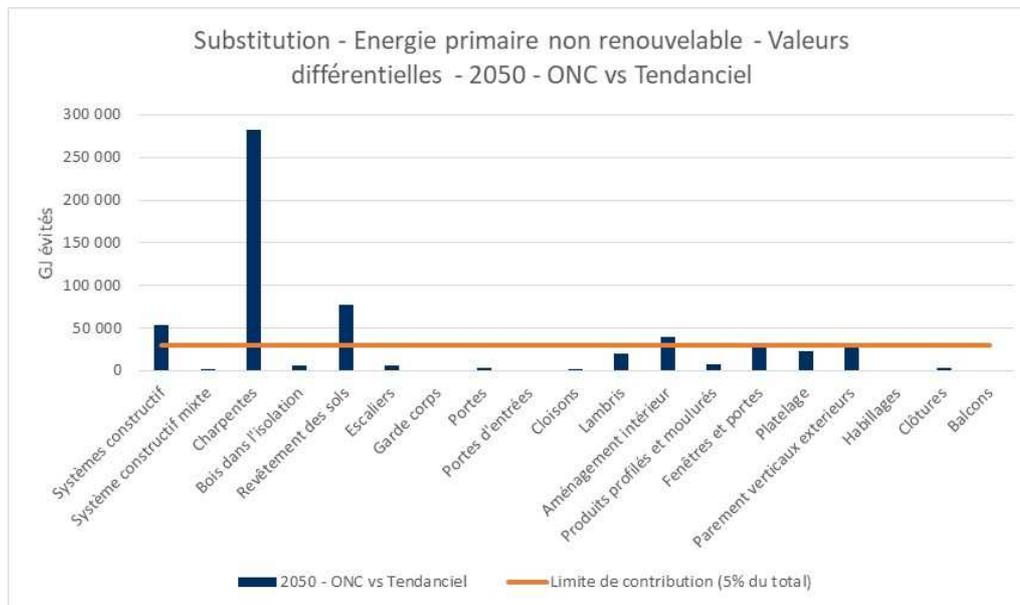


Figure 34 - Sensibilité - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - 2050 - Scénario ONC vs Tendanciel



Pour les scénarios Alternatif et Volontariste, il apparaît que les effets de substitution associés à la consommation d'énergie non renouvelable sont portés principalement par les éléments du second œuvre (aménagement, parements, revêtements de sols, fenêtres, lambris). Pour les revêtements de sol, la contribution est essentiellement portée par les parquets (75%) pour l'ensemble des scénarios. En effet, ces parquets viennent se substituer à de la terre cuite et de la céramique ayant un procédé énergivore lors du passage au four. La moindre importance des systèmes constructifs s'explique par le fait que, si le système constructif concurrent principal, à savoir le béton, émet plus CO2 que le système bois, il nécessite une consommation modérée d'énergie dans les FDES françaises. Ce phénomène ne s'observe pas si l'on utilise des données Ecoinvent (voir section 5.2.2) où les profils de contribution des émissions de GES et de la consommation d'énergie non renouvelable sont similaires.

Pour le scénario Objectif Neutralité Carbone, la contribution majeure vient des éléments de structure et notamment de la famille charpente qui évite principalement de la charpente acier plus énergivore.

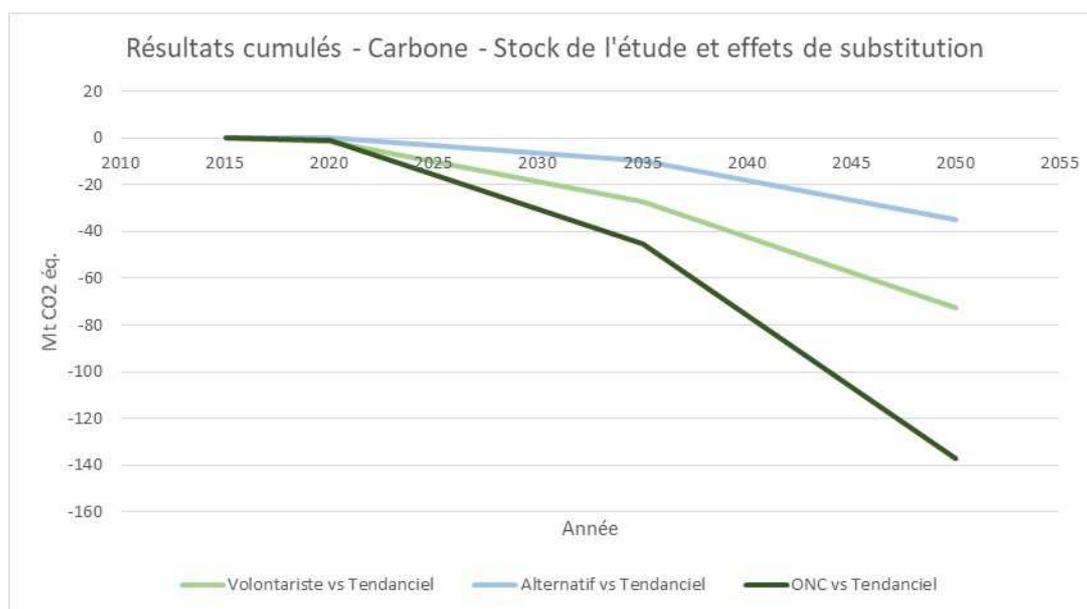
5.4 Résultats cumulés

Les résultats cumulés sont représentés en valeurs différentielles par rapport au scénario de référence (scénario « Tendanciel »). Pour les résultats cumulés, les coefficients repris sont ceux calculés à partir des FDES pour être cohérent avec le référentiel actuel du calcul de la performance environnementale des bâtiments. Le total cumulé permet d'évaluer l'impact du calcul de l'empreinte carbone avec la prise en compte du stockage temporaire (ici considéré comme égal à 100% du contenu carbone du produit exprimé en eq. CO₂).

Selon l'annexe 5 de la SNBC, la neutralité carbone nécessite de produire des « émissions négatives » pour compenser les émissions résiduelles. Ces émissions négatives peuvent notamment résulter d'accroissement de stocks tels que les produits bois. Les émissions évitées par la substitution sont également des émissions négatives. Il a donc été décidé de présenter les résultats cumulés en valeurs négatives.

Le graphique suivant reprend les résultats cumulés pour le stockage carbone et les effets de substitution carbone pour les trois scénarios étudiés. Les résultats sont donnés en millions de tonnes de CO₂ éq.

Figure 35 - Résultats cumulés – Stock de l'étude et substitution matériau GES - Comparaison scénarios



Le tableau suivant reprend les valeurs estimées par rapport au scénario Tendanciel pour l'ensemble des scénarios et des horizons choisis. Les valeurs présentées sont en millions de tonnes de CO₂ éq.

Tableau 27 - Résultats cumulés- Stock de l'étude et effets de substitution - GES- Comparaison scénarios - Valeurs différentielles vs Tendancier – Mt CO₂ éq. – Calcul type label E+/C- et coefficients FDES

Année	Scénario Volontariste vs Scénario Tendancier			Scénario Alternatif vs Scénario Tendancier			Scénario ONC vs Scénario Tendancier		
	Stock.	Substi.	Total	Stock.	Substi.	Total	Stock.	Substi.	Total
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	- 1	-1	- 2	0	0	0	- 1	-0	- 1
2035	- 16	- 11	- 27	- 6	- 4	- 10	- 24	- 21	- 45
2050	- 40	- 33	- 73	- 20	- 15	- 35	- 70	- 67	- 137

A titre de comparaison, en utilisant les coefficients issus de la recherche (FORMIT / GESFOR) et en considérant l'ensemble du module D (le label E+/C- ne considère qu'un tiers de ce module D), les résultats obtenus seraient plus favorables. Le tableau suivant reprend les valeurs en différentielles par rapport au scénario Tendancier en tenant compte de ces deux hypothèses.

Tableau 28 - Résultats cumulés- Stock de l'étude et effets de substitution - GES- Comparaison scénarios - Valeurs différentielles vs Tendancier – Mt CO₂ éq. - Calcul 100% module D- et coefficients FORMIT

Année	Scénario Volontariste vs Scénario Tendancier			Scénario Alternatif vs Scénario Tendancier			Scénario ONC vs Scénario Tendancier		
	Stock.	Substi.	Total	Stock.	Substi.	Total	Stock.	Substi.	Total
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	- 1	-1	- 2	0	0	0	- 1	- 1	- 2
2035	- 16	- 17	- 33	- 6	- 7	- 13	- 24	- 27	- 51
2050	- 40	- 53	- 93	- 20	- 26	- 46	- 70	- 98	- 168

En repartant du calcul basé sur les coefficients FDES et de la méthodologie de calcul actuellement utilisée pour évaluer la performance environnementale des bâtiments (type label E+/C-), les graphiques suivants reprennent le détail des contributions du stock carbone de l'étude et des effets de substitution pour les trois scénarios étudiés (voir Tableau 27).

Figure 36 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario Volontariste vs Tendanciel - Calcul type label E+/C- et coefficients FDES

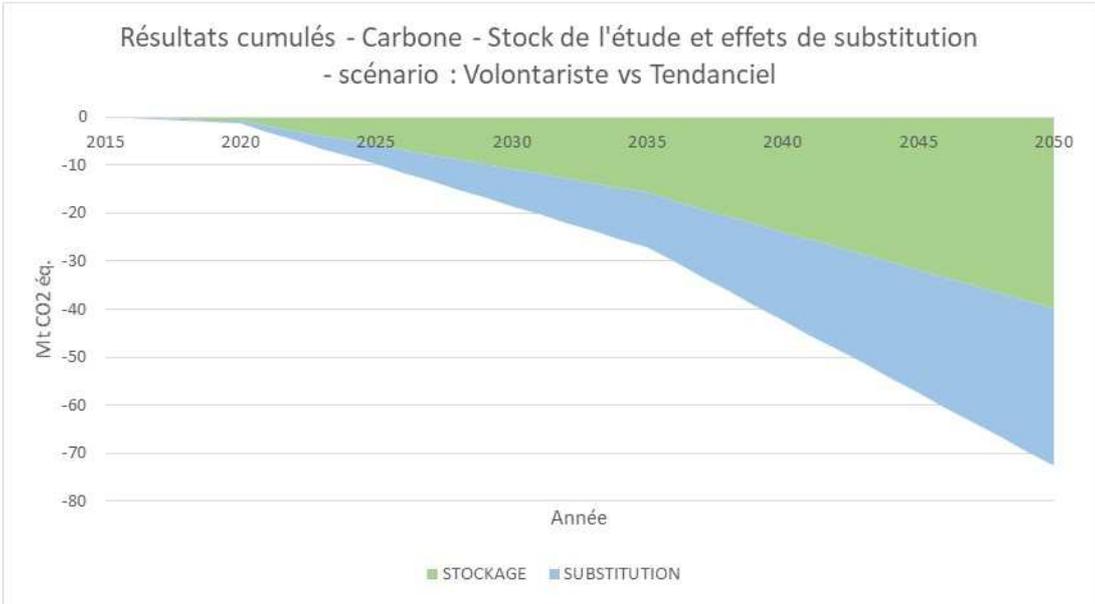


Figure 37 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario Alternatif vs Tendanciel - Calcul type label E+/C- et coefficients FDES

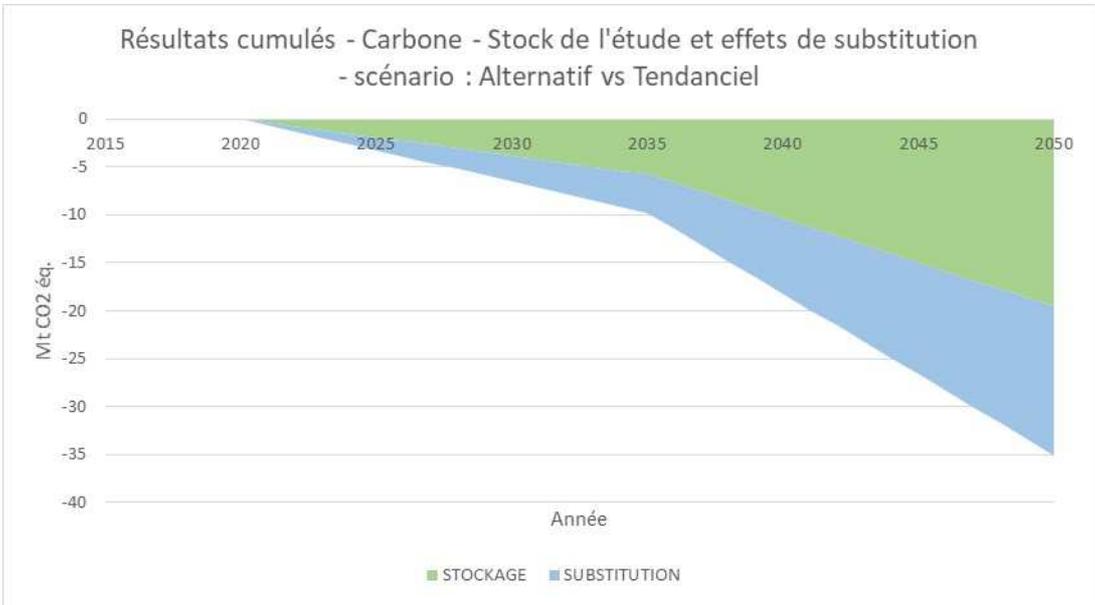
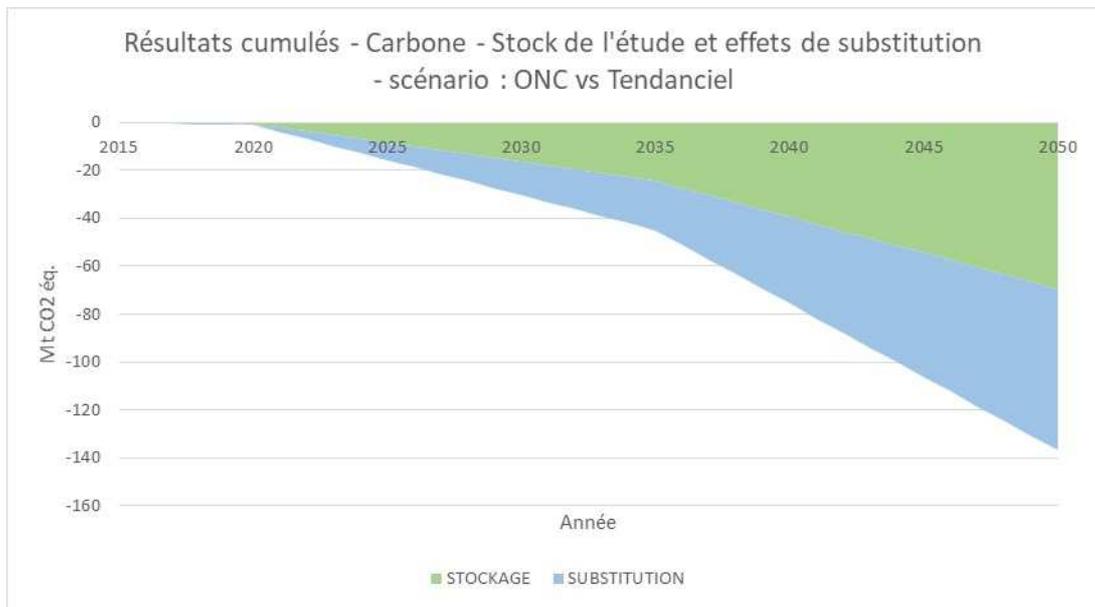


Figure 38 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario ONC vs Tendanciel - Calcul type label E+/C- et coefficients FDES



Cette représentation en cumulé permet de voir les contributions relatives du stock de carbone de l'étude dans les produits bois et des effets de substitution attribués.

Les contributions relatives entre le stock de l'étude et les effets de substitution sur le carbone sont assez similaires pour l'ensemble des trois scénarios. En effet, en 2035, le stock de l'étude contribue à hauteur de 15 à 30 % supplémentaire par rapport aux effets de substitution considérés alors qu'en 2050, cette contribution passe de - 5 à - 20 % supplémentaire.

Le scénario Objectif Neutralité Carbone permet des émissions évitées trois fois plus importantes que dans le scénario Alternatif. Il faut noter que les variations de stocks de carbone dans les forêts selon les différents scénarios n'ont pas été évaluées dans le cadre de cette étude.

A titre informatif, les graphiques suivants présentent les mêmes résultats en excluant les stocks de produits fabriqués à partir de bois non issus de la récolte nationale. L'impact de l'import sur la substitution n'est pas évalué dans cette étude car le taux d'import considéré intègre à la fois des produits importés et des produits fabriqués en France à partir de semi-produits importés. De plus la fin de vie des produits a lieu en France et la substitution associée a donc lieu sur le territoire français.

Le tableau suivant reprend les valeurs estimées par rapport au scénario Tendanciel pour l'ensemble des scénarios et des horizons choisis. Les valeurs présentées sont en millions de tonnes de CO₂ éq.

Tableau 29 - Résultats cumulés- Stock carbone de l'étude et effets de substitution - GES- Comparaison scénarios - Valeurs différentielles vs Tendanciel - Hors imports pour stock de l'étude - Mt CO₂ éq. - Calcul type label E+/C- et coefficients FDES

Année	Scénario Volontariste vs Scénario Tendanciel			Scénario Alternatif vs Scénario Tendanciel			Scénario ONC vs Scénario Tendanciel		
	Stock.	Substi.	Total	Stock.	Substi.	Total	Stock.	Substi.	Total
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1
2035	-7	-11	-18	-2	-4	-7	-13	-21	-34
2050	-19	-33	-51	-9	-16	-25	-38	-67	-105

Figure 39 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario Volontariste vs Tendanciel - Hors imports pour stock de l'étude - Mt CO₂ éq. - Calcul type label E+/C- et coefficients FDES

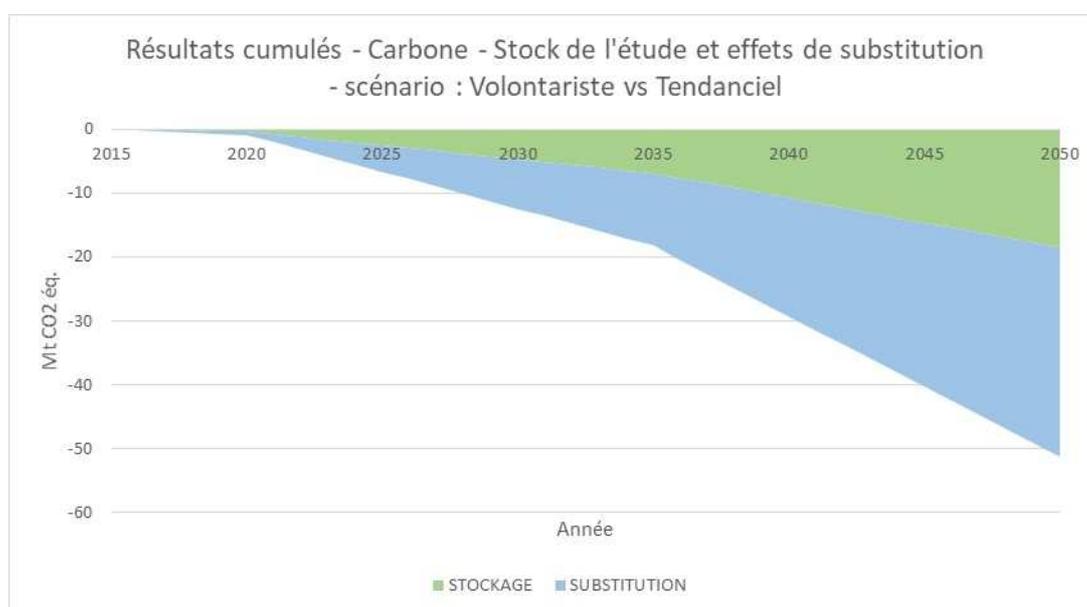


Figure 40 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario Alternatif vs Tendanciel – Hors imports pour stock de l'étude - Mt CO₂ éq. - Calcul type label E+/C- et coefficients FDES

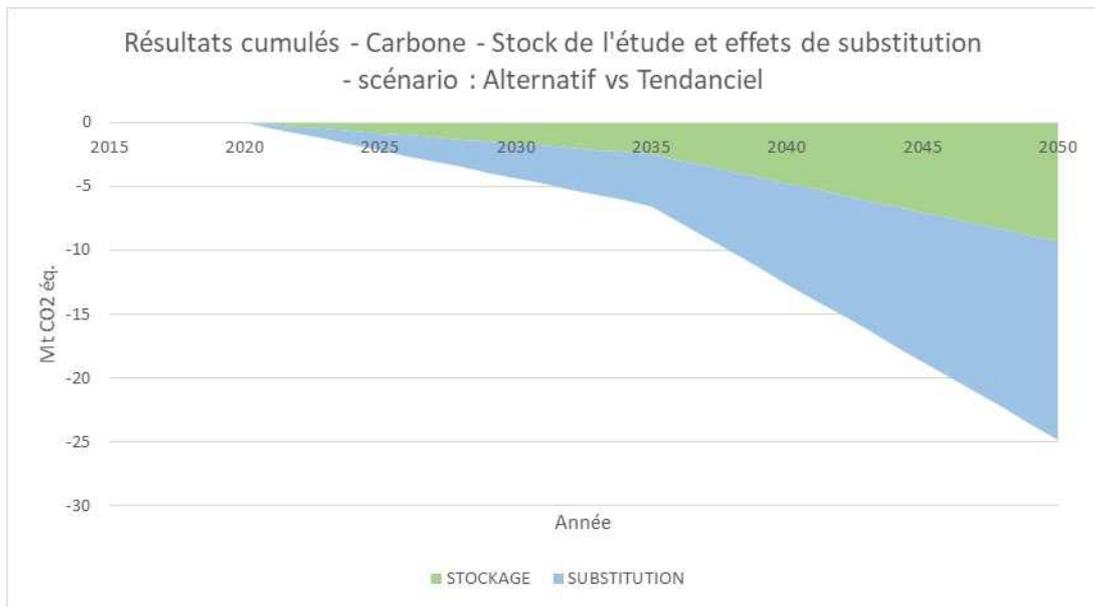
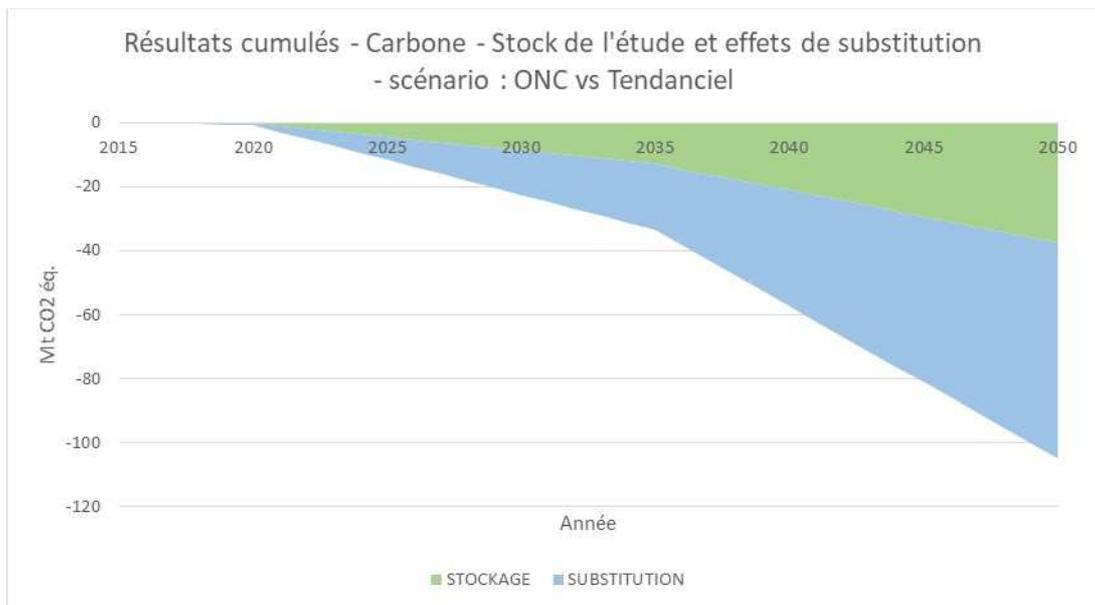


Figure 41 - Résultats cumulés - Stock carbone de l'étude et substitution GES - Scénario ONC vs Tendanciel – Hors imports pour stock de l'étude - Mt CO₂ éq. - Calcul type label E+/C- et coefficients FDES



La prise en compte exclusive des produits fabriqués à partir de la récolte nationale réduit l'impact global de 20% à 30%.

6 Conclusions

Dans cette étude, des résultats ont été obtenus sur l'évolution du stock carbone de l'étude dans les produits bois et les effets de substitution des produits bois dans le domaine de la construction, et les éléments d'ameublement intégrés à la construction, selon les différents scénarios de développement de l'utilisation du bois, pour la période 2015-2050.

Ces résultats permettent de quantifier le rôle des secteurs du bâtiment et des secteurs de transformation qui le fournissent, dans la lutte contre le changement climatique, selon l'évolution des parts de marché du bois. Les variations de stocks de carbone dans les forêts selon les différents scénarios n'ont pas été évaluées dans le cadre de cette étude, ce qui représente une limite de l'étude pour pouvoir conclure sur l'impact climatique des différents scénarios évalués. L'horizon de temps limité considéré constitue également une limite de l'étude étant donné le temps d'évolution de la forêt et de ses produits.

Au-delà des aspects quantitatifs, ces résultats permettent d'apporter des premières réponses aux orientations de la SNBC, à savoir :

- **orientation B3** : accroître les niveaux de performance énergie et carbone sur les bâtiments neufs dans les futures réglementations environnementales
- **orientation F2** : maximiser les effets de substitution et le stockage de carbone dans les produits bois en jouant sur l'offre et la demande

En effet, selon l'orientation B3, il est préconisé de privilégier les approches intégrées en analyse du cycle de vie et de permettre une augmentation des réservoirs de carbone au travers du stockage du carbone de l'atmosphère dans les matériaux de construction, tout en maintenant et renforçant le stockage du carbone dans les écosystèmes.

Quant à l'orientation F2, cette dernière préconise notamment de privilégier les usages du bois ayant une longue durée de vie et un potentiel de substitution élevé. Cela pourrait se traduire par une massification du recours au bois français dans la construction. Dans le cadre de cette étude, les scénarios Alternatif, Volontariste et ONC (Objectif Neutralité Carbone) permettent d'atteindre une augmentation de stock respectivement de 107 Mt CO₂ eq., 124 Mt CO₂ eq. et 170 Mt CO₂ eq en 2050 par rapport à 2015. Ainsi, par rapport au scénario Tendancier, les 3 scénarios permettent d'augmenter le stock respectivement de 20 Mt d'éq. CO₂, 40 Mt CO₂ et 70 Mt CO₂ par rapport au scénario tendancier en 2050. Ces stocks sont respectivement de 9 Mt d'éq. CO₂, 19 Mt CO₂ et 38 Mt CO₂ si l'on considère uniquement le delta de stock provenant de bois français.

La SNBC privilégie l'utilisation de bois issu de la récolte nationale. Or, si l'on considère que les taux d'importation ne diminuent pas entre 2015 et 2050, 44% des stocks supplémentaires ne pourront pas être intégrés aux inventaires nationaux. Il est donc important pour la filière forêt bois française d'être en mesure de produire les volumes supplémentaires demandés.

Cette étude est également en accord avec les initiatives actuelles autour de la performance environnementale des bâtiments. En effet, les résultats permettent une évaluation des perspectives d'amélioration de la performance du secteur du bâtiment permis par l'emploi de solution en bois ou utilisant du bois. Ainsi, si l'on estime l'impact de la substitution par des produits de construction bois de produits concurrents, les scénarios Alternatif, Volontariste et ONC (Objectif Neutralité

Carbone) permettent respectivement de gagner 26 Mt CO₂ eq., 53 Mt CO₂ eq. et 98 Mt CO₂ eq par rapport au scénario Tendancier. Si l'on inclut le stockage temporaire à la substitution, les scénarios Alternatif, Volontariste et ONC (Objectif Neutralité Carbone) permettent respectivement de gagner 46 Mt CO₂ eq., 93 Mt CO₂ eq. et 168 Mt CO₂ eq par rapport au scénario Tendancier en 2050.

7 Bibliographie

- FCBA, & CSTB. (2013). Prise en compte de la fin de vie des produits bois: modélisation ACV et calculs d'impacts pour le recyclage matière et la réutilisation. DHUP, FBF, CODIFAB.
- Picard, O. (2019). Le carbone forestier au coeur de notre société. Forêt Entreprise, (245).
- Pingoud, K., Skog, K., Martino, D. L., Tonosaki, M., & Xiaoquan, Z. (2006). IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Agriculture, Forestry and Other Land Uses, Harvested Wood Products (No. Vol 4. Chapter 12). IPCC.
- Rüter, S., Werner, F., Forsell, N., Prins, C., Vial, E., & Levet, A.-L. (2016). ClimWood2030, Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products: Perspective 2030 (p. 141 p). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- Valada, T., Cardellini, G., Vial, E., Levet, A.-L., Muys, B., Lamoulie, J., ... Verbist, B. (2016). FORMIT Project - Deliverable 3.2 - LCA and mitigation potential from forest products (No. D 3.2). The work leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme under grant agreement n° FP7-311970.
- Vial, E., Cornillier, C., Fortin, M., & Martel, S. (2018). GESFOR - Bilan environnemental des systèmes forestiers vis-à-vis du changement climatique et des autres enjeux : pour une optimisation des pratiques sylvicoles et des politiques territoriales. ADEME.
- Werner, F., Taverna, R., Hofer, P., & Richter, K. (2006). Greenhouse Gas Dynamics of an Increased Use of Wood in Buildings in Switzerland. *Climatic Change*, 74(1–3), 319–347.

8 Annexes

8.1 Paramétrage de la base de données de calculs de substitution

La base de données de substitution paramétrée est basée sur les projets GESFOR et FORMIT.

Les ICV (inventaire de cycle de vie) sont issus de la base de données Ecoinvent v2. Le mix électrique français est utilisé pour la fabrication des différents produits.

Les valeurs des paramètres considérés pour cette étude sont reprises dans le tableau suivant.

Tableau 30 - Liste des paramètres et valeurs associées de la base de données sur la substitution

Etape	Paramètre	Unité	Valeur
Général - transport	Charge maximale camion	kg	24000
Général - transport	Taux de retour à vide	%	16%
Général - transport	Consommation du camion à plein	l/100 km	0,43
Général - transport	Consommation du camion à vide	l/100 km	0,26
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en zinc	kg/unité	0,014
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en bois	kg/unité	13
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en acier	kg/unité	0,519
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en silicone	kg/unité	0,0378
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en peinture	kg/unité	1,025
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en polyamide	kg/unité	0,00175
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en EPDM	kg/unité	0,276
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en acier chromé	kg/unité	0,00571
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en peinture	kg/unité	0,147
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre bois - contenu en aluminium	kg/unité	0,246
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre PVC - contenu en zinc	kg/unité	0,01801
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre PVC - contenu en acier	kg/unité	4,9
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre PVC - contenu en PVC	kg/unité	12
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre PVC - contenu en polyamide	kg/unité	0,11
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre PVC - contenu en EPDM	kg/unité	0,284
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre PVC - contenu en acier chromé	kg/unité	0,16
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre PVC - contenu en aluminium	kg/unité	0,0393

Etape	Paramètre	Unité	Valeur
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre - Part de marché de l'aluminium par rapport au PVC	kg/unité	1
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre - rapport entre la durée de vie des produits bois et des produits concurrents	kg/unité	1
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre aluminium - contenu en zinc	kg/unité	0,265
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre aluminium - contenu en acier	kg/unité	0,031
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre aluminium - contenu en polyamide	kg/unité	1,01
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre aluminium - contenu en EPDM	kg/unité	0,886
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre aluminium - contenu en acier chromé	kg/unité	0,0448
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre aluminium - contenu en peinture	kg/unité	0,161
Second œuvre - Fenêtre	Fenêtre aluminium - contenu en aluminium	kg/unité	10,4
Second œuvre - Parquet	Epaisseur du parquet massif (résineux)	mm	23
Second œuvre - Parquet	Epaisseur du parquet massif (feuillus)	mm	13
Second œuvre - Parquet	Densité surfacique du sol en pierre	kg/m ²	50
Second œuvre - Parquet	Part de marché du sol en pierre par rapport au sol en céramique	%	50%
Second œuvre - Parquet	Différentiel de durée de vie entre les sols alternatifs par rapport au parquet	Ratio	1
Second œuvre - Parquet	Densité surfacique du sol en céramique	kg/m ²	25
Second œuvre - Parquet	Epaisseur de la couche d'usure	mm	3,2
Second œuvre - Parquet	Epaisseur de la couche de contre-parement	mm	2
Second œuvre - Parquet	Epaisseur de l'âme	mm	9
Second œuvre - cloison	Ratio d'utilisation du plâtre par rapport à l'utilisation de panneau de particule	kg/kg	1,11

Etape	Paramètre	Unité	Valeur
Second œuvre - cloison	Différentiel de durée de vie entre la cloison en plâtre et la cloison en bois	Ratio	1
Second œuvre - Sol stratifié	Densité surfacique du sol PVC	kg/m ²	3,2
Second œuvre - Sol stratifié	Différentiel de durée de vie entre le sol PVC et le sol stratifié	Ratio	1
Second œuvre - Sol stratifié	Epaisseur du sol stratifié	mm	8
Second œuvre - Isolant	Ratio d'utilisation d'isolant en laine de roche par rapport à l'utilisation de laine de bois	kg/kg	0,37
Second œuvre - Isolant	Ratio d'utilisation d'isolant en polystyrène par rapport à l'utilisation de laine de bois	kg/kg	0,2
Second œuvre - Isolant	Part de marché de l'isolant en laine de roche par rapport au polystyrène	%	56%
Second œuvre - Isolant	Part de marché de l'isolant en laine de verre par rapport aux autres isolants alternatifs	%	27%
Second œuvre - Isolant	Différentiel de durée de vie entre l'isolant alternatif et l'isolant en laine de bois	Ratio	1
Second œuvre - Isolant	Ratio d'utilisation d'isolant en laine de verre par rapport à l'utilisation de laine de bois	kg/kg	0,28
Second œuvre	Elasticité entre la demande et l'offre	Ratio	1
second œuvre - bardage	Epaisseur du bardage	mm	22
second œuvre - bardage	Rendement de production en résineux	%	84%
second œuvre - bardage	Rendement de production en feuillus	%	60%
second œuvre - bardage	Densité surfacique du bardage acier	kg/m ²	7,37
second œuvre - bardage	Rendement de production en contreplaqué	%	90%
second œuvre - bardage	Epaisseur du bardage en contreplaqué	mm	12

Etape	Paramètre	Unité	Valeur
second œuvre - bardage	Part de marché du bardage acier par rapport au bardage en aluminium	%	88%
second œuvre - bardage	Différentiel de durée de vie entre les bardages alternatifs par rapport au bardage bois	Ratio	1
second œuvre - bardage	Densité surfacique du bardage aluminium	kg/m ²	7
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Volume d'ossature primaire par m ² de mur	m ³ /m ²	0,027
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Epaisseur de contreventement en OSB	mm	0,012
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Part de marché du mur en brique par rapport au mur en béton	%	0,2
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Perte de production pour l'ossature	%	0,03
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Perte de production pour le contreventement	%	0,13
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Pourcentage de bois abouté dans l'ossature	%	0,5
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Ratio d'utilisation de l'acier d'armature du chaînage d'un mur béton par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans le mur	kg/kg	1,16
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Ratio d'utilisation du béton du chaînage d'un mur béton par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans le mur	kg/kg	56
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Ratio d'utilisation du bloc béton par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans le mur	kg/kg	180
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Ratio d'utilisation de l'acier d'armature du chaînage d'un mur en brique par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans le mur	kg/kg	1,16
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Ratio d'utilisation du béton du chaînage d'un mur brique par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans le mur	kg/kg	68
Gros œuvre - mur porteur extérieur	Ratio d'utilisation des briques par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans le mur	kg/kg	133

Etape	Paramètre	Unité	Valeur
Gros œuvre - charpente	Ratio d'utilisation de l'acier en charpente métallique par rapport à un kg de bois en charpente bois résineux	kg/kg	0,69
Gros œuvre - charpente	Ratio d'utilisation de l'acier en charpente métallique par rapport à un kg de bois en charpente bois feuillus	kg/kg	0,63
Gros œuvre	Différentiel de durée de vie entre la durée de vie des structures en matériaux alternatifs et les structures bois	Ratio	1
Gros œuvre - charpente bâtiment industriel	Part de marché de la charpente acier par rapport à la charpente béton	%	0,5
Gros œuvre - charpente bâtiment industriel	Ratio d'utilisation d'acier d'une charpente acier par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans la charpente bois d'un bâtiment industriel	kg/kg	1,346
Gros œuvre - charpente bâtiment industriel	Ratio d'utilisation de l'acier d'armature d'une charpente acier par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans la charpente bois d'un bâtiment industriel	kg/kg	-0,055
Gros œuvre - charpente bâtiment industriel	Ratio d'utilisation de béton d'une charpente acier par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans la charpente bois d'un bâtiment industriel	kg/kg	-1,022
Gros œuvre - charpente bâtiment industriel	Ratio d'utilisation de l'acier d'armature d'une charpente béton par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans la charpente bois d'un bâtiment industriel	kg/kg	0,211
Gros œuvre - charpente bâtiment industriel	Ratio d'utilisation de béton d'une charpente béton par rapport à l'utilisation d'un kg de bois dans la charpente bois d'un bâtiment industriel	kg/kg	6,038
Gros œuvre	Elasticité entre la demande et l'offre	Ratio	1
Procédé	Consommation d'électricité de la seconde transformation	kWh/m ³	54
Ameublement	Meuble en panneau de particule - contenu en panneau de particule	m ³ /unité	0,0324
Ameublement	Meuble en panneau de particule - contenu en HDF	m ³ /unité	0,00072

Etape	Paramètre	Unité	Valeur
Ameublement	Meuble en acier - contenu en acier	kg/unité	12,6
Ameublement	Meuble en acier - contenu en laque	kg/unité	0,415
Ameublement	Différentiel de durée de vie entre la durée de vie d'un meuble en matériau concurrent et d'un meuble en bois	Ratio	1
Ameublement	Elasticité entre la demande et l'offre	Ratio	1
Composition matière première	Taux de matière primaire - Acier d'armature	%	10%
Composition matière première	Taux de matière primaire - Acier	%	63%
Composition matière première	Taux de matière primaire - Aluminium	%	67%
Composition matière première	Densité des sciages résineux	kg/m ³	540
Composition matière première	Densité de la laine de bois	kg/m ³	140
Composition matière première	Densité du panneau de particule	kg/m ³	680
Composition matière première	Densité du contreplaqué	kg/m ³	784
Composition matière première	Densité de l'OSB	kg/m ³	584,5
Composition matière première	Densité des panneaux MDF	kg/m ³	780
Composition matière première	Densité des sciages feuillus	kg/m ³	678
Composition matière première	Densité des panneaux HDF	kg/m ³	900
Composition matière première	Densité du béton	kg/m ³	2380
Devenir de l'acier	Taux de recyclage	%	90%
Devenir de l'acier	Part de ce qui n'est pas recyclé ni valorisé énergétiquement qui est incinéré	%	50%
Devenir de l'acier	Part de ce qui n'est pas recyclé qui est valorisé énergétiquement	%	0%
Devenir du PVC	Taux de recyclage	%	14%

Etape	Paramètre	Unité	Valeur
Devenir du PVC	Part de ce qui n'est pas recyclé ni valorisé énergétiquement qui est incinéré	%	55%
Devenir du PVC	Part de ce qui n'est pas recyclé qui est valorisé énergétiquement	%	0%
Devenir du PS	Taux de recyclage	%	0%
Devenir du PS	Part de ce qui n'est pas recyclé ni valorisé énergétiquement qui est incinéré	%	55%
Devenir du PS	Part de ce qui n'est pas recyclé qui est valorisé énergétiquement	%	45%
Devenir du plastique	Taux de recyclage	%	0%
Devenir du plastique	Part de ce qui n'est pas recyclé ni valorisé énergétiquement qui est incinéré	%	55%
Devenir du plastique	Part de ce qui n'est pas recyclé qui est valorisé énergétiquement	%	0%
Devenir de la laine minérale	Taux de recyclage	%	0%
Devenir de la laine minérale	Part de ce qui n'est pas recyclé ni valorisé énergétiquement qui est incinéré	%	0%
Devenir de la laine minérale	Part de ce qui n'est pas recyclé qui est valorisé énergétiquement	%	0%
Devenir de l'aluminium	Taux de recyclage	%	90%
Devenir de l'aluminium	Part de ce qui n'est pas recyclé ni valorisé énergétiquement qui est incinéré	%	50%
Devenir de l'aluminium	Part de ce qui n'est pas recyclé qui est valorisé énergétiquement	%	0%
Devenir des matériaux minéraux	Taux de recyclage	%	85%
Devenir des matériaux minéraux	Part de ce qui n'est pas recyclé ni valorisé énergétiquement qui est incinéré	%	0%

Etape	Paramètre	Unité	Valeur
Devenir des matériaux minéraux	Part de ce qui n'est pas recyclé qui est valorisé énergétiquement	%	0%
Incinération	Pourcentage d'énergie convertie en chaleur (par opposition à la production d'électricité)	%	67%
Incinération	Efficacité énergétique	%	35%
Valorisation énergétique	Pourcentage d'énergie convertie en chaleur (par opposition à la production d'électricité)	%	81%
Valorisation énergétique	Efficacité énergétique	%	85%
Valorisation énergétique et incinération	Production de chaleur évitée - Part d'utilisation de fuel hors utilisation de charbon et de lignite	%	9%
Valorisation énergétique et incinération	Production de chaleur évitée - Part d'utilisation de lignite hors utilisation de charbon	%	0%
Valorisation énergétique et incinération	Production de chaleur évitée - Part d'utilisation de charbon	%	14%
Devenir des déchets bois d'ameublement	Taux de recyclage	%	0%
Devenir des déchets bois d'ameublement	Taux de mise en décharge	%	Variable entre 50% et 5%
Devenir des déchets bois d'ameublement	Taux d'incinération	%	0%
Devenir des déchets bois d'ameublement	Taux de valorisation énergétique	%	Variable entre 50% et 95%
Devenir des déchets bois de gros œuvre	Taux de recyclage	%	0%
Devenir des déchets bois de gros œuvre	Taux de mise en décharge	%	Variable entre 50% et 5%
Devenir des déchets bois de gros œuvre	Taux d'incinération	%	0%

Etape	Paramètre	Unité	Valeur
Devenir des déchets bois de gros œuvre	Taux de valorisation énergétique	%	Variable entre 50% et 95%
Devenir des déchets bois de second œuvre	Taux de recyclage	%	0%
Devenir des déchets bois de second œuvre	Taux de mise en décharge	%	Variable entre 50% et 5%
Devenir des déchets bois de second œuvre	Taux d'incinération	%	0%
Devenir des déchets bois de second œuvre	Taux de valorisation énergétique	%	Variable entre 50% et 95%
Devenir des déchets bois de seconde transformation	Taux de recyclage	%	0%
Devenir des déchets bois de seconde transformation	Taux d'utilisation interne (pas de substitution associée)	%	20%
Devenir des déchets bois de seconde transformation	Taux de mise en décharge	%	0%
Devenir des déchets bois de seconde transformation	Taux d'incinération	%	0%
Devenir des déchets bois de seconde transformation	Taux de valorisation énergétique	%	80%

Certains paramètres de la base de données peuvent faire l'objet d'une simulation Monte-Carlo, ainsi tous les paramètres varient entre 0 et 1 et le dernier se déduit des autres.

Exemple pour le devenir des déchets d'aluminium :

- Taux de recyclage = « Taux de recyclage »
- Taux de valorisation énergétique = (1-« Taux de recyclage ») x « Part de ce qui n'est pas recyclé qui est valorisé énergétiquement »
- Taux d'incinération = (1-« Taux de recyclage ») x (1- « Part de ce qui n'est ni recyclé ni valorisé énergétiquement ») x « Part de ce qui n'est ni recyclé ni valorisé énergétiquement qui est incinéré »
 - L'incinération est distinguée de la valorisation énergétique car le rendement n'est pas le même.
- Taux de mise en décharge = (1-« Taux de recyclage ») x (1- « Part de ce qui n'est ni recyclé qui est valorisé énergétiquement ») x (1-« Part de ce qui n'est ni recyclé ni valorisé énergétiquement qui est incinéré »)

Le mix d'énergie fossile substitué par l'utilisation de bois est ainsi :

- Charbon : 14% ;
- Lignite : 0% ;
- Fuel : 7,7% ;
- Gaz naturel : 78,7%.

Le devenir des déchets bois en fin de vie est décrit dans la section 4.2.3.

8.2 Modélisation de la substitution du plancher

8.2.1 Etablissement du coefficient d'équivalence

Ce modèle a été rajouté aux modèles développés pour le projet FORMIT (Valada et al., 2016) et a été développé dans le projet GESFOR (Vial et al., 2018). Il est basé sur des calculs réalisés par le pôle Construction de FCBA.

Les planchers étudiés correspondent à une maison individuelle et à des bureaux.

Charges d'exploitations : 150kg/m²

Tableau 31 - Description des planchers bois et concurrents pour un plancher de maison individuelle

Quantitatifs pour 1m ² de plancher		
Plancher bois		
Bois massif	0,0325	m ³
OSB	0,0205	m ³
Acier	0,3	kg
Plancher béton - Composition Dalle pleine		
Béton coulé 20cm	440	kg
Acier	12	kg

Charges d'Exploitations : 250kg/m²

Tableau 32 - Description des planchers bois et concurrents pour un plancher de bureaux

Quantitatifs pour 1m ² de plancher		
Plancher bois		
Bois massif (20%)	0,00906	m ³
Bois abouté (80%)	0,0403	
OSB	0,0238	m ³
Acier	0,3	kg
Plancher béton - Composition Dalle pleine		
Pré-dalle	150	kg
Béton coulé (12cm)	265	kg
Acier	12	kg

Tableau 33 - Composition d'une pré-dalle

Quantitatif (kg/m ²)	
Prédalle béton armé	
Béton	116,75
Acier	8,25
Prédalle béton contraint	
Béton	120
Acier	1,85

La pré-dalle modélisée est une pré-dalle moyenne entre la pré-dalle en béton armé et la pré-dalle en béton pré-contraint en adaptant les quantitatifs d'acier et de béton au quantitatif modélisé par le plancher (150 kg/m²).

En moyenne, 1 kg de bois remplace 0,34 kg de ferraille à béton et 12 kg de béton.

8.2.2 Inventaire de Cycle de Vie (ICV) du plancher bois

Les impacts de la production du plancher sont reprises dans le tableau suivant.

Tableau 34 - Données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) pour la fabrication d'1 m² de plancher bois

Flux	Quantité	Unité	Source	ICV de la base de données Ecoinvent utilisé
Electricité	54	kWh	Moyenne des consommations d'électricité pour seconde transformation	Electricity, medium voltage, production FR, at grid/FR U
Diesel	2,16	Litres	Données FDES plancher	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U
Sciages	$1,03 \cdot (50\% \cdot 20\% \cdot 0,0403 + 50\% \cdot 0,0325)$	m3	Donnée moyenne perte ossature 50% de bâtiment tertiaire, 50% de logement 20% de bois massif dans le tertiaire	Sawn timber, softwood, raw, kiln dried, u=20%, at plant/RER U (avec électricité France)
Abouté	$1,03 \cdot (50\% \cdot 80\% \cdot 0,0403)$	m3	Donnée moyenne perte ossature 50% de bâtiment tertiaire, 50% de logement	Données FCBA
OSB	$1,13 \cdot (50\% \cdot 0,0238 + 50\% \cdot 0,0205)$	m3	Données moyenne perte contreventement 50% de bâtiment tertiaire, 50% de logement	Oriented strand board, at plant/RER U (avec électricité France)
Ferrures	0,3	kg	Données FDES plancher	63% Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U 37% Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U
Plancher bois	1	m ²		
Déchets de seconde transformation	$(1,03-1) \cdot (50\% \cdot 20\% \cdot 0,0403 + 50\% \cdot 0,0325) \cdot 540 + 1,03 \cdot (50\% \cdot 80\% \cdot 0,0403) \cdot 540 + (1,13-1) \cdot (50\% \cdot 0,0238 + 50\% \cdot 0,0205) \cdot 584,5$	kg	Différentiel entre entrée et sortie	20% d'utilisation en moyenne en interne sans substitution 80% d'utilisation en substitution énergétique

8.2.3 Inventaire de cycle de vie du plancher en béton

Les impacts de la production du plancher béton sont basés sur les données suivantes :

Tableau 35 - Données d'inventaire pour la fabrication d'1 m² de plancher béton

Flux	Quantité	Unité	Source	ICV de la base de données Ecoinvent utilisé
Béton	50%*440+50%*405	kg	Pôle construction FCBA	Concrete, normal, at plant/CH U
Armature	50%*12+50%*18	kg	Pôle construction FCBA	10% Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U 90% Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U
Fabrication de l'armature	50%*12+50%*18	kg		Hot rolling, steel/RER U
Plancher béton	1	m ²		

8.3 Modélisation de la substitution du CLT

8.3.1 Etablissement du coefficient d'équivalence

Ce modèle a été rajouté aux modèles développés pour le projet FORMIT (Valada et al., 2016). Il est basé sur des calculs réalisés par le pôle Construction de FCBA pour ce projet.

Tableau 36 - Description de la solution bois et de la solution béton pour le CLT

Bois (unité m ² de surface habitable)					Voile béton (unité: m ² de surface habitable)	
Ouvrage	Type de logement	Produit "FCBA"	Nature du matériau	Description	Volume de béton (dm ³ /m ²)	Armatures métalliques (kg/m ²)
CLT	Logement collectif	Parois porteuses de façades	volume bois	murs ép 140mm	voile béton ép 180mm	Treillis soudés + fer HA
				123,03 dm ³ /m ²	158,18 dm ³ /m ²	12 kg/m ²

En moyenne, 1 kg de bois remplace 0,18 kg de ferraille à béton et 5,24 kg de béton (en considérant une densité du bois de 540 kg/m³, une densité du béton de 2 200 kg/m³ et une densité des ferrailles de 7 500 kg/m³).

Il est considéré que la mise en œuvre d'un m³ de CLT nécessite 6,9 kg de ferrures qui sont également modélisées.

8.3.2 Inventaire de cycle de vie du CLT

Les impacts de la production du plancher sont repris dans le tableau suivant.

Tableau 37 - Données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) pour la fabrication d'1 m³ de CLT

Flux	Quantité	Unité	Source	ICV de la base de données Ecoinvent utilisé
Electricité	55	kWh	FDES CLT	Electricity, medium voltage, production FR, at grid/FR U
Sciages	1/0,66	m ³	FDES CLT	_Sawn timber, softwood, raw, kiln dried, u=20%, at plant/RER U (avec électricité France)
Colle MUF	0,5	kg	FDES CLT	Melamine formaldehyde resin {GLO} market for Cut-off, S
Colle PU	5,1	kg	FDES CLT	Données PURBOND
Ferrures	6,9	kg	FDES CLT	63% Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U 37% Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U
CLT	1	m ³		
Déchets colle	0,357	kg	FDES CLT	Disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration/CH U
Déchets de seconde transformation	(1/0,66-1)*540	kg	Différentiel entre entrée et sortie	20% d'utilisation en moyenne en interne sans substitution 80% substitution énergétique

Pour 1 m² de surface habitable, un volume de 0,123 m³ de CLT est utilisé en façade porteuse

8.3.3 Inventaire de cycle de vie de la paroi porteuse en béton

Tableau 38 - Données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) d'une paroi porteuse en béton pour 1 m² de surface habitable

Flux	Quantité	Unité	Source	ICV de la base de données Ecoinvent utilisé
Béton	0,158*2380=376	kg	Voir section 8.3.1	Concrete, normal, at plant/CH U
Armature	12	kg	Voir section 8.3.1	10% Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U 90% Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U
Fabrication de l'armature	12	kg	Voir section 8.3.1	Hot rolling, steel/RER U
Surface habitable	1	m ²		

8.4 Modélisation de la substitution du système constructif mixte bois béton

8.4.1 Etablissement du coefficient d'équivalence

Ce modèle a été rajouté aux modèles développés pour le projet FORMIT (Valada et al., 2016). Il est basé sur des calculs réalisés par le pôle Construction de FCBA pour ce projet.

Tableau 39 - Description de la solution bois et de la solution béton pour le système constructif mixte bois béton

Bois (unité m ² de surface habitable)					Plancher béton (unité: m ² de surface habitable)	
Ouvrage	Type de logement	Produit "FCBA"	Nature du matériau	Descriptif	Volume de béton (dm ³ /m ²)	Armatures métalliques (kg/m ²)
Système constructif mixte	Logement collectif	Planchers mixte bois-béton	volume bois	<i>solives 120 x 220 entraxe 60mm</i>	Dalle béton ép 200mm	Treillis soudés + fer HA
				52,80 dm ³ /m ²		
			volume panneaux	<i>Contreplaqué ép 22mm (avec solives entraxe 60mm)</i>		
				22,00 dm ³ /m ²		
			Volume béton	<i>Dalle béton ép 80mm</i>		
				80,00 dm ³ /m ²		
			Armatures métalliques	<i>Treillis soudés + fer HA</i>		
				12,00 kg/m ²		

En moyenne, 1 kg de bois remplace 0,18 kg de ferraille à béton et 5,76 kg de béton (en considérant une densité du bois de 540 kg/m³, une densité du contreplaqué de 784 kg/m³; une densité du béton de 2 380 kg/m³ et une densité des ferrailles de 7 500 kg/m³)

8.4.2 Inventaire de cycle de vie du plancher mixte bois béton

Il n'existe pas de données d'inventaire de cycle vie de vie sur la fabrication des planchers mixte. Les impacts de la production du plancher sont donc basés sur les données de fabrication du plancher bois (voir section 8.2.2).

Les données de production des éléments en béton du plancher mixte sont similaires à celles du plancher béton présentées ci-dessous.

8.4.3 Inventaire de cycle de vie du plancher béton

Tableau 40 - Données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) d'un plancher béton pour 1 m² de surface habitable

Flux	Quantité	Unité	Source	ICV de la base de données Ecoinvent utilisé
Béton	0,2*2380=476	kg	Voir section 8.4.1	Concrete, normal, at plant/CH U
Armature	15	kg	Voir section 8.4.1	10% Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U 90% Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U
Fabrication de l'armature	15	kg	Voir section 8.4.1	Hot rolling, steel/RER U
Surface habitable	1	m ²		

8.5 Coefficients de substitution utilisés dans cette étude

Le tableau suivant présente les coefficients de substitution utilisés dans l'étude intégrant à la fois la substitution ayant lieu en phase de production et en phase de fin de vie.

Dans ce tableau, le terme « nc » pour « non concerné » signifie que, dans les données fournies par le BIPE, les valeurs n'étaient pas renseignées. En d'autres termes, cela signifie que la colonne « Produit » est vide.

Tableau 41 - Ensemble des coefficients de substitution matériau utilisés dans l'étude

Usage	Ouvrage - Produit	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)
		FORMIT/GESFOR				FDES	
		2015	2015	2050	2050	2015	2015
Systèmes constructif	CLT - Parois porteuses de façades	-1,15	-17,78	-1,72	-27,02	-0,90	-0,73
Systèmes constructif	CLT - Parois porteuses internes	-1,15	-17,78	-1,72	-27,02	-0,90	-0,73
Systèmes constructif	CLT - Planchers	-1,15	-17,78	-1,72	-27,02	-0,90	-0,73
Systèmes constructif	Ossature bois - Parois porteuses de façades - Bois	-1,79	-21,77	-2,38	-31,29	-0,82	-2,14
Systèmes constructif	Ossature bois - Parois porteuses de façades - Panneaux	-1,43	-9,52	-2,02	-19,03	-0,82	0,41
Systèmes constructif	Ossature bois - Parois porteuses internes - Bois	-1,79	-21,77	-2,38	-31,29	-0,82	-2,14
Systèmes constructif	Ossature bois - Parois porteuses internes - Panneaux	-1,43	-9,52	-2,02	-19,03	-0,82	-2,14
Systèmes constructif	Ossature bois - Planchers - Bois	-1,93	-22,53	-2,51	-31,77	-1,28	-11,43
Systèmes constructif	Ossature bois - Planchers - Panneaux	-1,56	-9,90	-2,13	-19,14	-1,28	-11,43
Systèmes constructif	Poteaux poutres - Porteurs verticaux	-1,05	-18,22	-1,62	-27,47	-1,32	-26,45

Usage	Ouvrage - Produit	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)
		FORMIT/GESFOR				FDES	
		2015	2015	2050	2050	2015	2015
Systèmes constructif	Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage interne - Bois	-1,79	-21,77	-2,38	-31,29	-0,82	0,41
Systèmes constructif	Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage interne - Panneaux	-1,43	-9,52	-2,02	-19,03	-0,82	-2,14
Systèmes constructif	Poteaux poutres - Planchers - Bois	-1,93	-22,53	-2,51	-31,77	-1,28	-3,17
Systèmes constructif	Poteaux poutres - Planchers - Panneaux	-1,56	-9,90	-2,13	-19,14	-1,28	-11,31
Systèmes constructif	Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) bois	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Systèmes constructif	Poteaux poutres - Parois ossatures de remplissage en façades (non porteuses) panneaux	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Système constructif mixte	Système constructif mixte - Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Bois	-1,79	-21,77	-2,38	-31,29	-0,82	-2,14
Système constructif mixte	Système constructif mixte - Façade ossature bois sur supports hors filière bois - Panneaux	-1,43	-9,52	-2,02	-19,03	-0,82	-2,14
Système constructif mixte	Système constructif mixte - Planchers mixte bois-béton - Bois	-0,63	-11,26	-1,21	-20,50	-1,26	-21,91

Usage	Ouvrage - Produit	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)
		FORMIT/GESFOR				FDES	
		2015	2015	2050	2050	2015	2015
Système constructif mixte	Système constructif mixte - Planchers mixte bois-béton - Panneaux	-0,12	2,57	-0,69	-6,67	-1,26	-21,91
Charpentes	Charpente industrielle - Charpentes industrielles en bois	-0,77	-18,21	-1,34	-27,45	-0,89	-8,74
Charpentes	Charpente traditionnelle - Pannes, fermes et chevrons bois	-0,77	-18,21	-1,34	-27,45	-0,89	-8,74
Charpentes	Charpente traditionnelle - Pannes, fermes et chevrons en lamellé collé	-1,05	-18,22	-1,62	-27,47	-1,32	-26,45
Charpentes	Charpente traditionnelle - Système mixte chevrons bois / pannes et fermes autres	-0,77	-18,21	-1,34	-27,45	-0,89	-8,74
Charpentes	Charpente traditionnelle - Bois support de couverture - Lattis	-0,77	-18,21	-1,34	-27,45	-0,89	-8,74
Charpentes	Charpente traditionnelle - Bois support de couverture - Volige	-0,77	-18,21	-1,34	-27,45	-0,89	-8,74
Charpentes	Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support bois de la toiture terrasse - Bois	-1,93	-22,53	-2,51	-31,77	-1,28	-11,43
Charpentes	Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support bois de la toiture terrasse - Panneaux	-1,56	-9,90	-2,13	-19,14	-1,28	-11,43

Usage	Ouvrage - Produit	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)
		FORMIT/GESFOR				FDES	
		2015	2015	2050	2050	2015	2015
Charpentes	Structure porteuse de la toiture-terrasse - Support lamellé collé de la toiture terrasse	-1,05	-18,22	-1,62	-27,47	-1,32	-26,45
Bois dans l'isolation	Bois d'ITE - Bois d'ITE	-0,77	-18,21	-1,34	-27,45	-1,26	-21,91
Bois dans l'isolation	Fibre bois isolante - Fibre bois isolante	-0,56	-11,39	-1,18	-21,48	-1,26	-21,91
Revêtement des sols	Parquets - Regroupe a) les parquets en bois massifs cloués sur profils bois (lambourdes ou solives), b) les parquets contre collés posés, c) Les parquets collés en bois massif	-2,42	-48,82	-3,05	-58,90	-2,88	-15,94
Revêtement des sols	Stratifiés - nc	-1,21	-14,45	-1,84	-24,54	-1,26	-21,91
Revêtement des sols	Planchers-plaque - nc	-2,42	-48,82	-3,05	-58,90	-2,88	-15,94
Escaliers	Escaliers mixtes bois/acier (garde-corps ou mains courantes simple face) - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-0,79	-4,62
Escaliers	Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-0,79	-4,62

Usage	Ouvrage - Produit	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)
		FORMIT/GESFOR				FDES	
		2015	2015	2050	2050	2015	2015
Escaliers	Escaliers bois 100% (garde-corps ou mains courantes simple face) - Panneaux - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-0,79	-4,62
Garde corps	Garde corps - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Portes palières (bois) - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Porte coupe-feu (bois) - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Portes intérieures non techniques - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Portes de bureau (isolation acoustique) - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes d'entrées	Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre) - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Portes palières (bois) - Panneaux - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Porte coupe-feu (bois) - Panneaux - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Portes intérieures non techniques - Panneaux - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Porte d'hôtel (isolation acoustique et coupe-feu) - Panneaux - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Portes	Portes de bureau (isolation acoustique) - Panneaux - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91

Usage	Ouvrage - Produit	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)
		FORMIT/GESFOR				FDES	
		2015	2015	2050	2050	2015	2015
Portes d'entrées	Portes d'entrées (bois & mixte bois/verre) - Panneaux - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Cloisons	Cloisons non porteuses (bois) - Ossature non porteuse bois - Bois	-0,77	-18,21	-1,34	-27,45	-1,26	-21,91
Cloisons	Cloisons non porteuses (bois) - Ossature non porteuse bois - Panneaux	-0,24	-4,17	-0,86	-14,25	-1,26	-21,91
Cloisons	Cloisonnement du bâtiment (fixe ou démontable) - nc	-0,24	-4,17	-0,86	-14,25	-1,26	-21,91
Cloisons	Cloisons des pièces humides - nc	-0,24	-4,17	-0,86	-14,25	-1,26	-21,91
Cloisons	Cloisons coupe-feu - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Cloisons	Cloisons coupe-feu - Panneaux - nc	-0,24	-4,17	-0,86	-14,25	-1,26	-21,91
Lambris	Plafonds en bois - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Lambris	Doublage intérieur bois des murs - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Lambris	Plafonds en bois - Panneaux - nc	-0,24	-4,17	-0,86	-14,25	-1,26	-21,91
Lambris	Doublage intérieur bois des murs - Panneaux - nc	-0,24	-4,17	-0,86	-14,25	-1,26	-21,91
Aménagement intérieur	Cuisine - nc	-0,38	-7,83	-1,01	-17,92	-1,26	-21,91
Aménagement intérieur	Salle de bain - nc	-0,38	-7,83	-1,01	-17,92	-1,26	-21,91

Usage	Ouvrage - Produit	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)
		FORMIT/GESFOR				FDES	
		2015	2015	2050	2050	2015	2015
Aménagement intérieur	Placard - nc	-0,38	-7,83	-1,01	-17,92	-1,26	-21,91
Produits profilés et moulurés	Planches de rive, tasseaux, moulures, baguette, plinthes) - Bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Fenêtres et portes	Fenêtres bois - nc	-4,71	-48,60	-5,28	-57,85	-1,60	-21,91
Fenêtres et portes	Fenêtres mixte bois/aluminium - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Fenêtres et portes	Fenêtres de toits en bois - nc	-4,71	-48,60	-5,28	-57,85	-1,60	-21,91
Fenêtres et portes	Volets (battants, coulissants, roulants, Persiennes/Jalousies) - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Fenêtres et portes	Portes de garage - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Platelage	Toiture terrasse revêtement bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Platelage	Platelage au sol - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Parement verticaux extérieurs	Revêtements en bois des façades / Bardage bois - Regroupe bardage lame et plaque - Bois	-0,74	-18,79	-1,32	-28,03	-1,20	-21,91
Parement verticaux extérieurs	Revêtements en bois des façades / Bardage bois - Regroupe bardage lame et plaque - Panneaux	-0,84	-14,59	-1,47	-24,68	-1,20	-21,91

Usage	Ouvrage - Produit	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)	Coefficient substitution GES Matériau (kg CO ₂ /kg bois)	Coefficient substitution Energie Non Renouvelable Matériau (MJ/kg bois)
		FORMIT/GESFOR				FDES	
		2015	2015	2050	2050	2015	2015
Habillages	Éléments rapportés en façade et brise-soleils - nc	-0,74	-18,79	-1,32	-28,03	-1,20	-21,91
Habillages	Sous-faces / avancée de toiture - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Clôtures	Portails bois - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Clôtures	Panneaux pare-vue - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91
Balcons	Balcons - nc	-1,26	-21,91	-1,87	-30,45	-1,26	-21,91

Si l'on calcule les coefficients de substitution moyen par usage, pondérés par les différentiels de volume entre les scénarios étudiés et le scénario Tendanciel, les résultats obtenus sont les suivants pour 2050 :

Tableau 42 – Coefficients de substitution GES matériau moyens par usage en 2050

	Scénario Alternatif vs scénario Tendanciel	Scénario Volontariste vs scénario Tendanciel	Scénario ONC vs scénario tendanciel
Système constructif	-1,91	-1,92	-2,14
Système constructif mixte	-1,38	-1,37	-1,37
Charpentes	-1,49	-1,45	-1,57
Bois dans l'isolation	-1,18	-1,18	-1,18
Revêtement des sols	-2,60	-2,62	-2,67
Escaliers	-1,87	-1,87	-1,87
Garde corps	Pas de flux		
Portes	-1,87	-1,87	-1,87
Portes d'entrées	Pas de flux		
Cloisons	-1,12	-1,17	-1,21
Lambris	-1,26	-1,26	-1,26
Aménagement intérieur	-1,01	-1,01	-1,01
Produits profilés et moulurés	-1,87	-1,87	-1,87
Fenêtres et portes	-3,28	-3,26	-3,50
Platelage	-1,87	-1,87	-1,87
Parement verticaux extérieurs	-1,32	-1,32	-1,33
Habillages	Pas de flux		
Clôtures	-1,87	-1,87	-1,87
Balcons	Pas de flux		

8.6 Quantité d'énergie potentielle générée par les différents scénarios

Cette annexe présente les quantités de connexes de première transformation (co-produits de la transformation de bois ronds en sciages), de seconde transformation (co-produits de la transformation des sciages et panneaux en produits finis) ainsi que les quantités de produits en fin de vie et leur potentiel énergétique.

Une différenciation a été faite entre les connexes produits en France et les connexes produits à l'import. Dans cette étude, le taux d'import présenté dans le Tableau 5 ne différencie pas les imports de produits finis (connexes de première et de seconde transformation produits en dehors de la France) et les imports de sciages utilisés en France (connexes de première transformations produits hors de France mais connexes de seconde transformation produits en France). Le calcul de différenciation entre France et import est correct pour les connexes de première transformation mais n'est pas possible pour les connexes de seconde transformation. Cette différenciation n'est donc pas présentée ici.

8.6.1 Connexes de scierie

8.6.1.1 *Quantité d'énergie contenue dans la totalité des connexes de scierie produits (France et Import)*

Les tableaux suivants reprennent les valeurs pour les différents scénarios utilisés.

Tableau 43 - Connexes de scierie produits (France et Import, par scénario et année, feuillus / résineux)

Tonnes de matière sèche

Scénario	2015		2020		2035		2050	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
Tendanciel	626 075	1 208 764	697 743	1 421 481	671 493	1 367 225	620 408	1 179 292
Volontariste	626 075	1 208 764	719 412	1 514 772	870 080	2 211 603	1 052 576	2 163 190
Alternatif	626 075	1 208 764	721 251	1 425 046	818 582	1 718 618	914 815	1 774 365
Objectif Neutralité Carbone	626 075	1 208 764	715 582	1 490 210	1 029 267	2 807 606	1 293 808	3 313 522

GJ

Scénario	2015		2020		2035		2050	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
Tendanciel	11 363 254	21 612 707	12 664 043	25 416 080	12 187 596	24 445 983	11 260 399	21 085 734
Volontariste	11 363 254	21 612 707	13 057 335	27 084 127	15 791 960	39 543 465	19 104 257	38 677 844
Alternatif	11 363 254	21 612 707	13 090 702	25 479 828	14 857 262	30 728 896	16 603 901	31 725 643
Objectif Neutralité Carbone	11 363 254	21 612 707	12 987 807	26 644 949	18 681 202	50 199 992	23 482 622	59 245 773

Tonne équivalent pétrole

Scénario	2015		2020		2035		2050	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
Tendanciel	270 554	514 588	301 525	605 145	290 181	582 047	268 105	502 041
Volontariste	270 554	514 588	310 889	644 860	375 999	941 511	454 863	920 901
Alternatif	270 554	514 588	311 683	606 663	353 744	731 640	395 331	755 372
Objectif Neutralité Carbone	270 554	514 588	309 234	634 404	444 791	1 195 238	559 110	1 410 614

Tableau 44 - Connexes de scierie produits (France et Import, par scénario et année, total feuillus et résineux)

Tonnes matière sèche

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	1 834 839	2 119 224	2 038 718	1 799 699
Volontariste	1 834 839	2 234 185	3 081 684	3 215 767
Alternatif	1 834 839	2 146 297	2 537 200	2 689 180
Objectif Neutralité Carbone	1 834 839	2 205 791	3 836 873	4 607 330

GJ

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	32 975 962	38 080 123	36 633 579	32 346 134
Volontariste	32 975 962	40 141 461	55 335 425	57 782 102
Alternatif	32 975 962	38 570 530	45 586 158	48 329 544
Objectif Neutralité Carbone	32 975 962	39 632 756	68 881 194	82 728 395

Tonnes équivalent pétrole

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	785 142	906 670	872 228	770 146
Volontariste	785 142	955 749	1 317 510	1 375 764
Alternatif	785 142	918 346	1 085 385	1 150 703
Objectif Neutralité Carbone	785 142	943 637	1 640 028	1 969 724

8.6.1.2 Quantité d'énergie contenue dans les connexes de scierie utilisés en énergie (France et Import)

Il est considéré ici un taux d'utilisation des connexes en énergie en dehors de la filière bois de 39% (source <https://www.flux-biomasse.fr/>). Ce pourcentage est supposé constant dans le temps. Le pourcentage de biomasse utilisé en interne à la filière (14%) n'a pas été inclus dans les quantités suivantes.

Tableau 45 – Connexes de scierie utilisés en énergie (France et Import, par scénario et année, total feuillus et résineux)

Tonnes matière sèche

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	707 089	816 682	785 658	693 547
Volontariste	707 089	860 984	1 187 584	1 239 255
Alternatif	707 089	827 115	977 757	1 036 325
Objectif Neutralité Carbone	707 089	850 042	1 478 610	1 775 520

GJ

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	12 707 895	14 674 878	14 117 426	12 465 180
Volontariste	12 707 895	15 469 253	21 324 527	22 267 400
Alternatif	12 707 895	14 863 866	17 567 467	18 624 682
Objectif Neutralité Carbone	12 707 895	15 273 214	26 544 640	31 880 914

Tonnes équivalent pétrole

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	302 569	349 402	336 129	296 790
Volontariste	302 569	368 316	507 727	530 176
Alternatif	302 569	353 902	418 273	443 445
Objectif Neutralité Carbone	302 569	363 648	632 015	759 069

8.6.1.3 Quantité d'énergie contenue dans la totalité des connexes de scierie produits (France)

Les tableaux suivants reprennent les valeurs pour les différents scénarios utilisés.

Tableau 46 - Connexes de scierie produits (France, par scénario et année, feuillus / résineux)

Tonnes de matière sèche

Scénario	2015		2020		2035		2050	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
Tendanciel	484 151	798 314	542 263	912 228	521 927	884 257	486 275	768 121
Volontariste	484 151	798 314	558 818	959 123	675 951	1 236 532	830 890	1 277 436
Alternatif	484 151	798 314	565 861	908 173	647 349	1 004 496	726 640	1 063 066
Objectif Neutralité Carbone	484 151	798 314	556 520	944 209	779 101	1 698 046	988 490	1 990 230

GJ

Scénario	2015		2020		2035		2050	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
Tendanciel	8 787 341	14 273 854	9 842 071	16 310 641	9 472 979	15 810 522	8 825 891	13 734 000
Volontariste	8 787 341	14 273 854	10 142 545	17 149 128	12 268 512	22 109 198	15 080 655	22 840 551
Alternatif	8 787 341	14 273 854	10 270 369	16 238 127	11 749 389	17 960 389	13 188 513	19 007 615
Objectif Neutralité Carbone	8 787 341	14 273 854	10 100 829	16 882 458	14 140 677	30 361 068	17 941 088	35 585 307

Tonne équivalent pétrole

Scénario	2015		2020		2035		2050	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
Tendanciel	209 222	339 854	234 335	388 349	225 547	376 441	210 140	327 000
Volontariste	209 222	339 854	241 489	408 313	292 107	526 409	359 063	543 823
Alternatif	209 222	339 854	244 533	386 622	279 747	427 628	314 012	452 562
Objectif Neutralité Carbone	209 222	339 854	240 496	401 963	336 683	722 883	427 169	847 269

Tableau 47 - Connexes de scierie produits (France, par scénario et année, total feuillus et résineux)

Tonnes matière sèche

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	1 282 465	1 454 491	1 406 185	1 254 396
Volontariste	1 282 465	1 517 941	1 912 483	2 108 326
Alternatif	1 282 465	1 474 033	1 651 845	1 789 706
Objectif Neutralité Carbone	1 282 465	1 500 729	2 477 147	2 978 719

GJ

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	23 061 195	26 152 711	25 283 501	22 559 892
Volontariste	23 061 195	27 291 673	34 377 710	37 921 206
Alternatif	23 061 195	26 508 496	29 709 778	32 196 128
Objectif Neutralité Carbone	23 061 195	26 983 287	44 501 745	53 526 396

Tonnes équivalent pétrole

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	549 076	622 684	601 988	537 140
Volontariste	549 076	649 802	818 517	902 886
Alternatif	549 076	631 155	707 376	766 574
Objectif Neutralité Carbone	549 076	642 459	1 059 565	1 274 438

8.6.1.4 Quantité d'énergie contenue dans les connexes de scierie utilisés en énergie (France)

Il est considéré ici un taux d'utilisation des connexes en énergie en dehors de la filière bois de 39% (source <https://www.flux-biomasse.fr/>). Ce pourcentage est supposé constant dans le temps. Le pourcentage de biomasse utilisé en interne à la filière (14%) n'a pas été inclus dans les quantités suivantes.

Tableau 48 - Connexes de scierie utilisés en énergie (France et Import, par scénario et année, total feuillus et résineux)

Tonnes matière sèche

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	494 222	560 515	541 899	483 405
Volontariste	494 222	584 967	737 011	812 482
Alternatif	494 222	568 046	636 569	689 696
Objectif Neutralité Carbone	494 222	578 333	954 614	1 147 905

GJ

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	8 887 057	10 078 430	9 743 464	8 693 871
Volontariste	8 887 057	10 517 350	13 248 085	14 613 637
Alternatif	8 887 057	10 215 538	11 449 211	12 407 372
Objectif Neutralité Carbone	8 887 057	10 398 508	17 149 569	20 627 385

Tonnes équivalent pétrole

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	211 597	239 963	231 987	206 997
Volontariste	211 597	250 413	315 431	347 944
Alternatif	211 597	243 227	272 600	295 414
Objectif Neutralité Carbone	211 597	247 584	408 323	491 128

8.6.1 Connexe de seconde transformation

La quantité totale d'énergie contenue dans les connexes produits est présentée ici.

Tableau 49 - Connexes de seconde transformation issus de sciages (France et Import, par scénario et année, feuillus / résineux)

Tonnes de matière sèche

Scénario	2015		2020		2035		2050	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
Tendanciel	243 568	374 478	270 409	433 018	262 628	423 473	245 419	370 897
Volontariste	243 568	374 478	279 647	457 184	349 122	700 811	435 573	726 341
Alternatif	243 568	374 478	280 588	433 822	323 366	544 902	367 519	576 024
Objectif Neutralité Carbone	243 568	374 478	278 975	451 879	400 587	781 931	517 133	924 345

GJ

Scénario	2015		2020		2035		2050	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
Tendanciel	4 420 754	6 695 661	4 907 917	7 742 366	4 766 704	7 571 694	4 454 362	6 631 645
Volontariste	4 420 754	6 695 661	5 075 593	8 174 456	6 336 556	12 530 495	7 905 645	12 986 985
Alternatif	4 420 754	6 695 661	5 092 664	7 756 741	5 869 097	9 742 854	6 670 477	10 299 305
Objectif Neutralité Carbone	4 420 754	6 695 661	5 063 399	8 079 600	7 270 652	13 980 926	9 385 960	16 527 282

Tonne équivalent pétrole

Scénario	2015		2020		2035		2050	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
Tendanciel	105 256	159 421	116 855	184 342	113 493	180 278	106 056	157 896
Volontariste	105 256	159 421	120 847	194 630	150 870	298 345	188 230	309 214
Alternatif	105 256	159 421	121 254	184 684	139 740	231 973	158 821	245 222
Objectif Neutralité Carbone	105 256	159 421	120 557	192 371	173 111	332 879	223 475	393 507

Tableau 50 - Connexes de seconde transformation issus de sciages (France et Import, par scénario et année, total feuillus et résineux)

Tonnes matière sèche

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	618 045	703 427	686 101	616 317
Volontariste	618 045	736 831	1 049 932	1 161 914
Alternatif	618 045	714 410	868 269	943 543
Objectif Neutralité Carbone	618 045	730 854	1 182 518	1 441 477

GJ

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	11 116 415	12 650 284	12 338 397	11 086 007
Volontariste	11 116 415	13 250 049	18 867 051	20 892 630
Alternatif	11 116 415	12 849 405	15 611 951	16 969 782
Objectif Neutralité Carbone	11 116 415	13 142 999	21 251 579	25 913 243

Tonnes équivalent pétrole

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	264 677	301 197	293 771	263 953
Volontariste	264 677	315 477	449 216	497 444
Alternatif	264 677	305 938	371 713	404 042
Objectif Neutralité Carbone	264 677	312 929	505 990	616 982

Tableau 51 - Connexes de seconde transformation issus de panneaux (France et Import, par scénario et année)

Tonnes matière sèche

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	199 054	220 709	217 373	197 631
Volontariste	199 054	232 688	290 024	282 831
Alternatif	199 054	215 041	282 831	240 776
Objectif Neutralité Carbone	199 054	232 469	307 736	319 415

GJ

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	3 612 834	4 005 868	3 945 326	3 587 007
Volontariste	3 612 834	4 223 287	5 263 932	5 133 386
Alternatif	3 612 834	3 902 993	5 133 386	4 370 077
Objectif Neutralité Carbone	3 612 834	4 219 304	5 585 403	5 797 384

Tonnes équivalent pétrole

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	86 020	95 378	93 936	85 405
Volontariste	86 020	100 554	125 332	122 223
Alternatif	86 020	92 928	122 223	104 049
Objectif Neutralité Carbone	86 020	100 460	132 986	138 033

Tableau 52 - Connexes de seconde transformation issus de panneaux et de sciages (France et Import, par scénario et année, total sciages et panneaux)

Tonnes matière sèche

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	817 100	924 136	903 474	813 948
Volontariste	817 100	969 519	1 339 956	1 444 745
Alternatif	817 100	929 451	1 151 100	1 184 319
Objectif Neutralité Carbone	817 100	963 323	1 490 254	1 760 893

GJ

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	14 729 249	16 656 151	16 283 723	14 673 014
Volontariste	14 729 249	17 473 336	24 130 983	26 026 016
Alternatif	14 729 249	16 752 398	20 745 337	21 339 859
Objectif Neutralité Carbone	14 729 249	17 362 303	26 836 982	31 710 627

Tonnes équivalent pétrole

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	350 696	396 575	387 708	349 357
Volontariste	350 696	416 032	574 547	619 667
Alternatif	350 696	398 867	493 937	508 092
Objectif Neutralité Carbone	350 696	413 388	638 976	755 015

8.6.1 Produits en fin de vie

L'énergie présente dans la totalité des produits en fin de vie produits issus des scénarios étudiés est présentée dans les tableaux ci-dessous. Il est à noter qu'il ne s'agit que d'une partie des produits bois arrivant en fin de vie puisque seuls les produits fabriqués à partir de 2015 sont comptabilisés.

Tableau 53 - Produits en fin de vie (France et Import, par scénario et année, total sciages et panneaux)

Tonnes matière sèche

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	0	243 757	842 429	1 204 610
Volontariste	0	250 356	1 007 512	1 638 523
Alternatif	0	243 241	898 184	1 409 044
Objectif Neutralité Carbone	0	249 341	1 090 422	1 941 316

GJ

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	0	4 401 039	15 210 063	21 749 238
Volontariste	0	4 520 177	18 190 634	29 583 535
Alternatif	0	4 391 721	16 216 719	25 440 286
Objectif Neutralité Carbone	0	4 501 859	19 687 563	35 050 462

Tonnes équivalent pétrole

Scénario	2015	2020	2035	2050
Tendanciel	0	104 787	362 144	517 839
Volontariste	0	107 623	433 110	704 370
Alternatif	0	104 565	386 112	605 721
Objectif Neutralité Carbone	0	107 187	468 752	834 535

8.7 Détail des impacts de la substitution entre production et fin de vie

8.7.1 Substitution matériau - GES

Les effets de substitution incluant la phase de production et de fin de vie (en différentiel par rapport au scénario « Tendanciel ») pour les différents scénarios retenus sont repris dans la Figure 19.

Le détail des valeurs pour la phase de production et la phase de fin de vie est donné dans les figures suivantes.

Figure 42 - Substitution carbone - Comparaisons scénarios - Valeurs différentielles - Phase de production

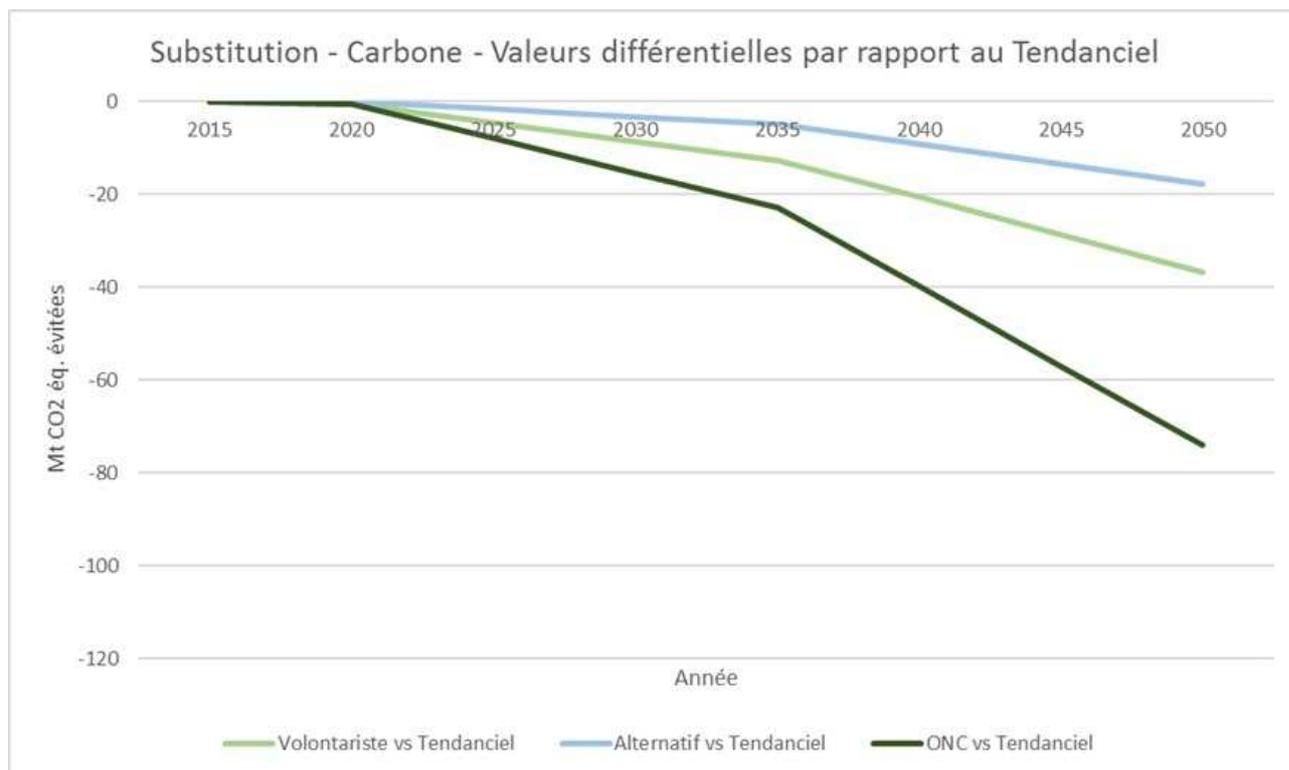
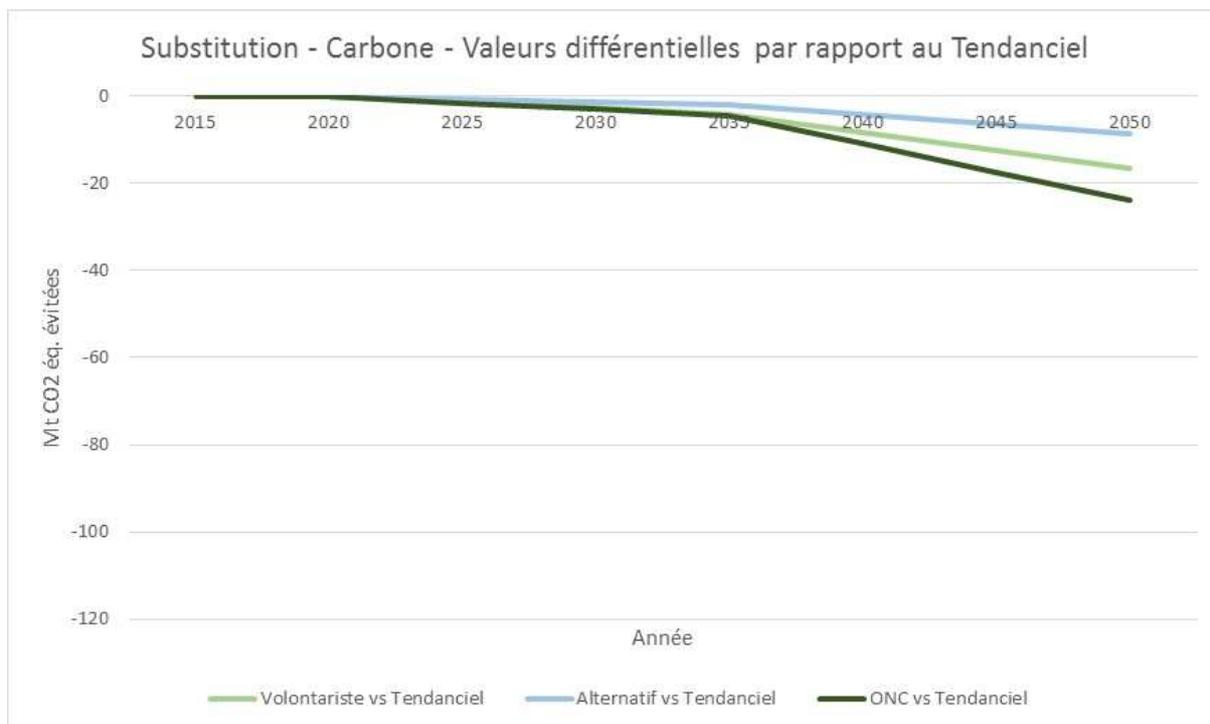


Figure 43 - Substitution carbone - Comparaisons scénarios - Valeurs différentielles - Phase de fin de vie



Il est possible d'observer que les effets de substitution sont plus importants en phase de production par rapport à la fin de vie.

8.7.2 Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable

Pour rappel, seule la substitution sur l'énergie primaire totale non renouvelable a été évaluée dans le cadre de cette étude.

Les effets de substitution (en différentiel par rapport au scénario « Tendanciel ») pour les différents scénarios retenus sont repris dans la Figure 23 pour la totalité des phases de production et de fin de vie. Le détail des valeurs pour la phase de production et la phase de fin de vie est donné dans les figures suivantes.

Figure 44 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles - Phase de production

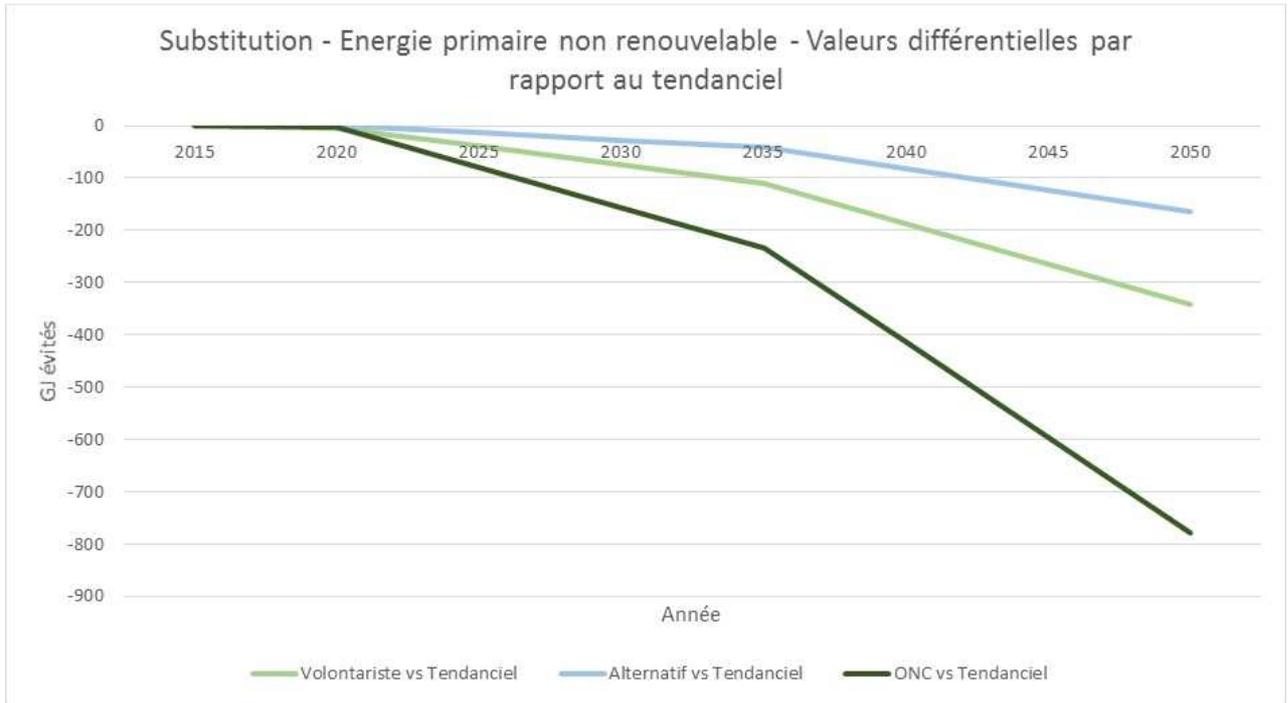
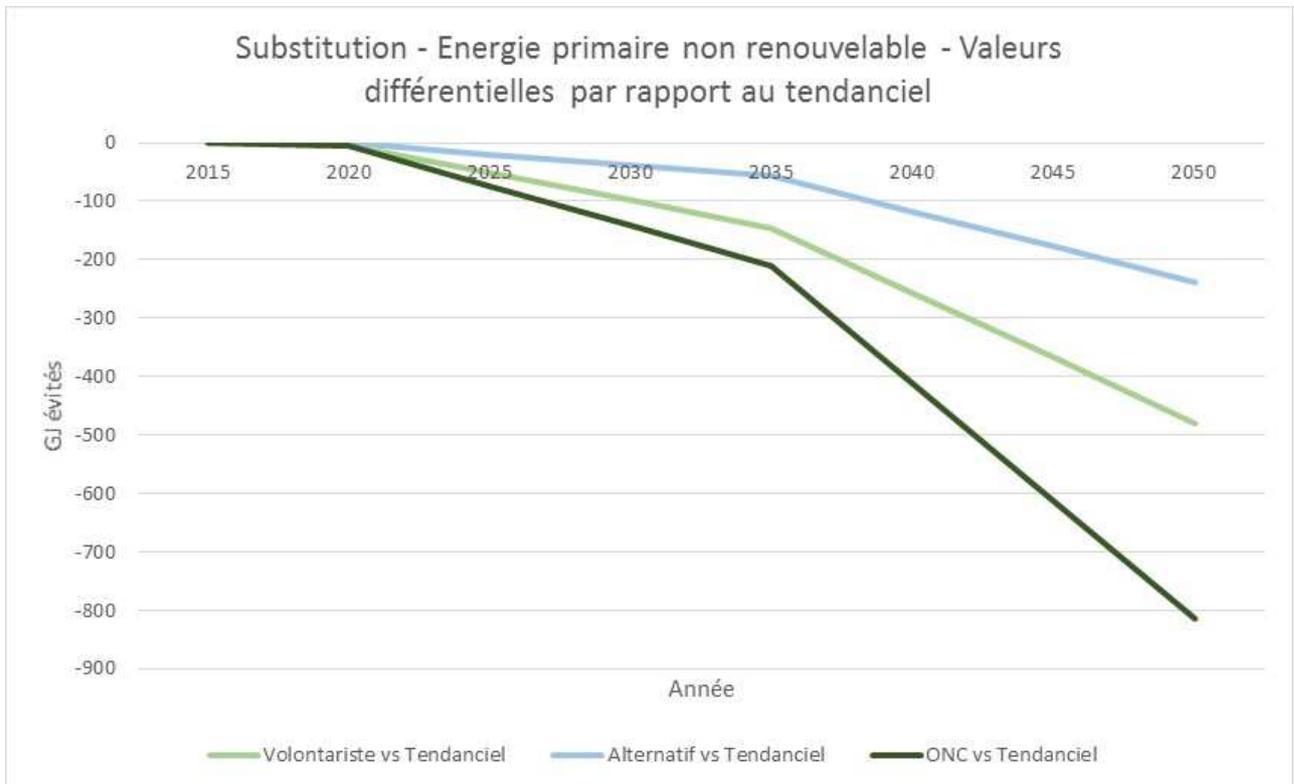


Figure 45 - Substitution matériau - Consommation d'énergie non renouvelable - Comparaison scénarios - Valeurs différentielles - Phase de fin de vie



Pour l'indicateur de consommation d'énergie primaire non renouvelable, les phases de production et de fin de vie sont comparables.