

Elaboration d'un scénario français de réutilisation/ré-emploi de produits en BLC (bois lamellé collé) et en CLT (cross laminated timber) et évaluation environnementale

Auteur(s)	Vérificateur(s) externes	Version	Date
Estelle VIAL (FCBA) Zaratiana Mandrara (FCBA)	Pierre Ravel (CSTB) Léo Ben Amor (CSTB)	V2	08/11/2022

Siège social

10, rue Galilée
77420 Champs-sur-Marne
Tél +33 (0)1 72 84 97 84
www.fcba.fr

Siret 775 680 903 00132
APE 7219Z
Code TVA CEE : FR 14 775 680 903

Institut technologique FCBA :
Forêt, Cellulose, Bois – Construction,
Ameublement

Financé par :

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

SOMMAIRE

1. Synthèse opérationnelle du projet	5
1.1 Limites de l'étude	5
1.2 Produits couverts.....	5
1.3 Collecte de données.....	5
1.4 Etapes couvertes.....	6
1.5 Données d'inventaires de cycle de vie.....	7
1.5.1 Module C1	7
1.5.2 Module C2	9
1.5.3 Module C3	9
1.5.3.1. <i>Elément bois entrant sur le site de reconditionnement et destiné au ré-emploi</i>	9
1.5.3.2. <i>Déchets bois issus de la phase de tronçonnage</i>	10
1.5.3.3. <i>Déchets bois issus de la phase de reconditionnement</i>	10
1.5.1 Module C4	10
1.5.1.1. <i>Déchets bois issus de la phase de tronçonnage</i>	10
1.5.1.2. <i>Déchets bois issus de la phase de reconditionnement</i>	10
1.5.1 Module D	11
1.5.1.1. <i>Elément bois à ré-employer</i>	11
1.5.1.2. <i>Déchets bois issus de la phase de tronçonnage</i>	11
1.5.1.3. <i>Déchets bois issus de la phase de reconditionnement</i>	11
2. Contexte et objectifs du projet.....	12
3. Collecte de données	13
4. Description du scénario de ré-emploi	13
4.1 Description du scénario de ré-emploi du CLT	14
4.2 Description du scénario de ré-emploi du BLC.....	16
5. Evaluation du potentiel de ré-emploi	18
5.1 CLT	18
5.1.1 Typologie d'ouvrage	18
5.1.2 Géométrie et dimensions.....	18
5.1.3 Provenance des données.....	19
5.1.4 Quantité de matière récupérable	19
5.1.5 Récupération des panneaux CLT plancher et toiture	20
5.1.6 Récupération des panneaux CLT murs.....	24
5.2 BLC	26
5.2.1 Typologie d'ouvrage	26
5.2.2 Provenance des données.....	26
5.2.3 Récupération du Bois lamellé-collé	27
6. Evaluation environnementale	29
6.1 Référentiels méthodologiques	29
6.1.1 Niveau produit : norme NF EN 15804	29
6.1.2 Niveau bâtiment : norme NF EN 15978.....	30
6.1.3 Niveau bâtiment : réglementation RE2020.....	31

6.2	Traitement du carbone biogénique	31
6.2.1	Niveau produit : EN 16485	31
6.2.2	Niveau produit : EN 15804 amendement A2	32
6.2.3	Niveau bâtiment : RE2020	32
6.3	Champs de l'étude.....	33
6.4	Données d'inventaire de cycle de vie	34
6.4.1	Données relatives au cycle de vie du produit hors fin de vie	34
6.4.2	Données relatives au scénario de ré-emploi – C1	34
6.4.3	Données relatives au scénario de ré-emploi – C2	35
6.4.4	Données relatives au scénario de ré-emploi – C3	37
6.4.4.1.	<i>Bois destiné au ré-emploi</i>	37
6.4.4.2.	<i>Déchets bois issus des phases de tronçonnage et de reconditionnement</i>	38
6.4.5	Données relatives au scénario de ré-emploi – C4	38
6.4.5.1.	<i>Déchets bois issus des phases de tronçonnage et de reconditionnement</i>	38
6.4.6	Données relatives au scénario de ré-emploi – D	38
6.4.6.1.	<i>Bois destiné au ré-emploi</i>	38
6.4.6.2.	<i>Déchets bois issus des phases de tronçonnage et de reconditionnement</i>	39
6.4.7	Données relatives au scénario actuel de fin de vie des produits bois et aux autres modes de gestion.....	41
6.4.8	Données relatives aux analyses de sensibilité	41
6.4.8.1.	<i>Données relatives au CLT</i>	41
6.5	Résultats pour le CLT	47
6.5.1	Résultats sur le cycle de vie du produit	47
6.5.1.1.	<i>Analyse de gravité du scénario de ré-emploi</i>	47
6.5.1.2.	<i>Analyse de sensibilité sur le scénario de ré-emploi</i>	48
6.5.1.3.	<i>Comparaison de scénarios de fin de vie</i>	50
6.6	Résultats pour le BLC.....	54
6.6.1	Résultats sur le cycle de vie du produit	54
6.6.1.1.	<i>Analyse de gravité du scénario de ré-emploi de référence</i>	54
6.6.1.2.	<i>Analyse de sensibilité sur le scénario de ré-emploi</i>	56
6.6.1.3.	<i>Comparaison de scénarios de fin de vie</i>	58
7.	Faisabilité du développement de la ré-utilisation et du ré-emploi.....	63
7.1	Traçabilité.....	63
7.2	Diagnostic des produits	63
7.3	Critères de développement de la ré-utilisation et du ré-emploi	64
7.4	Barrières au réemploi	64
8.	Exemples de chantiers intégrant du réemploi et de la réutilisation	65
9.	Scénario de maintien de la structure (ré-emploi in situ)	75
9.1	Durée de vie des logements en France	75
9.2	Durée de vie des structures bois	76
9.3	Référentiel ACV.....	77
9.4	Scénario de maintien des structures bois	77
10.	Conclusions.....	83
11.	Rapport de revue critique.....	85
12.	Annexe : Références.....	87
13.	Annexe : Questionnaire.....	89
14.	Annexe : Description de la méthode de déconstruction	90

Figures

Figure 1 : Schéma du scénario de ré-emploi du CLT	14
Figure 2 : Illustration des découpes	20
Figure 3 : Analyse des chantiers CLT planchers.....	23
Figure 4 : Analyse des chantiers CLT murs	25
Figure 5 : Analyse des chantiers BLC.....	28
Figure 6 : Analyse de gravité sur le cycle de vie d'1 m ² de CLT (120 mm d'épaisseur) avec un scénario 100% réemploi.....	47
Figure 7 : Analyse de gravité sur le cycle de vie d'1 m ² de CLT (120 mm d'épaisseur) avec un scénario 100% réemploi – changement climatique.....	47
Figure 8 : Analyse de sensibilité sur le cycle de vie d'1 m ² de CLT (120 mm d'épaisseur) par rapport au scénario de réemploi de référence (CLT_Ref) – changement climatique.....	50
Figure 9 : Comparaison de scénarios de fin de vie au niveau produit pour le CLT – changement climatique (120 mm d'épaisseur).....	53
Figure 10 : I _c Construction d'un m ² de CLT (120 mm d'épaisseur) pour différents scénarios de fin de vie	54
Figure 11 : Analyse de gravité sur le cycle de vie d'1 m ³ de BLC avec un scénario 100% réemploi	55
Figure 12 : Analyse de gravité sur le cycle de vie d'1 m ² de BLC avec un scénario 100% réemploi – changement climatique.....	55
Figure 13 : Analyse de sensibilité sur le cycle de vie d'1 m ³ de BLC par rapport au scénario de ré-emploi de référence (BLC_Ref) – changement climatique.....	58
Figure 14 : Comparaison de scénarios de fin de vie au niveau produit pour le BLC – changement climatique.....	61
Figure 15 : I _c Construction d'un m ³ de BLC pour différents scénarios de fin de vie	62
Figure 16 : Nombre de résidences principales construites avant 1949 et toujours en fonction (source : INSEE enquêtes Logement)	75
Figure 17 : Nombre de résidences principales encore en fonction construites entre 1949 et 1975 (source : INSEE enquêtes Logement)	76

Tableaux

Tableau 1 : Hypothèses relatives au scénario de réutilisation/ ré-emploi du CLT et du CLT nervuré	16
Tableau 2 : Hypothèses relatives au scénario de ré-emploi du BLC.....	18
Tableau 3 : Chantiers étudiés pour le CLT	19
Tableau 4 : Analyse des chantiers CLT planchers - résumé.....	24
Tableau 5 : Analyse des chantiers CLT murs – résumé.....	26
Tableau 6 : Chantiers étudiés pour le BLC	26
Tableau 7 : Analyse des chantiers BLC – résumé	28
Tableau 8 : Données d'inventaire du module C1 pour le CLT.....	34
Tableau 9 : Données d'inventaire du module C1 pour le BLC.....	35
Tableau 10 : Transport par camion en France – Données.....	36
Tableau 11 : Paramètre du module C2 – transport des déchets bois après tronçonnage vers le centre de tri	36
Tableau 12 : Paramètre du module C2 – transport du CLT et du BLC vers la plateforme de stockage.....	36
Tableau 13 : Paramètre du module C2 – transport du CLT et du BLC vers le site de reconditionnement/ charpentier	36
Tableau 14 : Données d'inventaire du module C3 pour le reconditionnement du CLT	37

Tableau 15 : Données d’inventaire du module C3 pour le reconditionnement du BLC.....	37
Tableau 16 – Valorisation énergétique	38
Tableau 17 : modélisation des ferrures supplémentaires pour l’analyse de sensibilité.....	39
Tableau 18 - Source d’énergie pour la production de chaleur évitée (FCBA et CSTB 2012)	40
Tableau 19 : Scénario moyen français de fin de vie des produits bois de la construction	41
Tableau 20 : Analyses de sensibilité réalisées sur le scénario de ré-emploi (CLT).....	44
Tableau 21 : Analyses de sensibilité réalisées sur le scénario de ré-emploi (BLC).....	46
Tableau 22 : Analyse de sensibilité sur le cycle de vie d’1 m ² de CLT (120 mm d’épaisseur) par rapport au scénario de réemploi de référence (CLT_Ref).....	49
Tableau 23 : Comparaison de scénario de fin de vie sur pour 1 m ² de CLT (120 mm d’épaisseur)	52
Tableau 24 : Analyse de sensibilité sur le cycle de vie d’1 m ³ de BLC par rapport au scénario de ré-emploi de référence (BLC_Ref).....	57
Tableau 25 : Comparaison de scénario de fin de vie sur pour 1 m ³ de BLC	60
Tableau 26 : Date de construction des résidences principales en France (source : INSEE enquêtes Logement)	75
Tableau 27 : Facteurs et catégories de facteurs de la méthode factorielle.....	78
Tableau 28 : Facteurs et catégories de facteurs de la méthode factorielle appliqués à des éléments structurels en bois.....	81
Tableau 29 : Scénario de maintien de la structure sur une durée de vie de 100 ans	83

1. Synthèse opérationnelle du projet

La réutilisation et le ré-emploi sont au cœur de la loi AGECE (Anti-Gaspillage et Economie Circulaire) adoptée en 2020. La loi AGECE prévoit également la mise en place d'une filière REP (responsabilité élargie du producteur) pour les déchets du bâtiment en 2022. Le réemploi et la réutilisation des produits de construction sont l'un des objectifs de cette nouvelle filière REP.

L'étude GDBAT sur l'évaluation du gisement et du devenir des déchets bois de construction évalue la réutilisation ou le ré-emploi à 2,6% en moyenne du gisement (FCBA et al. 2022). Ce pourcentage pourrait monter jusqu'à 7% du gisement de bois de structure. La réutilisation ou réemploi ex-situ fait donc partie de l'élaboration d'un scénario réaliste et actuel.

Dans ce contexte, le CODIFAB a souhaité proposer un scénario de ré-emploi pour la réalisation de FDES de produits bois. Des exemples de chantiers où les éléments bois sont ré-employés ou réutilisés sont donnés dans la présente étude permettant de montrer la faisabilité du scénario identifié.

L'étude a fait l'objet d'une revue critique réalisée par Pierre Ravel et Leo Ben Amor, ingénieurs du CSTB.

1.1 Limites de l'étude

Etant donné que les données de logistique ou de reconditionnement collectées pour la modélisation du scénario de ré-emploi n'ont pas une représentativité suffisante, ce scénario ne peut être utilisé que si le pourcentage de ré-emploi considéré dans la FDES concerne moins de 5 à 10% en masse du produit.

Si le déclarant a mis en place un système de récupération et de ré-emploi qui lui est propre, des données individuelles pourront être utilisées en lieu et place des données du présent scénario et son propre pourcentage de ré-emploi des produits en fin de vie pourra être utilisé. Par ailleurs, la mise en place de la REP favorisant le ré-emploi, des données de terrain de meilleure qualité pourront être collectées permettant une mise à jour de la présente étude qui pourra ainsi s'appliquer à un pourcentage supérieur de ré-emploi.

1.2 Produits couverts

Les produits pour lesquels ce scénario peut être utilisé sont les éléments de construction en bois massif, soit du bois lamellé croisé plus connu sous le nom de Cross Laminated Timber (CLT) et Bois Lamellé Collé (BLC).

Les intrants et les sortants des procédés présentés dans l'inventaire de cycle de vie sont fournies pour les flux de référence suivant :

- 1 m² de CLT utilisé en mur, en plancher ou en toiture,
- 1 m³ de BLC utilisé en poutre ou poteau.

Le devenir des ferrures et de la quincaillerie n'est pas modélisé dans l'étude.

1.3 Collecte de données

On définit le taux de ré-emploi par le rapport entre le volume de panneau ou de poutre effectivement ré-employé et le volume existant sur le chantier de rénovation/démolition.

Une étude statistique sur 11 chantiers de construction neuve chantiers a évalué à 76% le taux de ré-emploi potentiel moyen du panneau CLT et du CLT nervuré en plancher et toiture et à 65% du panneau utilisé en mur. Le taux de ré-emploi potentiel moyen de la poutre BLC est estimé à 87% selon l'étude de 4 chantiers de construction neuves. Ces taux ont été définis en se basant sur une règle de récupération prenant en compte les dimensions des appuis et des assemblages pratiqués par les fabricants ainsi que les dimensions ré-employables dans une nouvelle conception notamment pour des raisons économiques. Ainsi la longueur minimum d'un CLT réemployé en plancher est de 3 m, la hauteur récupérable de mur est de 2,50 m. Ces taux de ré-emploi correspondent au produit des rendements de tronçonnage et de reconditionnement des étapes C1 et C3.

Les consommations d'énergie, le rendement de tronçonnage pour le CLT et les distances de transport ont été fournies par 3 entreprises fabricant du CLT ou du BLC ou estimées par FCBA et confirmées par le comité de pilotage.

1.4 Etapes couvertes

Les étapes couvertes sont décrites dans le tableau suivant :

Module	Etapes couvertes
La déconstruction et la démolition (C1)	<ul style="list-style-type: none"> • L'accrochage des éléments par une grue pour permettre leur démontage ; • La découpe des liaisons par tronçonnage ; • La gestion des appuis par tronçonnage ; • Le levage des éléments et la dépose ; <p><i>La mise en sécurité du site, soit la pose de garde-corps pour assurer la sécurité des ouvriers en charge du démontage et l'étalement des éléments pour empêcher les éléments désolidarisés de basculer n'ont pas été modélisés car les éléments sont réutilisés de nombreuses fois.</i></p>
Le transport jusqu'au traitement des déchets (C2)	<ul style="list-style-type: none"> • Le transport des éléments à réemployer vers une plateforme de stockage puis vers un site de reconditionnement (fabricant de CLT/BLC ou charpentier), • Le transport des déchets issus de la déconstruction vers les centres de traitement ;
Le traitement des déchets en vue de leur réutilisation, récupération et/ou recyclage (C3) :	<p>Pour les éléments à réemployer sur le site de reconditionnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'inspection des éléments et les contrôles ; • La taille ; • Le stockage à l'abri mais non nécessairement chauffé ; <p>Pour les déchets issus de la déconstruction et du reconditionnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acheminement vers un centre de tri ou vers un exutoire,

Module	Étapes couvertes
	<ul style="list-style-type: none"> • Tri et transport vers un fabricant de panneau, un centre de valorisation énergétique et une cimenterie, • Valorisation énergétique/ en cimenterie sans sortie de statut de déchet avec un rendement supérieur à 60%.
L'élimination (C4) :	<p>Pour les déchets issus de la déconstruction et du reconditionnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mise en centre de stockage de déchets non dangereux.
Les potentiels de réutilisation, récupération et/ou recyclage, exprimés en impacts et bénéfices nets (D) :	<p>Pour les éléments à réemployer :</p> <p>La modélisation de la production d'un élément neuf n'est pas intégrée car elle dépend du produit étudié.</p> <p>Pour les déchets issus de la déconstruction et du reconditionnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bénéfices associés au recyclage, à la valorisation énergétique et à la valorisation en cimenterie. <p>Les données relatives au devenir des différents déchets produits par la transformation des déchets bois issu de la déconstruction jusqu'à un produit ré-employable peuvent être issus de l'étude sur la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022).</p>

Tableau 1 : Description des étapes couvertes par le scénario
l'étude sur la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022).

1.5 Données d'inventaires de cycle de vie

1.5.1 Module C1

Les tableaux suivants présentent les données d'inventaires de cycle de vie pour le CLT et pour le BLC :

Flux	Unité	Valeur	Modélisation – Ecoinvent v3
Déconstruction du CLT	m²	1	Intrant principal
Utilisation de la tronçonneuse	Hr	_C1_troncon_min/60	Power sawing, without catalytic converter {RER} processing Cut-off, S
Utilisation d'une grue	kWh	100 kW*50%*_C1_grue_min/60	La puissance de la grue (100 kW) et le taux d'utilisation (50%) sont des hypothèses du comité de pilotage Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S
Déchets bois vers centre de tri	m ³	(1_C1_Deconstruction_Rdt)*_gen_CLT_epaisseur*0,001	Les étapes C2, C3 et C4 du devenir des déchets de bois issus de l'étape C1 peuvent être modélisées en utilisant les données (FCBA et al. 2022)
Bois vers plateforme de stockage	m²	_C1_Deconstruction_Rdt	Sortant principal
Ferrures vers centre de tri	kg	_A5_Steel_kg*_gen_CLT_epaisseur*0,001	A modéliser par l'utilisateur
Paramètres			
_C1_troncon_min	Min	4 min 30 s	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC
_C1_grue_min	Min	10 min	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC
_C1_Deconstruction_Rdt	%	90%	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC
_gen_CLT_epaisseur	m		A modéliser par l'utilisateur
_A5_Steel_kg	Kg		A modéliser par l'utilisateur

Tableau 2 : Données d'inventaire du module C1 pour le CLT

Flux	Unité	Valeur	Modélisation – Ecoinvent v3
Déconstruction du BLC	m³	1	Intrant principal
Utilisation de la tronçonneuse	Hr	_C1_troncon_min/60	Power sawing, without catalytic converter {RER} processing Cut-off, S
Utilisation d'une grue	kWh	100 kW*50%*_C1_grue_min/60	La puissance de la grue (100 kW) et le taux d'utilisation (50%) sont des hypothèses du comité de pilotage Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S
Déchets bois vers centre de tri	m ³	(1_C1_Deconstruction_Rdt)	Les étapes C2, C3 et C4 du devenir des déchets de bois issus de l'étape C1 peuvent être modélisées en utilisant les données d'inventaire de cycle de vie de la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022)
Bois vers plateforme de stockage	m³	_C1_Deconstruction_Rdt	Sortant principal
Ferrures vers centre de tri	kg	_A5_Steel_kg	A modéliser par l'utilisateur
Paramètres			
_C1_troncon_min	Min	8 min	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC
_C1_grue_min	Min	45 min	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC
_C1_Deconstruction_Rdt	%	87,65%	Collecte de données auprès de 4 chantiers utilisant du BLC
_A5_Steel_kg	Kg		A modéliser par l'utilisateur

Tableau 3 : Données d'inventaire du module C1 pour le BLC

1.5.2 Module C2

Le transport des éléments bois à ré-employer est modélisé en considérant un transport entre le chantier et la plateforme de stockage de 100 km et un transport entre la plateforme de stockage et le site de reconditionnement de 100 km (données estimées par FCBA).

Les modules de transport d'Ecoinvent « Market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 » peuvent être utilisés car le taux de chargement de ces modules est conservateur.

Le transport des déchets bois issus de l'étape C1 peut être modélisé par le module C2 issu du rapport sur la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022).

1.5.3 Module C3

1.5.3.1. Elément bois entrant sur le site de reconditionnement et destiné au ré-emploi

Les tableaux suivants présentent les données d'inventaires de cycle de vie :

Flux	Unité	Valeur	Modélisation – Ecoinvent v3
Elément bois entrant sur le site de reconditionnement	m²	1	Intrant principal
Electricité utilisée pour la taille numérique	kWh	$_C3_taille_min/60*_C3_taille_puissance*_C3_taille_utilisation_puissance$	Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S
Déchets bois issus du reconditionnement vers centre de tri	m ³	$(1-_C3_taille_rdt)*_gen_CLT_epaisseur*0,001$	Les étapes C2, C3 et C4 du devenir des déchets de bois issus de l'étape C1 peuvent être modélisées en utilisant les données d'inventaire de cycle de vie de la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022)
Produit de préservation	L	$_C3_traitement_l$	Wood preservation, dipping/immersion method, water-based, indoor use, occasionally wet {GLO} market for Cut-off, S
Elément bois à ré-employer	m²	$_C3_taille_rdt$	Sortant principal
Paramètres			
$_C3_taille_min$	Min	15	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC
$_C3_taille_puissance$	kW	70	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC
$_C3_taille_utilisation_puissance$	%	66	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC
$_C3_taille_rdt$	M	85% plancher 72% mur	Collecte de données auprès de 11 chantiers utilisant du CLT
$_C3_traitement_l$	l/m ²	0,4	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC

Tableau 4 : Données d'inventaire du module C3 pour le reconditionnement du CLT

Flux	Unité	Valeur	Modélisation – Ecoinvent v3
Élément bois entrant sur le site de reconditionnement	m³	1	Intrant principal
Electricité utilisée pour la taille numérique	kWh	_C3_Taille_electricite	Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S
Produit de préservation	l		Wood preservation, dipping/immersion method, water-based, indoor use, occasionally wet {GLO} market for Cut-off, S
Déchets bois issus du reconditionnement vers centre de tri	m ³	1-_C3_taille_rdt	
Bois vers réutilisation	m ³	_C3_taille_rdt	
Paramètres			
_C3_Taille_electricite	kWh	26	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC
_C3_taille_rdt	M	97,8	« FDES Poutre en bois lamellé taillée fabriquée en France » (FCBA 2019)
_C3_traitement_l	l/m ³	2	Collecte de données auprès de 3 fabricants de CLT/BLC

Tableau 5 : Données d'inventaire du module C3 pour le reconditionnement du BLC

1.5.3.2. Déchets bois issus de la phase de tronçonnage

Le tri et traitement des déchets bois issus de l'étape C1 peuvent être modélisés par le module C3 issu du rapport sur la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022).

1.5.3.3. Déchets bois issus de la phase de reconditionnement

Le transport et le tri et traitement des déchets bois issus du reconditionnement peuvent être modélisés par les modules C2 et C3 issu du rapport sur la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022).

1.5.1 Module C4

1.5.1.1. Déchets bois issus de la phase de tronçonnage

L'élimination des déchets bois issus de l'étape C1 peut être modélisés par le module C4 issu du rapport sur la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022).

1.5.1.2. Déchets bois issus de la phase de reconditionnement

L'élimination des déchets bois issus du reconditionnement peuvent être modélisés par le module C4 issu du rapport sur la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022).

1.5.1 Module D

Dans le module D, les effets de la substitution sont calculés uniquement pour le flux sortant net obtenu. Une attention doit être portée au calcul des flux nets en tenant compte des quantités de déchets bois entrants dans les différents modules A et B pour être recyclés ou réutilisés. De la même manière, il faut tenir compte d'une éventuelle consommation d'énergie à base de déchets bois entrant dans le système de cycle de vie.

1.5.1.1. Élément bois à ré-employer

Un ré-emploi en structure a été modélisé en supposant que la nouvelle poutre ou le nouveau panneau CLT remplace une poutre équivalente ou un panneau de même volume ou épaisseur, ce qui est l'avis du comité de pilotage de l'étude. Ainsi, le facteur de correction de valeur¹ est considéré ici comme égal à 1. Le module D est donc égal à la phase de production (modules A1 à A3 des FDES) de panneaux CLT et de poutre BLC en considérant le mix moyen des produits utilisés en France (fabriqués en France et importés) multiplié par -1.

Un facteur plus conservateur peut être appliqué si un classement mécanique inférieur est considéré pour l'élément ré-employé entraînant une minimisation de la charge à supporter (Bellastock (FR) et al. 2022). De même, il est possible de considérer que l'utilisation du produit ré-employé nécessite plus de quincaillerie ou de ferrures dont la fabrication viendra réduire le module D.

1.5.1.2. Déchets bois issus de la phase de tronçonnage

Le module D correspondant aux impacts et aux bénéfices du recyclage et de la valorisation énergétique² des déchets de bois issus du tronçonnage peut être modélisé par le module D issu du rapport sur la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022).

1.5.1.3. Déchets bois issus de la phase de reconditionnement

Le module D correspondant aux impacts et aux bénéfices du recyclage et de la valorisation énergétique des déchets de bois issus du reconditionnement peut être modélisé par le module D issu du rapport sur la gestion des déchets bois du bâtiment (FCBA et al. 2022).

¹ « Facteur reflétant la différence d'équivalence fonctionnelle lorsque le flux sortant n'atteint pas l'équivalence fonctionnelle du processus de remplacement » EN 15804+A2

² Dans le rapport sur la gestion des déchets bois du bâtiment, les déchets bois sont valorisés énergétiquement avec un rendement de plus de 60% mais ne bénéficient pas de la sortie de statut de déchets. Ce sont donc des MJ de chaleur et d'électricité qui franchissent les frontières du système et sont valorisés dans le module D.

2. Contexte et objectifs du projet

La réutilisation et le ré-emploi sont au cœur de la loi AGECE (Anti-Gaspillage et Economie Circulaire) adoptée en 2020. La loi AGECE prévoit également la mise en place d'une filière REP (responsabilité élargie du producteur) pour les déchets du bâtiment en 2022. Le réemploi et la réutilisation des produits de construction sont l'un des objectifs de cette nouvelle filière REP.

L'étude GDBAT sur l'évaluation du gisement et du devenir des déchets bois de construction évalue la réutilisation ou le ré-emploi à 2,6% en moyenne du gisement (FCBA et al. 2022). Ce pourcentage pourrait monter jusqu'à 7% du gisement de bois de structure. La réutilisation ou réemploi ex-situ fait donc partie de l'élaboration d'un scénario réaliste et actuel.

Dans ce contexte, le CODIFAB souhaite proposer un scénario de ré-emploi pour la réalisation de FDES de produits bois.

Les objectifs du projet sont donc de :

- Construire un scénario de ré-emploi des éléments de construction en bois massif, soit du bois lamellé croisé plus connu sous le nom Cross Laminated Timber (CLT) et Bois Lamellé Collé (BLC) (sections 3, 4 et 5) ;
- Evaluer l'impact environnemental des scénarios de ré-emploi après déconstruction en étudiant le cycle de vie complet d'un panneau CLT et d'une poutre BLC (section 6) ;
- Evaluer la faisabilité du développement plus important du ré-emploi (section 7) ;
- Proposer des illustrations de ces scénarios via des exemples de chantier (section 8) ;
- Réaliser la revue critique de ces scénarios (section 11).

L'article L.541-1-1 du code de l'environnement définit le **ré-emploi** comme « toute opération par laquelle des produits ou des composants qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus ».

Le terme de **réutilisation** désigne selon le code de l'environnement « toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau ».

Les principales différences entre le ré-emploi et la réutilisation sont donc l'usage identique et l'absence de passage par la désignation de déchet.

Selon le code de l'environnement, le **recyclage** se définit comme toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblayage ne peuvent pas être qualifiées d'opérations de recyclage.

Le recyclage du bois se différencie donc du ré-emploi et de la réutilisation par le fait que le bois est broyé avant d'être transformé en panneau de particules.

La présente étude est centrée sur le ré-emploi, à savoir un usage identique même s'il est possible que dans certains cas, cet usage nécessite plus d'utilisation de ferrures ou une épaisseur plus importante par rapport à l'utilisation de produits neufs. Des analyses de sensibilité ont été réalisées sur ce point dans l'évaluation environnementale. Le scénario de ré-emploi est également comparé à d'autres scénarios de fin de vie dans cette évaluation.

L'étude intègre également une description des conditions d'un scénario de maintien des produits de structure en place mais sans évaluation environnementale (section 9).

Les applications possibles de l'étude sont la modélisation du devenir de la part de BLC et CLT réutilisée et ré-employée dans le cadre de la réalisation de FDES sachant que ce pourcentage est actuellement très faible. Etant donné que les données de logistique ou de reconditionnement collectées pour la modélisation du scénario de ré-emploi n'ont pas une représentativité suffisante (voir section 3), ce scénario ne peut être utilisé que si le pourcentage de ré-emploi considéré dans la FDES concerne moins de 5 à 10% en masse du produit.

Le rapport d'étude est destiné à être rendu public. L'étude a fait l'objet d'une revue critique réalisée par Pierre Ravel et Leo Ben Amor, ingénieurs du CSTB (voir section 11).

Note : la présente étude ne constitue pas un guide d'évaluation de performances en vue d'un réemploi pour le BLC et le CLT.

3. Collecte de données

Un questionnaire a été envoyé aux 8 entreprises membres de l'UICB participant au comité de pilotage en 2021. Ce questionnaire, présenté en annexe section 13, comportait différents onglets relatifs :

- aux produits BLC et CLT fabriqués par l'entreprises incluant notamment les dimensions des découpes nécessaires en raison des assemblages (5 entreprises ont répondu à cet onglet) ;
- aux dimensions détaillées de l'ensemble des produits mis en œuvre sur des chantiers récents (6 entreprises ont fourni des données sur 11 chantiers pour le CLT ; 2 entreprises ont fourni des données pour 4 chantiers pour le BLC) ;
- aux différents points d'attention pour une bonne réutilisation/ré-emploi des produits (4 entreprises ont fourni des informations) ;
- aux barrières éventuelles pour la seconde vie des produits (4 entreprises ont fourni des informations) ;
- à l'impact environnemental du scénario (3 entreprises ont fourni des informations).

Les 11 chantiers de CLT posés représentent une surface totale de 35 800 m² (voir Tableau 8) sachant que le volume total de CLT posé en France est estimé à 160 000 m² pour 2020 (Donadiou de Lavit et al. 2019), soit 20% du total, (20 000 m³ pour une épaisseur moyenne de 0,12 m). Le volume de BLC couvert par l'enquête est de 868 m³, voir Tableau 11, soit 0,5% de la production nationale de 2019 (Enquête annuelle de production 2019).

La représentativité des données collectées a été évaluée selon le référentiel Product Environmental Footprint tel que décrit dans l'annexe E de la norme EN 15804+A2 (AFNOR 2019), soit la représentativité géographique, technologique et temporelle. La représentativité technologique des rendements, consommation d'énergie et distance a été jugée moyenne pour le CLT et mauvaise pour le BLC du fait que les données n'ont pas été collectées sur des sites réutilisant du CLT et du BLC mais sur des sites fabriquant et mettant en œuvre des éléments neufs (la différence entre le BLC et le CLT provient du fait que moins de chantiers ont été étudiés).

4. Description du scénario de ré-emploi

Un diagnostic de réemploi est d'abord réalisé sur la structure tel que décrit dans la méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances pour le ré-emploi des charpentes industrialisées, réalisé par la fondation Bâtiment Energie (Mandrara et al. 2020). Les éléments atteints par une éventuelle pathologie associée à la présence d'humidité, de développement fongique, de

dégradation des éléments constitutifs, d'attaques d'insectes ou de termites sont écartés du scénario de ré-emploi.

Les étapes du scénario de ré-emploi sont les suivantes pour les éléments de CLT et de BLC:

- La mise en sécurité du site, soit la pose de garde-corps pour assurer la sécurité des ouvriers en charge du démontage ;
- L'étalement des éléments pour empêcher les éléments désolidarisés de basculer ;
- L'accrochage des éléments par une grue pour permettre leur démontage ;
- La découpe des liaisons par tronçonnage ;
- La gestion des appuis par tronçonnage ;
- Le levage des éléments et la dépose ;
- Le transport vers une plateforme de stockage/reconditionnement ;
- L'inspection des éléments et les contrôles ;
- La taille ;
- Le stockage à l'abri mais non nécessairement chauffé.

La description détaillée du scénario pour le CLT utilisé en plancher et en mur et pour les poutres en BLC est fournie en annexe en section 13.

La mise en sécurité du site, soit la pose de garde-corps pour assurer la sécurité des ouvriers en charge du démontage et l'étalement des éléments pour empêcher les éléments désolidarisés de basculer n'ont pas été modélisés car les éléments sont réutilisés de nombreuses fois.

Le questionnaire envoyé aux entreprises fabriquant et/ou posant du CLT et du BLC comportait un volet environnemental (consommations énergétiques, traitement de préservation) relatif aux différentes étapes du scénario de ré-emploi. Ces données ont été fournies par 3 entreprises et ont été complétées par des hypothèses du comité de pilotage.

4.1 Description du scénario de ré-emploi du CLT

Le scénario de ré-emploi est modélisé comme présenté dans le schéma ci-dessous :

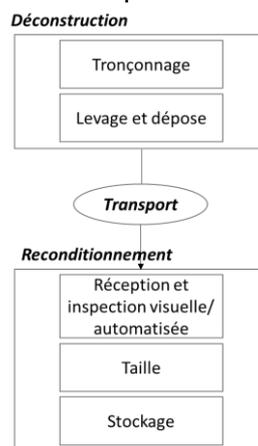


Figure 1 : Schéma du scénario de ré-emploi du CLT

Le pourcentage de CLT pouvant être ré-employé a été calculé sur la base d'une collecte de données auprès d'entreprises. La section 5.1 de ce rapport est consacrée à cette évaluation.

Un ré-emploi en structure a été modélisé en supposant que le nouveau panneau remplace un panneau neuf de même épaisseur, ce qui est l'avis du comité de pilotage de l'étude. Une analyse de sensibilité a été réalisée en considérant que le panneau ré-employé remplace un panneau

neuf d'épaisseur égale à 80% de l'épaisseur du panneau ré-employé afin de modéliser un facteur de correction de valeur tel que défini dans l'annexe D de la norme EN 15804 A2. Une autre analyse de sensibilité évalue également l'utilisation accrue de ferrures (+ 50% par rapport à un panneau neuf).

Les données du scénario de référence de ré-emploi sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Etape	Paramètre	Source	Donnée CLT	Unité	Qualité des données
Ensemble du scénario	Rendement global basé sur l'étude statistique pour les planchers	Voir section 5.1.5	76%	%	Geo : Bon Tech : Moyen Temp : Bon
	Rendement global basé sur l'étude statistique pour les murs	Voir section 5.1.6	65%		
Déconstruction	Durée d'utilisation de la tronçonneuse	Donnée collectées par le questionnaire auprès de 3 entreprises	4 min 30 s	Minutes/m ²	Geo : Bon Tech : Moyen Temp : Bon
	Rendement du tronçonnage	Hypothèse du comité de pilotage	90%	%	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Durée de la dépose	Donnée collectées par le questionnaire auprès de 3 entreprises	10	Minutes/m ²	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Type d'engin utilisé pour la dépose	Hypothèse du comité de pilotage	Grue électrique – 100 kW puissance utilisée 50% du temps		Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Crochets de levage/ sangles		Négligés car réutilisés		
	Etais		Négligés car réutilisés		
Transport vers le site de reconditionnement	Distance vers plateforme	Hypothèse FCBA	100	km	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Distance vers le site de reconditionnement	Hypothèse FCBA	100	km	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Type de camion – charge utile	(Comité national routier 2019)	27	tonnes	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Taux de remplissage du camion	Hypothèse FCBA	80%	%	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
Procédé de reconditionnement	Taille numérique – électricité	Donnée collectées par le questionnaire auprès de 3 entreprises	12,6 (15 minutes, 70kW puissance, 66% utilisation de la puissance)	kWh/m ²	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	CLT planchers : Taille numérique – rendement Rendement global/Rendement tronçonnage CLT murs : Taille numérique – rendement	Calcul	84% = 76%/90% 72% = 65%/90%	%	Geo : Bon Tech : Moyen Temp : Bon

Etape	Paramètre	Source	Donnée CLT	Unité	Qualité des données
	Rendement global/Rendement tronçonnage				
	Retraitement pour une nouvelle utilisation (étant donné la taille réalisée pour le reconditionnement)	Données FDES - Panneau CLT (lamellé-croisé) fabriqué en France (FCBA 2018)	0,4	litre de produit de classe 2/m ²	Geo : Bon Tech : Moyen Temp : Bon
	Devenir des chutes de taille	Données FDES - Panneau CLT (lamellé-croisé) fabriqué en France (FCBA 2018)	50% valorisation énergétique et 50% recyclage		Geo : Bon Tech : Moyen Temp : Bon

Tableau 6 : Hypothèses relatives au scénario de réutilisation/ ré-emploi du CLT et du CLT nervuré

D'après le comité de pilotage, l'épaisseur du panneau n'influe pas sur la consommation d'électricité nécessaire à la taille et au tronçonnage.

Des analyses de sensibilité ont été réalisées pour évaluer l'importance de certains paramètres.

4.2 Description du scénario de ré-emploi du BLC

Les étapes de reconditionnement des poutres en BLC sont similaires à celle du CLT (voir Figure 1). Après reconditionnement, la poutre est considérée comme réutilisable/ré-employable. Le pourcentage de BLC pouvant être réutilisé/ré-employé a été calculé sur la base d'une collecte de données auprès d'entreprises. La section 5.2 de ce rapport est consacrée à cette évaluation.

Un ré-emploi en structure a été modélisé en supposant que la nouvelle poutre remplace une poutre équivalente de même volume, ce qui est l'avis du comité de pilotage de l'étude. De la même manière que pour le CLT, une analyse de sensibilité a été réalisée en considérant que la poutre ré-employée remplace une poutre neuve égale à 80% du volume de la poutre ré-employée et une autre en considérant l'utilisation accrue de ferrure. Par exemple, la boîte à outil de la réutilisation/réemploi du lamellé collé recommande une approche conservatrice vis-à-vis du réemploi en structure : classement mécanique inférieur, minimisation de la charge (Bellastock (FR) et al. 2022)

Les données du scénario de référence de ré-emploi sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Etape	Paramètre	Source	Donnée BLC	Unité	Qualité des données
Ensemble du scénario	Rendement global calculs à partir du rendement de tronçonnage et du rendement de taille	Calcul à partir des rendements décrits ci-dessous	85% = 87,6%*97,8%	%	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
Déconstruction	Durée d'utilisation de la tronçonneuse (hypothèse FCBA)	Hypothèse FCBA	2 minutes pour une poutre moyenne, soit 8 minutes par m ³	Minutes/m ³	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Rendement du tronçonnage	Voir section 5.2.3 de ce rapport	87,65% (Min : 85% ; Max : 99,5%)	%	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Durée de la dépose	Donnée issue du questionnaire	45	Minutes /m ³	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Type d'engin utilisé pour la dépose	Hypothèse du comité de pilotage	Grue électrique – 100 kW puissance utilisée 50% du temps		Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Crochets de levage/ sangles		Négligés car réutilisés		
	Etais		Négligés car réutilisés		
Transport vers le site de reconditionnement	Distance vers plateforme	Hypothèse FCBA	100	km	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Distance vers le site de reconditionnement	Hypothèse FCBA	100	km	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Type de camion – charge utile	(Comité national routier 2019)	27	tonnes	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Taux de remplissage du camion	Hypothèse FCBA	80%	%	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
Procédé de reconditionnement	Taille numérique – électricité	FDES - Poutre en bois lamellé taillée fabriquée en France (FCBA 2019)	26	kWh/m ³	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon
	Taille numérique – rendement Rendement global/Rendement tronçonnage	FDES - Poutre en bois lamellé taillée fabriquée en France (FCBA 2019)	97,8	%	Geo : Bon Tech : Mauvais Temp : Bon

Etape	Paramètre	Source	Donnée BLC	Unité	Qualité des données
	Retraitement pour une nouvelle utilisation (étant donné la taille réalisée pour le reconditionnement)	FDES - Poutre en bois lamellé taillée fabriquée en France (FCBA 2019)	2	litre de lasure/ produit de classe 2/m ³	
	Devenir des chutes de taille	FDES - Poutre en bois lamellé taillée fabriquée en France (FCBA 2019)	50% valorisation énergétique et 50% recyclage		

Tableau 7 : Hypothèses relatives au scénario de ré-emploi du BLC

5. Evaluation du potentiel de ré-emploi

Cette section du rapport évalue la part de CLT et de BLC qui peut être potentiellement ré-employé pour des chantiers donnés : à savoir que le produit est utilisé pour la même application en considérant éventuellement un facteur de correction de valeur tel que défini dans l'annexe D de la norme EN 15804 A2 relative à la fin de vie. Comme indiqué en section précédente, une analyse de sensibilité a été réalisée en considérant un facteur de correction de valeur de 80% qui pourrait traduire un coefficient de sécurité retenu pour les produits de ré-emploi, soit par exemple une épaisseur plus importante ou une durée de vie résiduelle réduite.

5.1 CLT

5.1.1 Typologie d'ouvrage

Les chantiers étudiés dans ce travail ont utilisé des CLT en plancher, toiture et en mur. Les CLT mis en œuvre sont des CLT panneaux ou des CLT nervurés pour les planchers et les toitures. Les réponses ont été obtenues grâce au remplissage de questionnaires par des fabricants ou des maîtres d'ouvrage des bâtiments.

La production annuelle de CLT est selon le fabricant entre 30 000 m³/an et 300 000 m³/an. En général les demandes en construction sont plus importantes en CLT pour plancher ou pour toiture : entre 65 et 90% de la production que pour les murs (10% à 35%).

5.1.2 Géométrie et dimensions

Les fabricants de CLT interrogés produisent des CLT dont la largeur se situe entre 1 et 2 m au minimum et jusqu'à 3,5 m au maximum.

La longueur minimale est entre 2 et 8 m et leur capacité d'usinage peut atteindre une longueur entre 16 et 18 m.

L'épaisseur du CLT minimum standard est de 6 cm et certains fabricants peuvent fabriquer jusqu'à une épaisseur maximale de 32 cm à 50 cm.

Pour les CLT nervurés, les épaisseurs sont plus importantes avec un minimum de 22 à 26 cm et un maximum de 70 à 96 cm hors poteaux.

Les dimensions de CLT sur chantier sont très variables sur un même chantier, entre les différents chantiers et entre les différents fabricants. Ces dimensions dépendent des spécificités des chantiers : découpes, réservations, dimensions des bâtiments.

5.1.3 Provenance des données

Les données collectées correspondent à 11 chantiers (11 chantiers plancher dont 9 incluant des murs) provenant de 6 entreprises et ont été utilisées pour effectuer les analyses de CLT récupérables sur ces chantiers en fin de vie.

Il s'agit de bâtiments d'habitation ou de bureau mis en œuvre entre 2015 et 2020 respectant ainsi les réglementations actuelles. Les données proviennent des chantiers présentés ci-dessous :

Référence du chantier	Planchers Surface (m ²)	Murs Surface (m ²)
Ref 1	800	781,77
Ref 2		
Ref 3	4 288	2 441,88
Ref 4		
Ref 5-a	2 891	
Ref 5-b	6 354	
Ref 6	6 728	1 722,72
Ref 7	1 691	621,6
Ref 8	2 143	600,95
Ref 9	2 016	499,8
Ref 10	379	
Ref 11	1 847	
TOTAL	29 136	6 669

Tableau 8 : Surfaces mises en œuvre pour les chantiers étudiés pour le CLT³

5.1.4 Quantité de matière récupérable

Les volumes de CLT mis en œuvre ont été évalués afin d'estimer la quantité récupérable en fin de vie. Certains chantiers ont détaillé les surfaces de réservations et découpes par rapport aux surfaces initiales des panneaux. Ces surfaces de réservations, les découpes réalisées lors du chantier de construction et les découpes nécessaires pour récupérer les panneaux de CLT ou CLT nervuré ont été prises en compte.

D'après le comité de pilotage, l'épaisseur des panneaux n'est pas un critère qui influence le ré-emploi.

Concernant les panneaux de CLT utilisés en planchers, une longueur de panneaux de plancher minimum de 3 m a été retenue. En effet, la portée minimum entre les appuis du CLT utilisés en plancher et toiture couramment constatée est de 3 m.

En ce qui concerne les panneaux utilisés en murs, la hauteur sous-plafond standard de bâtiment est 2,5 m. C'est la hauteur minimum qui a été considérée pour pouvoir réemployer les panneaux. L'UICB indique que le choix de panneaux avec des dimensions supérieures aux panneaux standards les plus petits est un choix économique qui évite d'avoir trop de petits panneaux difficilement ré-employables.

³ Certaines données ont été fournies déjà traitées et la surface posée n'est pas connue

5.1.5 Récupération des panneaux CLT plancher et toiture

Les dimensions de matière découpée des panneaux de planchers sont :

- Dans la longueur : 200 mm, soit 100 mm de chaque côté pour désassembler les deux panneaux de plancher ;
- Dans la largeur entre panneaux : 160 mm, 80 mm de chaque côté pour désassembler le panneau de plancher du mur.

Les découpes sont illustrées dans les figures ci-dessous.

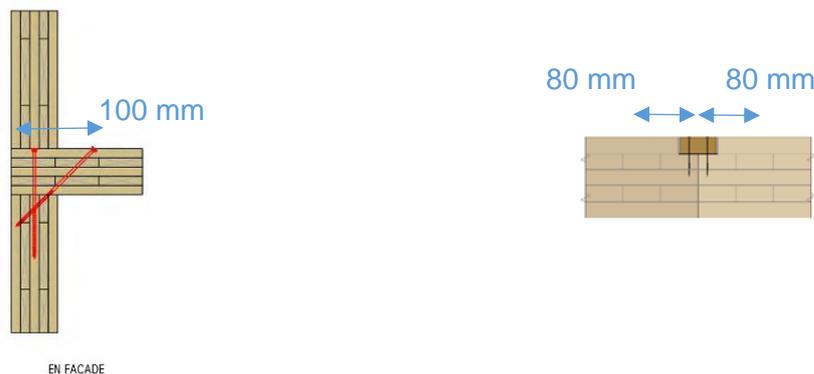


Figure 2 : Illustration des découpes

Il est possible d'appliquer cette méthode pour une première estimation du volume récupéré. Les 5 réponses obtenues dans les questionnaires pour cette donnée confirment cette dimension de découpe en fonction de dispositif d'assemblage adopté par les fabricants. Pour la découpe en largeur, certains fabricants indiquent une largeur différente variant de 80 mm à 160 mm au niveau des assemblages. 160 mm étant la plus grande largeur des assemblages de CLT selon les retours du questionnaire, c'est donc la plus défavorable.

En plus de la découpe qui représente moins de 10% des surfaces de panneaux mises en œuvre (dépendant des dimensions), l'objectif du travail de réemploi futur du CLT suppose une possibilité d'exploiter des dimensions assez grandes pour réaliser de futures constructions dans la même fonction.

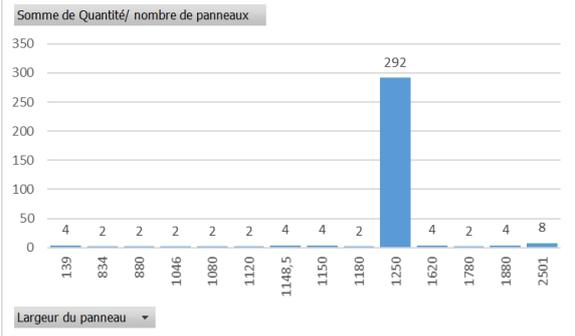
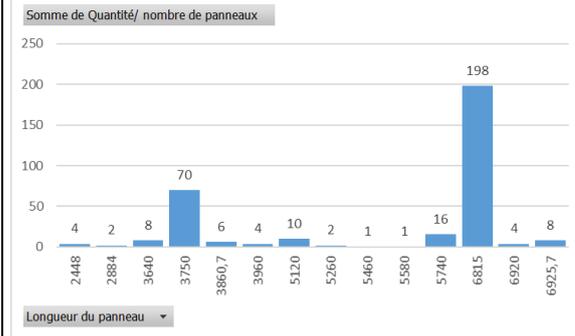
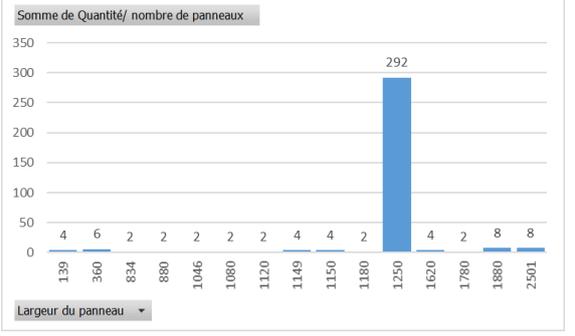
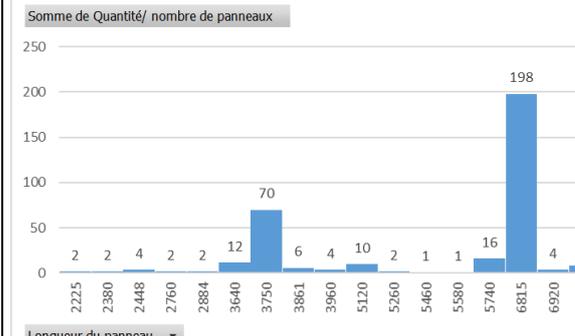
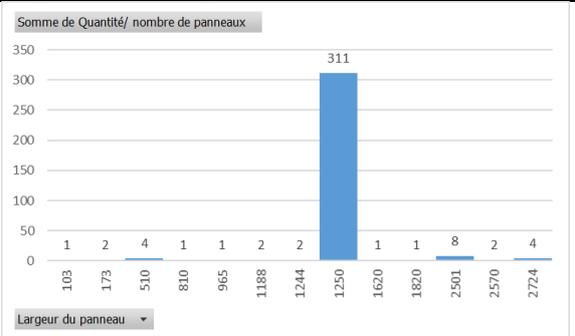
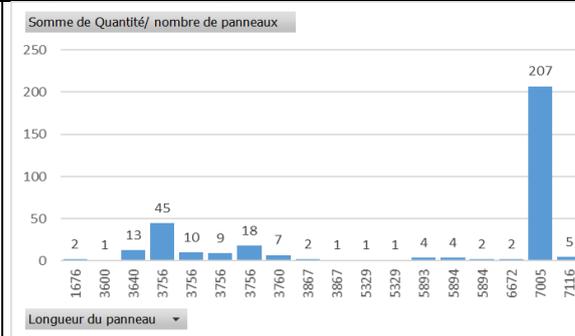
La distribution statistique des dimensions retrouvées dans les données de chantiers reçus dans les questionnaires a été réalisée lorsque c'était possible.

Ainsi sur les différents bâtiments, les résultats suivants sont présentés dans la Figure ci-après. Le détail de tous les panneaux n'étant pas donné pour certains chantiers, l'entreprise ayant fait l'étude statistique elle-même, les distributions ne sont pas toujours disponibles comme on peut le voir dans la figure suivante.

Analyse des données de planchers CLT

Référence du chantier	Récupération après la purge des réservations S(nettes)*100/S(brute) [%]	Récupération après découpes aux assemblages L-200 I-160 [%]	Récupération pour longueur >= 3m [%]	Nombre total de panneaux [Unités]	Surface moyenne récupérée par panneau [m ²]
1	96,8	96,33	85,98	121	6,61
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)	
3	99,04	70,05	65,30	236	18,17
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)	
4	Non fourni	Non fourni	67,86	Non fourni	14,77
5-a	Non fourni	89,87	Non fourni	246	11,75
5-b	Non fourni	90	69,16	467	13,605
6	94,76	94,28	90,41	1073	6,27
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)	

Analyse des données de planchers CLT

Référence du chantier	Récupération après la purge des réservations S(nette)*100/S(brute) [%]	Récupération après découpes aux assemblages L-200 I-160 [%]	Récupération pour longueur >= 3m [%]	Nombre total de panneaux [Unités]	Surface moyenne récupérée par panneau [m ²]																																																																						
7	96,23	95,76	94,04	259	6,53																																																																						
Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)																																																																								
<p>Somme de Quantité/ nombre de panneaux</p>  <table border="1"> <caption>Largeurs des panneaux (Site 7)</caption> <thead> <tr><th>Largeur (mm)</th><th>Quantité</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>139</td><td>4</td></tr> <tr><td>834</td><td>2</td></tr> <tr><td>880</td><td>2</td></tr> <tr><td>1046</td><td>2</td></tr> <tr><td>1080</td><td>2</td></tr> <tr><td>1120</td><td>2</td></tr> <tr><td>1148,5</td><td>4</td></tr> <tr><td>1150</td><td>4</td></tr> <tr><td>1180</td><td>2</td></tr> <tr><td>1250</td><td>292</td></tr> <tr><td>1620</td><td>4</td></tr> <tr><td>1780</td><td>2</td></tr> <tr><td>1880</td><td>4</td></tr> <tr><td>2501</td><td>8</td></tr> </tbody> </table>			Largeur (mm)	Quantité	139	4	834	2	880	2	1046	2	1080	2	1120	2	1148,5	4	1150	4	1180	2	1250	292	1620	4	1780	2	1880	4	2501	8	<p>Somme de Quantité/ nombre de panneaux</p>  <table border="1"> <caption>Longueurs des panneaux (Site 7)</caption> <thead> <tr><th>Longueur (mm)</th><th>Quantité</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2448</td><td>4</td></tr> <tr><td>2884</td><td>2</td></tr> <tr><td>3640</td><td>8</td></tr> <tr><td>3750</td><td>70</td></tr> <tr><td>3860,7</td><td>6</td></tr> <tr><td>3960</td><td>4</td></tr> <tr><td>5120</td><td>10</td></tr> <tr><td>5260</td><td>2</td></tr> <tr><td>5460</td><td>1</td></tr> <tr><td>5580</td><td>1</td></tr> <tr><td>5740</td><td>16</td></tr> <tr><td>6815</td><td>198</td></tr> <tr><td>6920</td><td>4</td></tr> <tr><td>6925,7</td><td>8</td></tr> </tbody> </table>			Longueur (mm)	Quantité	2448	4	2884	2	3640	8	3750	70	3860,7	6	3960	4	5120	10	5260	2	5460	1	5580	1	5740	16	6815	198	6920	4	6925,7	8										
Largeur (mm)	Quantité																																																																										
139	4																																																																										
834	2																																																																										
880	2																																																																										
1046	2																																																																										
1080	2																																																																										
1120	2																																																																										
1148,5	4																																																																										
1150	4																																																																										
1180	2																																																																										
1250	292																																																																										
1620	4																																																																										
1780	2																																																																										
1880	4																																																																										
2501	8																																																																										
Longueur (mm)	Quantité																																																																										
2448	4																																																																										
2884	2																																																																										
3640	8																																																																										
3750	70																																																																										
3860,7	6																																																																										
3960	4																																																																										
5120	10																																																																										
5260	2																																																																										
5460	1																																																																										
5580	1																																																																										
5740	16																																																																										
6815	198																																																																										
6920	4																																																																										
6925,7	8																																																																										
8	96,21	95,72	92,37	344	6,23																																																																						
Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)																																																																								
<p>Somme de Quantité/ nombre de panneaux</p>  <table border="1"> <caption>Largeurs des panneaux (Site 8)</caption> <thead> <tr><th>Largeur (mm)</th><th>Quantité</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>139</td><td>4</td></tr> <tr><td>360</td><td>6</td></tr> <tr><td>834</td><td>2</td></tr> <tr><td>880</td><td>2</td></tr> <tr><td>1046</td><td>2</td></tr> <tr><td>1080</td><td>2</td></tr> <tr><td>1120</td><td>2</td></tr> <tr><td>1149</td><td>4</td></tr> <tr><td>1150</td><td>4</td></tr> <tr><td>1180</td><td>2</td></tr> <tr><td>1250</td><td>292</td></tr> <tr><td>1620</td><td>4</td></tr> <tr><td>1780</td><td>2</td></tr> <tr><td>1880</td><td>8</td></tr> <tr><td>2501</td><td>8</td></tr> </tbody> </table>			Largeur (mm)	Quantité	139	4	360	6	834	2	880	2	1046	2	1080	2	1120	2	1149	4	1150	4	1180	2	1250	292	1620	4	1780	2	1880	8	2501	8	<p>Somme de Quantité/ nombre de panneaux</p>  <table border="1"> <caption>Longueurs des panneaux (Site 8)</caption> <thead> <tr><th>Longueur (mm)</th><th>Quantité</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2225</td><td>2</td></tr> <tr><td>2380</td><td>2</td></tr> <tr><td>2448</td><td>4</td></tr> <tr><td>2760</td><td>2</td></tr> <tr><td>2884</td><td>2</td></tr> <tr><td>3640</td><td>12</td></tr> <tr><td>3750</td><td>70</td></tr> <tr><td>3861</td><td>6</td></tr> <tr><td>3960</td><td>4</td></tr> <tr><td>5120</td><td>10</td></tr> <tr><td>5260</td><td>2</td></tr> <tr><td>5460</td><td>1</td></tr> <tr><td>5580</td><td>1</td></tr> <tr><td>5740</td><td>16</td></tr> <tr><td>6815</td><td>198</td></tr> <tr><td>6920</td><td>4</td></tr> <tr><td>6926</td><td>8</td></tr> </tbody> </table>			Longueur (mm)	Quantité	2225	2	2380	2	2448	4	2760	2	2884	2	3640	12	3750	70	3861	6	3960	4	5120	10	5260	2	5460	1	5580	1	5740	16	6815	198	6920	4	6926	8		
Largeur (mm)	Quantité																																																																										
139	4																																																																										
360	6																																																																										
834	2																																																																										
880	2																																																																										
1046	2																																																																										
1080	2																																																																										
1120	2																																																																										
1149	4																																																																										
1150	4																																																																										
1180	2																																																																										
1250	292																																																																										
1620	4																																																																										
1780	2																																																																										
1880	8																																																																										
2501	8																																																																										
Longueur (mm)	Quantité																																																																										
2225	2																																																																										
2380	2																																																																										
2448	4																																																																										
2760	2																																																																										
2884	2																																																																										
3640	12																																																																										
3750	70																																																																										
3861	6																																																																										
3960	4																																																																										
5120	10																																																																										
5260	2																																																																										
5460	1																																																																										
5580	1																																																																										
5740	16																																																																										
6815	198																																																																										
6920	4																																																																										
6926	8																																																																										
9	92,9	92,4	91,88	340	5,93																																																																						
Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)																																																																								
<p>Somme de Quantité/ nombre de panneaux</p>  <table border="1"> <caption>Largeurs des panneaux (Site 9)</caption> <thead> <tr><th>Largeur (mm)</th><th>Quantité</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>103</td><td>1</td></tr> <tr><td>173</td><td>2</td></tr> <tr><td>510</td><td>4</td></tr> <tr><td>810</td><td>1</td></tr> <tr><td>965</td><td>1</td></tr> <tr><td>1188</td><td>2</td></tr> <tr><td>1244</td><td>2</td></tr> <tr><td>1250</td><td>311</td></tr> <tr><td>1620</td><td>1</td></tr> <tr><td>1820</td><td>1</td></tr> <tr><td>2501</td><td>8</td></tr> <tr><td>2570</td><td>2</td></tr> <tr><td>2724</td><td>4</td></tr> </tbody> </table>			Largeur (mm)	Quantité	103	1	173	2	510	4	810	1	965	1	1188	2	1244	2	1250	311	1620	1	1820	1	2501	8	2570	2	2724	4	<p>Somme de Quantité/ nombre de panneaux</p>  <table border="1"> <caption>Longueurs des panneaux (Site 9)</caption> <thead> <tr><th>Longueur (mm)</th><th>Quantité</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1676</td><td>2</td></tr> <tr><td>3600</td><td>1</td></tr> <tr><td>3640</td><td>13</td></tr> <tr><td>3756</td><td>45</td></tr> <tr><td>3756</td><td>10</td></tr> <tr><td>3756</td><td>9</td></tr> <tr><td>3756</td><td>18</td></tr> <tr><td>3760</td><td>7</td></tr> <tr><td>3867</td><td>2</td></tr> <tr><td>3867</td><td>1</td></tr> <tr><td>5329</td><td>1</td></tr> <tr><td>5329</td><td>1</td></tr> <tr><td>5893</td><td>4</td></tr> <tr><td>5894</td><td>4</td></tr> <tr><td>5894</td><td>2</td></tr> <tr><td>5894</td><td>2</td></tr> <tr><td>6672</td><td>2</td></tr> <tr><td>7005</td><td>207</td></tr> <tr><td>7116</td><td>5</td></tr> <tr><td>7130</td><td>6</td></tr> </tbody> </table>			Longueur (mm)	Quantité	1676	2	3600	1	3640	13	3756	45	3756	10	3756	9	3756	18	3760	7	3867	2	3867	1	5329	1	5329	1	5893	4	5894	4	5894	2	5894	2	6672	2	7005	207	7116	5	7130	6
Largeur (mm)	Quantité																																																																										
103	1																																																																										
173	2																																																																										
510	4																																																																										
810	1																																																																										
965	1																																																																										
1188	2																																																																										
1244	2																																																																										
1250	311																																																																										
1620	1																																																																										
1820	1																																																																										
2501	8																																																																										
2570	2																																																																										
2724	4																																																																										
Longueur (mm)	Quantité																																																																										
1676	2																																																																										
3600	1																																																																										
3640	13																																																																										
3756	45																																																																										
3756	10																																																																										
3756	9																																																																										
3756	18																																																																										
3760	7																																																																										
3867	2																																																																										
3867	1																																																																										
5329	1																																																																										
5329	1																																																																										
5893	4																																																																										
5894	4																																																																										
5894	2																																																																										
5894	2																																																																										
6672	2																																																																										
7005	207																																																																										
7116	5																																																																										
7130	6																																																																										

Analyse des données de planchers CLT					
Référence du chantier	Récupération après la purge des réservations S(nette)*100/S(brute) [%]	Récupération après découpes aux assemblages L-200 I-160 [%]	Récupération pour longueur >= 3m [%]	Nombre total de panneaux [Unités]	Surface moyenne récupérée par panneau [m ²]
10	75,29	74,94	42,24	55	6,89
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)	
11		99,52	61,07	274	6,74
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)	

Figure 3 : Analyse des chantiers CLT planchers

Ainsi après avoir enlevé les réservations, puis découpé les assemblages et ne considérant que des longueurs de plus de 3m, la moyenne de récupération des panneaux de CLT en plancher est de 76,03% avec un minimum de 42,24% pour un chantier où il y a des panneaux de petites dimensions et un maximum de 94,04% sur un chantier où les panneaux sont à majorité de plus de 3m de long.

La surface moyenne récupérée est de 9,41m².

	Récupération après la purge des réservations $S(\text{nette}) \cdot 100 / S(\text{brute}) [\%]$	Récupération après découpes aux assemblages L-200 I-160 [%]	Récupération pour longueur $\geq 3\text{m}$ [%]	Surface moyenne récupérée par panneau [m^2]
Moy	93,033	89,89	76,03	9,41
MIN	75,29	70,05	42,24	5,93
MAX	99,04	99,52	94,04	18,17

Tableau 9 : Analyse des chantiers CLT planchers - résumé

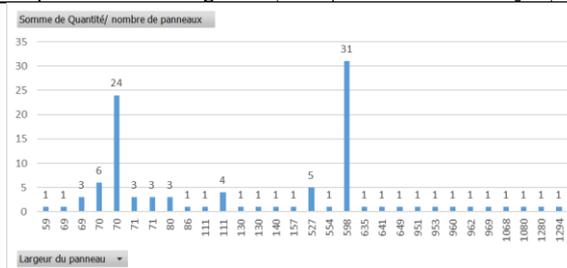
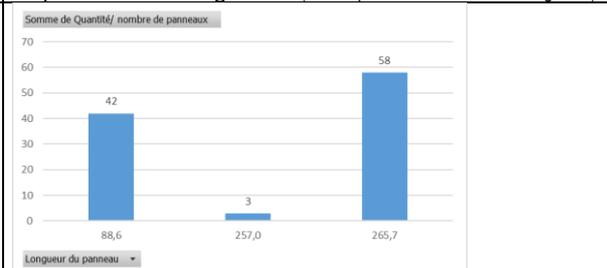
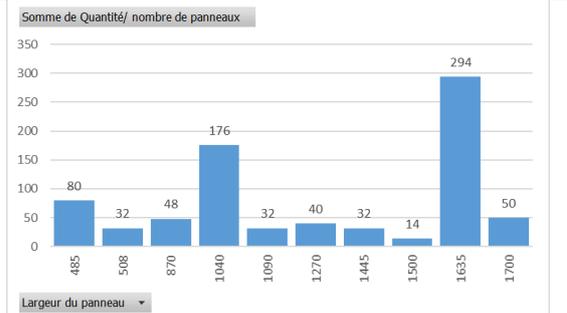
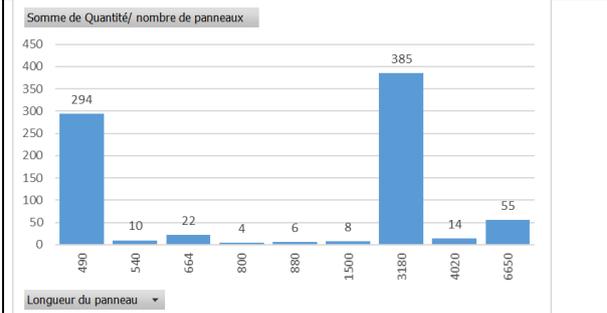
5.1.6 Récupération des panneaux CLT murs

La méthode de détermination de la quantité ré-employable de CLT des murs est la même que pour les planchers, il s'agit de la méthode adoptée par l'UICB dans le travail réalisé par Mathis. La découpe des panneaux est de :

- Sur la hauteur : 400 mm
- Sur la largeur : 160 mm (80 mm de chaque côté)

Ensuite, la hauteur sous-plafond standard de bâtiment est 2,5 m. C'est la hauteur minimum qui a été considérée par le comité de pilotage pour pouvoir réemployer ces panneaux.

9 cas d'études pour les murs ont été étudiés.

Analyse des données des murs CLT					
Référence du chantier	Récupération après la purge des réservations $S(\text{nette}) \cdot 100 / S(\text{brute}) [\%]$	Récupération après découpes aux assemblages H-400 I-160 [%]	Récupération pour $H \geq 2,5\text{m}$ [%]	Nombre total de panneaux [unités]	Surface moyenne récupérée par panneau [m^2]
1	83,4	83,05	49	103	7,59
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)	
					
3	99,93	98,96	56,3	798	3,06
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des longueurs (nb de panneaux / mm de longueur)	
					
5	Non fourni	Non fourni	79,86	Non fourni	5,59
6	91,08	90,11	69,05	291	5,92

Analyse des données des murs CLT					
Référence du chantier	Récupération après la purge des réservations S(nette)*100 /S(brute) [%]	Récupération après découpes aux assemblages H-400 I-160 [%]	Récupération pour H>=2,5m [%]	Nombre total de panneaux [unités]	Surface moyenne récupérée par panneau [m²]
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des hauteurs (nb de panneaux / mm de longueur)	
7	91,52	90,53	75,87	105	5,92
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des hauteurs (nb de panneaux / mm de longueur)	
8	90,99	90	79,32	101	5,95
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des hauteurs (nb de panneaux / mm de longueur)	
9	90,69	89,71	48,54	85	5,88
	Répartition des largeurs (nb de panneaux / mm de largeur)			Répartition des hauteurs (nb de panneaux / mm de longueur)	

Figure 4 : Analyse des chantiers CLT murs

Après avoir enlevé les réservations, puis découpé les assemblages et ne considérant que des hauteurs de plus de 2,5m, la moyenne de récupération des panneaux de CLT murs est de 65,42% avec un minimum de 48,54% et un maximum de 79,86% sur un chantier où les panneaux sont à majorité de plus de 2,5m de hauteur.

La surface moyenne récupérée est de 5,7 m².

	Récupération après la purge des réservations S(nettes)*100/S(brute)[%]	Récupération après coupes aux assemblages H-400 I-160 [%]	Récupération pour hauteur >=2,5 m [%]	Surface moyenne récupérée par panneau [m ²]
Moy	91,268	90,393	65,420	5,701
MIN	83,4	83,05	48,54	3,06
MAX	99,93	98,96	79,86	7,59

Tableau 10 : Analyse des chantiers CLT murs – résumé

5.2 BLC

5.2.1 Typologie d'ouvrage

Les données proviennent de 4 chantiers dont les éléments de structures sont en BLC ou en bilame bois. Les réponses ont été obtenues par le remplissage de questionnaires par deux fabricants de BLC en utilisant leurs listes des pièces de structures approvisionnées sur les 4 chantiers.

La production annuelle de BLC du premier fabricant est d'environ 10 000 m³/an. Les ouvrages réalisés en BLC peuvent être des poteaux, des poutres, des éléments de charpentes ou des renforts dont la longueur moyenne à la fabrication est de 18 m. Leur capacité de production de BLC est d'une largeur de 14 cm à 54 cm, une hauteur de 40 cm à 70 cm et une longueur de 5m à 50 m.

Le deuxième fabricant produit des poutres BLC de différents types : droite, bi-pente intrados droit ou courbe, poutre treillis, poutre sous tendue ou encore ferme latine allant de 18 à plus de 35m de portée. Les dimensions des sections diffèrent en fonction des chantiers.

5.2.2 Provenance des données

Les données collectées correspondent à 4 chantiers provenant de 2 entreprises et ont été utilisées pour effectuer les analyses de BLC récupérables sur ces chantiers en fin de vie.

Il s'agit de bâtiments d'habitation ou de bureau mis en œuvre en 2020 respectant ainsi les réglementations actuelles. Les données proviennent des chantiers présentés ci-dessous :

Référence du chantier	BLC volume (m ³)
Ref 13	50
Ref 14	107
Ref 15	508
Ref 16	203

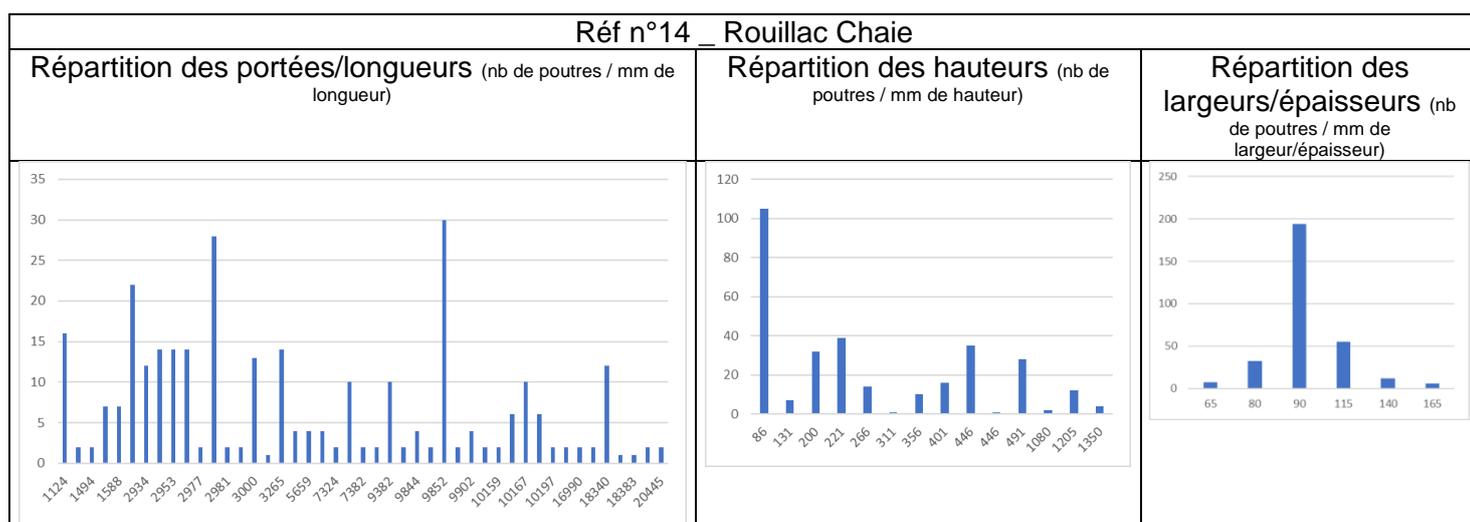
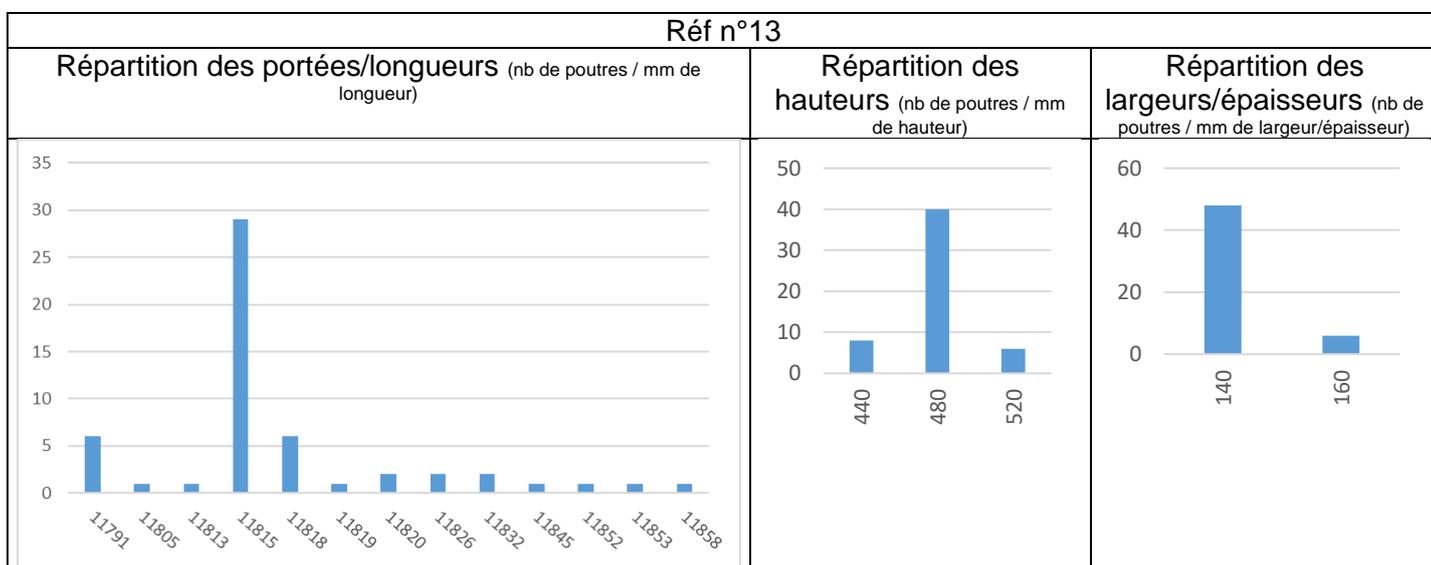
Tableau 11 : Volumes mis en œuvre pour les chantiers étudiés pour le BLC

5.2.3 Récupération du Bois lamellé-collé

Une première hypothèse a été prise pour considérer la longueur concernée par les assemblages aux extrémités des poutres et poteaux en bois lamellé-collé. Dans l'étude réalisée par Mathis, 15% de la portée des éléments de structures en bois lamellé-collé sont à déduire pour la récupération. Ce pourcentage a été pris pour les chantiers où il n'y a pas de précision sur les dimensions d'appuis.

Pour le chantier de référence n°13, les dimensions des appuis ont été précisées par le fabricant : on déduit 20 cm en chaque extrémité des poutres et 20 cm à l'appui du milieu. Cette soustraction permet d'obtenir le pourcentage de bois récupéré.

Chaque chantier a été analysé selon la répartition des portées, des hauteurs et des épaisseurs de poutres. Une grande variété de longueurs dans les chantiers est constatée.



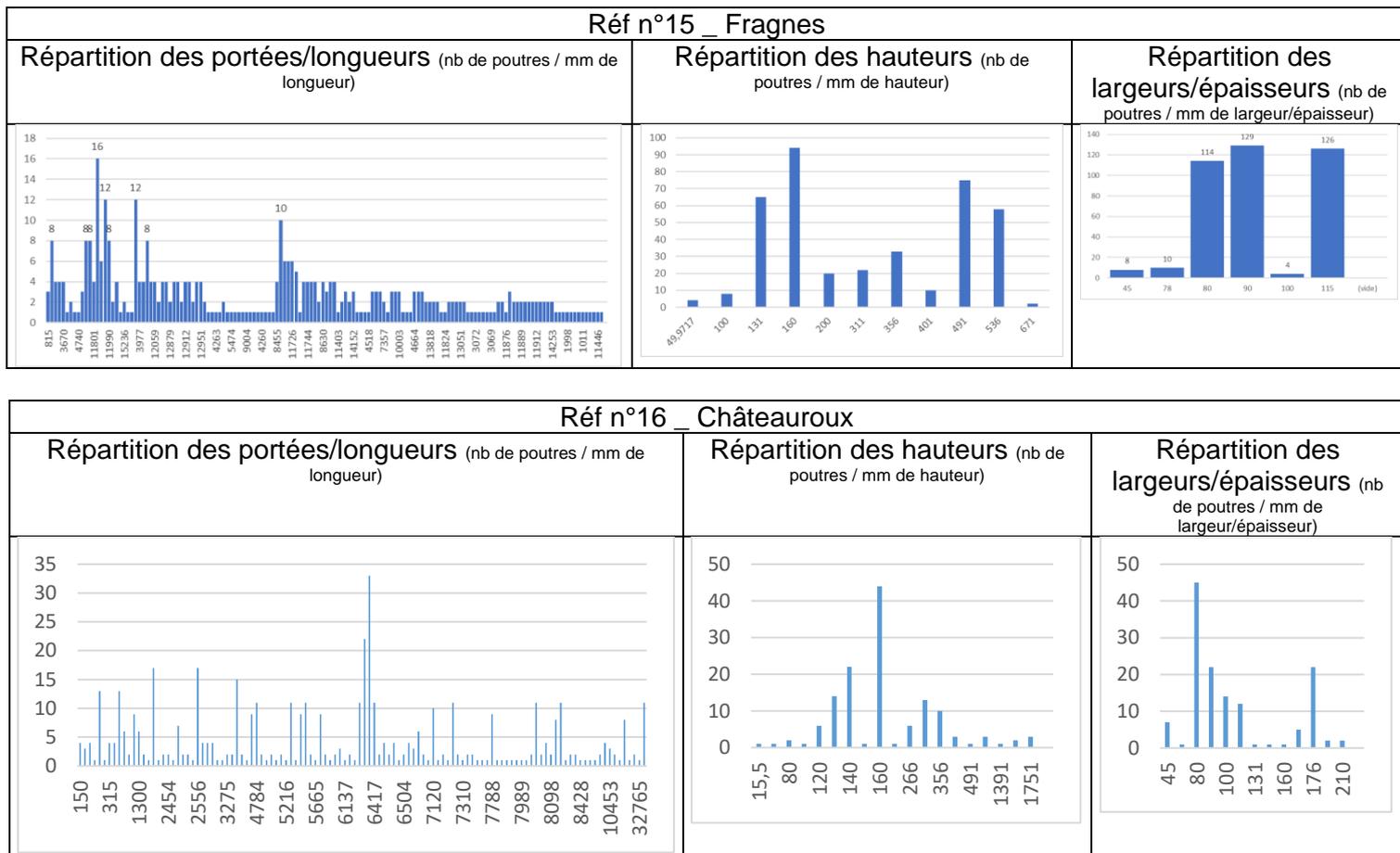


Figure 5 : Analyse des chantiers BLC

En considérant la totalité des données apportées par les quatre chantiers de bois lamellé-collé, le tableau suivant résume les quantités de récupération.

BLC	Pourcentage de récupération [%]
MIN	85
MAX	99,49
MOY	87,65

Tableau 12 : Analyse des chantiers BLC – résumé

6. Evaluation environnementale

L'évaluation environnementale correspond à une analyse de cycle de vie et porte sur l'ensemble du cycle de vie d'un panneau CLT et d'une poutre lamellé considérant un scénario de ré-emploi pour la fin de vie. Des analyses de sensibilités sont réalisées sur ce scénario et le scénario lui-même est comparé à d'autres scénarios de fin de vie.

L'analyse de cycle de vie (ACV) réalisée ne respecte pas l'ensemble des exigences des normes régissant l'ACV ISO 14040 et ISO 14044 (ISO 2006) et (ISO 2006) et des référentiels cités ci-après EN 15804+A1 et +A2 ((AFNOR 2014) et (AFNOR 2019)), notamment sur le formalisme associé à la qualité des données et sur l'évaluation multi-critères. Cependant, l'objectif de l'étude est de fournir des données sur un scénario de fin de vie et non pas de réaliser l'ACV d'un scénario de fin de vie.

6.1 Référentiels méthodologiques

Il existe deux niveaux dans l'évaluation environnementale du bâtiment :

- le niveau du produit ;
- le niveau du bâtiment.

Un produit peut être réparé, changé ou modifié au cours de la vie du bâtiment. Le bâtiment peut également être réhabilité après sa durée de vie et les produits, notamment les produits de structure, conservés sur site.

Si l'on veut évaluer l'impact de la conservation de la structure, il faut calculer l'impact de l'ACV au niveau du bâtiment. Si l'on veut évaluer l'impact de la réutilisation ou du ré-emploi du produit, c'est au niveau de l'ACV du produit, soit la FDES, que l'on réalise le calcul.

6.1.1 Niveau produit : norme NF EN 15804

Au niveau du produit, la norme EN 15804 (AFNOR 2019) dans son amendement A2 considère le produit sur sa durée de vie de référence au bout de laquelle, le produit est déposé : il peut être recyclé, valorisé énergétique ou ré-utilisé. Le scénario de fin de vie prévoit les étapes suivantes :

« L'étape de fin de vie comprend :

- C1, déconstruction, démolition ;
- C2, transport jusqu'au traitement des déchets ;
- C3, traitement des déchets en vue de leur réutilisation, récupération et/ou recyclage ;
- C4, élimination ; »

« L'étape de fin de vie du produit de construction débute lorsqu'il est remplacé, démonté ou déconstruit du bâtiment ou de l'ouvrage de construction et qu'il ne présente aucune autre fonctionnalité. Elle peut également débiter à la fin de vie du bâtiment, selon le choix du scénario de fin de vie du produit. ».

Il est également écrit dans la norme que :

« Un scénario doit être réaliste et représentatif de l'une des alternatives les plus probables. (Par exemple, s'il existe trois applications différentes, l'application la plus représentative ou l'ensemble des trois scénarios doit être déclaré). Les scénarios ne doivent pas inclure des processus ou des modes opératoires qui ne sont pas d'usage courant ou qui ne se sont pas avérés applicables.

EXEMPLE 1 : Un système de recyclage n'est pas applicable s'il inclut une référence à un système de retour pour lequel la logistique n'a pas été établie.

EXEMPLE 2 : La récupération d'énergie doit être basée sur la technologie existante et sur la pratique courante. »

On peut noter que l'étude GDBAT (FCBA et al. 2022) sur l'évaluation du gisement et du devenir des déchets bois de construction évalue la réutilisation à 2 à 7% du gisement de bois de structure. La réutilisation /ré-emploi ex-situ fait donc partie de l'élaboration d'un scénario réaliste.

6.1.2 Niveau bâtiment : norme NF EN 15978

La norme EN 15978 dans sa version de 2012 (AFNOR 2012) établit le scénario de fin de vie du bâtiment en considérant qu'il est démolli.

« La phase de fin de vie d'un bâtiment commence lorsque celui-ci est mis hors service et ne doit plus être utilisé. À ce stade, la démolition ou la déconstruction du bâtiment peut être considérée comme un processus multi-débouchés assurant une source de matériaux, de produits et d'éléments de construction devant être éliminés, récupérés, recyclés ou réutilisés. Les scénarios de ces options de fin de vie des produits et des matériaux déterminent la frontière du système (voir 7.4.2, 8.4 et 8.7). Ces scénarios doivent uniquement modéliser des processus dont la viabilité économique et technique a été prouvée. Le bâtiment est jugé avoir atteint sa fin de vie lorsque : — tous les composants et matériaux devant être éliminés du site ont été enlevés ; — le site est prêt à être réutilisé (c'est-à-dire qu'il a été déblayé en vue de réaliser une nouvelle activité). »

La version provisoire de la norme permet l'élaboration de scénarios de réutilisation ex-situ et de recyclage prospectifs mais techniquement faisables : *« Les scénarios de réemploi et de recyclage techniquement réalisables mais qui ne le sont pas encore pour des raisons économiques ou en raison de l'absence de systèmes de retour, par exemple, peuvent être utilisés en plus comme « perspectives futures », pour autant que cela soit compatible avec les hypothèses de C1. Lorsqu'ils sont utilisés, ces scénarios supplémentaires doivent être décrits et expliqués. »*

La version provisoire de la norme mise à jour permet également d'ajouter au scénario obligatoire qui considère que le bâtiment est détruit au bout de la période de référence un scénario où la structure est conservée et dans lequel seul le second œuvre est renouvelé. Il sera alors possible de comptabiliser dans un module D « bâtiment » les économies liées à la conservation de la structure (économie de production du matériau, de transport et de pose, soit de A1 à A5). Ce module D « bâtiment » viendra en complément du module D « produit » associé aux bénéfices et impacts liés à valorisation du produit en fin de vie (recyclage, valorisation énergétique, réutilisation).

« Le scénario obligatoire par défaut est le recyclage ou le réemploi (ex situ) des produits, matériaux et/ou des vecteurs énergétiques utiles quittant le cycle de vie du bâtiment, par exemple sous forme de matières secondaires ou de combustibles. Un scénario supplémentaire peut être fourni, basé sur l'hypothèse du réemploi du bâtiment ou de parties du bâtiment in situ, en considérant que son cadre n'est pas totalement démolli à la fin de l'évaluation (période de référence pour le calcul) et pourrait être réutilisé dans un prochain cycle de vie pour un bâtiment situé au même endroit. »

Ce scénario ne pourra s'appliquer que si la durée de vie de référence des parties structurelles des bâtiments est supérieure à la période de référence pour le calcul. On peut considérer qu'il existe une forte probabilité que la structure soit conservée au-delà de 50 ans (période de référence pour le calcul de l'ACV bâtiment) si la durée de vie des produits de structure est supérieure à 50 ans. Les Eurocodes spécifient que le bâtiment, quelle que soit sa structure, est conçu pour avoir une durée de vie minimale de 50 ans. L'Eurocode 5 décrit les règles générales de calcul pour les structures en bois. La durée de vie des produits de structures bois est établie à 100 ans dans les FDES et la durée de vie des structures bois dépasse 100 ans en considérant le respect de certains facteurs.

La prise en compte d'un scénario de maintien de la structure quelle que soit sa structure pour les bâtiments dépendra de la version définitive de l'amendement de la norme encore en cours de modification en 2022.

6.1.3 Niveau bâtiment : réglementation RE2020

L'annexe 1 de « Arrêté du 4 août 2021 portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R. 111-20-5 du code de la construction et de l'habitation » mentionne que :

« *Convention liée à l'utilisation de composants issus du réemploi :*

Les composants (produits de construction ou équipements) issus du réemploi (c'est-à-dire employés une nouvelle fois, dans le même ou un autre bâtiment, pour un usage identique à leur usage initial) sont considérés comme n'ayant aucun impact, les valeurs des impacts pour tous les modules du cycle de vie sont donc nuls. Cependant, les impacts environnementaux des produits complémentaires nécessaires à la mise en œuvre des composants issus du réemploi doivent être comptabilisés. »

Le ministère souhaite donc que le produit ré-employé ait l'impact le plus faible possible. On peut s'interroger sur la prise en compte du transport et du reconditionnement qui serait alors affecté nulle part ou au produit du premier cycle de vie.

6.2 Traitement du carbone biogénique

6.2.1 Niveau produit : EN 16485

La norme EN 16485 (CEN 2014) a été le premier document normatif publié en 2014 par un Comité Technique Produit (Technical Committee, TC) permettant d'appliquer la norme EN 15804. Le TC 175 (bois ronds et bois sciés) est à l'origine de ce document et il a été élaboré en liaison avec les TC 112 (panneaux à base de bois) et TC 124 (structure bois).

Le document a notamment établi des règles pour :

- la prise en compte du carbone biogénique ;
- la répartition des impacts de fin de vie dans les différents modules de C1 à D ;
- la prise en compte de l'impact de la sylviculture et de la gestion forestière.

La norme NF EN 16485 associe un prélèvement de CO₂ (dioxyde de carbone) ou une captation à la production de biomasse au niveau de l'étape sylvicole. Celui-ci a été calculé avec les hypothèses suivantes :

- le bois contenu dans les produits étudiés provient de pays ayant décidé d'appliquer l'article 3.4 du protocole de Kyoto ou de forêts opérant selon des programmes établis de certification pour la gestion durable des forêts,
- le prélèvement de CO₂ est affecté suivant le contenu en carbone de la biomasse, ainsi le prélèvement associé au bois récolté est calculé à partir du contenu en carbone du bois récolté.

Ce prélèvement qui est accordé au bois récolté, est une propriété inhérente spécifique à la matière bois. Donc, conformément aux recommandations de la norme NF EN 15804+A1 (AFNOR 2014) et de la norme NF EN 16485 (CEN 2014), il est par la suite affecté suivant le contenu en carbone entre les produits, coproduits et déchets bois. Ainsi lorsqu'un déchet ou coproduit contenant du carbone biomasse quitte le système, cela correspond à un **transfert** de la captation et à une **émission fictive** correspondant à son contenu carbone biogénique est comptabilisée.

6.2.2 Niveau produit : EN 15804 amendement A2

Le traitement des captations et émissions associées à la mise à disposition de produits issus de la forêt, à leur recyclage, à leur réutilisation et à leur élimination est également traité dans cette norme sur la base de la norme EN 16485 décrite dans le paragraphe précédent :

« Les captations de CO₂ biogénique dans la biomasse (à l'exclusion de la biomasse des forêts naturelles) et les transferts en provenance de systèmes de produits antérieurs doivent être caractérisés dans l'EICV par -1 kg de CO₂ équiv./kg de CO₂ lors de leur entrée dans le système de produits.

Les émissions de CO₂ biogénique provenant de la biomasse et les transferts de biomasse vers les systèmes de produits ultérieurs (à l'exclusion de la biomasse des forêts naturelles) doivent être caractérisés par +1 kg de CO₂ équiv./kg de CO₂ de carbone biogénique. »

Le prélèvement n'est plus associé à une gestion durable mais à l'absence de coupe dans des forêts naturelles. Par contre, il est stipulé que l'impact sur le changement climatique doit intégrer la transformation de l'utilisation et l'utilisation des sols. Si le bois est issu de la déforestation, il faut donc prendre en compte la variation de stock entre l'utilisation du sol en forêt et l'utilisation du sol suite à la déforestation (agriculture, urbanisation etc.).

Le nouvel amendement de la norme EN 15804 A2 (AFNOR, 2019) interdit également la prise en compte du stockage définitif du carbone biogénique en décharge :

« La dégradation de la teneur en carbone biogénique d'un produit dans un site d'élimination de déchets solides, déclarée comme PRG-biogénique, doit être calculée sans limite de temps. Tout carbone biogénique résiduel est traité comme une émission de CO₂ biogénique de la technosphère dans la nature. »

Le nouvel amendement stipule que les déclarations environnementales produits ne peuvent pas comptabiliser l'impact du stockage temporaire dans le calcul de l'indicateur de changement climatique :

« L'effet d'un stockage temporaire et d'émissions différées du carbone, c'est-à-dire la diminution des émissions et les captations, ne doit pas être inclus dans le calcul du PRG. L'effet du stockage permanent du carbone biogénique ne doit pas non plus être inclus dans le calcul du PRG. »

Par ailleurs, l'amendement introduit un nouvel indicateur de quantité de carbone biogénique stocké dans le produit.

6.2.3 Niveau bâtiment : RE2020

La méthode de l'ACV dynamique a été utilisée car c'est celle choisie dans la dernière version des textes relatifs à la RE2020 (JORF 2021) pour le calcul de IC_{Construction} :

« L'impact sur le changement climatique associé aux composants du bâtiment y compris le chantier de construction, évalué sur l'ensemble de son cycle de vie, tenant compte du stockage, pendant la vie du bâtiment, de carbone issu de l'atmosphère, est défini par un indicateur exprimé en kg équivalent CO₂ /m² et noté Ic C_{construction}.

Il correspond à l'impact sur le changement climatique lié à la production des composants du bâtiment, leur transport, leur installation et l'ensemble du chantier de construction, leur utilisation à l'exclusion des besoins en énergie et en eau de la phase d'exploitation du bâtiment, leur maintenance, leur réparation, leurs remplacements et leur fin de vie. L'évaluation de cet impact prend en compte les charges et bénéfices liés à la valorisation des composants en fin de vie. »

Aucun impact n'est associé ici au module B, soit l'étape d'utilisation, car elle est nulle dans le cas du CLT et du BLC. Aucun renouvellement n'est prévu pendant la durée de vie du bâtiment étant donné que la durée de vie des produits étudiés est de 100 ans, excédant la durée de vie du bâtiment considérée.

Le calcul effectué pour l'ACV dynamique correspond donc dans ce cas précis à :
Module A + 0,58 Module C + 0,58*Module D

6.3 Champs de l'étude

L'unité fonctionnelle pour le CLT est : « Assurer une fonction d'élément structurel (mur et/ou plancher) pour 1 m² de panneau CLT mis en œuvre selon les recommandations du fabricant sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans, tout en assurant les performances prescrites du produit. »

L'unité fonctionnelle pour la poutre en BLC est : « Supporter des éléments de plancher ou de toiture pour 1 m³ de poutre lamellé de performance mécanique GL20 à GL32, fabriquée et mise en œuvre selon les règles de l'art, sur la durée de vie de référence, soit 100 ans ».

L'évaluation réalisée dans cette étude porte :

- sur le cycle de vie du produit en considérant un scénario de ré-emploi au bout de 100 ans.
 - o Une analyse de gravité sur le scénario de ré-emploi de référence est réalisée sur la quasi totalité⁴ des indicateurs de la norme EN 15804 A1 (AFNOR 2014),
 - o Des analyses de sensibilité sont effectuées sur le total cycle de vie et le module D sur la quasi-totalité des indicateurs de la norme EN 15804 A1,
 - o Des analyses de scénario sont réalisées pour comparer le scénario de ré-emploi et le scénario de fin de vie actuel, à savoir le scénario modélisé CODIFAB (FCBA et CSTB 2012) ainsi que différents scénarios de gestion comme le recyclage, la valorisation énergétique etc.
 - Pour le changement climatique, 2 référentiels sont étudiés :
 - la norme EN 15804 A1 et la norme EN 16485 car c'est celui utilisé pour le calcul du scénario actuel ;
 - la norme EN 15804 A2 (AFNOR 2019) avec ré-émission de la totalité du carbone contenu dans le bois mis en décharge ;
- Ces mêmes analyses de scénario sont réalisées sur le cycle de vie du produit mis en œuvre dans le bâtiment sur une durée de vie de 50 ans avec un scénario de ré-emploi, soit IC Construction.
 - o Le référentiel utilisé est la RE2020.

Le flux de référence pour le CLT est un panneau de CLT en plancher d'1 m² de surface et de 120 mm d'épaisseur avec $6,88 \times 0,12 = 0,82$ kg de ferrures par m² (la FDES collective de CLT considère 6,88 kg de ferrure par m³ de CLT (FCBA 2018). La densité du bois considérée à 12% d'humidité est de 459 kg/m³.

Une analyse de sensibilité est effectuée en considérant que le CLT est utilisé en mur avec la même masse de ferrure et la même épaisseur.

Le flux de référence pour le BLC est une poutre d'1 m³ de volume avec 17 kg de ferrures par m³ (hypothèse du comité de pilotage). La densité du bois considérée à 12% d'humidité est de 459 kg/m³.

⁴ Certains indicateurs comme l'utilisation de matières secondaires ou les consommations d'énergie matière versus procédés n'ont pas été étudiés car n'apportant pas d'informations supplémentaires par rapport aux analyses et comparaisons effectuées.

6.4 Données d'inventaire de cycle de vie

6.4.1 Données relatives au cycle de vie du produit hors fin de vie

Pour le CLT, la modélisation du cycle de vie du produit jusqu'à la fin de vie, soient les modules A1, A2 A3, A4, A5 et B, correspond à la FDES collective réalisée par FCBA pour le CODIFAB en 2019 « FDES Panneau CLT (lamellé-croisé) fabriqué en France » (FCBA 2018).

Pour le BLC, la modélisation du cycle de vie du produit jusqu'à la fin de vie, soient les modules A1, A2 A3, A4, A5 et B, correspond à la FDES collective réalisée par FCBA pour le CODIFAB en 2019 « FDES Poutre en bois lamellé taillée fabriquée en France » (FCBA 2019). Les ferrures qui ne sont pas incluses dans la FDES peuvent être ajoutées grâce au configurateur DE-bois.

6.4.2 Données relatives au scénario de ré-emploi – C1

Les consommations d'énergie et les rendements sont présentés de manière détaillée dans le Tableau 6 pour le CLT et dans le Tableau 7 pour le BLC.

Les tableaux suivants présentent les données d'inventaires de cycle de vie :

Flux	Unité	Valeur	Modélisation – Ecoinvent v3
Déconstruction du CLT	m ²	1	
Utilisation de la tronçonneuse	Hr	_C1_troncon_min/60	Power sawing, without catalytic converter {RER} processing Cut-off, S
Utilisation d'une grue	kWh	100 kW*50%*_C1_grue_min/60	La puissance de la grue (100 kW) et le taux d'utilisation (50%) sont des hypothèses du comité de pilotage Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S
Déchets bois vers centre de tri	m ³	(1_C1_Deconstruction_Rdt)*_gen_CLT_epaisseur*0,001	
Bois vers plateforme de stockage	m ²	_C1_Deconstruction_Rdt	
Ferrures vers centre de tri	kg	_A5_Steel_kg*_gen_CLT_epaisseur*0,001	
Paramètres			
_C1_troncon_min	Min	4 min 30 s	Voir Tableau 6
_C1_grue_min	Min	10 min	Voir Tableau 6
_C1_Deconstruction_Rdt	%	90%	Voir Tableau 6 (rendement de tronçonnage)
_gen_CLT_epaisseur	M	0,12	Hypothèse du comité de pilotage
_A5_Steel_kg	Kg	6,88	FDES collective du CLT (FCBA 2018)

Tableau 13 : Données d'inventaire du module C1 pour le CLT

Flux	Unité	Valeur	Modélisation – Ecoinvent v3
Déconstruction du BLC	m ³	1	
Utilisation de la tronçonneuse	Hr	_C1_troncon_min/60	Power sawing, without catalytic converter {RER} processing Cut-off, S
Utilisation d'une grue	kWh	100 kW*50%*_C1_grue_min/60	La puissance de la grue (100 kW) et le taux d'utilisation (50%) sont des hypothèses du comité de pilotage Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S
Déchets bois vers centre de tri	m ³	(1_C1_Deconstruction_Rdt)	
Bois vers plateforme de stockage	m ³	_C1_Deconstruction_Rdt	
Ferrures vers centre de tri	kg	_A5_Steel_kg	
Paramètres			
_C1_troncon_min	Min	8 min	Voir Tableau 7
_C1_grue_min	Min	45 min	Voir Tableau 7
_C1_Deconstruction_Rdt	%	87,65%	Voir Tableau 7 (rendement de tronçonnage)
_A5_Steel_kg	Kg	17	FDES collective du BLC option via DE-bois (FCBA 2019)

Tableau 14 : Données d'inventaire du module C1 pour le BLC

Les données relatives au tri des déchets bois issus du tronçonnage sont issues du scénario de fin de vie des déchets bois du CODIFAB (FCBA et CSTB 2012) en considérant un mix de 50% de valorisation énergétique et 50% de recyclage après tri.

Après publication de la phase ACV de l'étude (FCBA et al. 2022), les modules du scénario de fin de vie des déchets bois issus de la démolition et de la rénovation devront être utilisés.

6.4.3 Données relatives au scénario de ré-emploi – C2

Pour la partie destinée au ré-emploi, le CLT ou le BLC est acheminé vers une plateforme de stockage puis vers un site de reconditionnement qui peut être le charpentier. Un transport vers le centre de tri pour la partie du bois qui n'est pas ré-employée est inclus.

Le transport routier français a été modélisé en prenant en compte la répartition des normes d'émissions EURO des poids lourds de type ensembles routiers en France, issue de l'enquête longue distance 2018 du Comité national routier (Comité national routier 2019). Cette répartition ainsi que les ICV utilisés pour la modélisation sont les suivants :

- "Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 {RER}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 | Cut-off" : 1,1% ;
- "Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {RER}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 | Cut-off" : 3,6% ;
- "Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 | Cut-off" : 26,7% ;
- "Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 | Cut-off" : 68,6%.

Afin d'améliorer la représentativité géographique, ces ICV ont été adaptés au contexte français en utilisant les paramètres présentés dans le tableau suivant.

Paramètre	Unité	Valeur	Source
Consommation moyenne en charge	L/km	0,314	CNR, 2019, Enquête longue distance 2018 (Comité national routier 2019)
Consommation à plein	L/km	0,329	Calculée à partir de CNR, 2019, Enquête longue distance 2018 (Comité national routier 2019) et des hypothèses NF P01-010 (AFNOR 2004)
Consommation à vide	L/km	0,219	Calculée à partir de CNR, 2019, Enquête longue distance 2018 (Comité national routier 2019) et des hypothèses NF P01-010 (AFNOR 2004)
Taux de retour à vide	%	15,3	Calculé à partir du taux de kilométrage en charge de 86,7% issu de CNR, 2019, Enquête longue distance 2018 (Comité national routier 2019)
Charge utile	t	27,3	CNR, 2019, Enquête longue distance 2018 (Comité national routier 2019)

Tableau 15 : Transport par camion en France – Données

La consommation de gasoil imputable au transport considéré est ensuite calculée à partir de la consommation en charge, de la consommation à vide, du taux de retour à vide, de la distance de livraison, de la masse transportée, de la charge utile et du taux de chargement, en utilisant la formule suivante

consommation de gasoil

$$= (\text{consommation en charge} + \text{consommation à vide} \times \text{taux retour à vide}) \times \text{distance} \times \frac{\text{masse transportée}}{\text{charge utile} \times \text{taux de chargement}}$$

Les données à fournir pour chaque transport sont donc le taux de chargement et la distance de transport.

Paramètre	Unité	Valeur	Source
Distance de transport entre le site du bâtiment déconstruit et le centre de tri	km	100	Données FCBA
Taux de chargement	%	80%	Données FCBA

Tableau 16 : Paramètre du module C2 – transport des déchets bois après tronçonnage vers le centre de tri

Paramètre	Unité	Valeur	Source
Distance de transport entre le site du bâtiment déconstruit et la plateforme de stockage	km	100	Données FCBA
Taux de chargement	%	80%	Données FCBA

Tableau 17 : Paramètre du module C2 – transport du CLT et du BLC vers la plateforme de stockage

Paramètre	Unité	Valeur	Source
Distance de transport entre la plateforme de stockage et le site de reconditionnement/ charpentier	km	100	Données FCBA
Taux de chargement	%	80%	Données FCBA

Tableau 18 : Paramètre du module C2 – transport du CLT et du BLC vers le site de reconditionnement/ charpentier

6.4.4 Données relatives au scénario de ré-emploi – C3

6.4.4.1. Bois destiné au ré-emploi

Les consommations d'énergie et les rendements pour le reconditionnement sont présentés de manière détaillée dans le Tableau 6 pour le CLT et dans le Tableau 7 pour le BLC.

Les tableaux suivants présentent les données d'inventaires de cycle de vie :

Flux	Unité	Valeur	Modélisation – Ecoinvent v3
Reconditionnement du CLT	m ²	1	
Electricité utilisée pour la taille numérique	kWh	$_C3_taille_min/60 * _C3_taille_puissance * _C3_taille_utilisation_puissance$	Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S
Déchets bois vers centre de tri	m ³	$(1 - _C3_taille_rdt) * _gen_CLT_epaisseur * 0,001$	
Produit de préservation	L	$_C3_traitement_l$	Wood preservation, dipping/immersion method, water-based, indoor use, occasionally wet {GLO} market for Cut-off, S
Bois vers réutilisation	m ²	$_C3_taille_rdt$	
Paramètres			
$_C3_taille_min$	Min	15	Voir Tableau 6
$_C3_taille_puissance$	kW	70	Voir Tableau 6
$_C3_taille_utilisation_puissance$	%	66	Voir Tableau 6
$_C3_taille_rdt$	M	85% plancher 72% mur	Voir Tableau 6
$_C3_traitement_l$	l/m ²	0,4	Voir Tableau 6

Tableau 19 : Données d'inventaire du module C3 pour le reconditionnement du CLT

Flux	Unité	Valeur	Modélisation – Ecoinvent v3
Reconditionnement du BLC	m ³	1	
Electricité utilisée pour la taille numérique	kWh	$_C3_Taille_electricite$	Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S
Produit de préservation	l		Wood preservation, dipping/immersion method, water-based, indoor use, occasionally wet {GLO} market for Cut-off, S
Déchets bois vers centre de tri	m ³	$1 - _C3_taille_rdt$	
Bois vers réutilisation	m ³	$_C3_taille_rdt$	
Paramètres			
$_C3_Taille_electricite$	kWh	26	Voir Tableau 7
$_C3_taille_rdt$	M	97,8	Voir Tableau 7
$_C3_traitement_l$	l/m ³	2	Voir Tableau 7

Tableau 20 : Données d'inventaire du module C3 pour le reconditionnement du BLC

6.4.4.2. Déchets bois issus des phases de tronçonnage et de reconditionnement

Le transport des déchets bois issus de la phase de reconditionnement est modélisé de manière similaire avec les mêmes hypothèses sur le taux de remplissage du camion et la distance de transport (voir Tableau 16).

Les données relatives au tri des déchets bois issus du reconditionnement sont issues du scénario de fin de vie des déchets bois du CODIFAB (FCBA et CSTB 2012) en considérant un mix de 50% de valorisation énergétique et 50% de recyclage après tri.

Après publication de la phase ACV de l'étude (FCBA et al. 2022), les modules du scénario de fin de vie des déchets bois issus de la démolition et de la rénovation devront être utilisés.

6.4.5 Données relatives au scénario de ré-emploi – C4

6.4.5.1. Déchets bois issus des phases de tronçonnage et de reconditionnement

Le tableau suivant présente les données et la référence de l'ICV pour modéliser la valorisation en chaudière ayant un traitement des fumées adapté, à savoir celui équivalent à un incinérateur. Cette étape inclut les consommables nécessaires à son fonctionnement ainsi que les émissions de la combustion des déchets et l'élimination des résidus de combustion et d'épuration des fumées.

Donnée	ICV utilisé
Incinération du bois	Ecoinvent "Disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration/CH"

Tableau 21 – Valorisation énergétique

Conformément à la norme NF EN 15804+A1 (AFNOR 2014), l'énergie provenant de l'incinération des déchets a été comptabilisée en « énergie fournie à l'extérieur » sous forme de chaleur. Ces derniers indicateurs sont calculés à partir du PCI des déchets bois.

Le PCI des déchets bois a été calculé à partir du PCI anhydre (18,4 MJ/kg) et du taux d'humidité des déchets bois (20%, taux d'humidité des déchets bois considéré par FCBA). Le PCI des déchets bois est de 14,9 MJ/kg selon la formule suivante :

$$PCI(20\%) = \frac{18,4}{(1 + 0,2)} - 2,443 \times \frac{0,2}{(1 + 0,2)}$$

La valeur de 2,443 représente la chaleur latente de la vaporisation de l'eau et s'exprime en MJ/kg. Le rendement de la chaudière est pris comme égal à 82% (FCBA et CSTB 2012).

L'énergie générée par l'incinération de la colle n'a pas été comptabilisée dans les indicateurs « Energie fournie à l'extérieur ».

6.4.6 Données relatives au scénario de ré-emploi – D

6.4.6.1. Bois destiné au ré-emploi

Les impacts évités associés au ré-emploi sont la fabrication du CLT ou du BLC en supposant ici que le CLT et le BLC sont taillés sur place et qu'aucun transport n'est économisé.

Une analyse de sensibilité est réalisée en considérant une économie de transport associée à l'utilisation d'un CLT importé.

Les données de production proviennent de la FDES collective réalisée par FCBA pour le CODIFAB en 2018 (FCBA 2018) pour le CLT et de la FDES collective réalisée par FCBA pour le CODIFAB en 2019 pour le BLC (FCBA 2019).

Une analyse de sensibilité est réalisée sur l'utilisation de ferrures supplémentaires modélisées comme suit :

Flux	Unité	Valeur	Modélisation – Ecoinvent v3
Ferrure	kg	1	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S Metal working, average for steel product manufacturing {GLO} market for Cut-off, S

Tableau 22 : modélisation des ferrures supplémentaires pour l'analyse de sensibilité

6.4.6.2. Déchets bois issus des phases de tronçonnage et de reconditionnement

Les déchets bois générés par les opérations de tronçonnage et de reconditionnement sont valorisés énergétiquement pour 50% du tonnage et recyclés pour les 50% restant. Cette hypothèse correspond à la répartition du devenir des chutes de bois sur les sites de seconde transformation (le site de reconditionnement est considéré comme étant probablement un charpentier). Une analyse de sensibilité est réalisée sur ce paramètre.

Les impacts générés et évités associés à ces valorisations sont issus de l'étude (FCBA et CSTB 2012). Les impacts générés par la valorisation énergétique des déchets bois issus du bâtiment sont comptabilisés en C4 étant donné le statut des installations accueillant ce type de déchet (voir section 6.4.5).

Note : les chutes de bois vierge issu de la seconde transformation du bois sont considérées comme des co-produits avec une valeur économique très faible ou nulle dans la modélisation de la production (module A3). Ici, les chutes étant issues d'un panneau usagé, elles sont considérées comme des déchets. Après publication de la phase ACV de l'étude (FCBA et al. 2022), les modules du scénario de fin de vie des déchets bois issus de la démolition et de la rénovation pourront être utilisés.

Valorisation énergétique :

Cette étape comprend les bénéfices et charges liés à la récupération d'énergie thermique associée à la valorisation énergétique du bois sous forme de chaleur.

L'impact de la combustion du bois en chaudière est comptabilisé en C4. Seuls les bénéfices associés à la production de 82% de la chaleur dégagée par cette combustion sont comptabilisés en D :

Le module D est donc égal à :

$$-MS_{val} * IV_{val} * PCIS_{val} * RE_{val} = -MS_{val} * IV_{val} * 14,9 \text{ MJ/kg (voir section ci-avant)} * 82\%$$

Les impacts évités liés à la récupération d'énergie thermique, soit IV_{val} , sont calculés en considérant le mix énergétique fossile français de production de chaleur, obtenu à partir des données de l'étude (FCBA et CSTB 2012).

Le mix de production de chaleur évité est le suivant :

Source d'énergie	Pourcentage	Source
Charbon	14%	Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW} heat production, at coal coke industrial furnace 1-10MW Cut-off, S
Fioul	14%	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, S
Gaz naturel	72%	Heat, district or industrial, other than natural gas {Europe without Switzerland} heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW Cut-off, S

Tableau 23 - Source d'énergie pour la production de chaleur évitée (FCBA et CSTB 2012)

Recyclage :

Les impacts et bénéfices générés par le recyclage du bois sur le site de fabrication de panneaux de particules sont :

- Les impacts générés par le transport des broyats de bois et par le procédé de transformation de ces broyats en matière première secondaire (copeaux secs) pour la fabrication de panneaux de particules bois (broyage complémentaire, tri, séchage, valorisation des déchets générés, etc.) ;
- Les impacts évités par la substitution de la matière première vierge : mise à disposition des rondins (sylviculture, exploitation forestière, transport), broyage en copeaux et séchage.

➤ Impacts générés par le recyclage

Les données sur le procédé de recyclage proviennent principalement d'une enquête réalisée auprès de l'usine EGGER à Rion-des-Landes, fabriquant des panneaux de particules bois, en 2012.

Cependant, en l'absence d'informations spécifiques, l'étape de séchage des copeaux a été modélisée à partir de calculs théoriques et de dires d'experts.

De même, concernant la valorisation des résidus bois issus du process de recyclage, les impacts générés par la combustion ont été modélisés à partir des facteurs d'émissions moyens français établis par le CITEPA (CITEPA, ADEME, et CTBA 2003) et des données Ecoinvent.

Les impacts évités par l'énergie produite par la combustion des déchets ont été modélisés à partir du mix énergétique fossile français de production de chaleur, tel que défini dans le rapport de l'étude (FCBA et CSTB 2012).

➤ Impacts évités par le recyclage

Les données relatives aux types d'approvisionnements bois ont été collectées dans le cadre du projet FCBA/UIPP de 2009 (FCBA 2009). Les données correspondent au mix moyen utilisé par l'ensemble des fabricants de panneaux de particules en France.

Les inventaires de cycle de vie de la mise à disposition de ces ressources bois proviennent de la base de données ACV de FCVA explicitée dans le rapport DHUP/CODIFAB/FBF/CSTB/FCBA volet 1 (Cornillier, Vial, et Deroubaix 2013).

Les données sur le broyage des rondins en copeaux proviennent de la collecte de données réalisée auprès de l'usine EGGER.

L'étape de séchage des copeaux a été modélisée à partir de calculs théoriques et de dires d'experts.

6.4.7 Données relatives au scénario actuel de fin de vie des produits bois et aux autres modes de gestion

Le scénario considéré est le scénario moyen français de la fin de vie des produits bois de la construction, établi dans l'étude (FCBA et CSTB 2012). Les données d'inventaire utilisées pour les modules C2, C3 et C4 de ce scénario et des scénarios « purs » de mise en décharge, incinération, valorisation énergétique et recyclage sont issues de ce même rapport.

Part stockée en Centre de Stockage de Déchets Non Dangereux (CSDND)	Part incinérée en Unité d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM) avec récupération d'énergie	Part envoyée en plateforme de tri	
		Part incinérée en UIOM avec récupération d'énergie (fines de broyage)	Part achetée comme matière première secondaire par les usines de panneaux de particules bois
17,3 %	15,4 %	10,1 %	57,2 %

Tableau 24 : Scénario moyen français de fin de vie des produits bois de la construction

L'étude (FCBA et CSTB 2012) ne comporte pas de données sur le module C1 car celui-ci est propre à chaque produit.

Après avis du comité de pilotage, C1 a été modélisé en considérant que le bâtiment est d'abord démolé de manière classique avec une mutualisation des engins à l'ensemble du bâtiment et des produits qu'il contient. Une fois la structure à terre, une durée de tronçonnage 2 fois supérieure à celle de la déconstruction est considérée afin de pouvoir plus facilement mettre les différents produits en benne. Un levage deux fois inférieur est modélisé pour charger certaines pièces.

6.4.8 Données relatives aux analyses de sensibilité

6.4.8.1. Données relatives au CLT

Des analyses de sensibilité sur le scénario de ré-emploi ont été effectuées pour évaluer l'importance des différents paramètres.

	CLT_Ref	CLT_ferrures	CLT_Mur	CLT_Rdt_Min	CLT_Rdt_Max	CLT_Distance_Recondi_Max	CLT_Appro_évité_Max	CLT_Pertes_Energie	CLT_Pertes_Recyclage	CLT_Ferrure_Sup	CLT_Coefficient	Commentaires sur la source du paramètre modifié
Type	Plancher	Plancher	Mur	Plancher	Plancher	Plancher	Plancher	Plancher	Plancher	Plancher	Plancher	
Quantité de ferrures nécessaires à la pose du produit neuf	0,82 kg/m ²	1,684 kg/m²	0,82 kg/m ²	0,82 kg/m ²	0,82 kg/m ²	0,82 kg/m ²	0,82 kg/m ²	0,82 kg/m ²	0,82 kg/m ²	0,82 kg/m ²	0,82 kg/m ²	Les données observées dans la FDES étaient assez homogènes. Il a donc été décidé de prendre le double comme pour le maximum observé pour le BLC.
Quantité de ferrures supplémentaires nécessaires à la pose du produit ré-employé	0 kg/m ²	0 kg/m ²	0 kg/m ²	0 kg/m ²	0,41 kg/m²	0 kg/m ²	On suppose que le panneau ré-employé nécessite 50% de ferrure en plus par rapport à un panneau neuf.					
Distance de transport entre le fabricant et le chantier	287 km	287 km	287 km	287 km	287 km	287 km						
Distance d'approvisionnement CLT évitée par l'utilisation de CLT ré-employé	0 km	1200 km	0 km	0 km	0 km	0 km	Cette distance maximum correspond à la distance d'approvisionnement de CLT provenant d'Autriche.					
Distance reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	200 km du chantier à la plateforme, 500 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	Ces données sont des hypothèses FCBA.

	CLT_Ref	CLT_ferrures	CLT_Mur	CLT_Rdt_Min	CLT_Rdt_Max	CLT_Distance_Recondi_Max	CLT_Appro_évité_Max	CLT_Pertes_Energie	CLT_Pertes_Recyclage	CLT_Ferrure_Sup	CLT_Coefficient	Commentaires sur la source du paramètre modifié
Rendement reconditionnement	85%	85%	72%	46%=42,2%/90%	=94% (pas de division par le rendement de tronçonnage car on dépasse 100%)	85%	85%	85%	85%	85%	85%	Voir Tableau 6 et Tableau 19
Facteur de conversion de valeur = Coefficient d'équivalence entre le panneau CLT neuf et ré-employé	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,8	Hypothèse FCBA
Chutes 100% énergie	50% en recyclage, 50% en valorisation énergétique	50% en recyclage, 50% en valorisation énergétique	50% en recyclage, 50% en valorisation énergétique	100% en valorisation énergétique	100% en recyclage	50% en recyclage, 50% en valorisation énergétique	50% en recyclage, 50% en valorisation énergétique	Ces données sont des hypothèses FCBA.				
Mix énergétique substitué	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	Voir Tableau 23				

	CLT_Gaz_PPE	CLT_Gaz	Commentaires sur la source du paramètre modifié
Type	Plancher	Plancher	
Quantité de ferrures nécessaires à la pose du produit neuf	0,82 kg/m ²	0,82 kg/m ²	
Quantité de ferrures supplémentaires nécessaires à la pose du produit ré-employé	0 kg/m ²	0 kg/m ²	
Distance de transport entre le fabricant et le chantier	287 km	287 km	
Distance d'approvisionnement CLT évitée par l'utilisation de CLT ré-employé	0 km	0 km	
Distance reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	
Rendement reconditionnement	85%	85%	Voir Tableau 6 et Tableau 9
Facteur de conversion de valeur = Coefficient d'équivalence entre le panneau CLT neuf et ré-employé	1	1	Hypothèse FCBA
Chutes 100% énergie	50% en recyclage, 50% en valorisation énergétique	50% en recyclage, 50% en valorisation énergétique	Ces données sont des hypothèses FCBA.
Mix énergétique substitué	92% gaz naturel 8% biogaz XXX	100% gaz naturel	Le mix 92% de gaz naturel et 8% de biogaz correspond au mix prévisionnel de la Programmation Pluri-annuelle de l'Energie (PPE)

Tableau 25 : Analyses de sensibilité réalisées sur le scénario de ré-emploi (CLT)

	BLC_Ref	BLC_ferrures	BLC_Rdt_Min	BLC_Rdt_Max	BLC_Distance_Recondi_Max	BLC_Appro_évité_Max	BLC_Pertes_Energie	BLC_Pertes_Recyclage	BLC_Ferrure_Sup	BLC_Coefficient	BLC_Gaz_PPE	BLC_Gaz	Commentaires sur la source du paramètre modifié
Quantité de ferrures nécessaires à la pose du produit neuf	17 kg/m ²	35 kg/m²	17 kg/m ²	17 kg/m ²	17 kg/m ²	17 kg/m ²	17 kg/m ²	17 kg/m ²	17 kg/m ²	17 kg/m ²	17 kg/m ²	17 kg/m ²	35 kg est le maximum observé pour le BLC.
Quantité de ferrures supplémentaires nécessaires à la pose du produit ré-employé	0 kg/m ²	0 kg/m ²	0 kg/m ²	0 kg/m ²	8,5 kg/ m²	0 kg/m ²	0 kg/m ²	0 kg/m ²	On suppose que la poutre ré-employée nécessite 50% de ferrure en plus par rapport à une poutre neuve.				
Distance de transport entre le fabricant et le chantier	306 km	306 km	306 km	306 km	306 km	306 km	306 km	306 km					
Distance d'approvisionnement CLT évitée par l'utilisation de CLT ré-employé	0 km	1200 km	0 km	Cette distance maximum correspond à la distance d'approvisionnement de BLC provenant d'Autriche.									
Distance reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	200 km du chantier à la plateforme, 500 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	100 km du chantier à la plateforme, 100 km de la plateforme au site de reconditionnement	Ces données sont des hypothèses FCBA.
Rendement tronçonnage	87,7%	87,7%	85%	99,5%	87,7%	87,7%	87,7%	87,7%	87,7%	87,7%	87,7%	87,7%	Tableau 7 et Tableau 14
Facteur de conversion de valeur = Coefficient d'équivalence entre la poutre neuve et ré-employée	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,8	1	1	Hypothèse FCBA

	BLC_Ref	BLC_ferrures	BLC_Rdt_Min	BLC_Rdt_Max	BLC_Distance_Recondi_Max	BLC_Appro_évité_Max	BLC_Pertes_Energie	BLC_Pertes_Recyclage	BLC_Ferrure_Sup	BLC_Coefficient	BLC_Gaz_PPE	BLC_Gaz	Commentaires sur la source du paramètre modifié
Chutes 100% énergie	50% en recyclage, 50% en valorisation énergétique	100% en valorisation énergétique	100% en recyclage	50% en recyclage, 50% en valorisation énergétique	Ces données sont des hypothèses FCBA.								
Mix énergétique substitué	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	Mix énergétique fossile	92% gaz naturel 8% biogaz XXX	100% gaz naturel						

Tableau 26 : Analyses de sensibilité réalisées sur le scénario de ré-emploi (BLC)

6.5 Résultats pour le CLT

6.5.1 Résultats sur le cycle de vie du produit

Les résultats sont calculés selon la norme EN 15804 A1.

6.5.1.1. Analyse de gravité du scénario de ré-emploi

La figure suivante présente les impacts du cycle de vie d'un panneau CLT en considérant un scénario 100% ré-emploi. Certains indicateurs ne sont pas représentés afin de garder le schéma lisible.

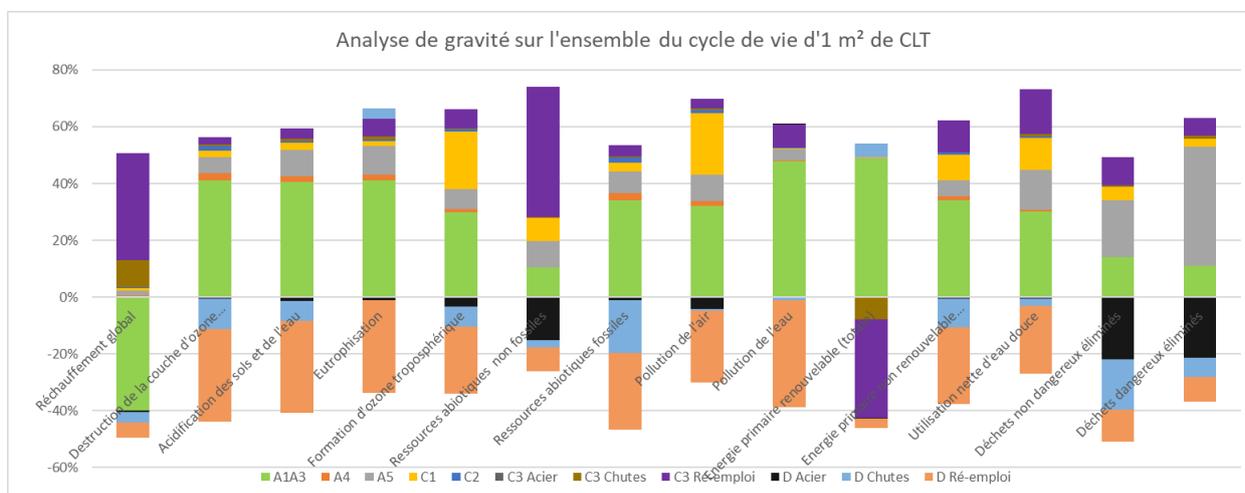


Figure 6 : Analyse de gravité sur le cycle de vie d'1 m² de CLT (120 mm d'épaisseur) avec un scénario 100% réemploi

Un focus est réalisé sur le changement climatique dans la figure suivante :

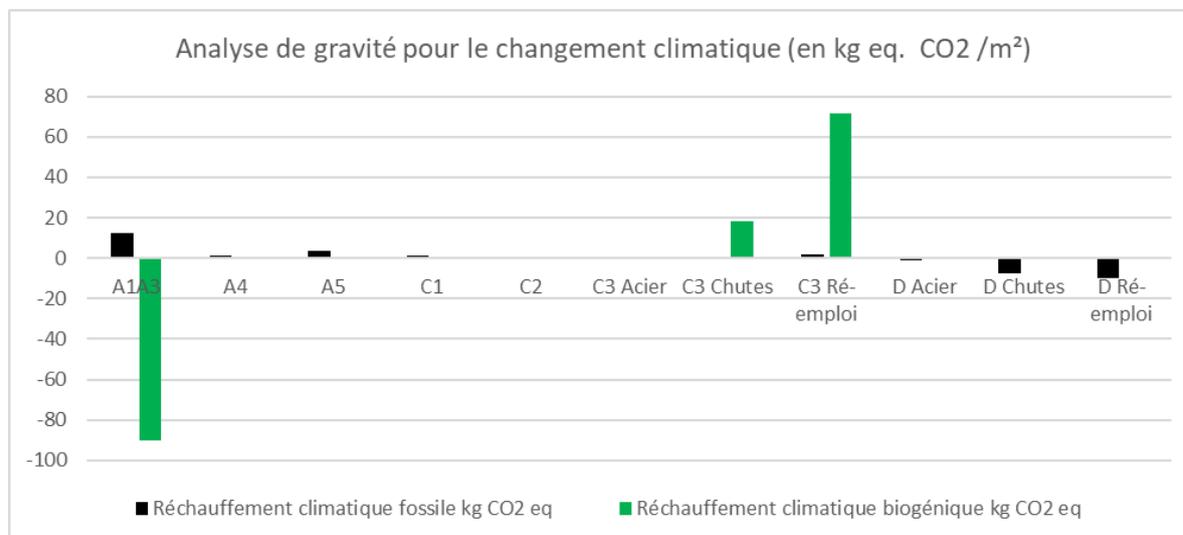


Figure 7 : Analyse de gravité sur le cycle de vie d'1 m² de CLT (120 mm d'épaisseur) avec un scénario 100% réemploi – changement climatique

On peut constater que la prise en compte de la déconstruction (C1), du transport (C2) et du reconditionnement (C3) du produit ne remet pas en cause l'intérêt du ré-emploi pour la majorité des indicateurs, à savoir, le changement climatique fossile, la destruction de la couche d'ozone, l'acidification, l'eutrophisation, l'épuisement des ressources abiotiques fossiles, la consommation d'énergie non renouvelable totale et la production de déchets dangereux et non dangereux. Pour l'impact de formation d'ozone troposphérique et de pollution de l'air, l'utilisation de la tronçonneuse pour la déconstruction rend le scénario de ré-emploi moins intéressant. Le retraitement du CLT augmente la valeur de l'utilisation de ressources abiotiques non fossiles du fait de la présence de brome dans le module de production du produit de préservation Ecoinvent utilisé (le brome n'est d'ailleurs pas forcément présent dans les produits réellement utilisés). Pour l'indicateur de consommation d'eau, c'est l'utilisation d'électricité pour le reconditionnement qui rend le scénario moins performant.

Focus sur le changement climatique :

La captation et la ré-emission de dioxyde de carbone biogénique sont d'un ordre de grandeur supérieur aux émissions de dioxyde de carbone fossile.

Pour le changement climatique fossile, les impacts générés par le réemploi et la valorisation des chutes (C1, C2 et C3) représentent 20% des impacts évités (D). Si l'on ne tient pas compte de la valorisation des chutes (50% valorisation énergétique, 50% recyclage), les impacts générés propres au ré-emploi (transport, reconditionnement) représentent 35% des impacts évités (fabrication du CLT).

On peut constater que la neutralité carbone est respectée : le prélèvement en début de cycle de vie (A1A3) est compensé par une émission en fin de vie cycle de vie pour le produit destiné au ré-emploi, ceci bien que le carbone ne soit pas ré-émis en fin de vie. La ré-emission fictive est décrite dans la section 6.2 de ce rapport.

6.5.1.2. Analyse de sensibilité sur le scénario de ré-emploi

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse de sensibilité réalisée en considérant les valeurs des paramètres décrites dans le Tableau 25. Les résultats présentés correspondent à la variation entre le total du cycle de vie (A-C) et le module D de la variante étudiée et le scénario de référence. Les variations de plus de 10% sont présentées en vert.

Conformément au cahier des charges, seuls les résultats sur le changement climatique sont analysés.

		CLT_Ref		CLT_Mur		CLT_ferrures		ce_Recondi_Max		CLT_Appro_évité_Max		CLT_Rdt_Max		CLT_Rdt_Min		CLT_Pertes_Energie		CLT_Pertes_Recyclage		CLT_Coefficient		CLT_Ferrure_Sup		CLT_Pertes_PPE		CLT_Pertes_Gaz	
		AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D
Réchauffement global	kg CO2 eq	20,6	-18,5	0%	19%	11%	4%	8%	0%	0%	19%	0%	-7%	-1%	48%	0%	19%	0%	-19%	0%	-11%	0%	-6%	0%	10%	0%	-7%
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC-11 eq	4,27 E-06	-3,33 E-06	0%	4%	3%	1%	7%	0%	0%	20%	0%	-1%	1%	9%	0%	12%	0%	-12%	0%	-15%	0%	-2%	0%	5%	0%	-2%
Acidification des sols et de l'eau	kg SO2 eq	0,114	-0,0779	1%	-2%	7%	3%	3%	0%	0%	15%	0%	1%	2%	-6%	0%	5%	0%	-5%	0%	-16%	0%	-5%	0%	1%	0%	-27%
Eutrophisation	kg PO4--- eq	0,0212	-0,0102	1%	-28%	6%	3%	2%	0%	0%	22%	0%	10%	3%	-72%	0%	-12%	0%	12%	0%	-22%	0%	-6%	0%	36%	0%	-10%
Formation d'ozone troposphérique	kg C2H4 eq	0,00787	-0,00405	0%	2%	8%	10%	2%	0%	0%	11%	0%	-1%	1%	4%	0%	5%	0%	-5%	0%	-14%	0%	-7%	0%	3%	0%	-28%
Ressources abiotiques non fossiles	kg Sb eq	6,45 E-05	-2,28 E-05	0%	1%	11%	58%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	3%	0%	-3%	0%	-6%	0%	-30%	0%	5%	0%	-2%
Ressources abiotiques fossiles	MJ	330	-287	1%	17%	8%	3%	8%	0%	0%	19%	0%	-6%	1%	43%	0%	19%	0%	-19%	0%	-12%	0%	-4%	0%	8%	0%	0%
Pollution de l'air	m3	3 804	-1 643	0%	-14%	9%	14%	3%	0%	0%	17%	0%	5%	1%	-36%	0%	-7%	0%	7%	0%	-17%	0%	-11%	0%	1%	0%	-29%
Pollution de l'eau	m3	52,6	-33,3	0%	-16%	6%	-1%	1%	0%	0%	3%	0%	6%	0%	-42%	0%	0%	0%	0%	0%	-20%	0%	-4%	0%	1%	0%	0%
Energie primaire renouvelable (totale)	MJ	137	27,3	14%	289%	2%	-2%	0%	0%	0%	-1%	-5%	-109%	37%	744%	0%	228%	0%	-228%	0%	50%	0%	4%	0%	-1%	0%	1%
Energie primaire non renouvelable (totale)	MJ	756	-458	0%	6%	4%	2%	3%	0%	0%	12%	0%	-2%	1%	14%	0%	12%	0%	-12%	0%	-14%	0%	-3%	0%	5%	0%	0%
Utilisation nette d'eau douce	m3	0,176	-0,0648	1%	-10%	14%	2%	1%	0%	0%	8%	0%	4%	2%	-25%	0%	2%	0%	-2%	0%	-18%	0%	-15%	0%	1%	0%	-2%
Déchets non dangereux éliminés	kg	0,824	-0,480	1%	8%	66%	58%	0%	0%	0%	0%	0%	-3%	3%	21%	0%	7%	0%	-7%	0%	-5%	0%	-47%	0%	1%	0%	-17%
Déchets dangereux éliminés	kg	4,59	-4,74	0%	20%	40%	43%	0%	0%	0%	1%	0%	-8%	1%	52%	0%	16%	0%	-16%	0%	-4%	0%	-21%	0%	1%	0%	-32%

Tableau 27 : Analyse de sensibilité sur le cycle de vie d'1 m² de CLT (120 mm d'épaisseur) par rapport au scénario de réemploi de référence (CLT_Ref)

La figure suivante présente les résultats pour le changement climatique en valeur absolue.

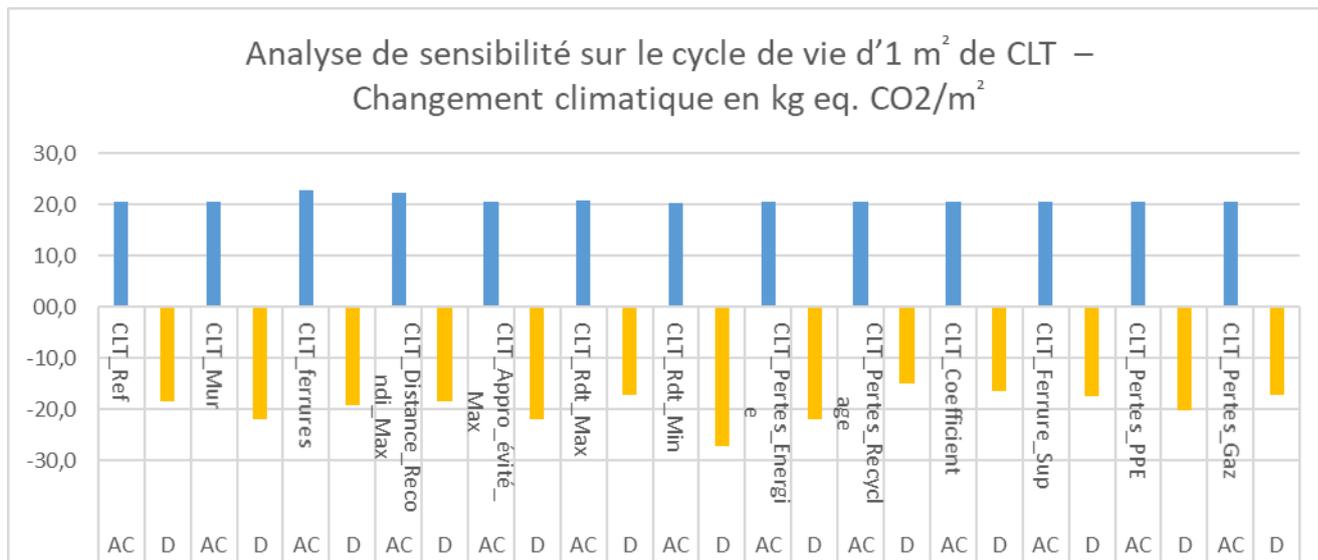


Figure 8 : Analyse de sensibilité sur le cycle de vie d'1 m² de CLT (120 mm d'épaisseur) par rapport au scénario de réemploi de référence (CLT_Ref) – changement climatique

On constate que les variations les plus importantes sont liées à la quantité et au devenir des pertes associées au ré-emploi, soit les analyses impliquant une variation du rendement ou une réorientation des pertes vers 100% de valorisation énergétique ou 100% de recyclage ou une utilisation en mur de CLT qui implique également une variation du rendement de ré-emploi.

La quantité de ferrure utilisée pour la mise en œuvre du CLT rend le scénario de ré-emploi moins performant du fait que les ferrures ont un impact de production important mais ne sont pas ré-employées. Elles sont recyclées mais le bénéfice associé ne compense pas la production. L'augmentation de la distance de reconditionnement n'a que peu d'impact sur les résultats. Par contre, le fait d'éviter une importation lointaine de CLT par le ré-emploi a un impact significatif.

L'introduction d'un coefficient de correction de valeur ou la nécessité d'utiliser plus de ferrures pour le CLT ré-employé diminue l'intérêt du ré-emploi. Enfin, les différents mix énergétiques étudiés substitués par la valorisation énergétique des pertes associées au reconditionnement n'occasionnent pas de variations significatives.

6.5.1.3. Comparaison de scénarios de fin de vie

Au niveau produit, le Tableau 28 et la Figure 9 présentent les résultats pour le total cycle de vie et le module D d'1 m² de CLT en considérant les scénarios de fin de vie suivants :

- CLT_Ref : scénario de ré-emploi de référence ;
- CODIFAB : scénario de fin de vie actuel des produits bois ;
- CODIFAB_Amendement : scénario actuel de fin de vie des produits bois mais en considérant l'hypothèse de l'amendement A2 de la norme EN 15804 qui considère que 100% du carbone biogénique mis en décharge est libéré,
- 100% Recyclage : scénario qui considère que 100% des déchets bois sont envoyés en centre de tri puis en valorisation matière,
- 100% Valorisation énergétique - mix fossile : scénario qui considère que 100% des déchets bois sont envoyés en centre de tri puis en valorisation énergétique avec une substitution d'un mix moyen fossile,
- 100% Valorisation énergétique – gaz : scénario similaire au précédent mais en considérant que le déchet bois se substitue au gaz naturel, combustible de référence.
- 100% Incinération : les déchets bois sont envoyés à 100% en UIOM,

- 100% Mise en décharge : les déchets bois sont envoyés à 100% en centre de stockage. Le stockage définitif du carbone en décharge est pris en compte.
- 100% Mise en décharge Amendement : les déchets bois sont envoyés à 100% en centre de stockage. Conformément à l'amendement A2 de la norme EN 15804, le stockage définitif du carbone en décharge n'est pas pris en compte.

		CLT Ref		CODIFAB		CODIFAB Amendement		100% Recyclage		100% Valorisation énergétique - mix fossil		100% Valorisation énergétique - gaz		100% Incinération		100% Mise en décharge		100% Mise en décharge Amendement	
		AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D
Réchauffement global	kg CO2 eq	20,6	-18,5	-62%	-9%	1%	-9%	-12%	13%	-12%	192%	-12%	143%	-11%	-6%	-296%	-100%	76%	-100%
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC-11 eq	4,27 E-06	-3,33 E-06	-4%	-51%	-4%	-51%	-5%	-40%	-5%	79%	-5%	68%	-6%	-43%	-3%	-100%	-2%	-100%
Acidification des sols et de l'eau	kg SO2 eq	0,114	-0,0779	-2%	-45%	-2%	-45%	-2%	-36%	-2%	10%	-2%	-179%	2%	-24%	-5%	-100%	-5%	-100%
Eutrophisation	kg PO4--- eq	0,0212	-0,0102	30%	-92%	30%	-92%	12%	-98%	12%	-209%	12%	-281%	20%	-59%	8%	-100%	25%	-100%
Formation d'ozone troposphérique	kg C2H4 eq	0,00787	-0,00405	132%	-28%	132%	-28%	40%	-13%	40%	32%	40%	-171%	43%	-16%	127%	-100%	204%	-100%
Ressources abiotiques non fossiles	kg Sb eq	6,45 E-05	-2,28 E-05	-66%	-21%	-66%	-21%	-61%	-7%	-61%	19%	-61%	2%	-62%	7%	-61%	-100%	-66%	-100%
Ressources abiotiques fossiles	MJ	330	- 287	-8%	-17%	-8%	-17%	-8%	2%	-8%	182%	-8%	181%	-9%	-11%	-9%	-100%	-9%	-100%
Pollution de l'air	m3	3 804	-1 643	22%	-50%	22%	-50%	-6%	-43%	-6%	-111%	-6%	-318%	-3%	-25%	3%	-100%	30%	-100%
Pollution de l'eau	m3	52,6	-33,3	-6%	-90%	-6%	-90%	-10%	-87%	-10%	-91%	-10%	-94%	-9%	-92%	-10%	-100%	-6%	-100%
Energie primaire renouvelable (totale)	MJ	137	27,3	254%	289%	254%	289%	70%	497%	70%	2688%	70%	2694%	632%	-167%	632%	-100%	630%	-100%
Energie primaire non renouvelable (totale)	MJ	756	- 458	-24%	-33%	-24%	-33%	-18%	-27%	-18%	89%	-18%	88%	-19%	16%	-19%	-100%	-24%	-100%
Utilisation nette d'eau douce	m3	0,176	-0,0648	-4%	-54%	-4%	-54%	-9%	-64%	-9%	-43%	-9%	-58%	20%	37%	-15%	-100%	-13%	-100%
Déchets non dangereux éliminés	kg	0,824	-0,480	17%	-17%	17%	-17%	1%	10%	1%	81%	1%	-41%	101%	-43%	-8%	-100%	-6%	-100%
Déchets dangereux éliminés	kg	4,59	-4,74	192%	5%	192%	5%	-19%	34%	-19%	189%	-19%	-39%	-20%	-5%	1247%	-100%	1243%	-100%

Tableau 28 : Comparaison de scénario de fin de vie sur pour 1 m² de CLT (120 mm d'épaisseur)

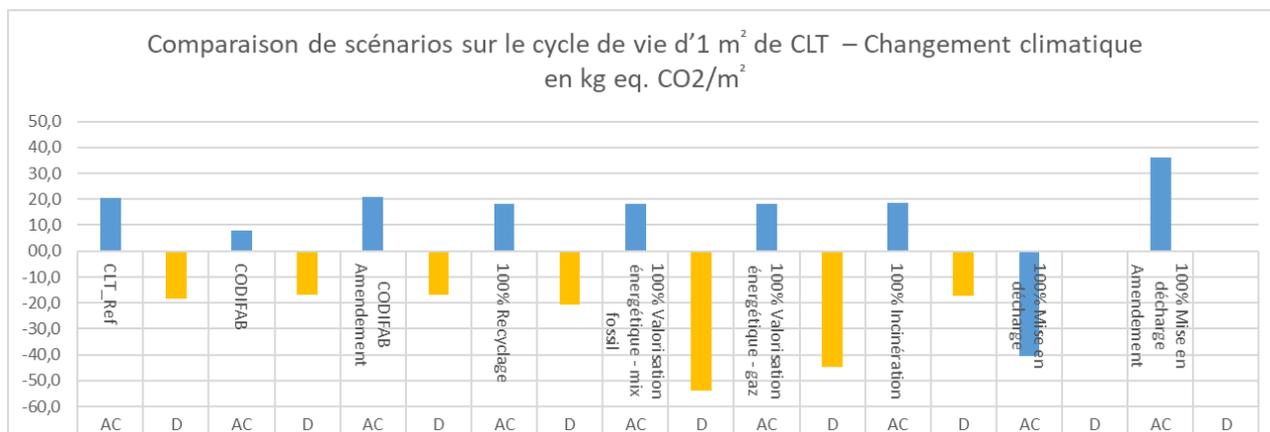


Figure 9 : Comparaison de scénarios de fin de vie au niveau produit pour le CLT – changement climatique (120 mm d'épaisseur)

On peut constater que le scénario le plus impactant pour le total cycle de vie est le scénario « 100% mise en décharge amendement » du fait de la ré-émission de l'intégralité du dioxyde de carbone contenu dans le bois conformément à l'amendement A2 de la norme EN 15804 et des émissions de méthane fugitives. Le scénario le moins impactant est la mise en décharge avec prise en compte du stockage définitif. Le scénario CODIFAB actuel est peu impactant du fait de la mise en décharge d'une partie du tonnage avec stockage de carbone définitif. Les autres scénarios sont comparables car les émissions de CO₂ fossiles sont peu différentes d'un scénario à l'autre et que le changement climatique biogénique est nul sur le total cycle de vie.

Concernant le module D, les scénarios les plus intéressants sont les scénarios introduisant 100% de valorisation énergétique. Le scénario de ré-emploi et le scénario de recyclage sont équivalents.

Au niveau bâtiment, la figure suivante présente les résultats pour le calcul d'I_C Construction. Pour rappel, cet indicateur se calcule en pondérant l'indicateur de changement climatique des différents modules de la FDES par les coefficients d'ACV dynamique présents dans (JORF 2021)⁵.

⁵ Aucun impact n'est associé ici au module B, soit l'étape d'utilisation, car elle est nulle dans le cas du CLT et du BLC. Le calcul effectué pour l'ACV dynamique correspond donc dans ce cas précis à :

$$\text{Module A} + 0,58 \text{ Module C} + 0,58 * \text{Module D}$$

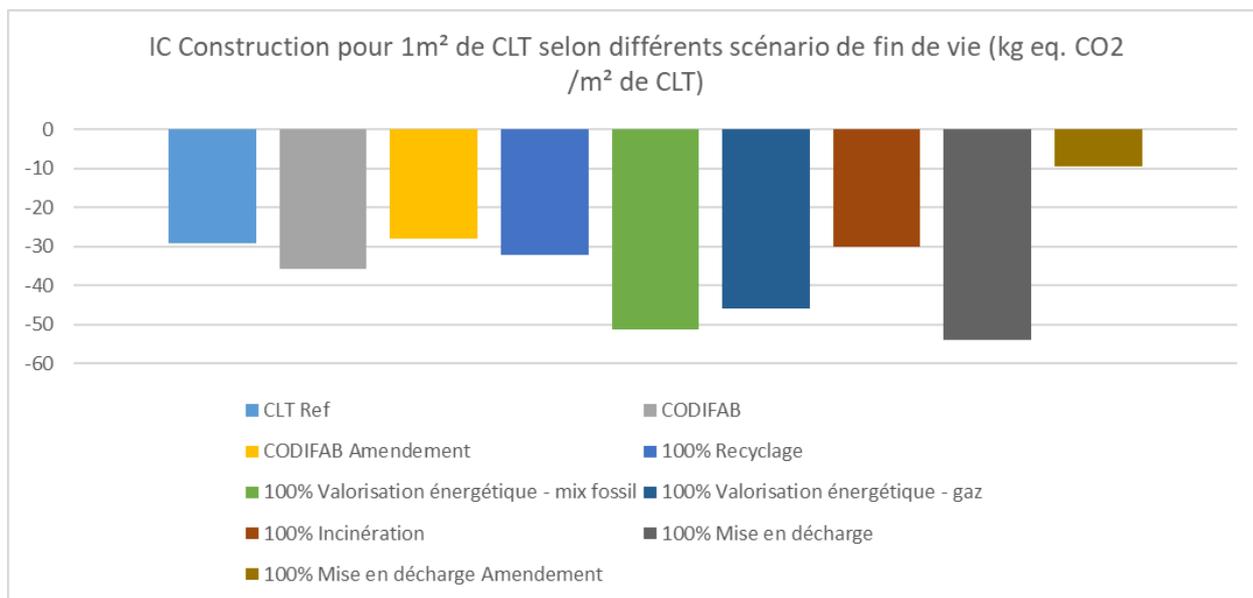


Figure 10 : IC Construction d'un m² de CLT (120 mm d'épaisseur) pour différents scénarios de fin de vie

Le scénario le plus favorable est le scénario où l'on considère qu'il y a peu ou pas de ré-émission du carbone biogénique, soit le scénario de mise en décharge avec prise en compte du stockage définitif. Les scénarios de valorisation énergétique sont plus intéressants que les scénarios de recyclage, de ré-emploi et d'incinération ainsi que le scénario du CODIFAB actuel et conforme à l'amendement qui sont plus ou moins équivalents. Enfin le scénario de mise en décharge avec ré-émission de tout le CO₂ stocké est le plus impactant.

6.6 Résultats pour le BLC

6.6.1 Résultats sur le cycle de vie du produit

Les résultats sont calculés selon la norme EN 15804 A1.

6.6.1.1. Analyse de gravité du scénario de ré-emploi de référence

La figure suivante présente les impacts du cycle de vie d'une poutre en BLC en considérant un scénario 100% ré-emploi. Certains indicateurs ne sont pas représentés afin de garder le schéma lisible.

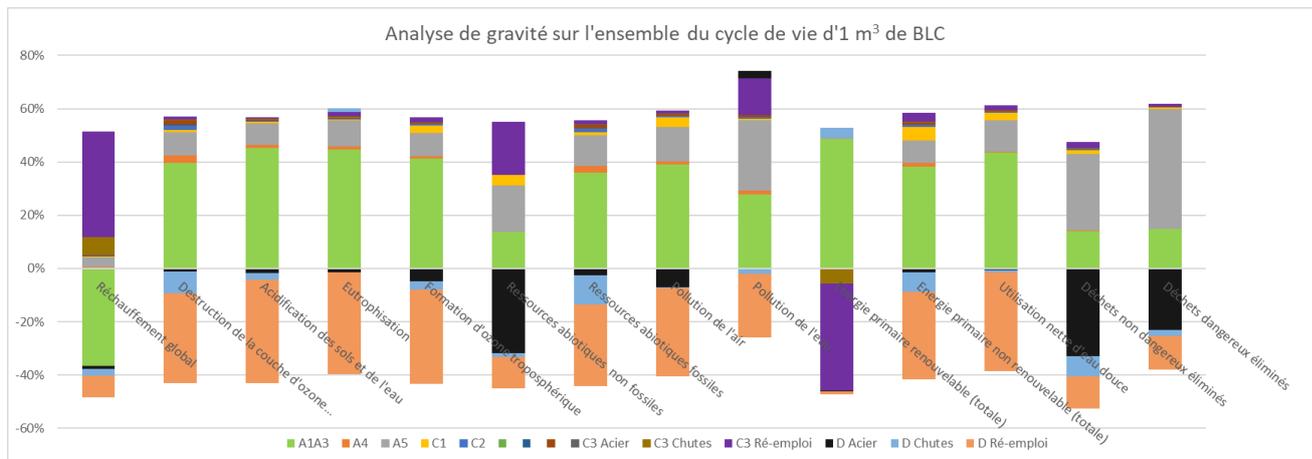


Figure 11 : Analyse de gravité sur le cycle de vie d'1 m³ de BLC avec un scénario 100% réemploi

Un focus est réalisé sur le changement climatique dans la figure suivante :

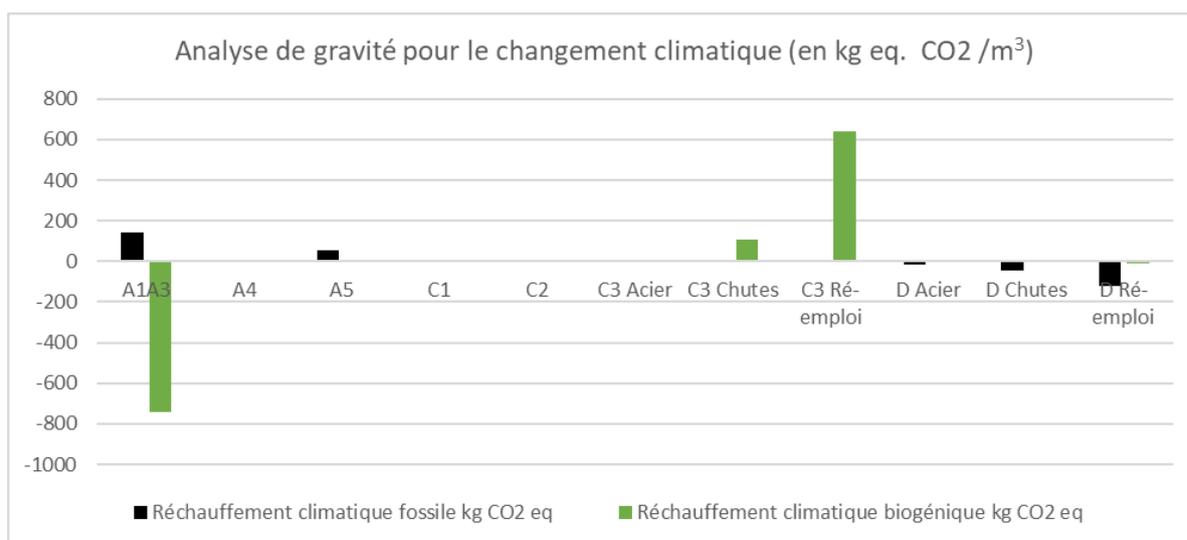


Figure 12 : Analyse de gravité sur le cycle de vie d'1 m² de BLC avec un scénario 100% réemploi – changement climatique

Comme pour le CLT, on peut constater que la prise en compte de la déconstruction (C1), du transport (C2) et du reconditionnement (C3) du produit ne remet pas en cause l'intérêt du réemploi pour la majorité des indicateurs. Contrairement au CLT, le scénario est également intéressant pour la formation d'ozone troposphérique et de pollution de l'air car le temps d'utilisation de la tronçonneuse en C1 est moins important. De la même manière, la dépose et le reconditionnement de la poutre utilisent moins d'électricité que le CLT ramené au m³ ce qui explique que l'indicateur de consommation d'eau est moins impactant pour ce produit. En revanche, comme pour le CLT, le retraitement du BLC augmente la valeur de l'utilisation de ressources abiotiques non fossiles du fait de la présence de brome dans le module de production du produit de préservation Ecoinvent utilisé (le brome n'est d'ailleurs pas forcément présent dans les produits réellement utilisés).

Focus sur le changement climatique :

Si l'on analyse la Figure 12, la captation et ré-emission de dioxyde de carbone biogénique sont d'un ordre de grandeur supérieur aux émissions de dioxyde de carbone fossile.

Pour le changement climatique fossile, les impacts générés par le réemploi et la valorisation des chutes (C1, C2 et C3) ne représentent que 9% des impacts évités (D). Si l'on ne tient pas compte de la valorisation des chutes (50% valorisation énergétique, 50% recyclage), les impacts générés propres au ré-emploi (transport, reconditionnement) représentent 12% des impacts évités (fabrication du BLC).

Comme pour le CLT, on peut constater que la neutralité carbone est respectée du fait de la réémission fictive associée au transfert de carbone biogénique vers le cycle de vie suivant.

6.6.1.2. Analyse de sensibilité sur le scénario de ré-emploi

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse de sensibilité réalisée en considérant les valeurs des paramètres décrites dans le Tableau 26. Les résultats présentés correspondent à la variation entre le total du cycle de vie (A-C) et le module D de la variante étudiée et le scénario de référence. Les variations de plus de 10% sont présentées en vert.

Conformément au cahier des charges, seuls les résultats sur le changement climatique sont analysés.

		BLC_Ref		BLC_ferrures		BLC_Distance_Recondi_Max		BLC_Appro_évité_Max		BLC_Rdt_Max		BLC_Rdt_Min		BLC_Pertes_Energie		BLC_Pertes_Recyclage		BLC_Coefficient		BLC_Ferrure_Sup		BLC_Pertes_PPE		BLC_Pertes_Gaz	
		AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D
Réchauffement global	kg CO2 eq	235,4	-191,6	21%	9%	6%	0%	0%	17%	1%	-9%	0%	2%	0%	10%	0%	-10%	0%	-14%	0%	-12%	0%	5%	0%	-4%
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC-11 eq	3,23 E-05	-2,52 E-05	10%	3%	8%	0%	0%	24%	0%	-5%	0%	1%	0%	9%	0%	-9%	0%	-16%	0%	-5%	0%	4%	0%	-1%
Acidification des sols et de l'eau	kg SO2 eq	1,725	-1,3173	10%	4%	2%	0%	0%	8%	0%	7%	0%	-2%	0%	2%	0%	-2%	0%	-18%	0%	-6%	0%	1%	0%	-9%
Eutrophisation	kg PO4--- eq	0,2865	-0,1874	10%	4%	1%	0%	0%	11%	0%	17%	0%	-3%	0%	-4%	0%	4%	0%	-20%	0%	-8%	0%	11%	0%	-3%
Formation d'ozone troposphérique	kg C2H4 eq	0,09284	-0,07131	15%	12%	2%	0%	0%	6%	0%	6%	0%	-1%	0%	2%	0%	-2%	0%	-16%	0%	-9%	0%	1%	0%	-9%
Ressources abiotiques non fossiles	kg Sb eq	4,72 E-04	-3,86 E-04	34%	75%	0%	0%	0%	0%	5%	1%	-1%	0%	0%	1%	0%	-1%	0%	-5%	0%	-40%	0%	2%	0%	-1%
Ressources abiotiques fossiles	MJ	3 233	-2 641	17%	6%	6%	0%	0%	19%	0%	-11%	0%	2%	0%	12%	0%	-12%	0%	-14%	0%	-10%	0%	5%	0%	0%
Pollution de l'air	m3	38 887	-26 933	20%	18%	3%	0%	0%	9%	0%	11%	0%	-2%	0%	-2%	0%	2%	0%	-16%	0%	-15%	0%	0%	0%	-10%
Pollution de l'eau	m3	170,0	-55,8	38%	-12%	2%	0%	0%	17%	3%	7%	-1%	-1%	0%	-1%	0%	1%	0%	-21%	0%	-52%	0%	3%	0%	-1%
Energie primaire renouvelable (totale)	MJ	509	356,4	12%	-4%	0%	0%	0%	0%	-25%	-134%	5%	28%	0%	101%	0%	-101%	0%	11%	0%	7%	0%	0%	0%	0%
Energie primaire non renouvelable (totale)	MJ	5 521	-3 993	12%	4%	4%	0%	0%	12%	1%	-4%	0%	1%	0%	8%	0%	-8%	0%	-16%	0%	-7%	0%	3%	0%	0%
Utilisation nette d'eau douce	m3	2,680	-1,6955	20%	2%	1%	0%	0%	3%	0%	12%	0%	-2%	0%	0%	0%	0%	0%	-19%	0%	-12%	0%	0%	0%	-1%
Déchets non dangereux éliminés	kg	15,390	-9,455	77%	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	-2%	0%	-7%	0%	-53%	0%	0%	0%	-5%
Déchets dangereux éliminés	kg	60,69	-67,14	65%	66%	0%	0%	0%	0%	1%	-9%	0%	2%	0%	7%	0%	-7%	0%	-5%	0%	-32%	0%	1%	0%	-13%

Tableau 29 : Analyse de sensibilité sur le cycle de vie d'1 m³ de BLC par rapport au scénario de ré-emploi de référence (BLC_Ref)

La figure suivante présente les résultats pour le changement climatique en valeur absolue.

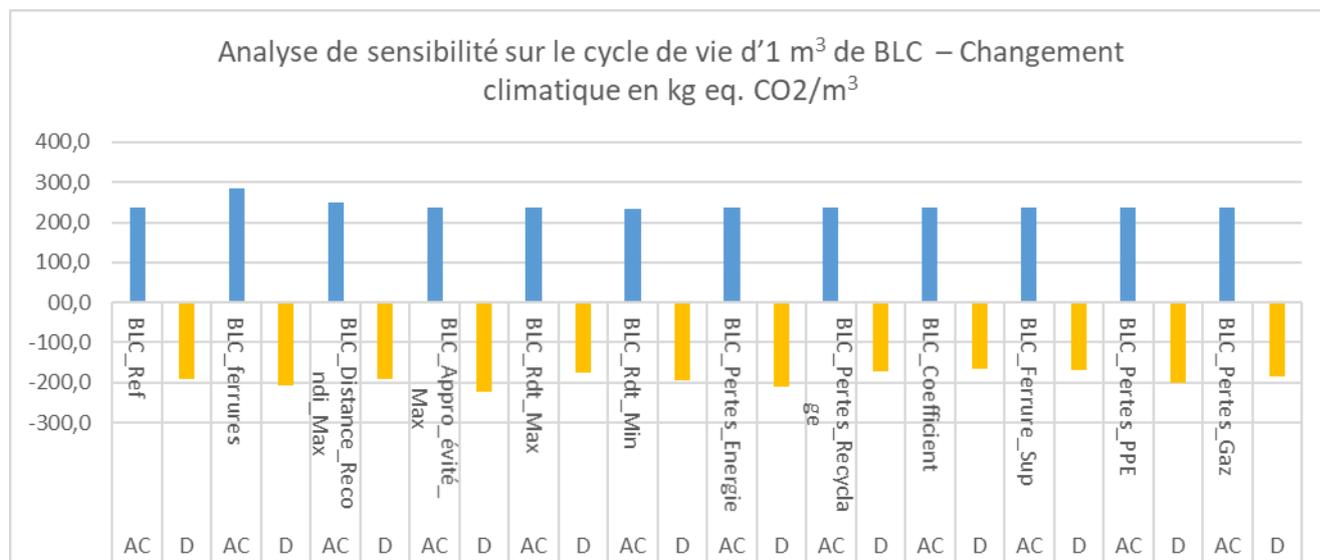


Figure 13 : Analyse de sensibilité sur le cycle de vie d'1 m³ de BLC par rapport au scénario de ré-emploi de référence (BLC_Ref) – changement climatique

Comme pour le CLT, on constate que les variations les plus importantes sont liées à la quantité et au devenir des pertes associées au ré-emploi, soit les analyses impliquant une variation du rendement ou une réorientation des pertes vers 100% de valorisation énergétique ou 100% de recyclage.

De la même manière que pour le CLT, la quantité de ferrure utilisée pour la mise en œuvre du BLC rend le scénario de ré-emploi moins performant du fait que les ferrures ont un impact de production important mais ne sont pas ré-employées. Elles sont recyclées mais le bénéfice associé ne compense pas la production. L'augmentation de la distance de reconditionnement n'a que peu d'impact sur les résultats. Par contre, le fait d'éviter une importation lointaine de BLC par le ré-emploi a un impact significatif.

L'introduction d'un coefficient de correction de valeur ou la nécessité d'utiliser plus de ferrures pour le BLC ré-employé diminue l'intérêt du ré-emploi. Enfin, les différents mix énergétiques étudiés substitués par la valorisation énergétique des pertes associées au reconditionnement n'occasionnent pas de variations significatives.

6.6.1.3. Comparaison de scénarios de fin de vie

Le total cycle de vie et le module D pour le cycle de de vie d'1 m³ de BLC sont présentés en considérant les scénarios de fin de vie suivants :

- BLC_Ref : scénario de ré-emploi de référence ;
- CODIFAB : scénario de fin de vie actuel des produits bois ;
- CODIFAB_Amendement : scénario actuel de fin de vie des produits bois mais en considérant l'hypothèse de l'amendement A2 de la norme EN 15804 qui considère que 100% du carbone biogénique mis en décharge est libéré ;
- 100% Recyclage : scénario qui considère que 100% des déchets bois sont envoyés en centre de tri puis en valorisation matière ;
- 100% Valorisation énergétique - mix fossile : scénario qui considère que 100% des déchets bois sont envoyés en centre de tri puis en valorisation énergétique avec une substitution d'un mix moyen fossile ;
- 100% Valorisation énergétique – gaz : scénario similaire au précédent mais en considérant que le déchet bois se substitue au gaz naturel, combustible de référence ;

- 100% Incinération : les déchets bois sont envoyés à 100% en UIOM ;
- 100% Mise en décharge : les déchets bois sont envoyés à 100% en centre de stockage. Le stockage définitif du carbone en décharge est pris en compte ;
- 100% Mise en décharge Amendement : les déchets bois sont envoyés à 100% en centre de stockage. Conformément à l'amendement A2 de la norme EN 15804, le stockage définitif du carbone en décharge n'est pas pris en compte.

Le tableau suivant présente les résultats :

		BLC_Ref		CODIFAB		CODIFAB Amendement		100% Recyclage		100% Valorisation énergétique - mix fossil		100% Valorisation énergétique - gaz		100% Incinération		100% Mise en décharge		100% Mise en décharge Amendement	
		AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D	AC	D
Réchauffement global	kg CO2 eq	235,4	-191,6	-41%	-24%	6%	-24%	-4%	-5%	-4%	139%	-4%	100%	-5%	-24%	-214%	-100%	57%	-100%
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC-11 eq	3,23 E-05	-2,52 E-05	-1%	-45%	-2%	-45%	-1%	-32%	-1%	99%	-1%	87%	-3%	-38%	0%	-100%	1%	-100%
Acidification des sols et de l'eau	kg SO2 eq	1,725	-1,3173	1%	-71%	-1%	-71%	1%	-66%	1%	-43%	1%	-137%	4%	-63%	-1%	-100%	-1%	-100%
Eutrophisation	kg PO4--- eq	0,2865	-0,1874	1%	-95%	-2%	-95%	0%	-97%	0%	-147%	0%	-179%	5%	-82%	-2%	-100%	-2%	-100%
Formation d'ozone troposphérique	kg C2H4 eq	0,09284	-0,07131	21%	-61%	9%	-61%	1%	-52%	1%	-31%	1%	-127%	4%	-60%	63%	-100%	71%	-100%
Ressources abiotiques non fossiles	kg Sb eq	4,72 E-04	-3,86 E-04	-38%	-33%	-39%	-33%	-35%	-12%	-35%	1%	-35%	-8%	-36%	-47%	-34%	-100%	-38%	-100%
Ressources abiotiques fossiles	MJ	3 233	-2 641	-2%	-23%	-3%	-23%	-2%	-4%	-2%	159%	-2%	158%	-3%	-19%	-3%	-100%	-3%	-100%
Pollution de l'air	m3	38 887	-26 933	16%	-68%	13%	-68%	5%	-61%	5%	-96%	5%	-200%	7%	-62%	12%	-100%	23%	-100%
Pollution de l'eau	m3	170,0	-55,8	-19%	-55%	-19%	-55%	-19%	-43%	-19%	-61%	-19%	-80%	-18%	-58%	-19%	-100%	-19%	-100%
Energie primaire renouvelable (totale)	MJ	509	356,4	595%	147%	595%	147%	182%	279%	182%	1679%	182%	1684%	1441%	-143%	1441%	-100%	1439%	-100%
Energie primaire non renouvelable (totale)	MJ	5 521	-3 993	-9%	-34%	-10%	-34%	-6%	-29%	-6%	83%	-6%	82%	-6%	10%	-6%	-100%	-9%	-100%
Utilisation nette d'eau douce	m3	2,680	-1,6955	-1%	-85%	-6%	-85%	-1%	-88%	-1%	-81%	-1%	-86%	15%	-56%	-4%	-100%	-6%	-100%
Déchets non dangereux éliminés	kg	15,390	-9,455	14%	-41%	-2%	-41%	2%	-17%	2%	13%	2%	-39%	83%	-76%	-2%	-100%	-3%	-100%
Déchets dangereux éliminés	kg	60,69	-67,14	132%	-13%	-6%	-13%	-4%	16%	-4%	108%	-4%	-27%	-6%	-44%	810%	-100%	808%	-100%

Tableau 30 : Comparaison de scénario de fin de vie sur pour 1 m³ de BLC

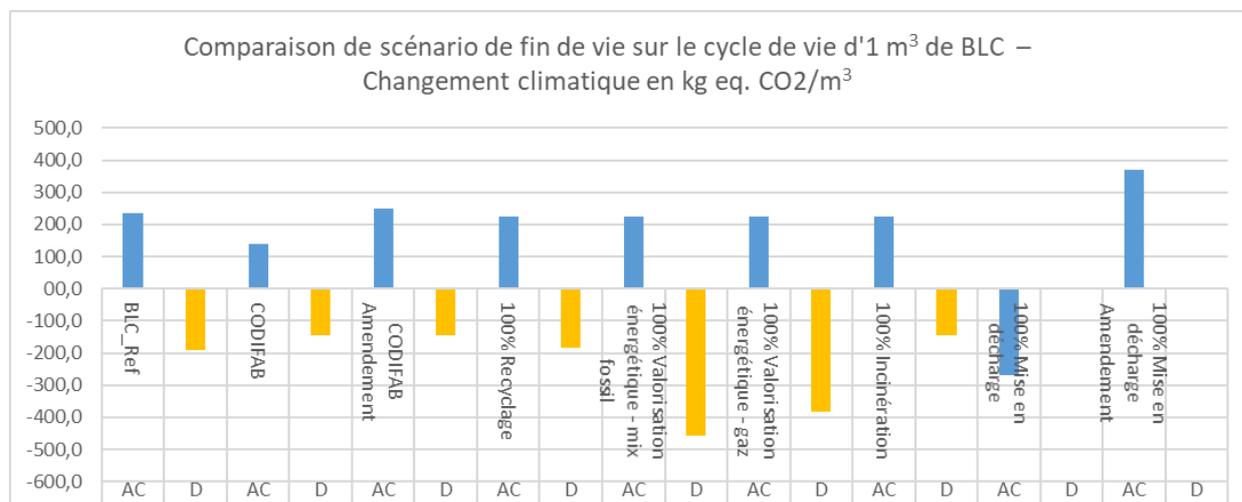


Figure 14 : Comparaison de scénarios de fin de vie au niveau produit pour le BLC – changement climatique

Comme pour le CLT, on peut constater que le scénario le plus impactant pour le total cycle de vie est le scénario « 100% mise en décharge amendement » du fait de la ré-émission de l'intégralité du dioxyde de carbone contenu dans le bois conformément à l'amendement A2 de la norme EN 15804 et des émissions de méthane fugitives. Le scénario le moins impactant est la mise en décharge avec prise en compte du stockage définitif. Le scénario CODIFAB actuel est peu impactant du fait de la mise en décharge d'une partie du tonnage avec stockage de carbone définitif. Les autres scénarios sont comparables car les émissions de CO₂ fossiles sont peu différentes d'un scénario à l'autre et que le changement climatique biogénique est nul sur le total cycle de vie.

De la même manière que pour le CLT, concernant le module D, le scénario le plus intéressant est le scénario introduisant 100% de valorisation énergétique.

Le scénario de ré-emploi est plus intéressant que le scénario de recyclage.

Au niveau bâtiment, la figure suivante présente les résultats pour le calcul d'I_c Construction. Pour rappel, cet indicateur se calcule en pondérant l'indicateur de changement climatique des différents modules de la FDES par les coefficients d'ACV dynamique présents dans (JORF 2021)⁶.

⁶ Aucun impact n'est associé ici au module B, soit l'étape d'utilisation, car elle est nulle dans le cas du CLT et du BLC. Le calcul effectué pour l'ACV dynamique correspond donc dans ce cas précis à :

$$\text{Module A} + 0,58 \text{ Module C} + 0,58 * \text{Module D}$$

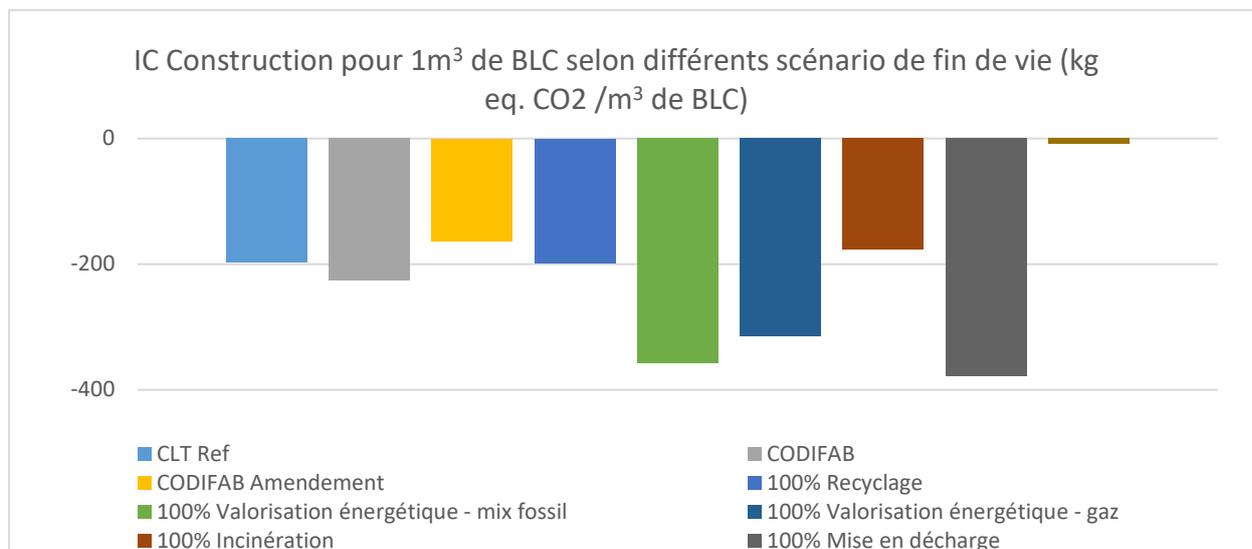


Figure 15 : I_C Construction d'un m³ de BLC pour différents scénarios de fin de vie

Comme pour le CLT, le scénario le plus favorable est le scénario où l'on considère qu'il y a peu ou pas de ré-émission du carbone biogénique, soit le scénario de mise en décharge avec prise en compte du stockage définitif. Les scénarios de valorisation énergétique sont plus intéressants que les scénarios de recyclage, de ré-emploi et d'incinération ainsi que le scénario du CODIFAB actuel et conforme à l'amendement qui sont plus ou moins équivalents. Enfin le scénario de mise en décharge avec ré-émission de tout le CO₂ stocké est le plus impactant.

7. Faisabilité du développement de la ré-utilisation et du ré-emploi

Cette section du rapport aborde les conditions nécessaires à la poursuite du développement du ré-emploi mais aussi les barrières qu'il faudra lever pour accélérer ce développement.

7.1 Traçabilité

Les panneaux CLT devraient garantir l'origine et la méthode de production du CLT. Dès le départ d'usine, les informations suivantes devraient être présentes et fournies avec les panneaux CLT neufs :

- Numéro de la norme de référence ;
- Logo ou non du fabricant ;
- Référence du produit ;
- Caractéristiques mécaniques et de calcul ;
- Date de fabrication ou code de traçabilité ;
- Type et famille d'adhésif ;
- Indication sur le traitement contre les attaques biologiques.

Les fabricants disposent de ces informations par archivage informatique ou papier sur les commandes sortantes pendant 7 à 10 ans minimum. Les moyens d'identifications des produits sont disponibles sur les produits pour remonter jusqu'au fabricant.

Les formes affichées sur le produit peuvent être :

- Numéro de CE ;
- Etiquette avec le numéro de production.

Aujourd'hui, la durée de vie de ces formes d'identification chez le fabricant n'est pas compatible avec une durée de vie du bâtiment de 50 ans. Le moyen le plus simple est de transmettre l'ensemble des plans au maître d'ouvrage pour archivage. On peut noter que si le produit est ré-employé/réutilisé, il faudra conserver l'information 50 ans pour sa première durée de vie et 50 ans pour sa seconde si l'on considère que la durée de vie du bâtiment est de 50 ans.

Le manque de traçabilité de l'information concernant les produits mis en œuvre et la vie en œuvre dans le bâtiment constitue un frein au ré-emploi. Cette barrière au ré-emploi pourra être levée grâce à l'utilisation de la maquette numérique du bâtiment, BIM, qui permettra de suivre le bâtiment de sa construction à sa démolition.

7.2 Diagnostic des produits

Un diagnostic du produit est nécessaire afin d'évaluer si le produit est ré-utilisable/ ré-employable ou non. Dans les échanges avec les professionnels de la construction Bois, si le diagnostic révèle des développements fongiques ou des attaques de termites, les fabricants ne peuvent pas réemployer les panneaux CLT.

Si ce sont juste des dégradations superficielles, ils vont procéder à une remise en état par rabotage.

Si le diagnostic soupçonne une attaque d'insectes xylophages, ils vont procéder un traitement thermique avant toute reprise.

Les entreprises ont fourni des règles d'évaluation du potentiel de ré-emploi prenant en compte les dimensions des appuis et des assemblages pratiqués par les fabricants ainsi que les dimensions ré-employables dans une nouvelle conception notamment pour des raisons économiques. Ainsi la longueur minimum d'un CLT réemployé en plancher est de 3 m, la hauteur récupérable de mur est de 2,50 m.

7.3 Critères de développement de la ré-utilisation et du ré-emploi

Dans le cadre d'un réemploi, les fabricants sont en demande une méthode de caractérisation des panneaux massifs pour que les propriétés mécaniques résiduelles du produit réemployé soient parfaitement établies. Ce travail ne rentre pas dans le cadre de ce document mais pourrait faire l'objet d'une étude spécifique avec des justificatifs venant de retour de chantiers, d'expertise ou d'essais.

7.4 Barrières au réemploi

Cette étude a été menée en collaboration avec l'Union des Industriels et Constructeurs Bois (UICB). Les avis des professionnels sur le réemploi sont plutôt optimistes. Les barrières les plus contraignantes relevés dans nos échanges sont :

- L'absence de réglementation qui cadre le réemploi de panneaux massifs limite la reconnaissance des produits réemployés ;
- L'assurabilité des produits : ces produits sont considérés par défauts comme produits non courants ;
- Le manque de justifications techniques pour afficher une performance résiduelle en concurrence aux produits neufs ;
- Les étapes du réemploi et le coût de fabrication : récupération, remise en état et caractérisation et réemploi pourraient induire un coût élevé par rapport à du bois neuf ;
- Il serait très difficile de procéder à une valorisation des lames de bois constituant le CLT ou le BLC. En effet le collage n'est pas prévu pour se décoller et l'usinage/découpe au niveau de ces plans de colle est un travail compliqué.

8. Exemples de chantiers intégrant du réemploi et de la réutilisation

Cette section du rapport présente 8 fiches illustrant des exemples de réemploi ou de réutilisation de produits de construction.

Le réemploi et la réutilisation des produits de construction appartenait jusqu'alors à l'économie informelle. Dans l'étude GDBAT, ces quantités sont évaluées de 2,5% des tonnages de déchets bois produits par le secteur du bâtiment.

D'un point de vue réglementaire, le vote de la loi AGECE en 2020 renforce la hiérarchie des modes de traitement et la priorité à accorder au réemploi. Ainsi le diagnostic PEMD (Produits, Equipements, Matériaux, Déchets) intègre une estimation des quantités et de l'état de conservation des produits, matériaux et équipements pouvant être réemployés ainsi que des indications sur les possibilités de réemploi notamment locales et les contraintes techniques attachées à ces filières.

Cette loi et l'intérêt porté à l'économie circulaire depuis quelques années ont permis l'émergence de nombreuses initiatives afin d'augmenter la part du réemploi et de la réutilisation.

Des entreprises de la filière bois ont innové en termes de réemploi/réutilisation. Ainsi, LIGNATEC/KLH a fourni à l'entreprise de charpente Goudalle des panneaux de CLT issus de la déconstruction de structures temporaires (voir Fiches N°3 et N°4) pour construire des maisons. On peut noter que le réemploi du matériau bois n'est pas récent comme le montre la Fiche N°1.

Des plateformes web marchandes ou non de produits à ré-employer ou réutiliser se sont développées. On peut citer Cycle-up ou Backacia comme market place digitales. Ces plateformes virtuelles sont parfois associées à une plateforme physique permettant de stocker les produits voire de les inspecter, les tester voire les remettre en état comme l'entreprise Mobius ou le négoce Recyc'éco.

Un exemple de chantier ayant permis la fourniture de matériau à une plateforme est présenté dans la Fiche N°2.

Une plateforme collaborative DÉMOCLÈS d'acteurs a été lancée fin 2014 à l'initiative de l'éco-organisme Ecosystem visant à améliorer la gestion des déchets du second œuvre via notamment le réemploi et la réutilisation. Des groupes d'architectes et des cabinets d'ingénierie comme Bellastock ou R-Use se sont constitués pour favoriser ces pratiques dans les projets de leurs clients. Des associations intégrant l'ensemble des acteurs de la construction ont été aussi créées telle que le « Booster du réemploi ». Ces groupements ont parfois été constitués à l'issue de projets de recherche.

Ainsi, des méthodes, des fiches et des nomenclatures ont été produites afin de permettre un échange d'information entre le détenteur du produit et son futur utilisateur. En effet, sauf pour des éléments standards, il est difficile de concevoir un bâtiment utilisant des produits issus du réemploi sans connaître les éléments qui seront disponibles.

La Fiche N°8 illustre ce principe d'anticipation de la conception d'un bâtiment en se basant sur les produits à réemployer.

Enfin, des structures temporaires de plus en plus importantes ont été conçues par la filière intégrant dès leur conception leur réemploi futur (voir Fiche N°5, N°6, N°7).

n°1

CLT

Ecole de Villejuif (1956)

Entreprise ayant produit le panneau: Rousseau, architecte Jean Prouvé

Entreprise ayant assuré la déconstruction:

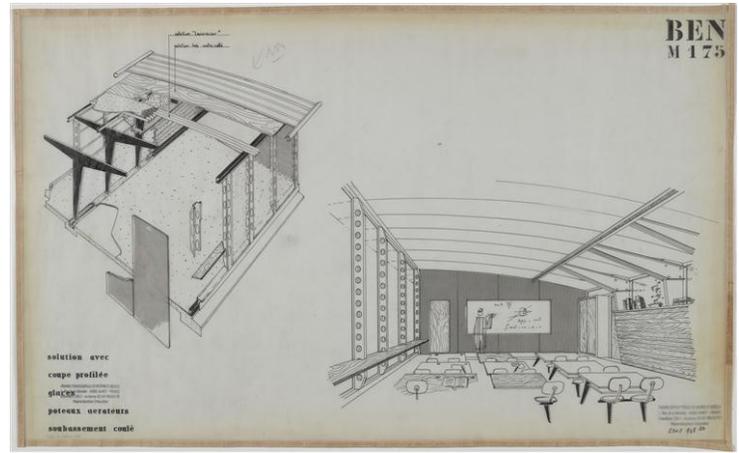
Usage initial : Ecole

Nouvel usage: Bâtiment de bureau, chapelle

Année de construction : 1957

Année de déconstruction: 1967

Surface de plancher: module de 100 m², panneau de support de toiture



Source: ADAGP, Blog La charmante

Déconstruction :

- La structure est métallique avec des panneaux Rousseau, ancêtre du CLT, comme support de toiture.

Transport/ stockage:

Réutilisation/ Ré-emploi:

- La structure est entièrement pensée pour être nomade et donc facilement démontable et remontable.
- Trois structures similaires ont été construites. L'une a été transformée en bureaux, une autre en élément de chapelle puis en objet d'art faisant l'objet d'une vente aux enchères.

Documents complémentaires



Source: Centre Pompidou

Patinoire de La Garde (83)

Entreprise ayant produit le BLC: inconnu

Entreprise ayant assuré la déconstruction: Toitures Montiliennes

Usage initial : Charpente d'une patinoire

Nouvel usage: Usage structurel chez des agriculteurs et des particuliers

Année de construction : 1970

Année de déconstruction: 2019

Surface plancher : >4000 m² - 300 m³ de BLC



Source: Var-Matin

Déconstruction :

- Mise en place des tours d'étaie pour la dépose puis pour la pose étant donné la portée des poutres (50 m),
- Tronçonnage des pannes à bord d'une nacelle,
- Dépose des pannes à l'aide d'une grue,
- Démontage et dépose des arbalétriers.
- La déconstruction a été assurée par <https://www.toitures-montiliennes.fr>.

Transport/ stockage:

- Le transport a été assuré entre La Garde et Montelimar par la société <http://www.recyc-eco.fr> qui a récupéré les poutres et les a revendues via sa plateforme de dépôt vente.

Réutilisation/ Ré-emploi:

- Le devenir des poutres est leur réutilisation en structure chez les particuliers ou chez les agriculteurs après un sciage/ rabotage. On peut parler de ré-emploi car il s'agit bien du même usage mais dans des conditions moins contraintes.

Documents complémentaires



Source: Var-Matin



Source: Site internet de Recyc-Eco (exemple d'arrivage)

n°3

CLT

Plancher de la plateforme du Panthéon (75)

Entreprise ayant produit les panneaux: KLH
Entreprise en charge de la déconstruction: LIGNATEC

Usage initial : Plateforme de chantier

Nouvel usage: Mur d'une maison individuelle

Année de construction : 2013

Année de déconstruction: 2016

Surface plancher potentiellement réutilisable: 266 m²



Source: LIGNATEC

Déconstruction :

- Relevé et listing des panneaux,
- Déconstruction.

Transport/ stockage:

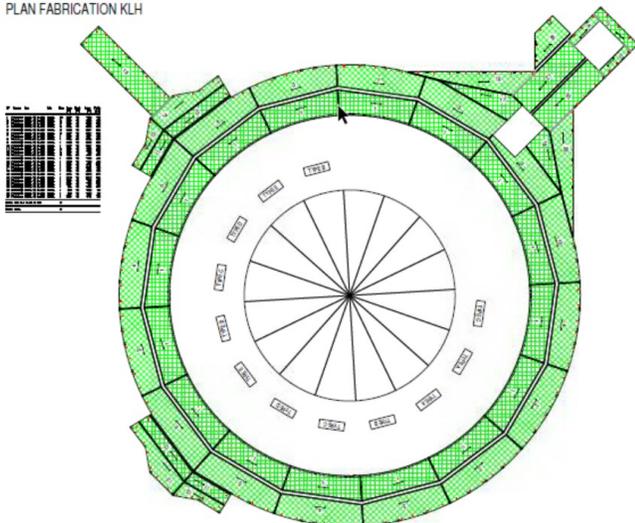
- Les panneaux ont été transportés depuis Paris jusqu'à l'atelier de Goudalle Charpente à Preures dans les Hauts de France qui a ré-employé le CLT fabriqué par LIGNATEC

Réutilisation/ Ré-emploi:

- 227 m² de panneaux réutilisés en mur, pour 266 m² brut de panneaux réutilisables,
- Calepinage et modification du 3D pour réutiliser un maximum de panneaux,
- Inspection avant taille et découpe à la machine numérique,
- Pas de ponçage et autres car les panneaux ne sont pas visibles
- Découpe à la machine numérique ce coup-ci, pas trop de clous ni vis, et inspection des panneaux avant taille.

Documents complémentaires

PLAN FABRICATION KLH



Source: Plan de la plateforme, LIGNATEC

Jardins suspendus (75)

Entreprise ayant produit les panneaux: KLH
Entreprise en charge de la déconstruction: LI-GNATEC

Usage initial : Support de jardin suspendu

Nouvel usage: Mur d'une maison individuelle

Année de construction : 2016

Année de déconstruction: 2017

Surface potentiellement réutilisable: 430 m² de plancher et 150 m² de support de toiture



Source: LIGNATEC

Déconstruction :

- Relevé et listing des panneaux,
- Déconstruction.

Transport/ stockage:

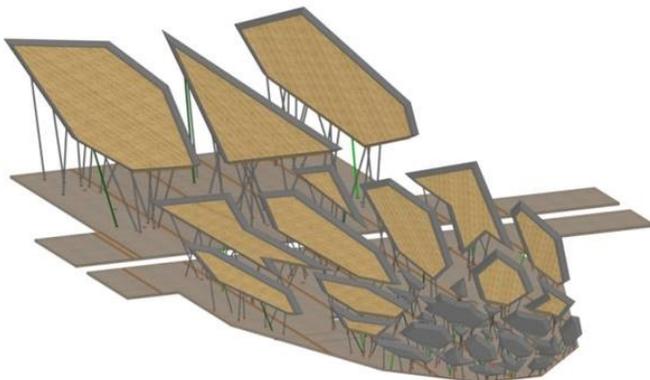
- Livraison directement sur le chantier de construction de la maison individuelle.

Réutilisation/ Ré-emploi:

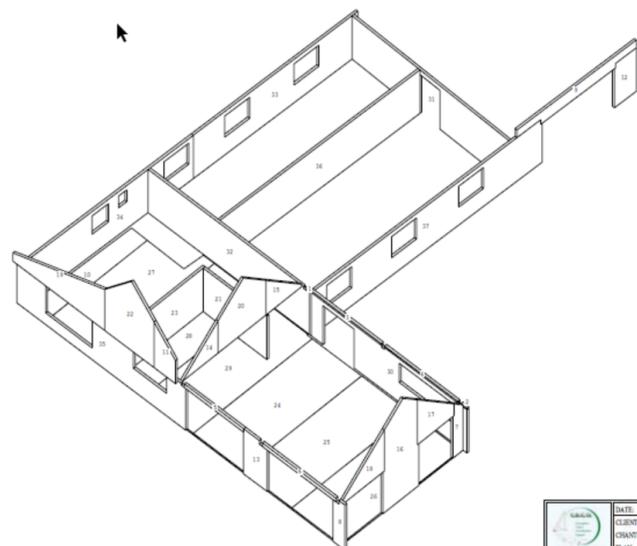
- Seuls les planchers ont été réutilisés
- Re-calepinage des panneaux en fonction du listing panneau après relevé,
- Découpe de l'ensemble des panneaux à la scie circulaire à main (pas de passage en machine numérique à cause des clous ou vis présents dans les panneaux),
- Ponçage de quelques panneaux pour les laisser apparents (très peu), majoritairement les panneaux sont doublés, L'ensemble des travaux avait été fait chez le client final (car pas de passage à la numérique).

Documents complémentaires

MANQUE 9 et 10



Source: éléments du jardin, LIGNATEC, KLH



Source: Plan de la maison, Goudalle Charpente

Théâtre éphémère (75)

Entreprise ayant produit les panneaux: KLH
Entreprise en charge de la déconstruction: CE-NOMANE/AMB
Usage initial : Théâtre
Nouvel usage: Théâtre/opéra à Genève
Année de construction : 2011
Année de déconstruction: 2015
Surface du bâtiment: 1200 m² et 980 m³ de bois (CLT, BLC)



Source: CENOMANE

Déconstruction :

- La déconstruction a été assurée par Charpente Cenomane.

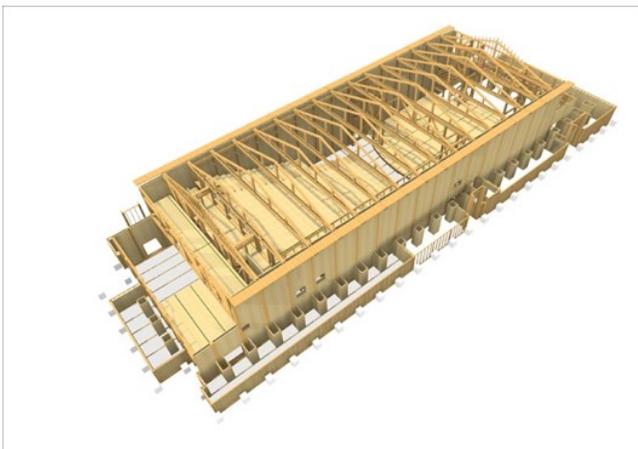
Transport/ stockage:

- Les panneaux ont été transportés depuis Paris à Genève.

Réutilisation/ Ré-emploi:

- Le théâtre a été agrandi pour pouvoir accueillir plus de spectateurs passant de 700 à 1100 personnes.
- Il a été placé sur un plancher bois posé sur des pieux et une fosse d'orchestre a été ajoutée,
- Il était envisagé de pérenniser ce théâtre car il était très apprécié. Cependant il avait été acquis très vite par une société qui devait le transporter et le ré-employer en Chine. Le théâtre a été démonté mais un différent oppose Genève à l'acquéreur.

Documents complémentaires



Source: Théâtre éphémère, Paris, CE-NOMANE



Source: Opéra des Nations, Genève, Charpente Concept

Grand Palais Ephémère (75)

Entreprise ayant produit les poutres: MATHIS, architecte WILMOTTE

Entreprise en charge de la déconstruction:

Usage initial : Lieu d'exposition puis DOJO

Nouvel usage: à déterminer

Année de construction : 2020

Année de déconstruction: 2024

Surface du bâtiment: 10000 m² et 1500 m³ de bois



Source: RMN

Déconstruction :

- La déconstruction sera réalisée en 2024 après les Jeux Olympiques lors desquels le Grand Palais éphémère sera utilisé pour les épreuves de judo.

Transport/ stockage:

Réutilisation/ Ré-emploi:

- Le contrat de concession remporté par GL Events intègre le rachat de la structure en vue de réemploi.
- La structure modulaire permet des usages successifs différents du bâtiment. Il peut être remonté tel quel ou soit en 3 ou 4 petits bâtiments.
- La durée de vie du bâtiment est celle d'une structure pérenne.

Documents complémentaires



Source: Utilisation en dojo, Le Parisien



Source: Utilisation en parc des expositions, Le Parisien

Village Olympique (Italie)

Entreprise ayant produit les modules : KLH

Entreprise en charge de la déconstruction:

Usage initial : logement collectif

Nouvel usage: hôtel pour une part, base chantier

Année de construction : 2005

Année de déconstruction: ?

Surface du bâtiment: 350 modules



Source: KLH

Déconstruction :

- La déconstruction a été assurée par KLH qui par contrat devait récupérer les modules utilisés pour les jeux de Turin.

Transport/ stockage:

Réutilisation/ Ré-emploi:

- KLH est parvenu à revendre/ ré-employer pour son usage propre les 350 modules.
- Les modules utilisés pour des hôtels ont été ré-employés sans aucune modification.

Documents complémentaires

Académie Fratellini (93)

Entreprise ayant produit le BLC: CMBP

Entreprise ayant assuré la déconstruction: non encore effective

Usage initial : Charpente et ossature bois

Nouvel usage: Charpente, ossature, brise-soleil

Année de construction : 2000

Année de rénovation extension : 2024

Surface plancher : 5500 m² pour 950 m³ de bois



Source: Atelier du Pont Architectes

Déconstruction :

- Un diagnostic ressource détaillé a été établi par Bellastock permettant d'identifier très en amont de l'opération de rénovation/extension les matériaux et produits pouvant être réemployés
- Grâce au DOE d'origine, l'ensemble des solives, poutres, traverses, escaliers, poteaux et contreventements, leur classification (GL, C) et leur stabilité au feu ont été répertoriés.

Transport/ stockage:

- Le réemploi et la réutilisation sur site seront privilégiés.

Réutilisation/ Ré-emploi:

- Au maximum, les produits seront réemployés (en charpente ou en ossature primaire ou secondaire) ou réutilisés sur place (brise soleil, bardage, mobilier).

Documents complémentaires



Source: Bellastock

9. Scénario de maintien de la structure (ré-emploi in situ)

Ce chapitre s'attache à évaluer la probabilité d'un maintien de la structure in-situ au-delà de la durée de vie conventionnelle du bâtiment de 50 ans. On fait d'abord le constat que les logements, particulièrement en centre-ville, ont une durée de vie qui dépasse 50 ans. On s'attache ensuite à montrer que les structures bois ont une durée de vie qui est supérieure à 50 ans. Une partie des éléments présentés dans cette section proviennent de l'étude (FCBA et CODIFAB 2022).

9.1 Durée de vie des logements en France

Il n'est pas possible d'évaluer la durée de vie de l'ensemble des bâtiments en France étant donné les statistiques disponibles. Une série longue est disponible et concerne l'enquête logement de l'INSEE.

Ainsi, on peut constater qu'en France, la durée de vie des logements est importante comme le montre la durée de vie constatée des résidences principales dans les enquêtes Logement de l'INSEE.

	1962	1968	1975	1982	1990	1999	2013
Avant 1949	12 075 441	11 146 956	9 773 380	8 647 796	7 962 032	7 816 736	7 428 846
1949 ou après	2 489 728	4 615 552	7 971 605	10 941 128	13 580 120	15 991 336	20 630 949

Tableau 31 : Date de construction des résidences principales en France (source : INSEE enquêtes Logement)

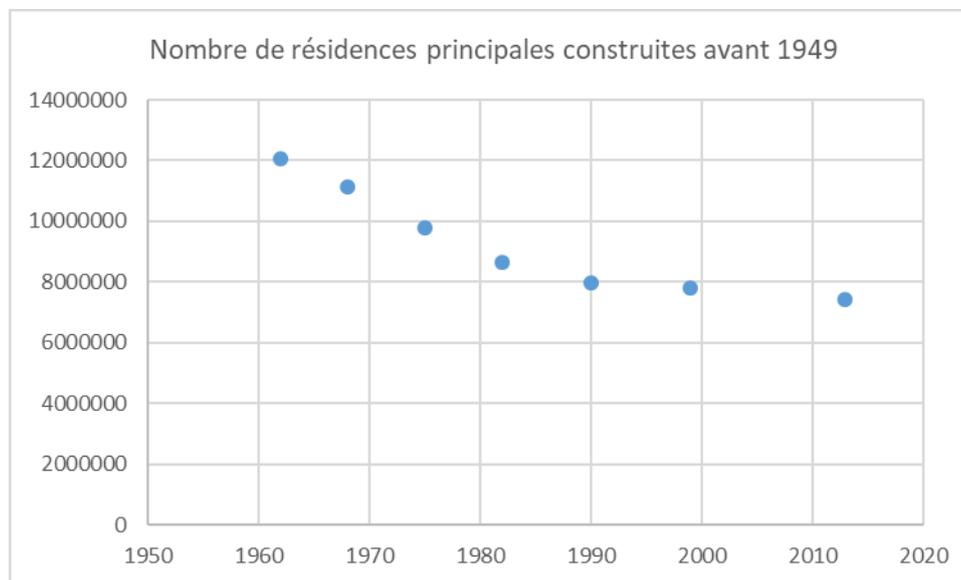


Figure 16 : Nombre de résidences principales construites avant 1949 et toujours en fonction (source : INSEE enquêtes Logement)

La Figure 16 présente le nombre de résidences construites avant 1949 et toujours en fonction. Si l'on approxime cette courbe par une exponentielle décroissante, on peut en déduire une demi-vie (durée à partir de laquelle 50% du stock de résidence a été démoli) et ainsi une durée de vie moyenne.

L'équation de la courbe exponentielle se rapprochant le plus de la courbe ci-dessus est la suivante⁷ :

$$\lambda(t) = \lambda^0 \cdot \exp(-k \cdot (t - 1946)) = 13045 \cdot \exp(-0.0085 \cdot (t - 1946))$$

La durée de vie moyenne se calcule ainsi :

$$D_{moy} = 1 / \lambda^0 \int_0^{\infty} \lambda(t) dt$$

Équation 1 : Calcul de la durée de vie moyenne

La durée de vie moyenne d'une résidence que l'on peut calculer à partir de cette équation est de $1/0,0085 = 117$ ans à partir de 1946 sachant que la plupart des bâtiments ont été en fait construits avant 1919.

Si l'on regarde les logements construits entre 1949 et 1974, soit des logements dont le système constructif est plus proche des bâtiments construits actuellement, on peut observer la courbe suivante :

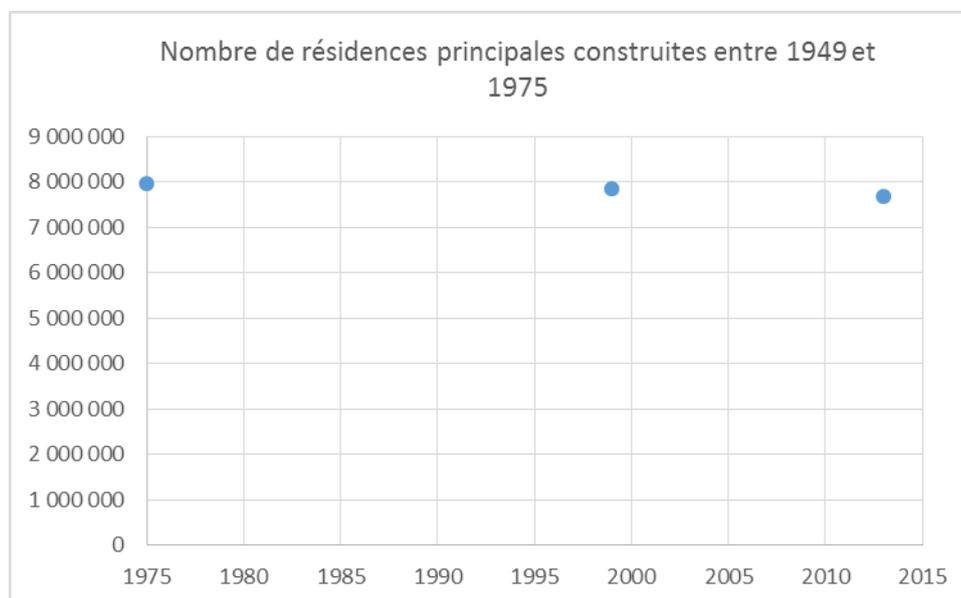


Figure 17 : Nombre de résidences principales encore en fonction construites entre 1949 et 1975 (source : INSEE enquêtes Logement)

Le taux de résidences détruites entre 1975 est de 1,4% entre 1975 et 1999 et 2,3% entre 1999 et 2013. Si la démolition des résidences se poursuit au rythme de 2,3% sur 14 ans, la durée de vie moyenne des bâtiments sera de plus de 100 ans. En effet, si l'on approxime la courbe de la Figure 17 par une droite de pente 2,3%/14 et que l'on utilise l'Équation 1, on obtient une durée de vie moyenne de $\frac{1}{2} \cdot 14 / 2,3\% = 300$ ans, soit plus de 100 ans.

9.2 Durée de vie des structures bois

Une revue bibliographique a été réalisée par FCBA pour le CODIFAB pour estimer la durée de vie de référence d'un produit de structure bois. Ainsi, les durées de vie de référence considérées dans les Déclarations Environnementales de Produits (ou FDES en France) réalisées en Europe donnent des durées de vie au moins supérieures à celle du bâtiment (plus de 60 ans au Royaume-Uni, 100 ans en France et en Allemagne). Dans les bases de données élaborées par les auditeurs

⁷ Equation obtenue à l'aide d'Excel ce qui explique que le t de départ ne soit pas 1950 mais une date approchée

de bâtiment « chartered surveyors » sur la base d'interviews le plus souvent, et dans les bases de données publiées par les assureurs, les produits de structure bois ont une durée de vie au moins supérieure à celle du bâtiment et équivalentes aux autres matériaux de structure.

Une étude réalisée aux Etats-Unis, pays où la construction bois est très développée sur la démolition de 227 bâtiments (O'Connor, 2004) a montré que l'âge d'un bâtiment au moment de sa démolition est peu corrélé avec une éventuelle défaillance de la structure: seuls 8 bâtiments (3,5%) étaient concernés quelle que soit le type de structure. Les bâtiments bois étudiés ont montré une durée de vie effective plus longue que les bâtiments en brique ou en béton : une grande partie ont été démolis après 75 à 100 ans, alors qu'environ 60% des bâtiments à structure béton et 80% des structures acier ont été démolis avant 50 ans. Enfin, il existe des bases de données recensant l'âge du bois utilisé dans des bâtiments anciens (Dendrotech) et qui font état d'éléments de bâtiments datant de plusieurs siècles.

Peu d'études existent sur l'application de la méthode des facteurs pour calculer la durée de vie estimée d'une structure bois. L'étude du VTT « 100 years's service life of wood in service class 1 and 2 – dry and moderately humid condition », 2014 montre que les facteurs les plus importants sont la conception du bâtiment, sa construction et la maintenance. Une durée de vie de service de 100 ans est ainsi parfaitement envisageable, en particulier s'il est prêté attention aux éléments suivants : matériau bois sec et marqué CE, conception évitant les dysfonctionnements et protégeant la structure des intempéries, anticipation de l'effet des charges pour des durées de service plus longues, bonnes conditions pour les matériaux pendant la durée de service (ventilation, protection, séchage en cas d'incident).

9.3 Référentiel ACV

Les FDES de produits de structure mentionnent tous une durée de vie de 100 ans (béton prêt à l'emploi, produits béton industriels, acier, brique, bois). Cependant, dans l'état actuel de la normalisation (EN15978 2012 et EN 15804 2019), le bâtiment est considéré comme démolé au bout de la période de référence pour le calcul et le produit lui-même est considéré comme déposé.

Comme déjà abordé dans la section 6.1.2, la version actuellement en discussion de la norme EN 15978 ajoute un scénario de maintien de la structure qui fait porter l'intégralité de la fabrication de la structure sur le premier cycle de vie mais comptabilise l'économie de fabrication pour le second bâtiment dans le module D du premier bâtiment.

Ainsi, en plus du scénario obligatoire qui considère que le bâtiment est détruit au bout de la période de référence pour le calcul, il est maintenant possible de retenir un scénario dans lequel la structure est conservée et seul le second œuvre est renouvelé.

9.4 Scénario de maintien des structures bois

Il est possible d'évaluer la durée de vie en fonction de différents paramètres grâce à la série de normes ISO 15686 qui définit une durée de vie de référence associée à un scénario d'utilisation du produit. Il est ensuite possible de calculer une durée de vie estimée pour d'autres scénarios d'utilisation avec des valeurs de paramètres différentes.

L'ISO 15686-8 (2008) « Bâtiments et biens immobiliers construits - Conception prenant en compte la durée de vie - Partie 8 : Durée de vie documentée et estimation de la durée de vie » fournit un guide applicable aux données documentées et mode de détermination de la durée de vie estimée, par l'application de la méthode factorielle. Cette méthode est un moyen de tenir compte conjointement des agents de dégradation et des conditions susceptibles d'affecter la durée de vie. Elle intègre sept facteurs et niveaux de facteurs présentés dans le tableau ci-après.

Facteur	Catégorie de facteur
A	Niveau de performances inhérentes
B	Niveau de conception
C	Niveau d'exécution des travaux
D	Environnement intérieur
E	Environnement extérieur
F	Conditions d'usage
G	Niveau d'entretien

Tableau 32 : Facteurs et catégories de facteurs de la méthode factorielle

Ces catégories peuvent être prises en compte par des facteurs multiplicatifs, une fonction ou encore une combinaison de ces deux méthodes :

$$tESL = tRSL \times fA \times fB \times fC \times fD \times fE \times fF \times fG$$

Les paramètres influençant la durée de service identifiés sont les qualités intrinsèques du matériau (essence du bois, perméabilité à l'eau, durabilité face aux risques fongiques et termites), la conception du bâtiment (éviter des pièges à humidité), la qualité d'exécution (respect des DTU), l'environnement intérieur (classe de service), l'environnement extérieur (zone climatique, sismique, à risque termites) ainsi que le bon entretien.

Suite à ce travail d'identification réalisé au cours de l'étude (FCBA et CODIFAB 2022), une grille de facteurs permettant de calculer la durée de vie estimée à partir de la durée de vie de référence a été élaborée avec une proposition de coefficients. Ces facteurs constituent une première approche de l'utilisation de la norme 15686 pour justifier de la durée de vie des bâtiments.

Ces facteurs sont triés selon les catégories A à G définies dans la NF EN 15 686.

Les coefficients associés à ces facteurs sont également présentés dans le tableau suivant. Ils proviennent d'une réunion du comité de pilotage de l'étude réunissant la FFB, la CAPEB, l'UICB, un expert durabilité et un expert construction bois de FCBA.

Facteur	Critère	Coefficients			Référentiel
		Coef. Mini	Coef. Maxi	Commentaires	
A – Durabilité des composants	1 Durabilité de l'essence vis-à-vis des insectes XL	1	1,2	Si durabilité naturelle de l'essence résistante : 1,2 Si traitement : 1 (Affiner selon certification des produits / stations de traitement...) Si pas durable 0,8	FD P 20-651

Facteur	Critère	Coefficients			Référentiel	
		Coef. Mini	Coef. Maxi	Commentaires		
	2	Durabilité de l'essence vis-à-vis des Termites	1	1,2	Si durabilité naturelle de l'essence résistante 1,2 Si traitement 1 (Affiner selon certification des produits / stations de traitement...)	FD P 20-651
	3	Durabilité de l'essence vis-à-vis des risques fongiques	1	1	Classe de service 1 ou 2 donc pas de risque de développement fongique Prise en compte du risque sur le respect de la conception (B), de la mise en œuvre (C) et de la maintenance (G)	FD P 20-651
	4	Maitrise résistance des bois	1	1	Respect de l'affectation de la classe de résistance mécanique- Neutralisé car on considère qu'on respecte les normes en vigueur	NF EN 14080-1 Marquage CE
	5	Maitrise de la résistance des organes de fixation et de leur durabilité	1	1	Respect de l'affectation de la classe de résistance et du traitement contre la corrosion - Neutralisé car on considère qu'on respecte les normes en vigueur	Référentiel adapté/ Marquage CE
TOTAL Coefficient A (Coef!)			1	1,44		
B - Adaptabilité, design, Conception	1	Respect de la réglementation en matière de risque termites et insectes XL	1	1	Neutralisé car respect de la réglementation	Loi termites Décret n° 2010-1269 du 26 octobre 2010
	2	Respect des règles de l'art en matière de développement fongique	1	1	Neutralisé car respect des normes en vigueur	DTU 31.1 / 31.2 / 31.3
	3	Respect des règles de l'art pour assurer la résistance mécanique de l'ouvrage	1	1	Neutralisé car respect de la réglementation	Eurocodes
	4	Qualité de la conception (si innovation par exemple ATEX/ avis technique)	1	1,4	Compétence bois construction (Maitrise d'œuvre / BETs / ...)	
TOTAL Coefficient B (Coef!)			1	1,4		

Facteur	Critère	Coefficients			Référentiel	
		Coef. Mini	Coef. Maxi	Commentaires		
C - Conditions de réalisations du bâtiment	1	Respect des DTU pour la phase chantier (si un bâtiment se construit à l'abri des intempéries/parapluie)	1	1	Neutralisé car respect des normes en vigueur	DTU 31.1 / 31.2 / 31.3
	2	Compétence reconnue des entreprises	0,8	1,2	Qualifications professionnelles = 1,2 Aucune qualification = 0,8	
	3	Niveau de préfabrication	1	1	A confirmer Préfa = 1,05 // semi préfa = 1 // Aucune Préfa = 0,95	Pas de consensus
TOTAL Coefficient C (Coef!)			0,8	1,2		
D - Environnement intérieur	1	hygrométrie des locaux / Ventilation	1	1	Pas d'influence car classe de service 1 ou 2	
	2	Ambiance intérieure	1	1	Locaux à ambiance agressives hors sujet ici	
TOTAL Coefficient D (Coef!)			1	1		
E - Environnement extérieur	1	Zone Termite	1	1,2	Neutralité pour les zones termitées	Décret n° 2010-1269 du 26 octobre 2010
	2	Zone Climatique	1	1	Pas d'influence, Classe de service 1 ou 2 Zone climatique (Sec, modérée, humide)	
	3	Zone sismique	1	1,2	Zone 1 : 1,2 / Zone 2 : 1 / Zone 3 : 1 / Zone 4 : 1	Décret n°2010-1255 du 22 Octobre 2010
TOTAL Coefficient E (Coef!)			1	1,44		
F - Usage	1	Respect du type d'usage	0,8	1	Réduction durée de vie si usage non respecté Exemple : Charges d'exploitation, hygrométrie des locaux etc...)	
TOTAL Coefficient F (Coef!)			0,8	1		
-- Maintenance	1	Accessibilité de la structure pour inspection	0,8	1,2	Visible = 1,2 // Accessible non visible = 1 // Non accessible = 0,8	

Facteur		Critère	Coefficients			Référentiel
			Coef. Mini	Coef. Maxi	Commentaires	
	2	Maintien en l'état de la salubrité de l'ouvrage	0,8	1,4	Maintien de l'enveloppe, remontées capillaires, défauts réseaux, non perturbation des transferts de vapeur etc. Mauvais 0,6 / Moyen 0,8 / Bon 1 / Très bon 1,2 / 1,4	
	3	Type d'usager (locataire, maître d'ouvrage...) (niveau d'inspection?)	1	1,2	Degré d'implication dans cette maintenance	
TOTAL Coefficient G (Coef!)			0,64	2,016		

Tableau 33 : Facteurs et catégories de facteurs de la méthode factorielle appliqués à des éléments structurels en bois

Remarques :

- Les coefficients de pondération des critères pour la durée de vie doivent pour la plupart être neutralisés par au moins une note minimum de 1 puisqu'on ne peut pas considérer que les entreprises ne respectent pas les normes et les réglementations en vigueur.
- Lors de la factorisation des critères, l'usage du bois en classe de service 1 ou 2 a amené à ne pas coefficienter le critère de durabilité de l'essence vis-à-vis des risques fongiques, considérant que les coefficients sur les autres postes prennent en compte une éventuelle humification des éléments structurels (cause d'un développement fongique).
- L'inspection et la maintenance du bâtiment sont prépondérants pour une durée de vie prolongée, et peuvent admettre des coefficients inférieurs à 1 (c'est-à-dire qu'ils font baisser la durée de vie).
- A noter également que ce travail se base aujourd'hui sur l'application de la réglementation en vigueur mais, sur une échelle de 100 ans, la question du réchauffement climatique pose une question quant au risque insectes et termites, car en effet l'évolution des zones termites par exemple va entraîner un facteur risque sur les ouvrages qui n'avait pas l'obligation de protéger les interfaces sols/bâtis, et pour lesquels la zone a été infecté ultérieurement.

Ainsi un scénario de maintien de la structure implique :

Facteur	Critère	Commentaires	Référentiel
A – Durabilité des composants	Durabilité de l'essence vis-à-vis des insectes XL	Respect du référentiel	FD P 20-651
	Durabilité de l'essence vis-à-vis des Termites	Respect du référentiel	FD P 20-651
	Durabilité de l'essence vis-à-vis des risques fongiques	Respect de la classe de service 1 et 2	FD P 20-651
	Maitrise résistance des bois	Respect de l'affectation de la classe de résistance mécanique	NF EN 14080-1 Marquage CE
	Maitrise de la résistance des organes de fixation et de leur durabilité	Respect de l'affectation de la classe de résistance et du traitement contre la corrosion	Marquage CE
B - Adaptabilité, design, Conception	Respect de la réglementation en matière de risque termites et insectes XL	Respect de la réglementation	Loi termites Décret n° 2010-1269 du 26 octobre 2010
	Respect des règles de l'art en matière de développement fongique	Respects des normes en vigueur	DTU 31.1 / 31.2 / 31.3
	Respect des règles de l'art pour assurer la résistance mécanique de l'ouvrage	Respect de la réglementation	Eurocodes
	Qualité de la conception	Compétence bois construction (Maitrise d'œuvre / BETs / ...)	
C - Conditions de réalisations du bâtiment	Respect des DTU pour la phase chantier (si un bâtiment se construit à l'abri des intempéries/ parapluie)	Respect des normes en vigueur	DTU 31.1 / 31.2 / 31.3
	Compétence des entreprises	Qualifications professionnelles des entreprises intervenantes	
D - Environnement intérieur	Hygrométrie des locaux / Ventilation	Respect de la classe de services 1 et 2	
E - Environnement extérieur	Zone Termite	Respect de la réglementation	Décret n° 2010-1269 du 26 octobre 2010
	Zone Climatique	Pas d'influence étant donné la classe de services	
	Zone sismique	Respect de la réglementation	Décret n°2010-1255 du 22 Octobre 2010

Facteur	Critère	Commentaires	Référentiel
F - Usage	Respect du type d'usage	Réduction durée de vie si usage non respecté (ex : charges d'exploitation)	
G - Maintenance	Accessibilité de la structure pour inspection	Accessible/visible	
	Maintien en l'état de la salubrité de l'ouvrage	Maintien de l'enveloppe	
	Type d'usager (locataire, maître d'ouvrage.)	Intérêt pour la conservation du bâtiment	

Tableau 34 : Scénario de maintien de la structure sur une durée de vie de 100 ans

10. Conclusions

FCBA a mené cette étude en collaboration avec l'Union des Industriels et Constructeurs Bois (UICB), afin d'établir un scénario de ré-emploi des panneaux et des poutres en bois massif, CLT, CLT nervuré et BLC. Ce scénario pourra être utilisé pour l'élaboration des FDES de ces produits étant donné qu'il existe un pourcentage certes faible de ces produits qui sont ré-employés.

FCBA a travaillé sur des données de chantiers apportés par les entreprises adhérentes à l'UICB afin d'évaluer les possibilités de réemploi du CLT, CLT nervuré et de BLC. Ainsi 11 chantiers de CLT et 4 chantiers de BLC ont été étudiés.

Le scénario de réemploi étudié implique une déconstruction sélective, à savoir un tronçonnage pour séparer les éléments en bois massifs des autres matériaux. Le reconditionnement comprend un diagnostic du produit (aspect visuel et évaluation des performances) et un usinage permettant de mettre les éléments à la dimension voulue pour le chantier prévu. Le transport entre le chantier et le reconditionneur est effectué via une plateforme de stockage.

On définit le taux de ré-emploi par le rapport entre le volume de panneau ou de poutre effectivement ré-employé et le volume existant sur le chantier de rénovation/démolition. L'étude a établi une règle de récupération prenant en compte les dimensions des appuis et des assemblages pratiqués par les fabricants ainsi que les dimensions ré-employables dans une nouvelle conception : par exemple la longueur minimum d'un CLT réemployé en plancher est de 3 m, la hauteur récupérable de mur est de 2,50 m. Une étude statistique des chantiers a évalué à 76% le taux de ré-emploi potentiel moyen du panneau CLT et du CLT nervuré en plancher et toiture et à 65% du panneau utilisé en mur. Le taux de ré-emploi potentiel moyen de la poutre BLC est estimé à 87%. Enfin, des exemples de chantiers où les éléments bois sont ré-employés ou réutilisés sont donnés dans ce rapport permettant de montrer la faisabilité du scénario identifié.

Une évaluation environnementale du scénario de ré-emploi montre que l'impact de ce scénario sur l'indicateur sur le changement climatique tel que calculé pour la réglementation environnementale des bâtiments RE2020 est similaire à celui du scénario de gestion actuelle en considérant le futur amendement de la norme EN 15804+A2. Les transports associés à ce ré-emploi ne diminuent pas son intérêt environnemental et une valorisation des chutes en énergie permet d'optimiser son impact.

Un autre scénario favorable à l'environnement serait le maintien de la structure en place. L'étude établit que les logements y compris les bâtiments récents sont démolis avec un rythme qui établit leur durée de vie à une centaine d'année. Un scénario permettant de conserver la structure au-delà de la durée de vie conventionnelle du bâtiment a été élaboré. L'ensemble des paramètres influençant la durée de service sont présentés : les qualités intrinsèques du matériau (essence du bois, perméabilité à l'eau, durabilité face aux risques fongiques et termites), la conception du bâtiment (éviter des pièges à humidité), la qualité d'exécution (respect des DTU), l'environnement intérieur (classe de service), l'environnement extérieur (zone climatique, sismique, à risque termites) ainsi que le bon entretien.

Il serait intéressant de compléter cette étude préliminaire par un guide technique pour réaliser l'audit du produit ainsi que les préconisations sur les tests à effectuer pour caractériser les produits issus de la déconstruction : développement d'une méthodologie d'évaluation des performances résiduelles par expertise, par contrôle non destructif (CND) ou par essais sur des échantillons. Une enquête pour connaître les avis des professionnels sur le réemploi a été réalisée. Il a été relevé le manque de cadre réglementaire pour couvrir le réemploi d'éléments bois structurels, et quelques freins ont été identifiés qui pourraient faire l'objet de développements plus approfondis sur le sujet : nécessité de méthode de diagnostic, de traçabilité, de méthodologie de caractérisation et de reconnaissance pour afficher les performances résiduelles mécaniques, physiques et environnementales des éléments Bois massif structurels CLT et BLC.

11. Rapport de revue critique

Déclaration de revue critique du document :

Commanditaire de l'étude	Comité professionnel du développement des industries françaises de l'Ameublement et du bois (CODIFAB)
Auteurs de l'étude	Estelle VIAL (FCBA) Zaratiana MANDRARA (FCBA)
Panel de revue critique	Pierre RAVEL ingénieur R&D dans la direction « Energie & Environnement » du CSTB, expert ACV, praticien et vérificateur de FDES
	Léo BEN AMOR, ingénieur R&D dans la direction « Economie & Ressources » du CSTB

Document revu : « Elaboration d'un scénario français de réutilisation/ré-emploi de produits en BLC (bois lamellé collé) et en CLT (cross laminated timber) et évaluation environnementale »

Version et date : « v2, 08 novembre 2022 »

Période de revue : « Décembre 2021-Octobre 2022 »

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

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

La revue comporte une évaluation du modèle d'ICV.

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

Résumé de la revue critique :

Rappel : La revue critique a porté uniquement sur le document rédigé par le FCBA

La revue critique n'a pas porté sur les documents cités dans les parties suivantes :

- 12. Annexe : Références ;
- 13. Annexe : Questionnaire ;
- 14. Annexe : Description de la méthode de déconstruction.

On peut qualifier le document d'étude "d'hybride", réunissant des éléments sur la thématique de l'ACV, de l'économie circulaire et de la caractérisation des performances. Aussi les principes et l'esprit de l'ISO/TS 14071:2014 « *Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Processus de revue critique et compétences des vérificateurs: Exigences et lignes directrices supplémentaires à l'ISO 14044:2006* » ont été suivis au mieux mais n'ont pu parfois ne pas être appliqués sur la thématique hors ACV.

La modification de l'étude et la prise en compte des commentaires à la suite de la revue critique a permis une meilleure compréhension du document, notamment via une restructuration et une explicitation des objectifs de l'étude et des données utilisés pour la réaliser. Les modifications apportées au document permettent aussi une amélioration de la traçabilité des données exploitées de leurs sources, et de la restitution des résultats.

La grande majorité des points soulignés dans la phase de relecture critique ont été pris en considération.

Il sera intéressant de réaliser une mise à jour de ce document, lorsque la structuration de la filière de réemploi et des produits à base de CLT et de BLC sera plus mature. La structuration de la filière permettra d'affiner les hypothèses et les scénarios pris en considération dans cette étude, en particulier dans l'analyse de sensibilité des données, en fournissant des données plus récentes. Il aurait été judicieux de définir une période de validité de cette étude afin d'évaluer sa conformité à un horizon défi.

L'étude est de bonne qualité et bien documentée, elle a porté sur l'échelle produit avec une mise en perspective à l'échelle bâtiment. Le travail de collecte des données a été important et de nombreuses études de sensibilité ont été menées pour caractériser l'influence de certains paramètres ou scénarios. Certaines données exploitées commencent à dater (environ une dizaine d'année) et mériteraient toutefois un contrôle de leur validité.

La complexité du rapport aurait nécessité la rédaction d'une synthèse plus étoffée pour faciliter l'appropriation des éléments clés et leur réutilisation pour les opérateurs réalisant des FDES, voir une mise à disposition des résultats au format ACV pour faciliter leur intégration et leur reproductibilité homogène.

L'interprétation des résultats se focalise essentiellement sur l'indicateur de réchauffement climatique. Il aurait été pertinent de remettre en perspective d'autre indicateurs notamment ceux relatifs à l'économie circulaire et l'épuisement des ressources. Il faut en effet rappeler que pour favoriser une économie circulaire, les scénarios à privilégier sont dans l'ordre le réemploi, la réutilisation, le recyclage et enfin la valorisation énergétique.

Conclusion de la revue critique :

Monsieur Pierre RAVEL et Monsieur Léo BEN AMOR attestent :

- Avoir exercé leur mission en toute indépendance,
- Ne pas avoir identifié d'écart significatif aux exigences des normes ISO 14040 et ISO 14044,
- Que les données et les informations environnementales figurant dans l'étude susvisée sont plausibles, le propriétaire de l'étude reste responsable de son intégrité.

Monsieur Pierre RAVEL et Monsieur Léo BEN AMOR ne sauraient être tenus pour responsable d'une mauvaise utilisation ou d'une utilisation erronée de cette étude.

Le 8/11/2022

Pierre RAVEL

Léo BEN AMOR

Pierre RAVEL

Ben Amor Léo

- FCBA, et CODIFAB. 2022. Etude préliminaire sur la Durée de Vie des Structures Bois dans le cadre de l'élaboration des FDES. CODIFAB.
- FCBA, et CSTB. 2012. Convention DHUP/CSTB 2009 Action 33 – Sous action 6 – ACV & Déclarations environnementales pour des produits et composants de la construction bois – Volet 2 : Prise en compte de la fin de vie des produits bois. Paris, France: FCBA, CSTB, DHUP, FBF, CODIFAB.
- FCBA, Xerfi Specific, CODIFAB, et France Bois Forêt. 2022. Gestion des Déchets Bois du Bâtiment Phase 1: Devenir des déchets bois issus de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment - GDBAT. CODIFAB, France Bois Forêt.
- ISO. 2006. ISO 14044 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.
- JORF. 2021. Arrêté du 4 août 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R. 172-6 du code de la construction et de l'habitation.
- Mandrara, Zaratiana, Hugo Bonnet, Ingrid Bertin, Mathieu Faille, Carole Le Bloas, N. Blanchard, Olivier Dupont, et Sylvain Laurenceau. 2020. Méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances pour le réemploi des charpentes industrialisées. Fondation Bâtiment Energie.

N° comm entaire	Auteur du commentaire	Document	Positionnement dans le document (§, ligne, figure, tableau etc.)	N° de page ou de figure	Type de commentaires : Ed = Editorial Te = Technique Ge = Général Q = Question	Niveau de conformité A: Amélioration P: Point faible NC : Non- conformité	Norme de référence (ISO 14040, EN 15 804 etc. ...)	1ère itération Commentaires initiaux et recommandations des praticiens de la revue émis en date du 04/01/2022	1ère itération Réponse de FCBA émises en date du 11/05/2022	Réponse des praticiens de la revue en date du 13/09/2022 suite aux Réponses de FCBA émises en date du 11/05/2022	2nd itération Commentaires et recommandations des praticiens de la revue émis en date du 13/09/2022	Réponse de FCBA émises en date du 14/10/2022	3rd itération et Avis final Commentaires et recommandations des praticiens de la revue émis en date du 21/10/2022
1	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Page de garde	Page de garde	Ge	A	ISO 14044	Préciser qu'il s'agit d'une étude dans le cadre du contexte français s'appliquant à la France. Je souhaite m'assurer que l'étude couvre toutes les typologies de produits BLC et CLT et leur application ? Est ce bien le cas ? Sinon le titre de l'étude est à préciser.	D'après les organisations professionnelles, l'étude couvre toutes les typologies de produits BLC et CLT. Le titre a été modifié pour inclure le contexte français et pour préciser son contenu.	Ok pour la prise en compte du commentaire (Elément de réponse en page 1)			
2	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC		Page 2	Ge	NC	Qualité et ISO 14044	Introduire un tableau de versionning du document et de son mode de "validation" faisant état de la RC et prévoir un encart et un § spécifique sur la conclusion de la RC dans le document.	Fait. Un section 9 permettra d'accueillir le rapport de revue critique.	Ok pour la prise en compte du commentaire (Elément de réponse en page 1)			
3	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	1. Introduction	Page 3	Ge	NC	ISO 14044	Préciser les applications envisagées de cette étude et le public concerné, c'est-à-dire les personnes auxquelles il est envisagé de communiquer les résultats de l'étude	Le rapport sera rendu public. L'objectif est de proposer un scénario de réemploi/réutilisation pour les produits BLC et CLT dans le cadre de la réalisation de FDES et tenant compte du fait que le pourcentage de produits effectivement réutilisés et réemployés est pour l'instant faible.	Ok pour la prise en compte du commentaire (Elément de réponse en page 5)	L'étude et le rapport sont très complets et reste un peu complexe à appréhender. Une synthèse et/ou la fourniture d'un jeu de données ACV associés pour qualifier la contribution du réemploi du CLT et du BLC aurait facilité la reprise de cette étude par les praticiens réalisant des FDES, et son déploiement de manière homogène. Je vous recommande de réfléchir à la mise à disposition des ces propositions	Une synthèse a été réalisée en début de rapport. ok avec les ajouts mais la synthèse aurait toutefois mérité d'être plus étoffée	
4	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	1. Introduction	Page 3	Ge	NC		Retirer la mention "d'améliorer la performance environnementale" dans l'introduction, c'est un postulat qui doit être démontré.	Fait	Ok			
5	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	1. Introduction	Page 3	ed	A		"répondre aux nouvelles lois relatives à l'économie circulaire", le terme répondre me paraît engageant. Je le substituerai par la notion de contribuer à acquérir des connaissances sur ...	Cette phrase a été supprimée.	Ok			
6	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	1. Introduction	Page 3	Te	A		Quid des bâtiments non construits en site urbain. N'y a-t-il pas un glissement de bâtiments agricoles en BLC qu'il aurait été opportuns d'intégrer dans l'étude statistique ?	Cette phrase a été supprimée.	Ok			
7	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	2. Evaluation du potentiel de réutilisation et du réemploi	Page 3	Ed / Te	A		Définir réutilisation et ré emploi dès le début du document pour en améliorer sa lecture et sa compréhension. Dans les figure 1 et 2 il n'est pas fait mention des épaisseurs de panneaux pourquoy ? Ces épaisseurs de panneaux ne conditionnent-elles pas le domaine de réemploi ?	Les définitions ont été rajoutées. Après interrogation de l'UICB, l'épaisseur des panneaux ne conditionne pas le réemploi. Cette variable n'a donc pas été étudiée pour l'évaluation du potentiel de réutilisation-réemploi.	Ok pour la prise en compte du de la 1er partie du commentaire (Elément de réponse en page 5). Ok pour la seconde partie du commentaire.			
8	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	2.1.1. Ty pol ogi e d'origine : chantiers	Page 3	Ed / Te	NC		Ajouter un § décrivant à qui a été adressé l'enquête pour récolter les données. Etait ce une enquête générale au hasard, ciblée (préciser les critères) et documenter le taux de réponse avec une liste des chantiers qui a permis de constituer l'échantillon d'étude et une liste des fabricants et MOA + dénomination. L'étude se "prétend" être générique et valable au CLT et au BLC pour la France. Améliorer la démonstration de la représentativité de l'échantillon étudié et justifier la capacité à exploiter ces résultats d'étude pour quelconque cas d'usage. L'échantillon me paraît faible pour prétendre être représentatif (BLC données issues de 4 chantiers seulement).	Des sections sur la collecte de données et l'échantillonnage ont été ajoutées (en section 2). Il est vrai que les données sur le BLC sont moins représentatives mais les 2 adhérents/4 bâtiments fournis ayant répondu sont représentatifs des fabricants des BLC selon le comité de pilotage.	Ok pour la prise en compte de la 1er partie du commentaire (Elément de réponse en page 6). Ok pour la seconde partie du commentaire.	Il n'existe, apparemment, aucune base statistique nationale de données statistiques, des exigences de qualité des données associées à EN 15804, autre référentiel... ?) vous considérez les représentatives que vous qualifiez de "bonne et moyenne à mauvaise" dans votre formulation ; "La représentativité des données collectées pour le CLT peut être considérée comme bonne alors" que la représentativité pour le BLC peut être considérée comme moyenne à mauvaise". Par rapport à votre formulation : "l'étude ne respecte pas	Le référentiel PEF a été utilisé et chaque donnée des tableaux 1 et 2 évaluée. L'usage a été rajoutée. ok avec les compléments proposés	
9	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	2.1.2 Géométrie et dimensions :	Page 3	Ed / Te	A		Les fourchettes de dimensions sont souvent décrites par plus de 2 dimensions. Quelle utilité ?	Un panneau trop petit dans sa largeur ou sa longueur sera plus difficile à réemployé ou réutilisé.	Ok, mais ne répond pas au commentaire			
10	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	2.1.2 Géométrie et dimensions :	Page 3	Ed	A		Pour le CLT nervuré qui sont des structures alvéolaires, l'épaisseur maxi correspond-elle aux panneaux + poteaux ?	L'épaisseur n'inclut pas les poteaux. Cela a été ajouté au rapport.	Ok pour la prise en compte du commentaire (Elément de réponse en page 11)			
11	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	2.1.2 Géométrie et dimensions :	Page 3	Te	PF		"Pour que les panneaux massifs puissent être exploitables en fin de vie, nous avons relevé le nombre de panneaux qui sont supérieurs à 3 m de long et donc la largeur peut varier". Justifier comment a été déterminé le critère de 3m (cela est précisé au 2.1.5 faire une référence pour faciliter la lecture et la résolution de cette question quand on lit le document)	La section de numéro 4.1.2 regroupe dans la nouvelle version du rapport ces éléments pour le CLT.	Ok pour la prise en compte du commentaire (Elément de réponse en page 12) en partie 4.1.4			
12	Léo Ben Amor	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Partie 2.1.4	Page 4	Ed			La référence au "description technique du scénario de réemploi" n'est pas claire. Il y a une référence au paragraphe 2, et seulement dans la phrase d'après une référence à l'annexe 10. Proposition de modification : "La description technique du scénario de réemploi des panneaux est présentée dans le paragraphe 2 de l'annexe 10 "Description de la méthode de construction".	Le rapport a été restructuré. La description est effectivement maintenant en annexe section 13.	Ok pour la prise en compte du commentaire, les références à cette annexe sont bien plus claires que dans le document initial			
13	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	2.1.5 Récupération des panneaux CLT plancher et toiture	Page 4	Ed	A		"Les dimensions de matière découpée des panneaux de planchers sont : - Dans la longueur : 200 mm (100 mm de chaque côté) - Dans la largeur : 160 mm (80 mm de chaque côté)" Mieux expliciter de chaque côté, cela correspond au 2 assemblages des panneaux je présume, ajouter une figure pour la compréhension aurait été un plus.	La figure a été ajoutée.	Ok pour la prise en compte du commentaire, le schéma en 4.1.5 facilite la compréhension de la récupération des panneaux en CLT Plancher/toiture			
14	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	2.1.5 Récupération des panneaux CLT plancher et toiture	Page 4	Ed	A		Vous parler de "5 réponses" sur 11 études ?	6 entreprises ont fourni des données sur 10 chantiers. Cela a été mieux expliqué dans la section 2 sur la collecte des données et dans les sections 4.1.3 et 4.2.2.	La partie 2 (p6) et la partie 4.1,3 (page 12) clarifié plus explicitement la démarche de collecte de donnée			
15	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	2.1.5 Récupération des panneaux CLT plancher et toiture	Page 4	Q, Te	A		Pour définir les critères de dimensions de réemploi, pourquoi ne pas se baser sur les dimensions minimales constatées pour ces 2 types de panneau actuellement mises sur le marché pour déterminer finalement la dimension minimale de réemploi ?	Les critères de réemploi ont été défini par le COPIL d'abord pour des raisons techniques, soit le minimum constaté pour les panneaux standard. L'UICB confirme ce choix en indiquant qu'il s'agit aussi d'un choix économique afin de ne pas avoir beaucoup de petits panneaux plus difficilement ré-employés. Ceci a été rajouté dans la partie 4.1.4.	Il s'agit donc d'une taille limite impactant les possibilités de réemplois du produit du fait de la valeur économique du produit --> Ok pour la prise en compte du commentaire. (page 12)	Dans le rapport ce prérequis dimensionnel essentiel est un peu "noyé" dans le document (même s'il apparaît dans la conclusion), je vous recommande de mettre plus en visibilité les critères de dimension requis pour le réemploi peut être dans la section 6. ?	En fait, il s'agit des critères de ré-emploi mais qui servent à déterminer la part de CLT qui va pouvoir être ré-employée. J'ai essayé de mieux le mettre en valeur dans section 7 (ex section 6)	
16	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	2.1.5 Récupération des panneaux CLT plancher et toiture et 2.16	Page 4	Q, Te	NC		La criticité de réutilisation des panneaux CLT de toiture et de mur a-t-elle été évaluée ? Car il s'agit de domaine d'application ou les panneaux peuvent être exposés à des pathologies plus fréquentes. Est ce que ce taux a été pris en compte dans les taux définis suite à cette étude ? ou cela est pris en compte lors du diagnostic après démontage avant réutilisation ?	Un disclaimer sur le fait que l'étude ne constitue pas un guide d'évaluation de performance dans l'introduction. Une mention est rajoutée dans la section 3 que les éléments atteints d'une pathologie sont écartés du scénario.	Ok pour la prise en compte du commentaire (page 6).			
17	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Figure 1 : Analyse des chantiers CLT planchers et Figure 2 : Analyse des chantiers CLT murs	Pages 5 et 8	Ed			Introduire le tableau pour mieux comprendre ce qu'il représente : Réf = les chantiers je présume ? préciser les unités dans les colonnes et les graphiques concernés un usage de points aurait permis de représenter la combinaison des L et t et démontrer le nbre de panneaux satisfaisant aux conditions définies pour le réemploi	Réf a été modifié en Référence des chantiers. Les unités ont été précisées pour les colonnes. Des tableaux récapitulatifs ont été fournis en section 4.1.3 et 4.2.2.	Tableau plus compréhensible avec l'explicitation des références chantiers & des unités associées à chaque colonne. (page 14)	une représentation en nuage de points aurait permis de représenter la combinaison des L et t et démontrer le nombre de panneaux satisfaisant aux conditions définies pour le réemploi. Dommage que notre proposition n'est pas été retenue. Il manque surface moyenne récupérée par panneau. Indiquer pour les graphiques que les unités de longueur et largeur sont en mm dans la figure 3. Entre la figure3 et le tableau 4 il y a des différences d'unités entre "Récupération pour longueur=3m [Unités]" et le tableau qui exprime cela en % à corriger. Est ce que la colonne nombre total de panneaux (unité) a du sens dans les tableaux 4 et 5, où seuls les pourcentages me semblent nous intéresser ?	Les remarques ont été prises en compte à l'exception du nuage de point qui n'est pas faisable du fait du départ de Zaratiانا. ok avec les compléments proposés	
18	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Figure 1 : Analyse des chantiers CLT planchers	Page 5	Te	A	96.33	je ne trouve pas ce chiffre selon le graph L-a 160 = 121-35 = 8	Le 96% est calculé en faisant la largeur moyenne moins 0.16 m et la longueur moyenne en enlevant 0.2 m divisé par la surface moyenne du panneau.	Ok avec ces explications			

19	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Figure 1 - Analyse des chantiers CLT planchers	Page 5	Ed			<p>il y a il un souci sur les lignes 4 et 5, il n'y a pas de graphiques et certaines colonnes ne sont pas renseignées</p> <table border="1"> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>67,86</td> <td></td> <td>14,77</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>89,97</td> <td></td> <td>246</td> <td></td> <td>11,76</td> </tr> <tr> <td></td> <td>80</td> <td>69,16</td> <td>467</td> <td></td> <td>13,69</td> </tr> <tr> <td></td> <td>22,22</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	4			67,86		14,77	5	89,97		246		11,76		80	69,16	467		13,69		22,22					L'absence de graphique s'explique par le fait que les entreprises ont réalisées elles-mêmes leurs statistiques et que certaines données ont absentes. Ceci a été ajouté dans le rapport.	Ok, noté			
4			67,86		14,77																																
5	89,97		246		11,76																																
	80	69,16	467		13,69																																
	22,22																																				
20	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC		Page 9	Ed			"La surface moyenne récupérée est de 9,41m²" erreur de copie coller la moyenne indiqué dans le tableau est de 5,7 m²	Corrigé	Ok (page 16)																											
21	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC		Page 10	Ed			"Leur capacité de production de CLT est d'une largeur de 14cm à 54cm, une hauteur de 40cm à 70cm et une longueur de 5m à 50m." - erreur BLC	Corrigé	ok (page 19)																											
22	Léo Ben Amor	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Partie 2.2 , tableau	Pages 10, 11, 12	Question			Le pourcentage de récupération ne devrait-il pas prendre en compte le % de matière perdue du fait de la découpe? - Expliciter	Le paragraphe 4.1,4 est mieux explicité	Ok pris en compte dans le paragraphe 4.1,4 page12																											
23	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	3. Faisabilité du développement de la réutilisation et du réemploi		Q Ge			Le document ne qualifie pas si les dispositions et conditions évoquées sont en place pour que le scénario définies soit plausible et contemporain ou à quelle échéance? Par conséquent est ce des scénarios prospectifs? Votre titre est d'ailleurs faisabilité	2,5% des produits de construction bois sont réutilisés / réemployés en moyenne et 7% pour les produits de structure. Il s'agit donc d'un scénario qui est déjà réel. Après discussion avec le comité de pilotage, il y a bien un intention de proposer un scénario pour les FDES du fait de l'existence de ce réemploi dans les statistiques. La faisabilité porte sur le développement de ce pourcentage.	Ok		Par rapport aux statistiques réelles de 2,5 à 7 % de réemploi, je ne comprends pas pourquoi vous avez développé une étude sur les impacts du cycle de vie d'un panneau CLT ou d'une poutre BLC en considérant un scénario 100% réemploi. Cette pratique n'est pas une réalité, les conclusions peuvent être mal interprétées. Il aurait été préférable de réaliser une étude en intégrant un scénario réaliste de "fin de vie" incluant les proportions de réemploi. En fonction de votre réponse je vous recommande d'ajouter un avertissement dans la partie exposant les résultats au § 5.5	Dans la synthèse, il est précisé que ce scénario ne peut s'appliquer que si le scénario de réemploi ne représente qu'une part très faible (moins de 5 à 10%) du scénario de fin de vie du produit. Si le réemploi représente une part plus significative du scénario global, une enquête auprès de la filière de réemploi devra être menée.	ok avec les compléments proposés																							
24	Léo Ben Amor	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Partie 3.1	Page 13	Général			Aujourd'hui la conservation de l'information dans le temps n'a pas lieu, de fait des essais de caractérisations sont nécessaires pour pouvoir réemployer le produit, ce qui est une barrière au réemploi	Ceci a été ajouté en section 6	Ok pris en compte dans la nouvelle partie 6 "traçabilité"																											
25	Léo Ben Amor	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Partie 3.1	Page 13	Général			Une des possibilités pour garder des traces et des formes d'identifications, outre la transmission des plans au maître d'ouvrage est l'utilisation de la maquette BIM.	Ceci a été ajouté en section 6	Ok pris en compte dans la nouvelle partie 6 "traçabilité"																											
26	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	3.1 Traçabilité	Page 13	Ge			Vous évoquer une durée de vie de 50 ans pour le bâtiment. Et dans les FDES de CLT la DVR est de 100 ans. Dans un scénario de réemploi conservant les mêmes performances, la durée de vie estimée du produit pourrait donc être de 200 ans ? Il faut évoquer le fait de pouvoir conserver à minima les informations sur 100 ans.	Voir réponse ligne 43.	Ok avec la réponse ligne 43																											
27	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	3.2 Diagnostic des produits	Page 13	Ge Te			Détailier les modes de contrôles / lieu, les contrôles doivent être effectués sur chaque pièce ou via un échantillonnage ?	Ce fera l'objet d'un guide ultérieur guide d'évaluation des performances en vue du réemploi car il s'agit d'une démarche complète avec un lien avec la normalisation. Une note est mise en section 1 pour préciser que l'étude ne constitue pas un guide technique.	Il est en plus précisé à la fin de l'étude que la prochaine étape dans la généralisation du réemploi sera l'écriture d'un de ces types de guides.																											
28	Léo Ben Amor	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Partie 3.3	Page 13	Général			La création de guide d'évaluations de performances en vue d'un réemploi pour différentes familles de produits est un travail en cours. La reconnaissance de ce genre de guide pour le domaine assurantiel permettra de faciliter la pratique du réemploi	Une note est mise en section 1 pour préciser que l'étude ne constitue pas un guide technique.	Il est en plus précisé à la fin de l'étude que la prochaine étape dans la généralisation du réemploi sera l'écriture d'un de ces types de guides.																											
29	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	3.3 Critères de développement de la réutilisation et du réemploi	Page 13	Q Ge Te			c'est pourtant une condition essentielle prérequis au réemploi de produits de structure, je comprends donc qu'en l'état cela n'existe pas et que le scénario défini dans cette étude est donc prospectif ?	2,5% des produits de construction bois sont réutilisés / réemployés en moyenne et 7% pour les produits de structure. Depuis l'envoi en revue critique, la boîte à outil Interreg est sortie qui donne déjà des pistes de tests à réaliser. Cette référence a été ajoutée.	En accord avec la réponse, le réemploi est à ses débuts, et des experts via des contrôles visuels et des essais non normés ont déjà commencé à mettre en place ces pratiques (2,5% pour les produits en bois). Ce qui est plus étonnant, c'est le chiffre de 7% en structure, il doit principalement s'agir de réutilisation																											
30	Léo Ben Amor	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Partie 5.3.1 & 5.3.2	Page 20 & 21	Général			Les conditions de stockages sont parties intégrantes du réemploi et de la réutilisation. Les produits ont généralement besoin d'être stockés à l'abri des intempéries (et parfois dans des lieux chauffés). Les impacts liés au chauffage devraient être pris en compte	D'après les industriels, il faut mettre à l'abri les éléments mais il n'y a pas besoin de chauffage. Cela est maintenant précisé en section 3.	ok bien précisé en page 7																											
31	Léo Ben Amor	Annexe 10	1er paragraphe partie 2.1	Page 12	Technique			Deux unités pour qualifier le temps de découpage du BLC et du CLT respectivement en hm/3 ou h/m². Cela serait plus pertinent d'avoir la même unité pour les deux produits.	Les entreprises préféreraient parler de m² pour le CLT et de m³ pour les poutres BLC.	Ok																											
32	Léo Ben Amor et Pierre Ravel	Annexe 10	Partie 2.2.2 & Figure 26	Page 15	Général			La qualification des scénarios de fin de vie présentés dans la partie 2.2.2 et illustré par la figure 26 ne sont pas exactes. Les panneaux et leurs chutes, peuvent être réutilisés en linteaux, en meubles, en murs ou en palettes. Par contre, dans la cas ou la valorisation matière se ferait via de la fabrication d'isolant ou de panneaux OSB, on parlerait plutôt de recyclage, du fait qu'il y aura une transformation matière.	La description des scénarios réalisés par l'entreprise MATHIS antérieurement à l'étude est maintenant placée en annexe. La partie relative à la récupération du bois a été enlevée car ne correspondant pas à la description du scénario (y compris la figure 26).	Ok pour la prise en compte du commentaire, l'ex figure 26 portant à confusion a été supprimé																											
33	Léo Ben Amor	Annexe 10	Cette remarque est vrai pour l'intégralité du document...	Pages 15,17,20	Général			La formulation "85% de la matière bois est réutilisable" n'est pas adéquate du fait que le terme réutilisation n'inclut pas le recyclage. -> Définition de réutilisation matière ?	Cette partie du rapport a été supprimée.	ok, la suppression du terme "réutilisation matière" permet d'éviter les confusions entre recyclage/réemploi/réutilisation																											
34	Léo Ben Amor	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	Partie 5.1	Page 15	Général			La définition du terme recyclage est à préciser, étant donné que dans les scénarios envisagés de fin de vie, on y retrouve le recyclage : toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont traités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiage ne peuvent pas être qualifiées d'opérations de recyclage ;	La définition de recyclage a été ajoutée dans l'encadré de la partie 1.	Pris en compte page 5																											
35	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.1.1 Niveau produit 1 : norme NF EN 15904	Page 16	Ed		A	Préciser que l'étude GDBAT n'a pas encore été publiée et que ces chiffres sont des premières tendances pour la France. Si ces chiffres sont amenés à évoluer réviser ce §.	Les chiffres de GDBAT ont été consolidés et l'étude est publiée pour la partie relative à l'enquête sur le gisement.	Ok																											
36	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.1.2 Niveau bâtiment : norme NF EN 15978 et 6.3 Référentiel ACY	Pages 16 et 34	Ge		A	Ce § pourrait nécessiter d'être ré rédigé en fonction de l'évolution du projet de norme NF 15978-1.	Une phrase a été rajoutée dans ce sens dans le paragraphe 5.1.2.	Ok																											
37	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.1.2 Niveau bâtiment : norme NF EN 15978. Dernier §	Page 16	Te		A	Apporter des justifications sur le fait que les produits de structure bois ont une durée de vie à 50 ans. Préciser également leur durée de vie résiduelle à la suite d'un premier cycle d'utilisation.	Une justification est apportée à la fin du paragraphe 5.1.2.	Ok dans la prise en compte du commentaire (Fait en page 24).																											
38	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.2.1 Niveau produit 1 : EN 16485	Page 17	Ed		A	Phrase mal rédigée : "La NF EN 16485 (6) associe un prélèvement de CO2 (dioxyde de carbone) ou captation à la production de biomasse au niveau de l'étape sylvoicole a été pris en compte"	Fait	Ok																											
39	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.2.2 Niveau produit 1 : EN 15904 amendement A2	Page 18	Ed		A	coquille : "Par contre, il est stipulé que l'impact sur le changement climatique doit intégrer le la transformation de l'utilisation et l'utilisation des sols"	Fait	Ok																											
40	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.2.3 Niveau produit 1 : respect des flux physiques	Page 18	Te, Q		A	Existe-t-il un référentiel normatif qui évoque les flux physiques ? Si oui le citer ? Pourquoi mentionner cette pratique non retenue dans EN 15804 Et dans EN 16485 ?	Je vous suggère de ne pas citer le nom d'une entreprise et d'un EPD dans un tel rapport en précisant que leur méthode n'est pas reconnue dans la normalisation. EPD système dispose de PCR pour établir les EPD, est ce que leur EPD a été établi selon leur PCR, si oui cette méthode est elle disponible dans leur PCR ? si oui privilégier cette référence, sinon trouver un autre mode de rédaction. Evaluer si la norme NF EN 16760 (Décembre 2015) en vigueur Produits biosourcés - Analyse du cycle de vie ne propose pas ce mode de calcul ?	STORA ENSO a appliqué cette méthode des flux physiques mais en respectant la norme EN 15804 A2 en affectant un +1 en fin de vie et un -1 dans le module D. C'est cette méthode qui a été utilisée et décrite dans les EPD de STORA ENSO déclarées dans l'international EPD system. Il a été ajouté que ce n'était pas une méthode reconnue par la normalisation.	D'autre part on ne comprend pas ces deux phrases dans votre rapport, elles sont antagoniques : "Cette méthode n'est pas reconnue au niveau de la normalisation. Ce choix de traduire la contribution du stockage dans le module D peut permettre à la fois de respecter la norme EN 15804 A2 et les flux physiques"	La section a été retirée et les résultats modifiés en conséquence.	ok avec les modifications proposées																								
41	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.2.3 Niveau produit 1 : respect des flux physiques	Page 18	Te, Q		A	Ce scénario semble s'appliquer uniquement au CLT plancher toiture et pas mur étant donné le rendement indiqué de 76% dans le tableau 4. Si oui le préciser. Quid des panneaux clt murs ?	Le rendement pour les murs a été ajouté.	ok																											

60	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.4.1 Comparaison du scénario de remplissage avec d'au tre s mode s d e g e s t i o n de f i n d e v i e et 5.5.3 Comparaison du scénario de remplissage avec d'au tre s mode s d e g e s t i o n de f i n d e v i e	Figure 8 et 16	Ge, Ed	Q		Comment cela se fait que les impacts soit négatifs pour l'incinération ?	ACV dynamique.	Ok			
61	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.4.1 Comparaison du scénario de remplissage avec d'au tre s mode s d e g e s t i o n de f i n d e v i e	Page 25	Ge	A		*Plusieurs analyses sont conduites par rapport à ces résultats* : Il aurait été intéressant d'ajouter l'étude d'une comparaison avec un scénario intégrant une proportion de biogaz alignée sur les objectifs de la PPE	L'analyse de sensibilité a été réalisée avec 8% de biogaz (hypothèse PPE).	OK ajout pertinent			
62	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.4.2 Analyse de sensibilité sur le scénario de remplissage et 5.5.4 Analyse de sensibilité sur le scénario de remplissage	Tableau 6 et 7	Ge	A		Préciser comment ont été renseignées les valeurs des paramètres qui ont été utilisés dans l'analyse de sensibilité (données collectées, représentativité échantillon, hypothèses ?). S'agit il de valeurs maximales ?	Certaines données ont été modifiées et explicitées.	Ok avec les explicitations ajoutées			
63	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.4.2 Analyse de sensibilité sur le scénario de remplissage et 5.5.4 Analyse de sensibilité sur le scénario de remplissage	Figure 11 et 17	Ed	A		un histogramme combinatoire de l'ensemble des paramètres maximums aurait été intéressants pour quantifier l'effet cumulé ?	Ce calcul n'a pas été fait du fait de sa complexité.	Noté			
64	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5.5 Résultats pour le BLC	Page 28	Ge	A		*Les calculs sont réalisés en considérant une poutre d'1 m3 de volume avec 17 kg de ferures par m3. La modélisation du cycle de vie du produit jusqu'à la fin de vie correspond à la FDES collective réalisée par FCBA pour le CODIPAB en 2019 (FCBA, 2019b). Les ferures qui ne sont pas incluses dans la FDES peuvent être ajoutées grâce au configurateur*. Avec cette rédaction, on ne comprend pas bien si les ferures sont prises en compte ou non ? Il semblerait que oui selon les graphiques suivants. A préciser	Cela est maintenant précisé en section 5.3.	Ok ferures prises en compte			
65	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	6.1 Durée de vie des logements en France	Figure 18	Ed	A		Préciser que ces bâtiments sont encore en fonction	fait	Ok			
66	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	6.1 Durée de vie des logements en France	Page 38	Ge	PF		Je ne comprends pas votre raisonnement et votre méthode de calcul qui conduit à déterminer une durée de vie moyenne de 117 ans. Expliciter mieux cette partie. Pourquoi dans l'équation un terme à la valeur de 1946 ? Cela ne devrait pas être 1949 ? D'où provient cette information "sachant que la plupart des bâtiments ont été en fait construits avant 1919" ?	Une explication a été ajoutée.	La régression linéaire la plus proche des résultats obtenus à partir "Excel" donne l'équation contenant 1946 → Expliciter en pdf. La formule de la durée de vie moyenne est obtenu à partir de l'équation 1 & de l'équation de la courbe exponentielle At).			
67	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC		Figure 19		PF		L'axe des abscisses n'indique pas les mêmes dates que le titre du graphique. A corriger le point 2013 paraît haut si il correspond à ce nombre ? 428 846	A préciser. Figure 19 erreur d'intitulé. Pas clair sur le titre du graphique xxx	Ok, corrigé			
68	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	6.1 Durée de vie des logements en France	page 34	Ed	A		*Le taux de résidences détruites entre 1975 est de 1,4%/il manque une date. A corriger	Une explication a été ajoutée.	Ok, corrigé			
69	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	6.1 Durée de vie des logements en France	Page 34				*Si la démolition des résidences se poursuit au rythme de 2,3% sur 14 ans, la durée de vie moyenne des bâtiments sera largement de plus de 100 ans*. Je ne comprends pas votre raisonnement. L'explicitier svp.	Une explication a été ajoutée.	Ok avec l'explication			
70	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	6.4 Scénario de maintien des structures bois	Tableau 10	Ed, Te	PF		*Durabilité de l'essence vis-à-vis des insectes XL*, peut prendre un coefficient mini de 0,8	Ce tableau a été fait dans le cadre d'un autre projet et ne peut être modifié.	Noté			
71	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	6.4 Scénario de maintien des structures bois	Tableau 10	Ed, Te	PF		Je ne comprends pas comment est utilisée la méthode des facteurs. Expliciter votre raisonnement. Expliciter comment les paramètres numériques ont été déterminés.	Des compléments ont été apportés.	Ok Complément apporté en p71			
72	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	7. Exemples de chantiers intégrant du remplissage et de la réutilisation		Ed			*Ainsi le diagnostic PMD (Produits, Matériaux, Déchets) c'est le diagnostic PMED	Fait	Ok pris en compte en partie 7			
73	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC			Ge	PF	ISO 14040	Il aurait été intéressant d'étudier d'autres indicateurs que uniquement celui sur le changement climatique.	Les autres indicateurs ont été rajoutés mais peu commentés car la commande n'incluait pas une telle analyse.	Noté			
74	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5. Impact environnemental		Ge			Serait il possible d'obtenir les fichiers de calculs de la partie 5. Impact environnemental pour vérifier les calculs car il est difficile de se prononcer uniquement via les graphiques de résultats.	Renvoi des calculs.	Les calculs n'ont pas été fournis, les résultats ont été fournis			
75	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC		les figures 5, page 20 à 22 de la V2		Te, Q				au 4.2.3 pourquoi il y a-t-il les tableaux détaillant le min le max la moyenne par référence de chantier BLC. le tableau max moy ne devrait il pas être uniquement construit pour synthétiser l'ensemble des chantiers BLC ? il est d'ailleurs fourni au tableau 7 cela concerne les tableaux REF 13 à 16 ou des figures 5	Les modifications ont été réalisées.	ok avec les compléments proposés	
76	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC	5. Impact environnemental, 5.5 et 5.6		Te, Ge, Q	PF	EN 15804 A2			certaines études de sensibilité se basent sur des pratiques méthodologiques non autorisées en France où qui ne seront plus acceptées dans quelques mois. Est il pertinent de les conserver au même niveau que celles à suivre ?	Le début de l'étude est 2021, année où la norme EN 15804 A1 était encore en vigueur.	Noté	
77	Pierre Ravel	Scénario de fin de vie du CLT et du BLC								Les scénarios de référence ne devaient il pas intégrer le facteur d'équivalence de 0,8 ?	Les professionnels ont indiqué que la valeur du coefficient était de 1.	Noté	

12. Annexe : Références

- AFNOR. 2004. NF P01-010 - Qualité environnementale des produits de construction - Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction. La Plaine Saint-Denis, France: AFNOR.
- AFNOR. 2012. NF EN 15978 - Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Évaluation de la performance environnementale des bâtiments - Méthode de calcul. La Plaine Saint-Denis, France: AFNOR.
- AFNOR. 2014. NF EN 15804+A1 - Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction. La Plaine Saint-Denis, France: AFNOR.
- AFNOR. 2019. NF EN 15804/A2 -Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction - Mai 2018.
- Bellastock (FR), the Belgian Building Research Institute / BBRI (BE) , CSTB, Salvo (UK), University of Brighton (UK)., Brussels Environment (BE), the Scientific and Technical Center of Building / CSTB (FR), Confederation of Construction (BE), et Rotor (BE). 2022. Interreg FCRBE REUSE TOOLKIT Glued laminated timber structural elements. INTERREG.
- CEN. 2014. EN 16485 - Round and sawn timber - Environmental Product Declarations - Product category rules for wood and wood-based products for use in construction.
- CITEPA, ADEME, et CTBA. 2003. Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France.
- Comité national routier. 2019. Enquête longue distance 2018. Paris, France: CNR.
- Cornillier, Claire, Estelle Vial, et Gérard Deroubaix. 2013. Convention DHUP/CSTB 2009 Action 33 – Sous action 6 – ACV & Déclarations environnementales pour des produits et composants de la construction bois – Volet 1 : Création d'une base de données amont. Paris, France: FCBA, CSTB, DHUP, FBF, CODIFAB.
- Donadiou de Lavit, P., N. Leridon, A. L. Levet, Thivolle-Cazat, A., R. Radziminski, et E. Vial. 2019. Etude prospective: Evolution de la demande finale du bois dans la construction, la rénovation et l'aménagement des bâtiments - Evaluation de l'amélioration de la performance environnementale du secteur du bâtiment permise par l'emploi de solutions de bois - substitution et stockage. BIPE, FCBA pour CODIFAB, FBF, ADEME, CSF Bois.
- FCBA. 2009. « FDES - Panneaux de process ».
- FCBA. 2018. « FDES - Panneau CLT (lamellé-croisé) fabriqué en France ».
- FCBA. 2019. « FDES - Poutre en bois lamellé taillée fabriquée en France ».

13. Annexe : Questionnaire

ETUDE DE SCENARIO DE FIN DE VIE Du CLT et BLC

Introduction

Ce questionnaire vise à interroger les acteurs de la construction en bois massifs structuraux CLT et BLC pour l'étude de fin de vie des Bois, initié par l'Union des Industriels et Constructeurs Bois et biosourcés et FCBA, et financé par le CODIFAB. Nous sommes très reconnaissants de votre participation. Les résultats du questionnaire sont confidentiels et resteront anonymes dans le document final de la recherche, aucune entreprise ne sera nommée.

Le but du projet est d'envisager une meilleure prise en compte des qualités environnementales du Bois utilisé en structure CLT et BLC et apporter une valorisation maîtrisée de ces ouvrages Bois massifs après une première vie en œuvre. Il s'agit d'anticiper une démarche d'économie circulaire en valorisant les matériaux vers le réemploi, la réutilisation ou le recyclage.

La raison d'être du questionnaire est de vous donner la possibilité de communiquer vos points de vue sur les problèmes critiques que vous rencontrez et les solutions les plus adaptées, de donner de la force à votre expérience dans votre branche. Des questions ouvertes mais aussi fermées seront utilisées. L'analyse est appuyée par une étude statistique de chantiers réalisés par les entreprises les cinq dernières années. L'étude identifiera aussi les points les plus critiques dans démarche d'économie circulaire, les barrières et l'impact environnemental de la démarche. Pour l'évaluation des scénarios de fin de vie, l'étude part du principe que les éléments de structures Bois CLT et BLC ont vécu dans les meilleures conditions d'utilisation. Quelques réponses sont apportées par les entreprises constructeurs, les charpentiers et les bureaux d'études qui ont déjà expérimenté sur le réemploi d'éléments de structures Bois.

Ce questionnaire comporte cinq parties :

- **Fabrication** : apporte des informations sur l'entreprise interrogée, les types de produits, le volume de production annuelle...*
- **Typologie de produits** : étude chiffrée de chantiers réalisés. L'entreprise interrogée peut multiplier/copier l'onglet pour chaque chantier cité en exemple. Une étude statistique sera effectuée pour évaluer les matières potentiellement disponibles en fin de vie pour chaque chantier. Une analyse statistique sera faite à partir des informations récoltées.*
- **Fin de vie** : cette partie apporte les avis et mesures envisagés en fin de vie avant d'orienter vers le type de valorisation. Les retours d'expériences sont demandés mais aussi les avis des entreprises interrogées.*
- **Barrière à la seconde vie** : il s'agit d'une étude prospective des barrières à lever pour le réemploi et la réutilisation*
- **Environnement**: évaluation de l'impact environnemental associé au scénario de reconditionnement. Les produits de 2nd vie reconditionnés seront l'équivalent de produits neufs dans leur nouvelle utilisation.*

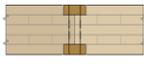
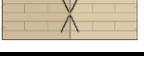
FABRICATION

Cet onglet donne les informations sur la production générale de l'Entreprise : Domaine d'activité, capacité de production

Choisissez votre domaine d'activité	CLT [volume/an]	BLC [volume/an]
Fabrication		
Conception de bâtiment/transformation/BE		
Construction - Réalisation		
Maître d'ouvrage		
BE spécialisé rénovation		
Déconstruction/tri/revente		

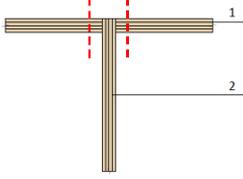
Volume de production/an	Volume/an	Nb de chantiers/an
Poteau		
Poutre		
Plancher		
Mur seul		
CLT nervurée et Caisson		
Pour la préfabrication/autres transformations		

Dimensions des ouvrages réalisables [mm]	CLT	BLC
Largeur min		
Largeur max		
Hauteur (épaisseur) min		
Hauteur (épaisseur) max		
Longueur min		
Longueur max		
Longueur min CLT nervuré		
Longueur Max CLT nervuré		
Largeur min CLT nervuré		
Largeur Max CLT nervuré		
Hauteur min CLT nervuré		
Hauteur Max CLT nervuré		
Sections particulières (non rectangulaire) (préciser la part de production %)		
Formes particulières (arc, trapèze, courbes) (préciser la part de production %)		

Dispositif d'assemblage CLT ou de CLT nervuré	CLT	Largeur concernée [mm]
		
		
		
		
		

Dispositif d'assemblage au niveau des liaisons Mur/plancher ou mur/mur	CLT ou CLT nervuré	Fourchette de largeur concernée par les ferrures [mm]

<p>EN FACADE</p> <p>EN FACADE</p>		
<p>EN REFEND</p> <p>EN REFEND</p>		
<p>EN ANGLE</p> <p>EN ANGLE</p> <p>EN ANGLE</p>		
<p>EN REFEND</p> <p>EN REFEND</p> <p>EN REFEND</p>		
<p>Panneau CLT supérieur</p> <p>Entraitise (CLT, GL, LVL, etc)</p> <p>Nervure en lamelle-collé</p> <p>SUPPORT</p>		
<p>Panneau CLT supérieur</p> <p>Voie à ferrage total</p> <p>Poutres de riv</p> <p>Nervure en lamelle-collé</p> <p>SUPPORT</p>		
<p>Nervure en lamelle-collé</p> <p>Entraitise (CLT, GL, LVL, etc)</p> <p>Panneau CLT inférieur</p> <p>SUPPORT</p>		
<p>Nervure en lamelle-collé</p> <p>Entraitise (CLT, GL, LVL, etc)</p> <p>Panneau CLT inférieur</p> <p>SUPPORT</p>		
<p>Panneau CLT supérieur</p> <p>Entraitise (CLT, GL, LVL, etc)</p> <p>Nervure en lamelle-collé</p> <p>Panneau CLT inférieur</p> <p>SUPPORT</p>		

Dispositif d'assemblage de Poteau ou de Poutre BLC	Liaison Poteau BLC/Poutre BLC	Fourchette de Largeur concernée [mm]
		
 <p data-bbox="327 607 440 624">Découpe sur chantier</p>		
 <p data-bbox="336 790 430 808">Découpe en atelier</p>		

Type de collage	CLT	BLC
Clouage		
Collage : MUF (Mélamine Urée Formol)		
Collage : PU (polyuréthane)		
Collage : RP (Résorcine phénol)		
Autres (préciser)		

Présence de produits chimiques en surface ?	CLT	BLC
Produits de préservation		
Produits de finition		
Applications autres selon la destination		

Précisez pour expliquer

FIN DE VIE

cette partie apporte les avis et mesures envisagés en fin de vie avant d'orienter vers le type de valorisation. Les retours d'expériences sont demandés mais aussi les avis des entreprises interrogées.

Traçabilité des produits

En fin de vie, les éléments de descriptions et les documentations, ou fiches techniques indiquant les caractéristiques physiques et mécaniques : ATE, ETE, CE, DOE des produits sont-ils conservés ? où sont-ils disponibles ?

Documents gardés au niveau de :	OUI	NON
Fabrication		
Conception de bâtiment/transformation		
Construction - Réalisation		
Maître d'ouvrage		
Déconstruction/tri/revente		

Moyens existants pour conserver les informations : traçabilité des produits

Moyens de conservation des données	OUI	NON	Précisions
Documents papiers et identification de commande			
Documents numérisés : fiche et fichiers de commande			
Traceurs numériques: code, puce sans BDD embarquée			
Traceurs numériques : code, puce avec BDD embarquée			
Autres moyens de reconnaissances/identifications des produits : Marquage physique sur le produit Label affiché Identification du fabricant Code inscrit sur les produits			

Diagnostic des produits

On vous fournit des produits en fin de vie : des sinistres ou pathologies peuvent être constatés en fin de vie des ouvrages, auriez-vous déjà des mesures préconisées pour orienter la valorisation des produits ?

Après enlèvement des parements/isolant/membranes : acceptez vous les produits présentant ces constatations ?	OUI	NON	Mesures à faire
Etat visuel : avec finition, apparition de coloration, aspect différent du neuf, texture venant d'autres produits (collage, membranes...)			ex : rabotage, sciage, élimination, autres voies
Apparition de traces d'humidité/usures/ en surface			ex : rabotage, sciage, élimination, autres voies
Développement fongique			ex : traitements, rabotage, produits...
Soupçon ou attaques d'insectes ILX			ex : traitements, élimination...
Attaque de termites			ex : traitements, élimination...
Dégradations structurelles : Fissures Déformations mécaniques Délamination Déformation au niveau des assemblages			ex : découpe au niveau de la dégradation
Accepteriez-vous des produits d'autres fabricants?			ex : si ATE initial disponible ex : Oui pour une filière non structure

Valorisation des produits

En supposant que les produits sont correctement démontés lors d'une déconstruction, quels sont les critères qui motiveraient pour re-employer ou re-utiliser :

Sources de l'avantage compétitif	1.	2.	3.	4.	5.
	Peu importance	Importance mineur	Importance moyenne	Important	Importance critique
Qualité du bois composant (plis)					
Collage					
Dimensions des plis					
Dimensions du produit					
Assemblages existants					
Facilité d'accès aux produits comme matières premières (ie. facile à utiliser)					
Performance mécanique du produit					
Coût du produit en fin de vie					
Connaissance du produit (fiabilité de la marque)					
Qualité visuelle et esthétique					
Reconnaissance du client (acceptation)					
Accès à l'infrastructure des transports					
Requalification (essai ou expertise) :propriétés techniques des produits / services					
Innovation technique ou nouvelle destination					
Possibilité de réintroduction dans la production (modification de la réglementation)					
Conformités à législation environnementale et son marketing					
Argument de vente					
Soutien régional et local de la démarche					
Accès à un financement pour la reconnaissance de la démarche ecocirc					

Opportunités de réemploi en structure de bâtiment

Quelles sont les opportunités de revalorisation de vos produits dans la structure de bâtiment

Elements de structures	A	B	C	D	E	F	G
Poteau seul (A)							
Poutre seule (B)							
Poteau-poutre (C)							
Plancher seul (D)							
Mur seul (E)							
Plancher et mur (F)							
Valorisation des lames de bois décollées (G)							

Avez-vous des retours d'expériences à ce sujet?

Opportunités de réutilisations

Quelles sont les opportunités de revalorisation de vos produits dans d'autres produits

Type de produits issus de déconstruction	Menuiserie	Ameublement	Lames de bois	Autres filières
Poteau				
Poutre				
Plancher				
Mur				

Avez-vous des retour d'expériences sur ces transformations ?

A. **Barrières (obstacles) au développement du réemploi, réutilisation et recyclage**

Toutes les entreprises d'une filière tendent à construire ou prendre avantage de barrières à l'entrée de leur filière. C'est une manière de protéger son entreprise de la compétition (Source: Kaplinsky et Morris: a Handbook for value chain research). Les barrières peuvent être techniques, judiciaires ou réglementaires.

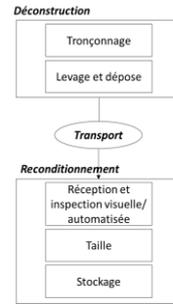
Les mesures suivantes pourraient être déployées pour le réemploi et la réutilisation, sont-elles des barrières ?

Barrières	1: Ce n'est pas une barrière	2: Facile à surmonter	à 3: Peut être surmontée	4: Barrière difficile à surmonter	5: Barrière extrême
Rabotage et remise en état					
Dimensions non standard					
Mécanique (nécessité d'essai ou expertise): ajout de renforts supplémentaires					
Découpe des assemblages et liaisons entre produits					
Découpe des liaisons mécaniques (appuis)					
Découpe des lames de bois (plis) au niveau des collages en usine					
Transport depuis le chantier à l'usine					
Stockage sur chantier de déconstruction					
Transformation en usine pour la construction					
Transformation en usine pour le second œuvre					
Transformation en usine pour la menuiserie					
Transformation en usine pour l'ameublement					
Transformation en usine pour l'emballage					
Reconnaissance dans une 2 nd vie (Réglementation)					
Cout de fabrication					
Essai: Reconnaissance de la toxicité des produits (Réglementation)					
Requalification de la durabilité: retraitement					
Acceptabilité des utilisateurs finaux					
Le cout des moyens de déconstruction lourde :démontage, tri, découpe (sur chantier)					
Le cout de la transformation globale (en usine)					
L'assurabilité des produits de 2 nd e vie					
Les performances face aux produits neufs					
Le manque de reconnaissance des autres filières (menuiserie, revêtement, ameublement...)					

Ajouter d'autres suggestions si besoin

Environnement

Le scénario présenté ci-contre représente un enchaînement possible de procédés.



Avez-vous des commentaires sur ce schéma? Des propositions de modification?	
---	--

Le tableau ci-après détaille les possible impacts environnementaux des différentes étapes identifiées pour le scénario

Etape	Paramètre	Donnée CLT	Unité (modifier si nécessaire)	Donnée Lamellé	Unité (modifier si nécessaire)
Déconstruction	Durée d'utilisation de la tronçonneuse		Minutes/m ²		Minutes/m ³
	Rendement du tronçonnage	Déterminé par l'étude statistique		Déterminé par l'étude statistique	
	Durée du levage et de la dépose		Minutes/m ²		Minutes/m ³
	Type d'engin utilisé pour le levage et la dépose				
Transport vers le site de ré-utilisation	Distance (évaluation d'une distance économiquement raisonnable de transport si vous deviez retailler des panneaux déposés - pas nécessairement les vôtres)		km		km
	Type de camion – charge utile		tonnes		tonnes
	Volume ou Surface de CLT/BLC placé par camion (préciser) (vous pouvez vous inspirer du remplissage des camions livrant vos chantiers)		m ²		m ³
Process de reconditionnement	Transport interne -GPL		MJ/m ²		MJ/m ³
	Transport interne -Electricité		kWh/m ²		kWh/m ³
	Transport interne - diesel		litre/m ²		litre/m ³
	Taille numérique - électricité		kWh/m ²		kWh/m ³
	Taille numérique - rendement	Déterminé par l'étude statistique	%	Déterminé par l'étude statistique	%
	Retraitement pour une nouvelle utilisation (étant donné la taille réalisée pour le reconditionnement)		litre de produit de classe 2/m ²		litre de produits de classe 2/m ³

L'utilisation de panneaux reconditionnés de plus petite taille nécessitera-t-il plus de ferrures que l'utilisation de panneaux réalisés à partir de bois de forêt ? Si oui, pouvez-vous faire une estimation?	
Est-ce que cela aura un impact sur les réservations nécessaires au chantier utilisant ces panneaux? Plus de découpes ou moins de découpes?	
Peut-on dire qu'1 m ² de CLT reconditionné remplace 1 m ² de CLT issu de bois vierge?	
Peut-on dire qu'1 m ³ de BLC reconditionné remplace 1 m ³ de BLC issu de bois vierge?	

14. Annexe : Description de la méthode de déconstruction

La note suivante a été préparée par la société MATHIS et revue par les adhérents de l'UICB. Elle contient notamment une description détaillée des scénarios de déconstruction pour les panneaux de CLT utilisés en plancher et en mur et pour les poutres BLC.

Analyse de Fin de Vie du CLT et BLC



Version : 2.0

SOMMAIRE

1.	Démontage d'un bâtiment	3
1.1.	Bâtiments murs et planchers CLT ou CLT nervuré	3
1.1.1.	Démontage d'un niveau de plancher	3
1.1.2.	Démontage d'un niveau de mur.....	7
1.2.	Bâtiments système poteaux-poutres BLC et planchers CLT ou CLT nervurés.....	9
1.2.1.	Démontage des poutres	9
1.2.2.	Démontage des poteaux	10
2.	Récupération de la matière bois	Erreur ! Signet non défini.
2.1.	Temps d'usinage.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.	Récupération du CLT et CLT nervuré.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.2.	Réutilisation des planchers et des murs CLT	Erreur ! Signet non défini.
2.3.	Récupération du bois lamellé-collé	Erreur ! Signet non défini.
2.4.	Résumé des parts de récupération du matériau bois	Erreur ! Signet non défini.

1. DEMONTAGE D'UN BATIMENT

1.1. Bâtiments murs et planchers CLT ou CLT nervuré

Le principe du démontage des murs et planchers CLT ou CLT nervurés reste le même que celui du montage de ces mêmes éléments lors de la construction d'un bâtiment ; à la fois pour la sécurité sur chantier et pour la manutention des pièces.

Pour désolidariser les éléments structuraux du bâtiment, les assemblages sont sciés afin de gagner du temps sur chantier, puis sont redécoupés lors du post-traitement en atelier dans le but de réutiliser un maximum de matière bois.

1.1.1. Démontage d'un niveau de plancher

1.1.1.1. Mettre en sécurité

Pour assurer la sécurité des ouvriers durant la phase de démontage du bâtiment, des garde-corps doivent être installés sur le sommet des murs extérieurs du niveau inférieur (Figure 1).

Ils doivent être disposés sur l'ensemble du périmètre de l'étage où les planchers sont en phase de démontage.

Garde-corps,
perceuse-visseuse

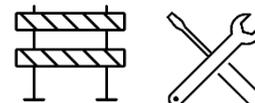


Figure 1 : Garde-corps installés sur un niveau

1.1.1.2. Etayer les éléments de planchers et les murs inférieurs

Afin de stabiliser l'aire de démontage et de maintenir les éléments structuraux en place, les murs et planchers des niveaux inférieurs doivent être étayés. Quatre étais verticaux soutiennent chaque panneau de CLT ou CLT nervuré pour éviter leur basculement. A cela s'ajoute des étais diagonaux pour supporter les murs et les empêcher de tomber (Figure 2).

Perceuse-visseuse,
clés, étais diagonaux,
étais verticaux



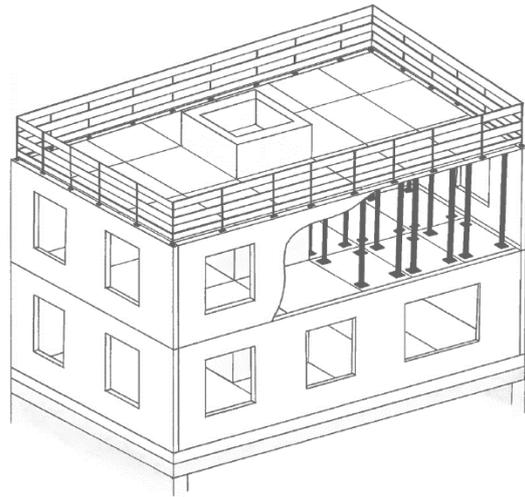


Figure 2 : Etais pour les murs et planchers du niveau inférieur

1.1.1.3. Accrocher chaque élément de plancher par quatre points par une grue

L'étape suivante consiste à fixer sur le panneau à démonter des crochets d'attache en quatre points (Figure 3). Cela permet de sécuriser le plancher à l'aide d'une grue lors de la découpe des assemblages pour le désolidariser du bâtiment.

Perceuse-visseuse,
grue, vis, crochets
d'accroche

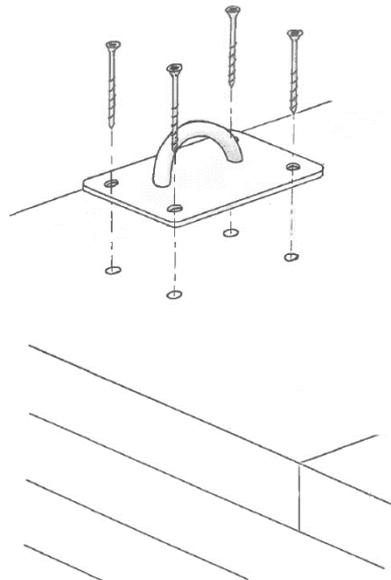
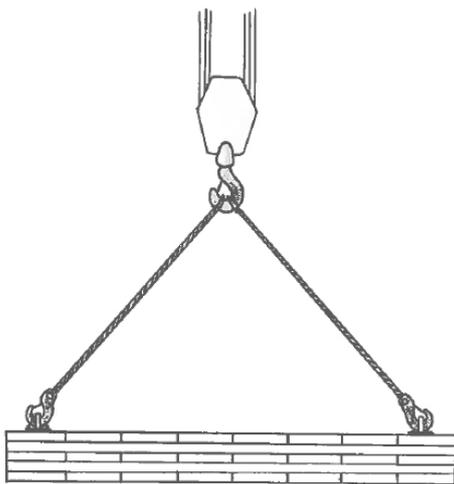


Figure 3 : Crochets d'attache et manutention par une grue

1.1.1.4. Découpe liaisons entre les panneaux de plancher

Afin de démonter rapidement et facilement les éléments de CLT ou CLT nervuré, la procédure consiste à découper les assemblages par vis, boulons ou tire-fond entre les panneaux à l'aide d'une tronçonneuse électrique. Cette dernière a une capacité de coupe supérieure à 150 mm d'épaisseur et permet des attaques plus libres.

Tronçonneuse électrique, outils à commandes numériques



Les principaux assemblages entre deux panneaux figurent dans le tableau suivant (voir Figure 4). Les axes de découpe par tronçonneuse électrique sur chantier sont tracés en rouge sur les schémas ci-après.

Pour la majeure partie des assemblages, une première découpe est réalisée sur chantier pour désolidariser les éléments entre eux afin ne pas perdre de temps lors du démontage (exemple en Figure 5). Une deuxième coupe en post-traitement par outils à commandes numériques en atelier permet de supprimer les parties des assemblages non réutilisables des panneaux CLT ou CLT nervuré.

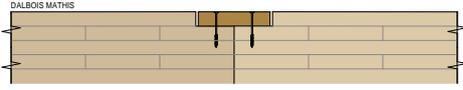
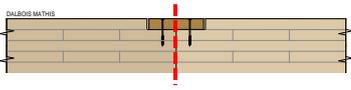
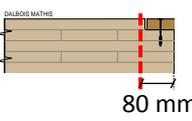
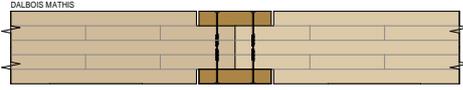
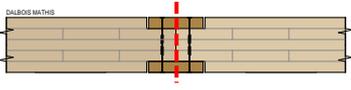
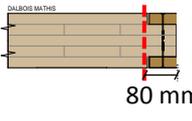
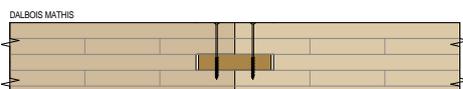
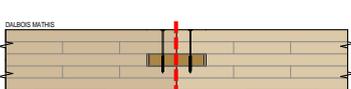
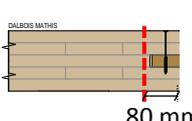
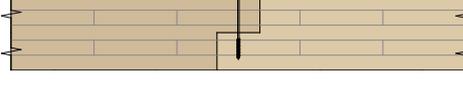
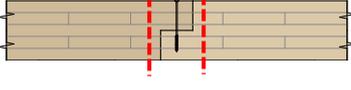
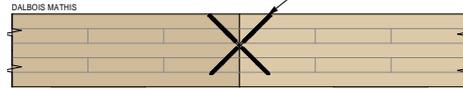
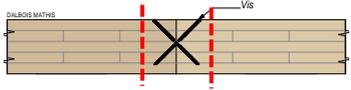
Dispositif d'assemblage des panneaux	Découpes sur chantier, tronçonneuse électrique	Post-traitement en atelier
		
		
		
		
		

Figure 4 : Découpe des assemblages sur chantier puis en atelier des panneaux de CLT et CLT nervurés de planchers

Remarque : Les languettes sont d'une épaisseur comprise, en général, entre 27 mm et 40 mm. Pour les panneaux de CLT ou CLT nervuré, leur épaisseur peut aller jusqu'à 260 mm. Le type de tronçonneuse devra être adapté selon les cas.

Exemple de composition d'un assemblage de deux panneaux de CLT par languette :

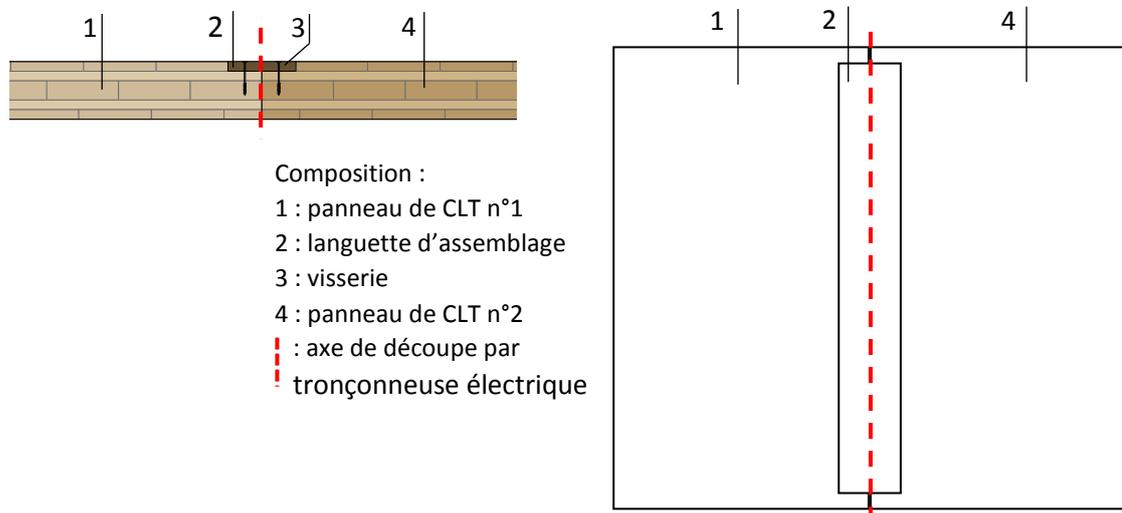


Figure 5 : Représentation d'un assemblage de deux panneaux de CLT par une languette vissée

1.1.1.5. Gérer les appuis

L'assemblage des planchers sur les murs se fait par vissage. Pour désolidariser le plancher des murs porteurs, deux solutions sont possibles : dévisser les assemblages de jonction ou découper les parties assemblées (Figure 6).

Tronçonneuse électrique, perceuse-visseuse

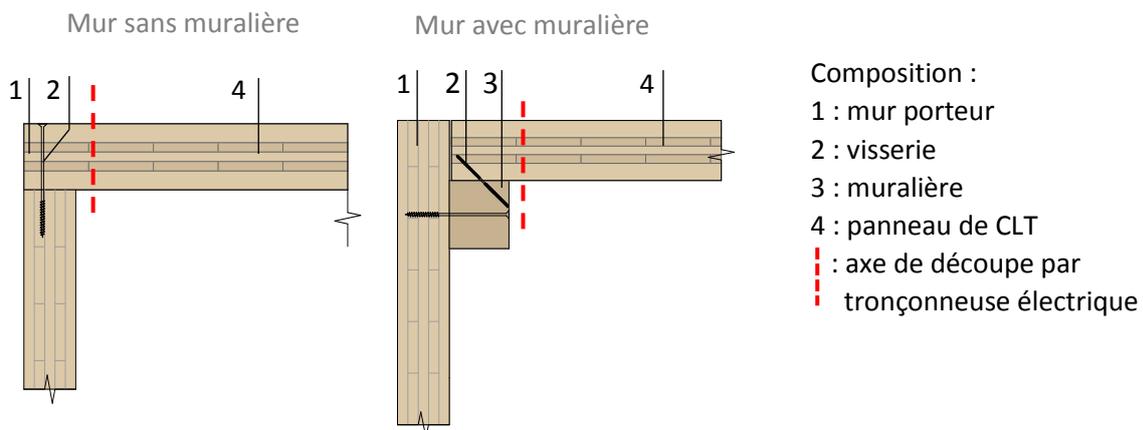


Figure 6 : Représentation de l'assemblage entre planchers et murs porteurs

Dans le cas où la découpe est envisagée, le panneau de CLT ou CLT nervuré est scié sur chantier, là encore, grâce à une tronçonneuse électrique selon les axes de découpe de la Figure 6.

1.1.1.6. Lever les planchers

La dernière étape réside à soulever les panneaux par une grue (Figure 7), et à les évacuer hors du bâtiment sur des camions après que les garde-corps ont été démontés.

Grue, visseuse

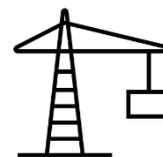


Figure 7 : Manutention d'un panneau de CLT par une grue

1.1.2. Démontage d'un niveau de mur

Lorsque tous les panneaux du niveau sont retirés du bâtiment, le démontage des murs du niveau inférieur peut débuter.

1.1.2.1. Accrocher chaque mur par deux points par une grue

Les murs à retirer ont été étayés lors du démontage des planchers du niveau supérieur. Avant de retirer les étais diagonaux, deux crochets d'attache ou des sangles sont fixés au sommet des murs pour être soulevés par la grue (voir Figure 9).

Perceuse-visseuse,
grue, vis, crochets
d'accroche, sangles



1.1.2.2. Découper le bas du chaque mur

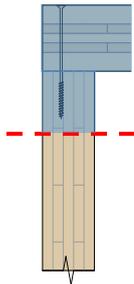
Assemblés les uns aux autres entre niveaux, les murs porteurs doivent être découpés horizontalement au niveau de leur base afin d'être extraits facilement.

En atelier, les murs seront redécoupés de manière plus précise pour retirer les muralières, les derniers éléments de visserie et les parties des planchers CLT ou CLT nervuré qui ne sont pas recyclables (Figure 8).

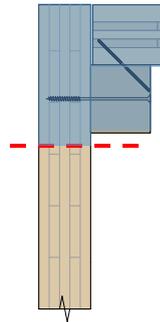
Tronçonneuse électrique, outils à commandes numériques



Mur sans muralière



Mur avec muralière



--- : axe de découpe en atelier pour retirer les parties non récupérables des murs
■ : éléments non réutilisables

Figure 8 : Découpe en atelier des éléments non récupérables des murs

1.1.2.3. Lever les murs

Une fois les assemblages désolidarisés, les étais peuvent être retirés et la grue peut lever chacun des murs pour les sortir du bâtiment (Figure 9).

Grue, sangles

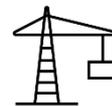


Figure 9 : Levage d'un mur

A la suite des coupes faites en post-traitement en atelier, la majeure partie de la matière bois est récupérée de chaque éléments de murs et de planchers. Ce bois sera retravaillé pour une seconde vie et d'autres utilisations, énoncées dans le chapitre 2. RECUPERATION DE LA MATIERE BOIS de ce présent rapport.

1.2. Bâtiments système poteaux-poutres BLC et planchers CLT ou CLT nervurés

Dans cette partie, un mode opératoire du démontage des bâtiments en fin de vie comprenant des systèmes poteaux-poutres est proposé. Les étapes globales restent les mêmes que pour le démontage des éléments de panneaux en CLT ou CLT nervuré (vu au chapitre 1.1. BATIMENT MURS ET PLANCHERS CLT), où leur désolidarisation se fait par découpe des assemblages sur chantier.



Figure 10 : Système poteaux-poutres en bois lamellé-collé (bâtiment PULSE, Saint-Denis)

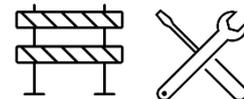
1.2.1. Démontage des poutres

1.2.1.1. Mettre en sécurité

La première étape consiste à placer des garde-corps à l'intérieur du niveau en démontage, et principalement au niveau des ouvertures (Figures 1 et 10).

Des plateformes sécurisées doivent être utilisées pour que les ouvriers puissent travailler sur le démontage ou le sciage des éléments en hauteur.

Perceuse-visseuse
Garde-corps



1.2.1.2. Mise en place des étais

Pour que les poteaux-poutres ne basculent pas, ils doivent être maintenus grâce à un ou deux étais diagonaux (voir Figure 10).

Perceuse-visseuse,
clés, étais



1.2.1.3. Accrocher chaque poutre par deux points par une grue

Des sangles ou des crochets d'attache sont fixés sur les poutres afin qu'elles soient soulevées par une grue pour être retirées du bâtiment (voir Figure 12).

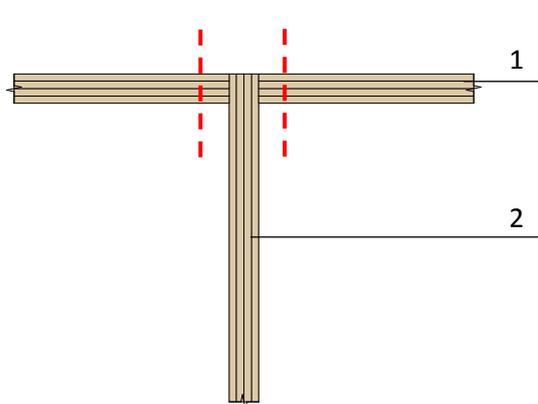
Perceuse-visseuse,
grue, vis, crochets
d'accroche, sangles



1.2.1.4. Gérer les appuis

Les assemblages entre les poutres, les poteaux, les linteaux ou tout autre élément sont découpés sur chantier (Figure 11). Les poutres seront redimensionnées en atelier par une machine de découpe à commandes numériques (Figure 15).

Tronçonneuse électrique



1 : poutre en BLC
2 : poteau en BLC
: axe de découpe par
tronçonneuse électrique

Figure 11 : Découpe sur chantier des assemblages entre poutres et poteaux

1.2.1.5. Lever les poutres

Les poutres étant désolidarisées de la structure du bâtiment, elles peuvent être soulevée par une grue et être déposée à l'extérieur de la zone de démontage.

Grue, sangles

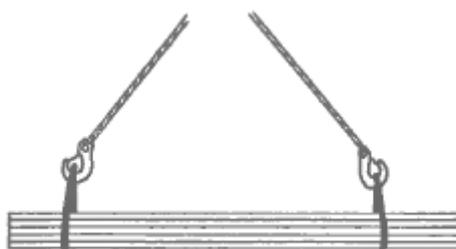
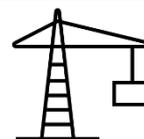


Figure 12 : Lever de poutres en bois lamellé-collé

1.2.2. Démontage des poteaux

La sécurité étant déjà mise en place lors du démontage des poutres, tout comme l'installation des étais, les étapes suivantes peuvent être réalisées.

1.2.2.1. *Accrocher chaque poteau par un point par une grue*

Au sommet de chaque poteau est vissé un crochet d'attache pour que la grue les déplace facilement (Figure 14).

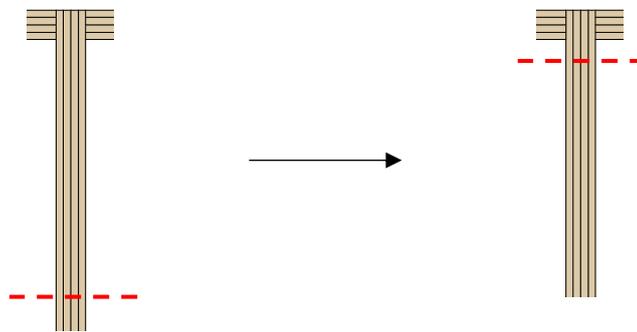
Perceuse-visseuse, grue, vis, crochets d'accroche



1.2.2.2. *Gérer les assemblages*

Les assemblages entre les poutres et les poteaux ont été sciés sur chantier, le dernier élément d'attache est situé au pied des poteaux. Grâce à une tronçonneuse électrique, les poteaux en bois lamellé-collé sont rapidement désolidarisés du bâtiment (Figure 13).

Tronçonneuse électrique, outils à commandes numériques



Découpe sur chantier

Découpe en atelier

Figure 13 : Phases de découpe sur chantier et en post traitement des poteaux

1.2.2.3. *Lever les poteaux*

Finalement, les poteaux sont soulevés par la grue et retirés du chantier de démontage.

Grue



Figure 14 : Lever les poteaux en bois lamellé-collé
