

Université Libre de Bruxelles
Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire
Faculté des Sciences
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

**«Etude de l'opportunité sur le plan environnemental du
développement d'une activité de bois modifié thermiquement
en Wallonie comme filière plus durable pour la production de
bois de construction extérieure : lames de terrasses et bardages»**

Mémoire de Fin d'Etudes présenté par
Hugues ANDRE
en vue de l'obtention du grade académique de
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement
Finalité Gestion de l'Environnement ENVI5G-M

Année Académique : 2013-2014

Promoteur : Prof. Wouter Achten

Résumé

Nous avons examiné l'opportunité de la filière de modification thermique de bois d'origine Wallonne sur le plan de son empreinte environnementale, et cela comparativement à deux filières « classiques », le bois exotique importé pour les terrasses et le bois d'origine local traité chimiquement pour le bardage.

Nous avons d'abord donné un aperçu de ce qu'était la filière bois en Belgique, en mettant le focus sur le bois de construction extérieure en général et le marché des terrasses et bardages en particulier. Nous avons pointé certains défis de la Wallonie, en regardant en quoi le bois modifié thermiquement pouvait représenter une opportunité pour celle-ci. Nous avons ensuite expliqué ce qu'était la filière de traitement thermique du bois, ce qu'elle apportait sur le plan technique, ses points forts, comme une meilleure durabilité biologique sans traitement chimique, une plus grande stabilité dimensionnelle, mais aussi les difficultés qu'elle pouvait engendrer comme une moindre résistance à la flexion, ce qui l'exclu à priori pour les usages de structure. Nous avons décrit les principes généraux du process de thermo-traitement, la nécessité de gérer plusieurs paramètres clés ainsi que les différentes technologies en présence en mettant le focus sur la technologie finlandaise Thermowood®. La filière a évidemment aussi ses problèmes de jeunesse: il y a des questions en suspens sur la durabilité long terme et la labellisation.

Dans un deuxième temps, nous avons construit des scénarii de filières terrasses/ bardages concrets afin de répondre le mieux possible à notre question de recherche et valider ou invalider les hypothèses. Le but était de comparer ces filières à travers une ACV dite « rough » visant à comparer les empreintes énergétiques et gaz à effet de serre pour les étapes de process différentielles entre les filières. Les scénarii, comparés deux à deux pour l'ACV étaient, pour les terrasses, du frêne d'origine wallonne traité thermiquement versus de l'ipé importé du Brésil et, pour le bardage, de l'épicéa d'origine wallonne traité thermiquement versus traité chimiquement (en autoclave). Nous avons également réalisé une analyse qualitative de l'impact éco-toxicologique du traitement thermique versus traitement chimique autoclave.

Dans un troisième temps nous avons analysé les résultats, les avons discuté et conclu :

Pour le marché des terrasses, le bois modifié thermiquement a une consommation énergétique et une empreinte GES plus élevée que le bois exotique. Mais nous concluons à l'opportunité de développer la filière thermique. Les raisons en sont d'une part la sensibilité du modèle « brésilien » à des paramètres comme la distance entre lieu de coupe et port d'embarquement, qui ne demande qu'à s'allonger, et, d'autre part, la marge d'amélioration, par rapport à nos hypothèses, sur la consommation d'énergie à fournir pour le pré-séchage, étape la plus énergivore de la chaîne de traitement thermique. Nous avons ajouté quelques arguments environnementaux plus « politiques ».

Pour le marché du bardage, la filière thermique est sept fois plus consommatrice d'énergie et émettrice de GES pour les étapes de process considérées que la filière chimique autoclave. Ce gap, lié en grande partie à l'absence d'obligation de pré-sécher l'épicéa traité autoclave, nous semble impossible à combler et met à mal l'opportunité, selon nous, de développer la filière thermique. Seul l'impact éco-toxicologique sur l'environnement du traitement autoclave pourrait justifier le surplus de consommation énergétique de la filière thermique. Mais après analyse et discussion, il apparaît que ce point est loin d'être évident. Pour illustrer ce status quo, nous concluons en prenant le risque d'une comparaison osée entre les deux filières.

Dans les conclusions, nous avons aussi résumé les limites de cette étude, elles sont importantes, nous en sommes conscient et invitons le lecteur à les lire dans tous les cas (P93).

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont accueilli et consacré du temps dans le cadre de nos multiples interviews, visites sur le terrain et contacts téléphoniques. Nous adressons un remerciement tout particulier à Lieven De Boever (CTIB), Gilles Négrié (FCBA) et Clément Sarri (Dumoulin Bois).

Nous souhaitons également remercier les personnes qui nous ont accompagné dans la réalisation de ce travail via leur contribution à la recherche de sources bibliographiques, la recherche de données techniques, la mise en place de choix de scénarii, l'établissement d'hypothèses.... Nous remercions ici tout particulièrement François Deneufbourg (Office Economique Wallon du Bois), Luc Verdebout (Bibliothèques facultaires de l'ULB), Marie Leprêtre (pour sa contribution logistique) et Wouter Achten, notre Directeur de mémoire, pour sa disponibilité.

Table des matières :

1. Introduction

- 1.1. Motivations
- 1.2. Choix du sujet
- 1.3. Généralités filière bois
 - 1.3.1. Généralités
 - 1.3.2. La construction bois en Belgique et les sciages
- 1.4. Généralités sur bois modifié thermiquement
- 1.5. Le bois de terrasse et de bardage
 - 1.5.1. Justification du choix des deux produits
 - 1.5.2. Durabilité naturelle du bois et classes d'emploi
 - 1.5.3. Rapide aperçu des essences de bois utilisées pour terrasses et bardages
 - 1.5.4. Choix des essences pour notre travail
- 1.6. Question de Recherche
- 1.7. Hypothèses

2. Etat de l'art du Bois Modifié thermiquement

- 2.1. Bibliographie
- 2.2. Description générale du procédé
 - 2.2.1. Généralités
 - 2.2.2. Le processus de traitement à haute température : principes et intérêts
 - 2.2.3. Les différentes technologies
- 2.3. Quelques éléments sur la situation du marché en Europe

3. Matériel et méthode :

- 3.1. Généralités
- 3.2. Analyse du cycle de vie- « screening LCA » : Analyse comparative entre les filières pour les scénarii retenus
 - 3.2.1. Analyse de cycle de vie: La méthodologie
 - 3.2.2. Goal and scope (description du cadre de l'étude, scénarii retenus, hypothèses et limites)
 - 3.2.2.1. Objectif de l'étude, motivation et audience visée
 - 3.2.2.2. Détermination de la fonction
 - 3.2.2.3. Unités fonctionnelles
 - 3.2.2.4. Détermination des impacts à quantifier
 - 3.2.2.5. Description et frontières du système
 - 3.2.2.6. Besoins en termes de données et ressources
 - 3.2.3. Inventaire du Cycle de vie (LCI)
- 3.3. Examen des impacts environnementaux sur le plan toxicologique des filières bois traité thermiquement et bois traité chimiquement.

4. Résultats et interprétations impacts environnementaux

4.1. Aspects quantitatifs : Consommation d'énergie et empreinte gaz à effet de serre.

« Life Cycle impact assessment » et interprétation.

4.1.1. Terrasses : résultats et interprétation de la consommation d'énergie différentielles des deux filières

4.1.2. Terrasses: résultats et interprétation des émissions GES différentielles des deux filières

4.1.3. Bardage : résultats et interprétation de la consommation d'énergie différentielles des deux filières

4.1.4. Bardage : résultats et interprétation des émissions GES différentielles des deux filières

4.2. Aspects qualitatifs : impact sur le plan éco-toxicologique

4.2.1. Quels impacts environnementaux sur le plan éco- toxicologique du bois traité thermiquement ?

4.2.2. Quels impacts environnementaux sur le plan éco-toxicologique du bois traité en autoclave ?

4.2.2.1. Lors de l'application de son traitement et pendant sa durée de vie.

4.2.2.2. En fin de vie.

5. Discussion : Opportunité de la filière « thermique » sur le plan environnemental

6. Conclusions

7. Bibliographie

Annexe : Tableau Calculs Life cycle impact assessment

1. INTRODUCTION

1.1. Motivations :

Si nous avons choisi ce sujet comme travail de fin d'étude de Master II en Gestion de l'Environnement, c'est parce que nous avons toujours été intéressé par la foresterie et la filière bois. Même si ce sont des domaines qui touchent des champs très larges, il y a au moins une chose qui les caractérisent: A partir d'un sol et d'un climat plus ou moins favorable, avec plus ou moins d'intervention humaine, avec des techniques plus ou moins complexes, plus ou moins respectueuses de l'environnement, on peut obtenir des matériaux en s'appuyant directement sur la nature. On ne s'appuie pas sur elle pour exploiter son capital, ses stocks accumulés lors des millénaires, mais bien sur sa dynamique, sa capacité générative, de création et de croissance.

Regarder pousser un arbre- pour nous - cela participe toujours d'un petit quelque-chose de miraculeux.

On dit du bois qu'il est un matériau noble. Nous pensons que c'est vrai lorsque il est produit en respectant le milieu dans lequel on intervient, en tenant compte de sa capacité de renouvellement, sans y incorporer des intrants qui polluent ou des techniques qui épuisent les sols.

Par ailleurs, le matériau bois a cette qualité extraordinaire, comme toute biomasse utilisée à des fins de matériau, non seulement de capter du CO₂ lors de sa « production » - sa croissance-, mais encore de le stocker pour un certain temps que ce soit dans la construction (bois de structure, meubles, planchers, châssis etc...) ou dans l'industrie (fibres, isolants¹ ...). Il présente donc un vrai bilan positif dans le cadre de la problématique des émissions de gaz à effet de serre, pas seulement un bilan neutre.

Nous ajoutons enfin le fait que le bois est tout simplement un matériau que nous aimons car il vit, il est agréable au touché, il est « chaud » dans sa texture mais aussi- souvent- dans les nuances de sa coloration aussi diverses qu'il n'y a d'essences.

Bref, il est durable – un mot à la mode - mais bien plus que cela : Pour nous, il incarne un pont extraordinaire entre le développement de nos sociétés avec leurs exigences en terme

Parenthèse : Dans ce raisonnement, je fais évidemment abstraction de certaines techniques de production de matériaux à base de bois qui peuvent être très énergivores ou de composants ajoutés qui peuvent comporter beaucoup d'énergie incorporée (énergie grise) tels certains matériaux en bois composite.

Le bois modifié thermiquement pose d'ailleurs la question de la quantité d'énergie nécessaire à sa production et nous tenterons –entre autre- dans ce travail, d'y répondre.

Encadré 1

¹ Nous mettons l'industrie de la pâte à papier à l'écart de ce raisonnement pour des raisons qui susciteraient un débat qui dépasse largement le périmètre de notre travail.

de matériaux, leurs excès en terme de pollution – et en particulier de gaz à effet de serre - et un lien indispensable avec la nature, pour autant que nous nous posions les bonnes questions et que nous relevions les bons défis.

1.2. Choix du sujet

Face aux bétons et autres plastiques dérivés de l'industrie pétrochimique, le bois est un matériau avec un potentiel énorme dans beaucoup d'applications, résistant, facile à mettre en œuvre, isolant, beau et écologiquement avantageux - même si il est évident que le propos ici n'est pas de vouloir faire penser qu'il est la seule solution ou alternative dans les matériaux de construction ou d'industrie.

Notre choix s'est porté sur la technique du traitement du bois à haute température : le bois modifié thermiquement (appellation que nous raccourcirons parfois dans ce travail par « BMT », ou que nous appellerons encore bois traité thermiquement ou thermo-traité).

Beaucoup de bois est utilisé pour la finition d'habitations en usage extérieur et nous avons choisi de nous concentrer sur deux produits : les lames de terrasses et de bardages.

Pour ces produits, il y a différentes options sur le marché, les principales étant l'importation de bois exotiques qui présentent, pour la plupart, une durabilité naturelle élevée, et le bois d'origine de régions tempérées (appelé « bois local » dans notre travail) traité chimiquement pour lui conférer une meilleure durabilité.

A partir de là le côté « durable » de ces filières peut être questionné et une proposition de technologie nouvelle peut être intéressante. Nous essayerons d'évaluer si la technologie que nous présentons ici est meilleure, plus durable.

Le choix de notre sujet se justifie donc par le fait que cette technique permettrait, entre autre, de conférer des qualités de durabilité sans utilisation de produits chimiques à des bois d'origine locale. Elle permettrait aussi de pouvoir concurrencer la filière de bois exotiques dont les prix grimpent et dont l'empreinte écologique est réputée importante. Elle permettrait par là même d'offrir une diversification des débouchés pour la filière bois wallonne, qui pour les feuillus, en a bien besoin (voir infra), et ce, en valorisant des essences indigènes telles que le peuplier, le frêne, l'épicéa, le hêtre....

Nous justifions plus dans le détail ces choix plus loin dans notre travail mais il faut d'ores et déjà noter que cela participe aussi d'un souci et d'une volonté politique affichée des autorités wallonnes.

En conséquence, si ce travail peut contribuer ne fut-ce qu'à attirer l'attention sur l'utilisation d'un matériau noble comme le bois dans un domaine assez nouveau (il n'existe aucune production actuellement sur le sol belge) et favoriser à dynamiser la filière d'origine wallonne, ce sera déjà une grande satisfaction pour nous.

1.3. Généralités filière bois

1.3.1 Généralités :

La filière bois intègre de multiples niveaux avec de nombreux débouchés. Brièvement décrit, on peut distinguer² (voir figure 1) :

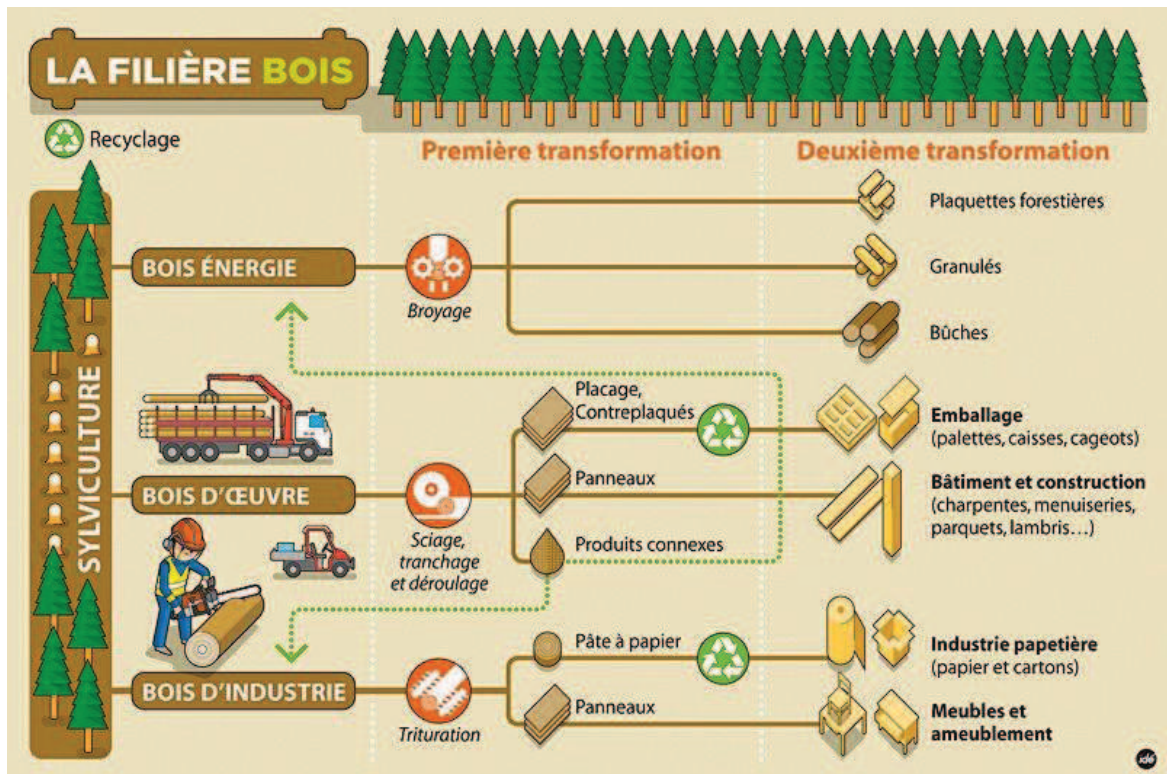


Figure 1, extrait de « www.magazine.cg.74.fr », magazine du Conseil Général de Haute Savoie, France –N°, Auteur anonyme, année et titre inconnus

- Un premier niveau, celui le plus en amont, la syviculture : la forêt, celle-ci drainant par sa gestion une série de métiers et d'intervenants : propriétaires forestiers (publics et privés), gestionnaires forestiers (publics et privés : experts , techniciens ...), pépiniéristes et entrepreneurs de travaux forestiers.
- Un deuxième niveau, la transformation, (première et deuxième transformation, voir figure 1) qui se divise en trois branches principales :
 - Pour la partie la plus valorisable, le bois d'œuvre destiné à la construction (charpentes, menuiserie, lambris , parquets), et à l'emballage. Il peut être travaillé sous forme de bois rond, scié, déroulé ou tranché..

² Panorabois Wallonie 2012-2013, Office économique Wallon du bois

- Le bois d'industrie destiné à la fabrication de panneaux (également destinés à la construction et l'ameublement), à la pâte à papier, mais aussi à la chimie du bois (fibres) ou aux matériaux composites
- Et enfin, le bois énergie : bois de chauffage, plaquettes, pellets....
- Un troisième niveau, la commercialisation, qui est celui du négoce de ce qui est fabriqué ou transformé au niveau précédent et la mise en œuvre de ces produits : toute une série d'intermédiaires, d'artisans et de distributeurs, y compris les grandes surfaces type « Do it yourself » qui ont pris énormément d'essor ces dernières décennies.
- On peut ajouter un quatrième niveau, qui n'apparaît pas sur la figure 1, que sont les consommateurs et leurs usages ainsi que leur propension et leur capacité à faire intégrer les déchets (matériaux de déconstruction, chutes, papier et carton ...) aux filières de recyclages qui réinjecteront ces déchets dans les filières bois d'industrie (souvent en panneaux agglomérés) et bois énergie.

La forêt en Belgique couvre³ 697 000 hectares (6970 km²) dont 78,7% en Wallonie, 21% en Flandre et 0,3% en région Bruxelles Capitale (voir figure 2). Cette surface comprend certains espaces ouverts tels routes d'accès, clairières, mises à blanc etc. La forêt a augmenté en superficie de 25% en 150 ans⁴.

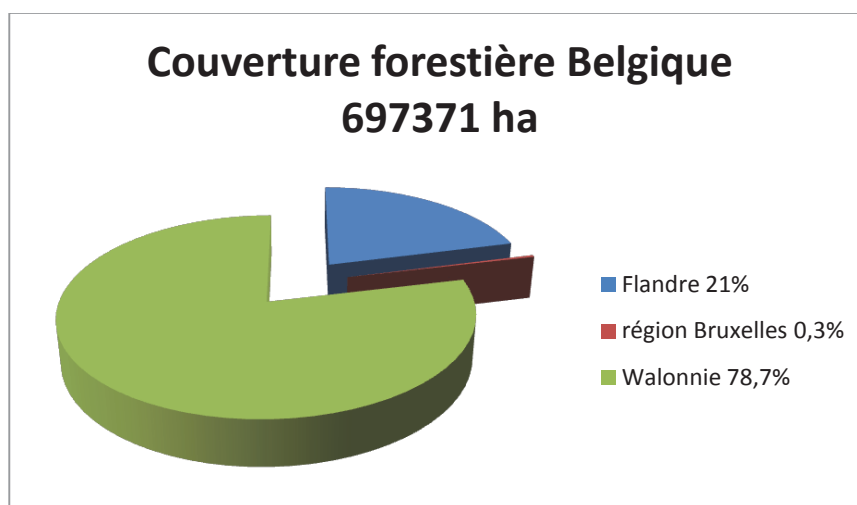


Figure 2. Source des données : OEWB, rapport 2012-2013, Panoraboïs

Si l'on regarde le couvert forestier Wallon, où se situe donc quatre cinquième des forêts belges, nous noterons qu'en termes de surfaces (voir figures 3 et 4, chiffres 2010)⁵ :

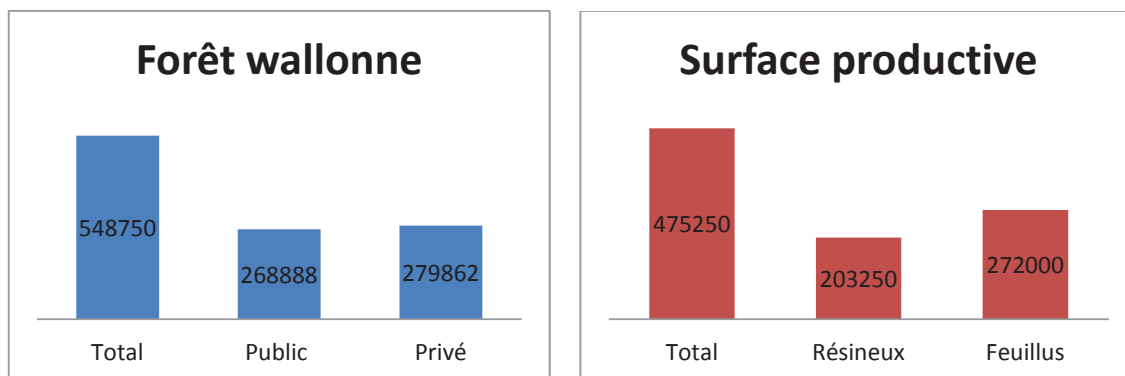
- La forêt wallonne représente 548 750 hectares (5487,5 km²) dont 51% aux mains de propriétaires privés et 49% aux mains de propriétaires publics
- La surface productive de forêt représente 87% de cette surface 475 250 hectares (4752,5 km²) également pour moitié privée et pour moitié public.

³ Panoraboïs Wallonie, 2012-2013 Office Economique Wallon du Bois

⁴ Société Royale forestière de Belgique www.srfb.be

⁵ Panoraboïs Wallonie, 2012-2013 Office Economique Wallon du Bois

- De cette surface productive, les résineux représentent 42,8% et les feuillus 57%.



Figures 3 et 4. Unités : hectares, Source des données : OEWB, rapport 2012-2013, Panorabois

Un indicateur que nous trouvons intéressant est le taux de récolte annuel. Celui-ci est calculé de la sorte, pour une surface donnée :

$$\text{Taux de récolte annuel} = \frac{\text{Taux de prélèvement annuel}}{\text{Taux d'accroissement annuel de la biomasse}}$$

En Wallonie⁶, cela donne un taux de 105,3%, ce qui veut dire que l'on retire plus de biomasse sur une année que la forêt est capable d'en produire. En détail cela donne :

- Un taux de récolte de seulement 67,8% pour les feuillus
- Mais un taux de récolte de 123,7% pour les résineux et même de 133,5% pour l'épicéa.

Voici, en quelques chiffres, l'illustration d'un des principaux problèmes de la filière bois en Wallonie : les feuillus qui couvrent 57% de la surface forestière sont sous exploités, ont du mal à trouver des débouchés. Ceux-ci partent souvent sous forme de grumes à la grande exportation, comme c'est le cas pour une grande partie de nos hêtres qui partent vers la Chine.

Par contre, la filière bois résineux est, elle, surexploitée, au point que la Wallonie se trouve confrontée à un problème de renouvellement. La filière « mange son capital ».

Cette désaffection pour le feuillus et cette surexploitation du résineux est due à plusieurs facteurs ; citons entre autre :

- La disparition de certains secteurs traditionnels qui utilisaient du feuillus comme le meuble de qualité (remplacé par une filière de grande distribution comme, par exemple, une marque scandinave bien connue)
- L'arrivée de nouveaux matériaux sur le marché : plastiques, composites etc...,
- Mais également le fait que le résineux, à qualité de résistance égale, pousse plus vite et est donc plus rentable.

⁶ Direction Nationale des forêts, période 2001 – 2010 pour les accroissements et les prélèvements, chiffres à considérer avec précaution en raison d'échantillons réduits.

- Et enfin que ce dernier est également plus facile à scier et à sécher, car présentant une meilleure homogénéité.

Ces deux derniers points expliquent pourquoi le résineux est plus rentable et est utilisé très majoritairement dans le secteur de la construction bois.

Très logiquement, les scieries de feuillus ont fermé les unes après les autres en Wallonie (voir commentaires dans la partie 1.2.2. ci infra qui montre qu'elles sont très minoritaires)

Notre travail, qui concerne terrasses et bardages, se situe dans filière du bois d'œuvre de construction et nous verrons plus loin que le choix des essences que nous avons posé pour notre démonstration est influencé par ce que nous venons de décrire.

1.3.2. La Construction bois en Belgique et les sciages

En Belgique, la filière construction bois occupe 50000 personnes. 70% pourcents des entreprises belges de construction sont wallonnes. Par contre ces dernières construisent moitié moins de maisons par an que leurs homologues flamandes (respectivement 14 contre 28 en moyenne) et sont donc souvent des TPE (Très petites entreprises). En 2012, 2200 nouvelles constructions bois ont vu le jour dans notre pays sur 23519 permis délivrés, ce qui représente 8% de part de marché ⁷.

Sans surprise (voir point 1.3.1. supra), les résineux sont plus utilisés en structure (bois et charpentes), comme l'épicéa, le pin sylvestre, le douglas, le mélèze et le sapin rouge du nord, mais peuvent aussi être utilisés pour de la menuiserie intérieure ou extérieure. Les feuillus, des bois souvent plus durs et esthétiquement plus nobles, servent à la menuiserie et aux planchers : le hêtre, le chêne, le frêne, l'érable⁸...

En terme de sciage (voir figures 5 et 6), il y a un gros déséquilibre entre Wallonie et Flandre selon que l'on soit dans la filière feuillue ou résineuse.

Les scieries de bois résineux wallonnes consomment environ 3 000 000 M3 de grumes par an (précisément 2 970 000 M3, pour un total national de 3300 000 M3. Ces 2 970 000 M3 ont produit environ 1620 000 m3 de bois scié- Campagne 2009 – 2010)⁹.

⁷ Hugues Frère dans Article Le Soir, « Qu'il est loin le temps du chalet en bois », 31/10/2013

⁸ Id 2

⁹ Panorabois Wallonie, 2012-2013 Office Economique Wallon du Bois

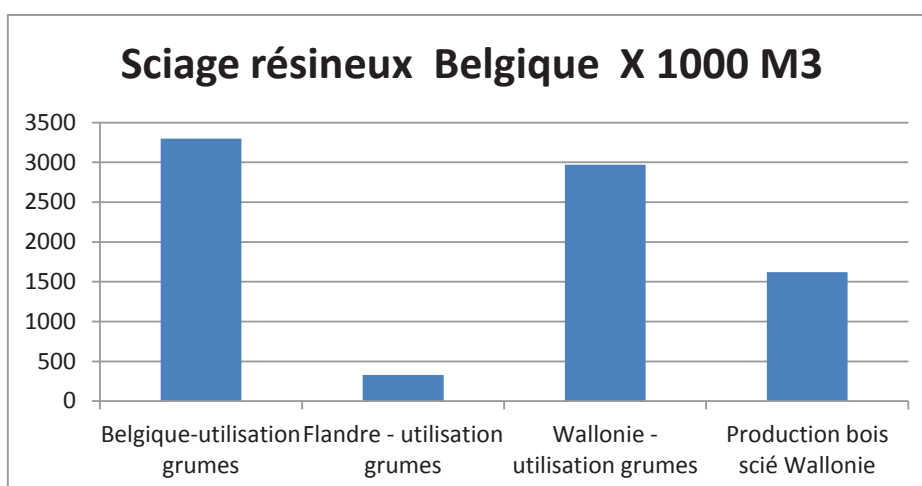


Figure 5, Source des données : OEWB, rapport 2012-2013, Panorabois

Nous noterons que

- La Wallonie représente à elle seule 90% de la consommation belge de sciage de résineux.
- 75% de l’approvisionnement provient de l’épicéa qui est l’essence hyper majoritaire en résineux dans les forêts wallonnes, et ce en rappelant que le couvert forestier est essentiellement situé dans le sud du pays.

Les scieries de bois feuillus wallonnes consomment 100 000 M3 de grumes par an environ, pour un total de 400 000 M3 au niveau national. Ces 100 000 M3 de bois wallon produisent environ 40 000 M3 de bois scié (Chiffres 2010)¹⁰

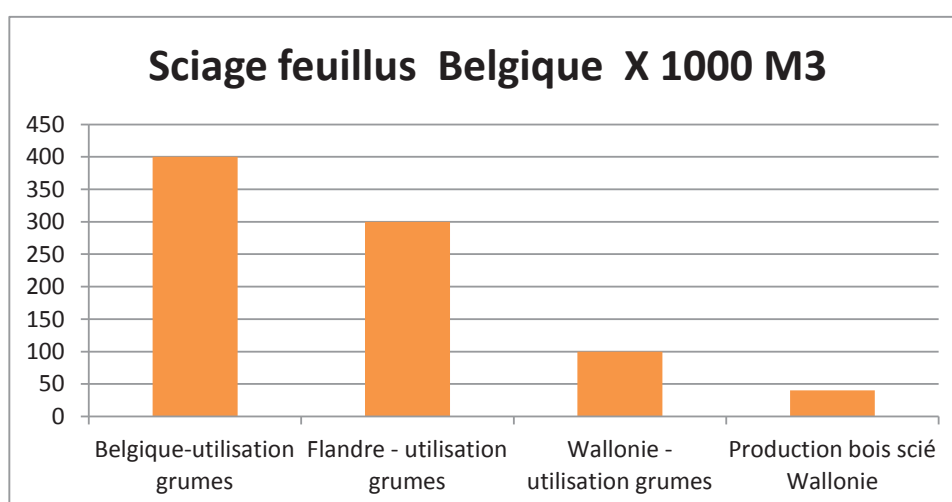


Figure 6. Source des données : OEWB, rapport 2012-2013, Panorabois

Nous noterons que :

- Les approvisionnements principaux sont le chêne (67%) et le Hêtre (23%)

¹⁰ Id 4

- Contrairement à la filière résineuse, la majorité des scieries de feuillus sont en Flandre – 75% des scieries belges sont flamandes.

On voit donc que, en volume, au niveau national, ce sont les résineux, et donc les scieries wallonnes, qui se taillent la part du lion.

Depuis 10 ans, la filière bois de construction a fait du chemin en Belgique. Sa part de marché, de 8%, est moins élevée qu'en Scandinavie ou en Amérique du Nord où le taux atteint un record de 95%, mais plus qu'en France (5%). Et la Belgique est bien placée lorsque l'on regarde la qualité de mise en œuvre, les techniques de construction étant plébiscitées à l'étranger ¹¹.

Néanmoins, chez nous, le bois a encore une longue route devant lui pour être un standard de construction accepté par tous. Par exemple, le fait qu'il n'y ait pas d'accès à la profession est révélateur du fait que la filière doit encore s'organiser, évitant certains risques comme celui d'avoir des menuisiers dépassés par l'ampleur du chantier.

Les constructions en bois sont majoritairement des habitations unifamiliales mais aussi de plus en plus de d'immeubles collectifs publics et privés. Selon Thomas et Pyron (sa filiale bois « Tomwood »), il faut prévoir un surcoût d'environ 8% par rapport à une construction classique avec un cahier des charges identique, en utilisant du bois, bien évidemment labellisé ¹².

¹¹ Article Le Soir, « La Belgique doit être fière de sa filière bois », 31/10/2013

¹² Hugues Frère dans Article Le Soir, « Qu'il est loin le temps du chalet en bois », 31/10/2013, basé sur résultat enquête Office Wallon Economique du Bois où 385 entreprises ont répondu (enquête 2011-2012)

LES LABELS DU BOIS

Au niveau mondial et surtout européen, deux labels principaux sont en piste qui soumettent la gestion forestière à des exigences de gestion "durable" : le label FSC et le label PEFC.



L'Union européenne a défini le concept de gestion forestière "durable" lors d'une conférence tenue à Helsinki en 1993 : il s'agit "de la gestion et de l'utilisation des terrains boisés, d'une manière et d'une intensité telles qu'elles maintiennent leur diversité biologique, leur productivité, leur capacité de régénération, leur vitalité et leur capacité à satisfaire, actuellement et pour le futur, les fonctions écologiques, économiques, sociales pertinentes, au niveau local, national et international, et qu'elles ne causent pas préjudice à d'autres écosystèmes."

La question est donc de savoir comment ces beaux principes s'appliquent au niveau du gestionnaire de bois. C'est pourquoi les démarches de certification commencent par définir des critères de gestion adaptés au contexte géographique, socio-culturel et économique

Les deux labels ont en commun :

- qu'il s'agit d'une démarche volontaire du producteur forestier ;
- qu'ils se réfèrent aux principes de la gestion durable des forêts comme le respect des ressources, la multifonctionnalité ou la gestion à long terme ;
- qu'ils intègrent une progression dans le temps vers cette gestion durable, vu qu'une forêt ne se transforme pas du jour au lendemain ;
- qu'ils ont instauré un système de contrôle externe et une participation des milieux concernés par la forêt dans le processus de certification.

Mais ils diffèrent sur les aspects suivants :

- l'attribution du label FSC se base sur un engagement et une pratique déjà concrétisés par des choix de gestion forestière et par un plan de gestion, alors que le label PEFC est accordé sur base d'un simple engagement ;
- les exigences du label FSC vont plus dans le détail et demandent un suivi plus fin de la part du propriétaire forestier. Ce label est marqué par son objectif premier qui est de prévenir la destruction des forêts tropicales mais un cahier des charges spécifique a été fait pour chaque pays.

Au niveau mondial 224 millions d'hectares sont certifiés PEFC, dont une grande partie au Canada, et 150 millions d'hectares sont certifiés FSC. Les labels dont il est question ici ne garantissent que les conditions de gestion forestière, et non pas la qualité intrinsèque du matériau, ni les processus de transformation et de fabrication des produits finis.

La labellisation pose deux difficultés essentielles :

- la traçabilité : La difficulté qui se présente est de suivre le bois depuis son exploitation dans la forêt jusqu'au stade du produit fini mis en vente
- le contrôle : les pratiques de gestion forestière doivent faire l'objet d'un contrôle externe, renouvelé régulièrement. Ce contrôle peut coûter cher et est parfois difficile à exercer

En Belgique : A ce jour, 20.000 ha de forêt sont certifiés FSC contre 278.000ha pour le PEFC (source : www.pefc.be et www.fsc.be). Le label FSC, proposé par le WWF, a été mal accueilli dans les milieux forestiers, en tout cas du côté wallon. Il a été jugé trop cher, trop exigeant, et inadapté au morcellement de la propriété forestière privée. Pourtant, il a été adopté par l'administration flamande, et plusieurs massifs forestiers en Flandre ainsi que la forêt de Soignes sont certifiés FSC.

Au niveau wallon, c'est le label PEFC qui a été choisi par l'administration forestière et qui est vigoureusement promu tant par les propriétaires privés que par les gestionnaires publics. Aujourd'hui, presque la moitié de la forêt wallonne est certifiée PEFC.

Polémique : Le label PEFC est fort décrié par certaines associations environnementales qui lui reprochent un certain laxisme, notamment au moment de l'inscription des entreprises ainsi que des pratiques peu scrupuleuses en matière d'environnement et de respect social. De plus, cette certification s'appuie sur des réglementations nationales et sur des certifications ISO déjà existantes, alors que les critères et principes du label FSC sont totalement originaux.

Encadré 2. Source : Texte largement inspiré de Ecoconso (www.ecoconso.be) - octobre 2012, « les labels du bois », auteur non précisé

En terme de bois de construction, nous nous intéresserons donc plus précisément aux sous-secteurs des bois terrasses et de bardages. Disons d'ores et déjà que ces deux produits ont entre autre été choisis car assez emblématiques des possibilités qu'offre la technique de bois modifié thermiquement.

Nous allons à présent

- Aborder brièvement ce qu'est le bois modifié thermiquement
- Aborder les filières existantes pour le marché des terrasses et du bardage
- Et poser notre question de recherche car la démarche de tentative de réponse que nous y donnerons justifie le choix de ces sous-secteurs.

1.4. Généralités sur le bois modifié thermiquement

Le Bois modifié thermiquement est une technique de traitement du bois qui est née dans l'entre deux guerre mais dont on a commencé à voir la commercialisation chez nous il y a une décennie environ.

Le but du traitement thermique est de conférer au bois des qualités de durabilité qu'il n'a pas naturellement et lui permettre ainsi d'accéder à certaines classes d'emploi pour lesquelles il ne pourrait pas être utilisé sans traitement préalable. La durabilité se définit ici comme la capacité du bois à résister aux attaques d'insectes et de champignons. Nous nous référons à l'explication de ces notions (durabilité, classe d'emploi) au point 1.5.2. en infra.

A cela s'ajoute des possibilités de coloration - le bois va foncer avec le traitement - à différents degrés selon la durée et l'intensité du traitement thermique, et des modifications mécaniques comme plus de dureté en surface, plus de stabilité de forme par rapport à l'humidité ambiante, mais par contre, une moindre résistance à la flexion.

Il existe plusieurs techniques pour obtenir du bois modifié thermiquement, mais certains principes sont communs à toutes : faire monter le bois à température (entre 180 et 230 °, selon le type d'essence et le niveau de stabilité, durabilité et/ou de coloration à obtenir) ; à cette fin appauvrir l'atmosphère du réacteur en O₂, afin que le bois ne brûle pas.

Ce qui va changer selon les technologies :

- le gaz utilisé pour appauvrir l'atmosphère (N₂, H₂O, CO₂...),
- le fait de travailler sous pression ou pas
- la taille des unités qui va conditionner la capacité plus ou moins fine de réguler la réaction. En particulier les petites unités permettent d'insérer des plaques métalliques entre les couches de bois à traiter, plaques thermo-controlées qui assurent une meilleure régulation et homogénéité dans la réaction alors que les grosses unités fonctionnent avec une

atmosphère à circulation forcée dont la régulation homogène dans tout le réacteur est plus délicate.

Dans notre travail nous utiliserons indifféremment le terme réacteur ou four pour qualifier l'enceinte dans laquelle a lieu le traitement. Ce sont les deux termes habituellement utilisés dans la littérature.

Dans le chapitre 2, où nous rentrerons plus dans le détail sur les techniques de traitement haute température du bois, nous passerons rapidement les principales technologies en revue et poserons le choix de celle qui illustrera notre travail.

1.5. Le bois de terrasse et de bardage

1.5.1. Justification du choix de ces deux produits

Dans le domaine du bois de construction, nous allons donc nous intéresser pour cette étude en particulier au bois pour les terrasses et les bardages. Nous justifions ces choix car, comme nous l'expliquerons dans la partie technique concernant le traitement haute température (Chapitre 2), ce sont des domaines où le bois modifié thermiquement peut avoir les propriétés pour concurrencer les filières classiques. Ce ne serait par contre pas le cas pour le bois de structure pour des questions que nous expliquerons dans le même chapitre.

Par ailleurs, terrasses et bardages sont des produits qui intéressent une grande partie de la population et nous souhaitons aborder une matière qui touche « Monsieur tout le monde ». Nous pensons en effet que c'est à travers des produits largement diffusés que l'on peut sensibiliser un maximum de personnes aux enjeux écologique liés aux matériaux de construction.

Ces deux produits devraient prendre de plus en plus d'essor dans l'avenir, vu la croissance du marché de la construction bois. Le marché de la terrasse est par ailleurs confronté à une explosion des prix du bois exotique¹³ qui occupe encore aujourd'hui une part majoritaire du marché. Le bardage est quant à lui pratique pour être posé sur les supports d'isolation extérieures, marché dont on peut attendre aussi une croissance vu la volonté politique d'encourager une meilleure isolation de nos maisons.

1.5.2. Durabilité naturelle du bois et classes d'emploi

Pour parler de bois de construction, que ce soit pour des terrasses, du bardage ou tout autre usage, en particulier extérieur, il faut expliquer ce que sont les durabilités naturelles et les classes d'emploi car cela conditionne tout le marché : choix des essences, traitements et prix.

¹³ Ipé : prix + 40 % sur deux ans (2011 et 2012) (Woodsurfer 2012)

La durabilité naturelle¹⁴ (aussi appelée durabilité biologique) représente la résistance intrinsèque d'un bois aux intempéries et aux attaques des champignons et des insectes. Plus précisément :

- l'attaque biologique du chef d'organismes vivants tels que les bactéries, les champignons lignivores, les insectes à larves xylophages, les termites et les organismes xylophages marins (térébrants marins)
- l'attaque physique causée par l'humidité, la lumière et l'érosion mécanique (usure)
- l'attaque chimique par des acides, des bases ou d'autres agents chimiques.

La durabilité naturelle est d'abord déterminée par la composition chimique du bois (teneur en hémicellulose, présence d'extraits, de cristaux, de silice ...), par la structure anatomique et la capacité d'absorber l'eau. Les espèces très durables contiennent fréquemment des substances présentant un caractère fongicide et/ou insecticide. Dans l'aubier, ces substances sont rarement présentes, ce qui explique que l'aubier ne puisse jamais prétendre à une durabilité naturelle élevée.

- Protection naturelle du bois (*):
 - Pour les résineux, la résine peut produire du Terpene qui peut protéger naturellement le bois contre insectes et champignons (à des degrés très divers selon le type de résineux).
 - Par contre, le Chêne, feuillus qui ne produit pas de résine va produire de la Tylose pour se protéger. D'autres essences, comme la châtaigner produisent d'autres substances de protection.
 - Mais les résineux ne sont pas seuls à produire de la résine : Certains feuillus, en particulier tropicaux, peuvent produire de la résine (Ex Meranti)
 - Dans les bois exotiques, signalons aussi le Teck qui lui va produire des silicates pour se protéger ou l'Hévéa du... latex.

Encadré 3

L'intensité et la rapidité avec lesquelles le bois peut absorber l'eau joue un rôle très important dans l'affaiblissement de sa résistance biologique. En gros, les champignons ne pourront jamais se développer dans un bois avec moins de 22% d'humidité¹⁵

La norme européenne NBN EN 350-1 énonce les principes de durabilité d'une espèce ligneuse

Quelques remarques importantes:

- Le classement donné par la norme ne concerne que le **bois parfait**, ("cœur" de l'arbre = le duramen). Comme mentionné supra, l'aubier n'est jamais durable, toujours considéré en classe 5 dans le tableau ci infra.
- En matière commerciale, on ne se réfère généralement qu'à la résistance naturelle du bois vis-à-vis des champignons lignivores (tableau ci infra). Il existe aussi une durabilité pour

¹⁴ Source : extrait du site web du CTIB : <http://www.ctib-tchn.be/>

¹⁵ Source OEWB

mesurer la résistance aux larves d'insectes xylophages (2 niveaux : sensible (S) ou durable (D) et vis-à-vis des termites¹⁶ et térébrants marins (hors cadre de notre travail)

- La propriété "durabilité naturelle" d'une espèce ligneuse doit être considérée comme une valeur moyenne. De manière générale, il existe une grande variabilité de cette propriété au sein d'une même espèce ligneuse et même dans un même arbre ; cette différence est fréquemment liée à l'origine géographique (conditions de croissance, type de sol, climat ...).

Durabilité naturelle vis-à-vis des champignons lignivores :

Classe de durabilité NBN EN 350-1	Description NBN EN 350-1	Équivalence belge
1	Très durable	plus de 25 ans
2	Durable	de 15 à 25 ans
3	Moyennement durable	de 10 à 15 ans
4	Faiblement durable	de 5 à 10 ans
5	Non durable	moins de 5 ans

Tableau 1. Source : Extrait partiel d'un tableau du CTIB, mars 2011, auteur MVL

L'équivalence belge – indicative- est celle la durée de vie moyenne d'un poteau de 50x50 mm² planté dans le sol. Il s'agit bien évidemment d'un ordre de grandeur.

Attention de ne pas confondre cette classification de la durabilité naturelle avec les classes d'emploi (aussi appelée classes de risque ; elles sont aussi au nombre de cinq et caractérisent les conditions admissibles d'exposition d'un matériau bois ("emploi intérieur" jusqu'à "emploi en milieu marin")¹⁷ :

Les produits de protection du bois peuvent être homologués dans une ou plusieurs des classes d'emploi définies dans la norme européenne NBN EN335-1

Classes d'emploi	Conditions ambiantes
1	Bois utilisé à l'intérieur du bâtiment dans des ambiances constamment sèches (humidité de l'air inférieure à 70 %)
2	Bois non en contact avec le sol et normalement non exposé aux intempéries, ni au délavage. Humidification temporaire possible
3	Bois non en contact avec le sol, exposé aux intempéries ou à la condensation
4	Bois en contact permanent avec le sol Bois en contact permanent avec l'eau douce
5	Bois immergé dans l'eau salée

Tableau 2 Source : Extrait partiel d'un tableau du CTIB, août 2010, auteur MVL

Il est important de souligner que si la durabilité naturelle va conditionner le type de traitement que l'on va appliquer à une essence, c'est bien la classe d'emploi, c'est-à-dire sa durabilité conférée, qui

¹⁶ A noter que la Belgique a la chance de ne pas être touchée par les termites, ce problème est donc inexistant chez nous.

¹⁷ Source : extrait du site web du CTIB : <http://www.ctib-tchn.be/>

détermine son utilisation avec les garanties subséquentes qui sont données par le fournisseur. C'est pour cela que, comme le soulignait E Defays (OEWB) lors de l'une de nos interviews, certains acteurs du marché ont tendance à traiter le bois, même si il possède au départ les caractéristiques de durabilité naturelle pour l'usage que l'on veut en faire : c'est la façon de pouvoir garantir la durée dans le temps et se mettre sans discussion possible à l'abri d'éventuels recours. L'homologation est délivrée par l' « Association belge pour la préservation des bois » sur base d'un dossier technique.

Les traitements du bois:

De manière générale, il convient de distinguer (*) :

- Les traitements de **préservation** qui visent à augmenter la durabilité du bois d'œuvre, c'est-à-dire sa résistance aux agressions d'organismes biologiques tels que les moisissures, les champignons et les insectes.
- Les traitements de **finition** qui permettent d'améliorer la tenue des surfaces exposées aux intempéries.
- Les traitements ignifuges.

Pour augmenter la durabilité du bois (préservation), les traitements utilisés sont.

- Le traitement par autoclave, le trempage et l'aspersion pour lesquels on utilise des produits chimiques (insecticides, fongicides). Le type de technique est dépendant du niveau de classe à obtenir et du type de produit à appliquer.
- Le traitement de préservation haute température reste assez confidentiel même si certains pays s'y sont plus engagés que d'autres.

Et même si cela sort du cadre de ce travail il faut aussi citer :

- L'oléothermie (**) (principe de la cuisson des frites) qui consiste à plonger un corps dans de l'huile à très haute température ce qui crée la vaporisation de l'eau qu'il contient (cela fait des bulles dans la friteuse) . Ensuite on le plonge dans de l'huile moins chaude ce qui va créer une condensation de la vapeur d'eau encore présente, un retrait de celle-ci et une aspiration de l'huile dans la masse.
- Des nouveaux traitements qui apparaissent sur le marché, par exemple (**):
 - Le traitement ACCOYA par acétylation qui permet de garantir la durabilité du Radiata pine, bois très peu durable au départ, à 30 ou 40 ans
 - Le traitement KEBONY à l'acide furfurilique qui permet aussi de faire passer le Radiata pine en classe de durabilité 1 ou 2
 Ces traitements sont promis, selon nos sources ,à prendre une place de plus en plus importante sur le marché du bardage

(*) source CTIB (**)Source FCBA (***) Source B-fix

Encadré 4

Lien entre classe emploi et durabilité naturelle¹⁸ :

En fonction de sa durabilité naturelle, un bois peut être utilisé sans traitement de préservation complémentaire dans un nombre variable de classes d'emploi. La norme NBN EN 460 donne le lien entre ces deux notions pour différentes essences.

¹⁸ Source CTIB

Classe d'emploi	Classe de durabilité				
	1 très durable	2 durable	3 moyennement durable	4 peu durable	5 non durable
1	Ok	Ok	Ok	ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	[+]	[+]
3	Ok	Ok	[ok]	[ok] ↔ [+]	[ok] ↔ [+]
4	Ok	[ok]	[+]	+	+
5	Ok	[+]	[+]	+	+

Légende

Ok la durabilité naturelle est suffisante pour l'emploi

[ok] la durabilité naturelle est normalement suffisante ; un traitement de préservation peut parfois être recommandé

[+] un traitement de préservation est normalement recommandé mais on peut s'en dispenser dans certains emplois

+ un traitement de préservation est nécessaire

Tableau 3. Source tableau et légende : CTIB, mars 2011, auteur MVL

1.5.3. Rapide aperçu des essences de bois utilisées pour terrasses et bardages :

Remarque préliminaire : Ce qui suit est le résultat de notre interprétation suite à nos investigations auprès de plusieurs sources, dont le CTIB, Woodforum.be, Fruytier Group, Delvaux Bois, B-fix, Happax (site en ligne¹⁹)

- La construction de terrasses utilise beaucoup les bois exotiques tels que ipé, teck, bangkirai, jatoba, itauba, cumaru, meranti....(liste non exhaustive) . Avantages : très denses et durs (on est autour de 1000kg par M3), très stables, naturellement durables (Durabilité naturelle classe 1 ou 2 pour la plupart lorsque ils sont de bonne qualité) . Désavantages : chers et posant questions sur le plan écologique vu la réalité de certaines filières qui même labellisées n'apportent pas toutes des garanties. Certains bois comme l'ipé ne sont pas cultivés et viennent toujours de forêts primaires. Aujourd'hui, selon une évaluation approximative de la part de négociants de bois, pour les terrasses en Belgique ce sont les bois exotiques qui se taillent la plus grosse part (60 à 70 % dont la moitié en Ipé²⁰). Pour les bardages, un bois utilisé dans le haut de gamme est le cèdre, également naturellement durable.

¹⁹<http://www.happax.net/conseils/materiaux-terrasse/essence-de-bois/>

²⁰ les pourcentages de pénétration de marché sont à prendre à titre tout à fait indicatifs et avec réserve, évalués très grossièrement lors de nos interviews, car il n'y a pas de statistiques de pénétration de marché par essence de bois

Histoire du teck, une aberration écologique selon Monsieur De Boever (CTIB) :

Au départ le teck venait de forêts primaires (beaucoup de Birmanie), de bonne qualité car il poussait lentement, de durabilité naturelle classe 1. Cela avec des conséquences écologiques néfastes sur le terrain. A présent, le teck sur le marché est planté, il pousse beaucoup plus vite et est de moindre qualité (durabilité naturelle classe 3). Les premiers à avoir développé des scieries à grosses capacités sont les indonésiens. Ces scieries débitaient d'abord du teck d'origine régionale mais sont rapidement tombées en surcapacité. De grandes plantations se sont alors développées en Afrique pour alimenter les scieries indonésiennes. Les plantations africaines ont vite compris que c'était plus intéressant financièrement de scier sur place et ont développé leurs propres scieries. Aujourd'hui, les indonésiens se sont tournés, toujours pour alimenter les surcapacités de sciage, vers l'Amérique latine, où on plante en masse. Donc il est très possible que le Teck de votre terrasse, meuble de jardin ou meuble de salon soit parti d'Amérique latine (Costa Rica) sous forme de bois rond, ait été scié en Indonésie pour être finalement importé en Europe.

Quant à l'ipé, lui, vient toujours de forêts primaires car il n'est pas cultivé...

Encadré 5

- Les résineux sont utilisés pour les terrasses (environ 15% du marché²¹) comme le sapin rouge du nord (aussi appelé pin sylvestre, commercialisé sous le nom « pin du nord »), le Radiata pine (Pin de Monterrey) ou encore le mélèze, l'épicéa²² ou le Douglas (même espèce botanique que l'oregon pine). Moins denses, donc plus faciles à installer que les bois exotiques, les résineux se marquent plus facilement (impacts, griffes) et sont plus ou moins durables selon les essences. Certains résineux sont aussi utilisés pour le bardage : en moyen de gamme, le mélèze et en bas de gamme, l'épicéa (Appelé « sapin blanc du nord » pour celui qui est importé du nord de l'Europe).
 - Le mélèze et le douglas sont moyennement durables (durabilité naturelle classe 3), assez pour ne pas être traités pour des usages extérieurs comme châssis, portes, bardages. Pour les terrasses il est préférable de les traiter mais, d'après plusieurs sources, ce n'est pas systématiquement le cas.
 - L'épicéa, le radiata pine, ou le sapin rouge du nord doivent être traités en autoclave pour acquérir une durabilité suffisante en usage extérieur.

Dans certains cas, des suintements de résines peuvent apparaître. Le principal avantage de ces bois est qu'ils sont beaucoup moins chers que leurs concurrents exotiques (encore que le mélèze et le douglas soient évidemment plus chers que les résineux à passer en autoclave).

²¹ Idem

²² Appelé aussi « sapin blanc du nord » pour celui importé de Scandinavie, alors que botaniquement parlant il n'est pas un sapin. Dans le Jura, il est appelé « faux sapin » (source woodforum.be).

- De façon plus anecdotique, pour les terrasses, on utilise parfois du feuillus comme le chêne, le châtaigner (durabilité naturelle classe 3) ou le robinier (durabilité naturelle classe 2).
Avantages : ce sont des bois locaux. Désavantages : plus hétérogènes et donc ils ont variabilité des propriétés mécaniques et de la stabilité des lames dans le temps. Certains sont très nervurés (ex Robinier) ce qui implique beaucoup de contraintes dans les opérations de séchage pour garder la stabilité. Possibilités de remontées de tanins, ce qui peut nuire à l'esthétique.
- Pour les terrasses, il ne faut pas négliger la part de plus en plus importante prise par les bois composites (10 à 15% du marché) : souvent polyéthylène + farine de bois, ou PVC + farine de bois. Ce sont des produits sans entretien, très durables mais chers et sujets à forte dilatation.
- Le bois modifié thermiquement est, pour les terrasses et le bardage, utilisé de façon encore très anecdotiques en Belgique selon nos interlocuteurs. Il y a plus d'engouement en France.

1.5.4. Choix des essences pour notre travail :

Les filières terrasses et bardages permettront, avec la technologie du bois modifié thermiquement, d'étudier l'opportunité de valoriser du bois d'origine local : un feuillus, du frêne pour les terrasses et un résineux, de l'épicéa pour le bardage.

Ce choix d'essences a été décidé en concertation avec l'Office Wallon Economique du Bois et est entre autre basé sur le constat fait supra (point 1.2.1.) concernant la filière bois en Wallonie :

- Un besoin de dynamiser la filière feuillus en lui trouvant des débouchés locaux, ce que le bois modifié thermiquement peut faire. Le frêne semble être le bon choix pour les terrasses car il est présent localement dans nos forêts et une fois traité thermiquement il peut prétendre à concurrencer les bois exotique haute de gamme (Par exemple, l'ipé du Brésil qui sera choisie comme exemple dans ce travail, voir infra). Le frêne est déjà parfois utilisé sous forme de bois traité thermiquement : par exemple, en France, la terrasse de 1600 m² du Novotel Thalasso de Dinard est en frêne traité thermiquement.
- Une approche plus pragmatique pour le bardage : pour notre travail, nous souhaitons utiliser une essence résineuse très majoritaire en Wallonie, l'épicéa.
Selon l'Office Economique Wallon du bois, l'épicéa pourrait prendre une place dans ce créneau.

Nous n'avons pas trouvé de statistiques précises sur la part des terrasses et bardages dans le chiffre

d'affaire total de la construction bois. Sur base d'une évaluation approximative de la part des professionnels du secteur²³, nous pensons que les grandeurs suivantes sont assez représentatives: Les terrasses et bardages représentent entre 10 et 15% du chiffre d'affaire total du bois de construction en Wallonie ou en Belgique. Ces chiffres sont à prendre avec réserve et sont une simple évaluation sur base déclarative de nos interlocuteurs, car ils se plaignent tous qu'il n'existe pas de statistiques fiables. Celle-ci sont extrêmement difficiles à collationner et même dans le rapport « Panorabois » de l'Office économique Wallon du Bois ²⁴ qui est la principale et la plus récente étude statistique de la filière bois, nous ne trouvons pas d'information à ce niveau de détail. Nous avons aussi interrogé Houtimportbois qui n'a pas pu nous aider même sur les volumes d'importation de bois exotiques.

Ce que le rapport « Panorabois » nous apprend par contre et qui va dans le sens de l'évaluation supra : La plus grosse part du produit de scieries de résineux en Wallonie (qui, pour rappel, représente 90% du volume de sciage de résineux sur le plan national) est

- le bois pour les ossatures et les charpentes de constructions bois (y compris le lamellé collé) , 45% du total – pour lequel le bois modifié thermiquement est considéré comme non recommandable à ce stade des connaissances (voir le chapitre2, point 2 sur la description du bois modifié thermiquement).
- et le bois pour les voliges, le coffrage et les emballages (31% du total)

Le résineux est largement majoritairement d'origine belge (Wallonne) : voir calcul pour l'épicéa en note de bas de page, obtenus en recoupant les chiffres de l'Office Economique Wallon du Bois²⁵.

1.6. Question de Recherche

Beaucoup de bois est utilisé pour la finition d'habitations en usage extérieur. Le bois modifié thermiquement pourrait représenter une alternative pour des réalisations, entre autre, dans le domaine des terrasses et du bardage.

Dans le marché de la construction bois, le bois modifié thermiquement ne convient à priori pas, au stade des connaissances actuelles, au marché du bois de structure (charpentes, ossatures....) car présentant une résistance à la flexion moindre...nous y reviendrons. En dehors de ces marchés - majoritaires en volume dans la construction extérieure- les terrasses et bardage représentent une bonne part de marché et ont l'avantage de concerner beaucoup de particuliers dans leur processus de choix, point sur lequel nous disions porter de l'importance dans le choix de notre sujet. En effet

²³ Delvaux Bois, à Ciney (Monsieur Claude Delvaux), B-fix Monsieur Van Winckel, Office économique Wallon du bois, Monsieur Deneufbourg

²⁴ Panorabois Wallonie, 2012-2013 Office Economique Wallon du Bois

²⁵ Pour 2010 (Rapport Panorabois 2012-2013, Office économique Wallon du Bois) : sur 2970000 M3 d'approvisionnement en résineux, 75% sont de l'épicéa, soit 2227 000 M3. Sur base des chiffres d'importation et d'exportation d'épicéa, toujours dans le même rapport, la Belgique est importatrice nette d'environ 420 000 M3 en 2010. Soit rien que pour l'épicéa, environ 1810 000 M3 scié en 2010 est d'origine belge (wallonne).

on décide rarement du type de bois utilisé pour la charpente ou l'ossature de sa maison, à fortiori si c'est un entrepreneur qui la réalise, mais plus souvent, on choisit attentivement le type de matériaux pour installer une terrasse ou isoler sa maison par l'extérieur avec un bardage. Et nous souhaitons trouver un sujet, dans le domaine environnemental, qui concerne l'homme de la rue.

Comme nous l'expliquions dans l'introduction, l'origine de ces deux produits – terrasses et bardages – provient aujourd'hui essentiellement de l'importation de bois exotique qui présente une durabilité naturelle élevée, et de bois d'origine de régions tempérées (appelé « bois local » dans notre travail, mais qui dans les faits peut aussi provenir d'Amérique du Nord, par exemple) traité chimiquement pour lui conférer une meilleure durabilité. Les matériaux de bois composite apparaissent aussi de plus en plus sur le marché des terrasses.

A travers notre travail nous souhaitons questionner le côté « durable » de cette filière et voir en quoi la nouvelle technologie de « Bois modifié thermiquement » peut apporter une réponse d'une meilleure durabilité par rapport aux bois traités chimiquement et pouvoir concurrencer la filière de bois exotiques dont les prix grimpent et dont l'empreinte écologique est réputée importante.

La question de recherche est donc : Le bois modifié thermiquement peut-il remplacer avantageusement, en terme de durabilité, sur le plan environnemental, le bois traité chimiquement (traitement par autoclave) et le bois importé d'origine exotique pour la fabrication de terrasses et de bardages ?

Pour répondre à la question de recherche :

- Nous avons jusqu'ici donné un aperçu du contexte général de la filière bois existante en Wallonie ainsi que plus précisément le domaine des terrasses et bardages. Nous avons également abordé les notions de durabilité et de classe d'emploi.
- Dans la suite de ce travail, nous décrirons les techniques de modification thermique du bois et en quoi elles proposent des alternatives.
- Nous procéderons ensuite à l'étude proprement dite :
 - 3.1 Nous décrirons les scénarii retenus qui feront l'objet de l'analyse ainsi que les limites du cadre dans lequel ils seront étudiés.
 - 3.2 A travers la réalisation d'une Analyse de Cycle de vie (ACV), - ACV dite « rough » , voir 3.2.1.1.) nous comparerons la quantité d'énergie consommée et l'empreinte en terme d'émission de gaz à effet de serre causés par l'utilisation du bois dans différents scénarii et ce, **à partir du départ scierie**, qu'elle soit située ici en Belgique ou outre-mer dans le cas de bois d'origine tropical.
 - 3.3 Nous ferons un examen des impacts environnementaux sur le plan toxicologique des filières bois traité thermiquement et bois traité chimiquement, d'origine

local. Ces derniers utilisant des cocktails d'insecticides et fongicides pour le traitement en autoclave, produits totalement absents de la filière à traitement thermique.

3.4 Nous débâterons et tirerons nos conclusions

1.7. Hypothèses

- L'activité de traitement thermique du bois est une filière encore inexistante en Belgique . Celle-ci a commencé son développement en Allemagne, aux Etats-Unis et plus récemment en Scandinavie et en France. **La première hypothèse que nous formulons est que la nouvelle technologie- Bois modifié thermiquement- est plus respectueuse de l'environnement en ce qui concerne les aspects éco-toxicologiques que la filière traditionnelle de production de bois local (européen) traitée chimiquement (par autoclave).** En effet, cette solution est plus durable sur le plan environnemental car n'utilisant pas de produits chimiques, traitements fongicides et insecticides nécessaires et indispensables pour la majorité des bois locaux utilisés en construction extérieure.
- Par contre la question nous semble rester ouverte concernant l'utilisation de l'énergie et l'empreinte gaz à effets de serre. En effet, nous pensons que l'empreinte GES²⁶ prise à partir de la sortie du site de sciage et jusque au recyclage (donc non compris l'abatage et acheminement à la scierie, que nous considérons non différentiel selon les filières, voir explications en infra) n'est pas nécessairement plus faible en ce qui concerne la filière bois modifié thermiquement que dans les autres filières « bois exotique » et « bois local traité chimiquement ». Le but de l'Analyse de Cycle de Vie sera de répondre à cette question. En d'autres mots :
 - Quelle différence de consommation énergétique et d'empreinte gaz à effet de serre entre le bois modifié thermiquement et la filière du bois local traité chimiquement (autoclave) ? **Notre deuxième hypothèse : le bois modifié thermiquement n'a pas une empreinte énergétique et GES moindre, et probablement plus élevée que la filière d'origine locale « autoclave ».**
 - Quelle différence de consommation énergétique et d'empreinte GES entre le bois modifié thermiquement et le bois d'origine exotique dans l'hypothèse où celui-ci a été exploité sur place de façon durable ? **Notre troisième hypothèse: Le bois modifié thermiquement a une consommation énergétique et une empreinte GES plus élevée que le bois exotique** car ce dernier ne fait l'objet d'aucun traitement et l'on peut considérer les opérations de sciage et de rabotage équivalentes dans les deux filières en terme d'impact d'émission GES. Et l'absence de transport intercontinental par bateau pour la filière locale modifiée thermiquement ne compensera pas le niveau d'énergie nécessaire pour son process thermique.

²⁶ GES: Gaz à effet de serre

Une remarque importante concernant le périmètre de notre travail : cette dernière hypothèse serait probablement différente si l'on considère l'exploitation hors filières certifiées du bois exotique (et même dans le cas de certaines filières « certifiées » contestées dans leur application sur le terrain- voir notre encadré sur les labels au point 1.3.2. supra) qui crée une atteinte à l'environnement majeure (destruction de la biodiversité, appauvrissement et érosion des sols, destruction habitats humains etc..) et une empreinte GES importante via destruction de puits de carbone.

Comme expliqué supra dans ce travail, nous analysons l'empreinte GES à partir du lieu de la scierie et laissons donc l'abattage et le transport vers la scierie hors périmètre de notre travail. En effet, pour ce mémoire, nous ne pouvons aborder toute la chaîne depuis le départ (cradle to grave) et nous souhaitons comparer des situations qui sont supposées traduire des modes d'exploitations – ici exploitation de bois tropical durable-dont on veut supposer qu'elles restent l'objectif à terme et se généraliseront dans le futur.

Dans la réalité néanmoins, le fait est que beaucoup de bois exotiques font l'objet de coupes illégales. Plus grave, et c'est le cas avec l'ipé, certaines essences sont systématiquement prélevées sur des forêts primaires car le temps de croissance d'un arbre excède 150 ans et la culture en est donc rendue inintéressante pour les exploitants inscrits dans une logique de profits à court terme. Nous reviendrons sur ce point dans nos interprétations et conclusions car nous nous devons d'au moins citer cet état de fait, même si, répétons le, nous n'en avons pas fait un sujet d'étude dans le périmètre de notre travail. Ceci représente clairement une limite de notre travail.

2. Etat de l'art du Bois Modifié thermiquement

2.1. Bibliographie

La Bibliographie concernant les impacts environnementaux ou portant sur des études économiques du bois modifié thermiquement est quasi inexistante. Nous avons beaucoup cherché, y compris avec l'assistance du département bibliothèque. Les contenus que nous avons trouvés sont quasi exclusivement techniques.

Nous citons néanmoins les ouvrages / parutions suivantes que nous avons trouvé essentiellement dans le domaine technique du bois modifié thermiquement et dans le domaine des impacts environnementaux du bois traité chimiquement. Vous trouverez leurs références complètes dans la bibliographie à la fin de ce travail.

Dans le domaine du bois traité thermiquement- ouvrages généralement très techniques-, citons :

- Anonymous (European Cooperation in science and technology, conference report « Cost action E37 »), 2008
- Anonymous (European Cooperation in science and technology, workshop report « Cost action FP0904), 2011
- Anonymous (European Cooperation in science and technology, workshop report « Cost action FP0904), 2012
- Anonymous (European Cooperation in science and technology, workshop report « Cost action FP0904), 2013
- Anonymous (Finish Thermowood association), 2003
- Auteur Inconnu (Article EPPO Bulletin), 2004
- Avat F, 1993, mémoire
- Boonstra M. H, 2008,
- Chanrion P, Schreiber J, 2002
- Militz H., Hill C, 2005
- Nguila Inari G., 2008
- Parviz N, Heger F., 2005
- Repellin V, 2006, mémoire

Dans le domaine des impacts environnementaux du bois traité chimiquement, citons :

- Bengt E, 2000, Projet UE
- Foerste E, 2006
- Goyer C, 1998
- Hedmark A, Scholz M, 2008
- Mench M, Bes C, 2009

- Townsend, 2006

Ces ouvrages cadrent en général difficilement avec notre démarche. En effet ils parlent le plus souvent de manière très technique des dangers de produits de traitements comme le CCA (Cuivre Chrome Arsenic), PCP (Pentachlorophénols) et Créozote²⁷ et

- de l'évaluation sur l'environnement et la santé humaine de l'enfouissement des déchets bois
- ainsi que des alternatives par valorisation énergétique, entre-autre en cimenterie.

Ces aspects ont peu d'intérêt pour notre travail, car comme nous le verrons, dans la partie 4.2.2., ces substances ont été interdites, souvent depuis plus de 10 ans. La partie de notre mémoire qui porte sur le traitement chimique du bois en autoclave l'aborde avec les produits agréés actuellement, ce que nous décrivons également dans cette partie 4.2.2. C'est logique puisque nous nous prjetons dans le développement d'une technologie neuve. L'impact éco-toxicologique sur l'environnement de bois traités chimiquement dans le passé avec des produits aujourd'hui interdits, ne fait clairement pas partie de notre périmètre de travail

En conclusion, malgré un souhait de trouver plus de référence bibliographiques et d'en tirer un état de l'art, nous n'avons rien trouvé sur ce qui nous intéressait, à savoir: le lessivage de supports (terrasses, bardages) de bois traités exposés aux intempéries et leur impact environnementaux par pénétration dans le sol et les nappes phréatiques, avec les produits de traitement actuels c'est-à-dire des cocktails de composés organiques(ceux qui sont autorisé), parfois combiné à du cuivre. (Pour plus d'explications, nous vous renvoyons à la partie 4.2.2. de ce travail)

La rareté de cette littérature ne sous semble pas illogique dans la mesure où précisément, la menace des « anciens » produits pour l'environnement est beaucoup plus importante et donc probablement plus urgente à étudier. De plus le CTIB, que nous imaginons assez bien documenté, nous a confirmé que la seule chose en la matière qu'ils possédaient était une étude faite par eux-mêmes et dont nous n'avons pas pu obtenir les résultats pour des raisons de confidentialité.

²⁷ Ouvrages par exemple de Townsend et de Goyer.

2.2. Description générale du procédé

Remarque préalable : Dans notre travail, nous utilisons indifféremment les termes « bois modifié thermiquement », « bois traité thermiquement », « bois traité à haute température ». Toutes les températures sont exprimées en degrés Celsius.

2.2.1. Généralités :

La modification thermique du bois²⁸ fait l'objet de recherches et de travaux depuis de nombreuses décennies : En Allemagne à partir des années 30, aux Etats Unis à partir des années 40.

Plus récemment, dans les années 90, des recherches ont eu lieu en Finlande, conduite par VTT (Technical Research center of Finland) mais aussi en Hollande et en France. Nous revenons plus bas sur les principales technologies qui ont été développées suite à ces recherches.

Sur le plan industriel, le traitement de modification du bois par haute température est apparu dans les années 90. C'est donc une technique que l'on peut qualifier de très récente sur le plan de son industrialisation et sa commercialisation, mais dont le début des recherches date de trois quart de siècle.

Il est connu depuis longtemps que brûler en surface du bois sur un brasier, le rend plus durable en usage extérieur. Les vikings, par exemple, utilisaient cette technique pour des structures extérieures comme des clôtures.

Voyons à présent quelles sont les principaux effets d'une montée en température du bois, dans un processus contrôlé, et qui est techniquement une pyrolyse ménagée.

²⁸ Source: Finnish Thermowood Association, Thermowood[®] handbook 2003

2.2.2. Le processus de traitement à haute température : principes et intérêts²⁹



Photo 1, Source : OEWB 2013

A l'état naturel, le bois, qui est un biocomposite est composé essentiellement :

- De cellulose, polymère de glucose ($C_6H_{12}O_6$), molécules reliées entre-elles par leur atomes de carbone. La cellulose est présente en général à 40 ou 50% dans la cellule du bois.
- D'hémicellulose, hydrates de carbone constitués d'autres sucres que le glucose. : xylose, arabinose et acides uraniques. L'hémicellulose est présente en général à hauteur d'environ 20% dans la cellule du bois.
- De lignine , composé aromatique très polymérisé, à squelette phénylpropane (C_6H_3) La lignine est présente en général à 20à 30% dans la cellule du bois et apporte, entre-autres, de la rigidité au bois

A cela s'ajoute des molécules libres appelées extractibles (ou résines pour les résineux)

Le traitement à haute température est donc un traitement physique du bois opéré par l'intermédiaire d'un flux thermique. C'est une pyrolyse sous atmosphère, température et pression contrôlée. Le principe est assez simple mais les facteurs d'influence sur le contrôle des procédés et des produits finaux sont nombreux. Différentes techniques ont ainsi été développées se différenciant par le type d'atmosphère, la pression, la durée et la température du traitement (voir la description en infra, point 2.2.3.).

Ce sont ces deux derniers facteurs, durée et température, qui entraineront la modification thermique proprement dite. L'apport d'énergie thermique participe à l'activité d'éléments constitutifs du bois sous forme de rupture de certaines liaisons chimiques. Avec un apport d'énergie prolongée, l'action de la température va impliquer que des fractions moléculaires vont réagir pour

²⁹Différentes sources ont constitué ce chapitre, citons : Janrion, Schreiber, 2002 ; FCBA ; OEWB, Finnish Thermowood association

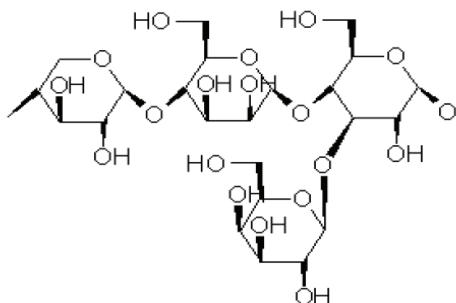
créer des nouvelles liaisons stables.

Sans rentrer dans les détails qui sortiraient du périmètre de ce travail, les terminaisons des groupes hydroxyles captent les molécules d'eau ce qui confère au bois son caractère hydrophile et sa propriété hygroscopique. Un des principaux impacts du processus de hausse de température, est que l'on rend solidaires ces groupes hydroxyles (ce qui est appelé « réticuler »).

A cela s'ajoute, lorsque on travaille en atmosphère saturée de vapeur d'eau, se créent des phénomènes d'hydrolyse³⁰ qui se superposent à la réaction de pyrolyse proprement dite (voir infra point 2.2.3, certaines technologies qui utilisent la vapeur d'eau)³¹

Le traitement se fera généralement entre 180 et 230° (Seul le procédé NOW monte plus haut, voir infra) selon ce qu'on veut atteindre comme résultat³². Concrètement, on constatera, lors de cette pyrolyse :

- Une dégradation des hémicelluloses, polysaccharides (c'est-à-dire des glucides complexes) sensibles à la chaleur. Avec leur terminaisons hydroxyles, elles donnent au bois sa propriété hygroscopique et, car ce sont des sucres, constituent le substrat d'éléments nutritifs pour les organismes invasifs.



Structure d'un polymère d'hémicellulose composé de différentes molécules de sucres

Figure 7, Source wikipedia

Cette dégradation va donc permettre de rendre le bois plus hydrophobe donc plus stable dimensionnellement et moins attrayant pour les attaques biologiques. A noter que les hémicelluloses des résineux, riches en mannanes et galactanes se dégradent plus rapidement, à une température plus basse, que celles des feuillus, riches en xylanes. Plus concrètement encore :

- Du bois modifié thermiquement ne pourra reprendre, même en atmosphère saturée d'humidité qu'entre 8 et 11% d'humidité environ, selon les traitements et les essences³³.
- Selon les essences, la stabilité dimensionnelle est améliorée de 25 à 50% par rapport à la même essence non traitée thermiquement, dans les mêmes conditions de

³⁰ hydrolyse (du grec, *hydro* + *lysis*, défaire à l'eau) d'une substance est sa décomposition par l'eau grâce aux ions H_3O^+ et HO^- provenant de la dissociation de l'eau (Source Wikipedia).

³¹ Chanrion, Schreiber, 2002

³² A ce sujet voir infra, point 2.2.3. les deux types de niveau de traitement que la technologie Thermowood® a adopté et leurs spécifications.

³³ Chanrion, Schreiber, 2002

température et humidité. Exemples : amélioration de 28 % pour le sapin des Vosges, 46% pour l'épicéa, 53% pour le peuplier...³⁴

- Le taux d'humidité étant très bas et les éléments nutritifs ayant été dégradés, le bois n'est plus attrayant pour les champignons et les insectes. Rappelons, à titre illustratif, que les champignons, pour se développer, ont besoin en général d'un taux d'humidité de minimum 22%³⁵. Beaucoup d'insectes dont les larves se nourrissent du bois « prédigérés » par les champignons (pourriture obtenue par dégradation grâce à ceux-ci), ne sont donc pas intéressés par le bois modifié thermiquement. Les insectes sont également friands de l'amidon (polysaccharide) qui est également dégradé dans le process³⁶.

Rappelons que pour les bois locaux peu durables, l'alternative est le traitement chimique (autoclave, trempage, aspersion). Le traitement thermique apporte donc ici une solution a priori plus saine sur le plan eco-toxicologique.

Quelle classe de durabilité?:

Avec un traitement autour de 210° (niveau dépendant des essences), une technologie comme Thermowood® affirme pouvoir obtenir du bois ayant une durabilité correspondant à une classe 2 de durabilité naturelle (Thermo D®). Ils prétendent même obtenir une durabilité de classe 1 avec plus de 3 heures d'exposition à des températures de plus de 220° pour du pin, l'échantillon ayant été testé pour deux types de champignons très habituels (*Coniophora puteana* et *Poria placenta*). WTT, société danoise qui fait également du bois thermo traité annonce aussi des classes de durabilité 1 (hêtre, frêne) et 2 (sapin, pin) et ce avec un traitement à seulement 180°, mais sous pression.

Ces informations doivent néanmoins être soumises à caution car elles viennent des détenteurs de la technologie eux-mêmes. Que ce soit pour la durabilité biologique ou pour la résistance mécanique, des études sont encore en cours par des organismes indépendants sur le plan commercial, comme le FCBA (voir infra point 2.5.).

Point particulier concernant les termites : absentes en Belgique, celles-ci ont fait leur apparition dans de plus en plus nombreuses régions françaises. D'après le FCBA et Finnish Thermowood association, le bois modifié thermiquement ne résiste pas aux termites.

Encadré 6

- La réticulation des lignines qui se dégradent à partir de 200°: des liaisons chimiques se forment entre les molécules, le bois devient plus dur, avec une meilleure résistance au poinçonnement³⁷. Cela peut conférer des qualités supplémentaires à des produits comme des parquets ou des panneaux.

A noter que lors de certaines interviews auprès de professionnels du secteur un argument tempérant cet aspect m'a été cité à plusieurs reprises (je tiens cela de deux sources car cela m'a été explicitement demandé) : le bois modifié thermiquement, malgré son traitement qui est supposé lui conférer une dureté de surface plus importante, resterait bien en deçà de la dureté des bois exotiques. Il m'a même été rapporté que sa résistance aux griffes n'est pas

³⁴ Chanrion, Schreiber, 2002

³⁵ CTBA (à présent FCBA), 2003

³⁶ FCBA, interview Mr Négrié, 2013

³⁷ Chanrion, Schreiber, 2002

significativement plus élevée que du bois non traité. Cela ne pose pas de problème pour du bardage mais par contre, pour une terrasse, pourrait poser des problèmes en terme de « marquage » (plantes en pots ou meubles de jardins que l'on déplace par exemples...). Cette remarques nécessiterait plus d'investigations à travers des tests et doit être gardée à l'esprit lorsque nous comparerons du frêne modifié thermiquement avec , par exemple, de l'ipé brésilien.

- La modification de la structure cristalline de la cellulose : sous forme de microfibrilles, elle confère à la fibre sa rigidité. En modifiant sa structure, on va modifier ses caractéristiques mécaniques. C'est ce qui explique que les performances du bois seront amoindries en flexion, en cisaillement et en résistance à l'impact. En revanche, elle serait améliorée en compression³⁸.

Au stade actuel des connaissances, le bois modifié thermiquement n'est donc pas recommandé pour du bois de structure pour des raisons évidentes de sécurité. Ce point doit faire l'objet de vérifications en centre technique dans la perspective de trouver des solutions pour de nouveaux débouchés³⁹.

Concernant les propriétés du bois, on observera aussi pour les aspects suivants :

- Une perte de masse volumique par exemple, pour un traitement à 240°, de l'ordre de 5% pour le châtaignier mais pouvant monter à 9% pour le pin sylvestre⁴⁰.
- Une dégradation par la chaleur des tanins et des résines, ce qui a pour avantage que plus rien ne ressort par après, en phase d'utilisation.
- Une modification de la couleur, très variable selon les essences et la couleur d'origine du bois. Plus le traitement se fera à haute température, plus le bois va foncer de façon homogène et dans la masse⁴¹. Ce changement de coloration peut influencer la commercialisation des sciages en particulier s'ils sont destinés à la parqueterie, l'ameublement, la menuiserie. On peut donc considérer que le traitement thermique est également un vecteur dans le domaine du marketing de ce type de produit puisque il est possible de moduler le résultat obtenu en jouant sur les paramètres du traitement.
- Une amélioration de la performance d'isolation thermique⁴²
- D'après les études conduites par le CTBA en 2001(Centre technique du bois et de l'ameublement à Paris, à présent dans le giron du FCBA) la résistance au feu d'un bois n'est pas impactée par le traitement thermique⁴³.

³⁸ Chanrion, Schreiber, 2002

³⁹ OEWB, 2012

⁴⁰ Chanrion, Schreiber, 2002

⁴¹ Id précédent

⁴² Finnish Thermowood association, 2003

⁴³ Ceci est également confirmée par la Finnish Thermowood association, 2003

- Le bois ayant subi un traitement par haute température dispense une odeur caractéristique à la sortie du four. Celle-ci se dissipe au bout de quelques jours mais il peut rester une très légère odeur de type « caramel » ou « café torréfié ». En extérieur, domaine qui occupe notre travail, cela n'a aucun impact. Seul en emploi intérieur la sensibilité de chacun peut se faire valoir⁴⁴.
- En ce qui concerne les propriétés d'usinage du bois modifié thermiquement, il n'y a pas de problème particulier, on peut néanmoins citer⁴⁵:
 - Une plus grande dureté qui peut nécessiter d'utiliser systématiquement des lames en carbure de tungstène pour la coupe
 - Et prévoir pour l'ensemble des opérations d'usinage (sciage, rabotage, fraisage, ponçage ...), des appareils extracteurs de poussière performants car le bois modifié thermiquement a tendance à produire une poussière plus fine que du bois classique. Par ailleurs, le bois ayant tendance à devenir plus cassant après traitement et donc à pouvoir se fendre plus facilement, des pré-trous sont recommandés pour insérer les vis de fixation (éviter les vis auto-forantes)
- Enfin, concernant le collage, le traitement par haute température modifie les propriétés de surface du matériau et notamment ses caractéristiques d'hygroscopie. Cela peut poser problème avec les colles dont l'eau entre comme composant, car la capacité du bois à absorber cette eau est moindre. C'est donc un élément à tenir compte lors du choix du type de colle. Les temps de séchage peuvent aussi être dans certains cas allongés⁴⁶. Néanmoins, nous n'avons pas trouvé d'argument qui mettait fondamentalement en cause l'efficacité des collages par rapport à du bois classique, si la méthode ad hoc est respectée.

A noter qu'au-delà de 250°, le traitement thermique n'apporte pas de qualité supplémentaire, au contraire, il va commencer à dégrader fortement la cellulose (à partir de 300°), élément le plus stable du bois avec des conséquences très néfastes sur les propriétés mécaniques. A partir de 280° apparaît également l'émission de nouveaux composés comme le CO.

2.2.3. Les différentes technologies

Le traitement thermique du bois peut donc se définir⁴⁷ comme une pyrolyse ménagée du bois, traitement qui place la fourchette de température utilisée en phase la plus chaude entre 180° et 280°. A partir de 290° on passe dans des techniques de valorisation énergétique de bois tels la torréfaction, l'obtention de charbon de bois, l'obtention de combustibles gazeux.

⁴⁴ Chanrion, Schreiber 2002

⁴⁵ Finnish Thermowood association, Thermowood[®] handbook, 2003

⁴⁶ Id précédent

⁴⁷ Chanrion, Schreiber, 2002

Dans la pratique, les traitements dont nous parlons ne dépassent pas 230° à 240°. Nous avons vu supra les principaux effets et modifications que cela impliquait.

Le principe est de monter graduellement le bois en température, de le maintenir un certain temps à une température de modification optimale et ensuite de le refroidir dans de bonnes conditions (voir exemple en infra avec la technologie Thermowood®)

La seule élévation de température ne suffit pas gouverner un bon processus de transformation du bois, il existe beaucoup de facteurs qui influencent le process et qu'il faut paramétrer. Citons en premier lieu la durée d'un cycle de traitement et les températures et durées de ses différentes phases qui dépend non seulement du résultat à obtenir mais également

- de la technique utilisée,
- de l'essence du bois traité
- l'épaisseur du sciage du bois traité (ainsi que de sa géométrie)
- du taux d'humidité de départ du bois traité

Les différents procédés qui existent présentent essentiellement les différences suivantes

- Le vecteur thermique qui peut être une atmosphère ou un bain (d'huile)
- Le fait de travailler sous pression ou non
- L'agent régulateur thermique de la pyrolyse ménagé, le but étant évidemment de travailler dans une atmosphère pauvre en oxydant (O2) afin que le bois ne s'enflamme pas : H2O, N2, CO2
- La taille de l'installation (et son coût) et donc sa capacité de production. Les fours ont une capacité en général entre 6 et 20 M3. Jartek (Technologie Thermowood®) va jusqu'à 150 M3
- Le type d'énergie utilisé.

A noter que tous nécessitent, de préférence un pré-séchage des sciages (entre 12 et 18% selon le procédé) pour des questions d'économie énergétique.

Nous ne rentrerons pas dans le détail des paramétrages des différentes variables en fonction des techniques utilisées car cela dépasserait de loin le cadre de ce travail, mais nous citons ici les principaux grands type de procédés⁴⁸ :

- **Procédé Thermowood®**, procédé finlandais qui fonctionne avec un four (aussi appelé réacteur) dont le vecteur thermique et l'agent régulateur de la pyrolyse ménagée sont une **atmosphère saturée en vapeur d'eau, à pression atmosphérique**. C'est le procédé le plus utilisé dans le monde – 38% du marché en 2011⁴⁹ - et aussi avec une filière d'industrialisation aboutie (3 fabricants).

⁴⁸ Chanrion, Schreiber, 2002 et Finnish Thermowood association, 2003

⁴⁹ OEWB, 2013

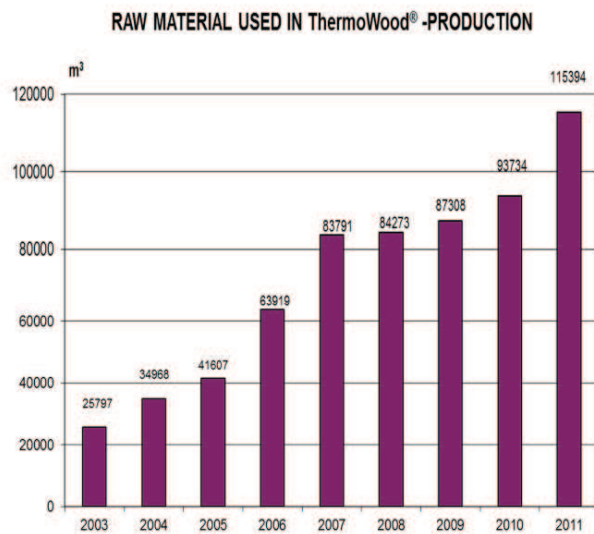


Figure 8, Source : OEWB, 2013

C'est une des technologies de plus en plus utilisée (voir graphe) sur laquelle il y a le plus de recul sur le plan industriel avec entre -autre le rôle de la « Finnish Thermowood Association » qui réunit beaucoup d'utilisateurs, afin de partager expérience et informations techniques. C'est la raison pour laquelle nous l'avons choisi dans notre scénario d'analyse de cycle de vie plus loin dans notre travail et que nous le détaillerons un peu plus que les autres procédés.

Il y a 3 grandes étapes dans le traitement⁵⁰ :

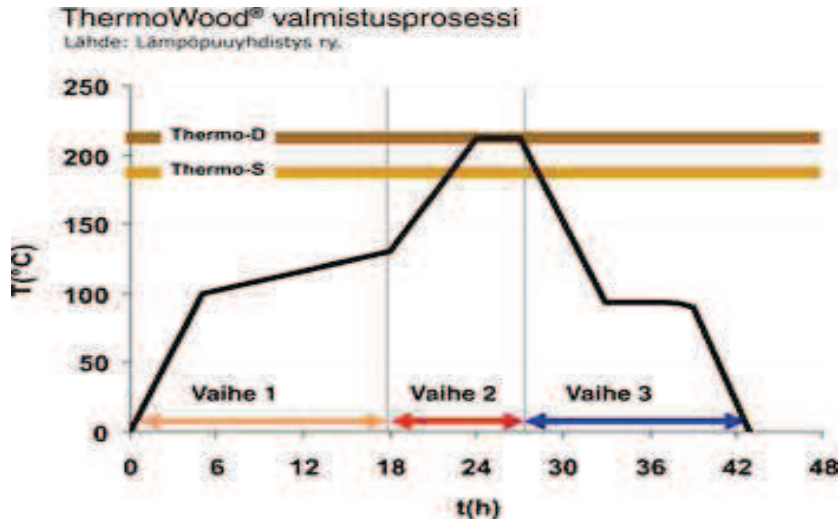


Figure 9, Source : Finnish Thermowood association, 2003

A noter que le procédé Thermowood® sort deux niveaux de qualité de bois traité en fonction de la température appliquée et du résultat à obtenir: Thermo S et Thermo D. Rappelons qu'ils affirment atteindre des niveaux de durabilité naturelle de classe 2 avec Thermo D et classe 3 avec Thermo S.

⁵⁰ Finnish Thermowood association, Thermowood® Handbook, 2003

1^{ère} phase : Séchage du bois à haute température avec chaleur et vapeur: La température est rapidement montée à 100°, ensuite doucement jusque 130°, période au bout de laquelle le taux d'humidité du bois descend jusque presque 0%. Cette phase est celle qui prend le plus de temps et la durée dépendra de l'essence, de l'épaisseur et du taux d'humidité initial. La phase de séchage est critique car si elle est mal réalisée, la structure du bois va s'en voir altérée. Alimenter le four avec du bois préséché à 12% n'est pas indispensable mais recommandé pour des questions d'économie d'énergie⁵¹.

2^{ème} phase : Traitement à haute température. Celle-ci est augmentée entre 185 et 215 ° dans une atmosphère toujours saturée de vapeur pour empêcher le bois de brûler mais aussi, comme mentionné supra, provoquer des phénomènes d'hydrolyse. La température est maintenue à ce niveau pendant 2 à 3 heures selon le résultat à obtenir.

3^{ème} phase : Refroidissement et stabilisation. Lors de cette dernière phase, qui prend entre 5 et 15 h, on ramène progressivement le bois à 30°, par pulvérisation d'eau. Il faut être attentif, pendant cette phase que le différentiel de température entre l'atmosphère et le bois ne soit pas trop élevé car cela peut causer le fait qu'il se fende ou que la qualité du produit final soit altéré. Le bois sort du four à un taux d'humidité entre 5 et 7%.

Dans une unité de traitement d'une capacité de +/- 20M3 de bois⁵², nous trouvons comme éléments principaux :

- La chaudière qui est un élément séparé du four proprement dit. La chaleur y est produite par un système de chauffage à fluide thermique alimenté au gaz.
- Un générateur de vapeur
- Le four (la chambre) proprement dit avec :
 - Un système de ventilateurs pour faire circuler l'atmosphère de façon homogène autour de la charge du four (alimenté à l'électricité)
 - Un équipement de refroidissement et d'humidification (avec tuyaux de distribution et gicleurs)
- Une unité de contrôle

A noter que l'alimentation la fabrication de chaleur et de vapeur peut aussi se faire à partir d'électricité ou de biomasse selon ce que choisit l'utilisateur.

Selon Jartek, , le constructeur (Mr Tetri Timo) un cycle utilise entre 150 et 250 litres d'eau douce par M3 de bois traité. Ceci nous semble être un point faible de cette technologie : pour 20M3 de charge, on parle de 3 à 5 M3 d'eau, ce qui nous semble énorme. Ces valeurs, qui sont des valeurs « constructeur » nous ont été confirmées par le FCBA. Il y aurait même lieu de les augmenter encore lorsque l'on se réfère au témoignage d'utilisateurs qui souhaitent garder l'anonymat (facteur multiplicateur de 2) .

⁵¹ OEWB

⁵² source :Devis Jartek, un des principaux constructeur de fours de Technologie Thermowood[®],

- **Procédés en atmosphère sous pression**, dont le vecteur thermique et l'agent régulateur de la pyrolyse ménagée est également de la vapeur d'eau : Procédé **WTT et Moldrup** (Danemark), qui utilisent des pressions de 12 à 14 bars, Procédé **Plato** (Mis au point dans les laboratoires Shell – Hollande) , où seule la phase spécifique d'hydrolyse se fait sous pression supra atmosphérique.

Lors de notre interview au FCBA⁵³, ceux-ci ont attiré notre attention sur le fait que pour un procédé tel celui de WTT, sous pression, 7% de la matière solide bois part en effluent liquide. Lors de leurs test, pour 10m3 traité, 154 l d'eau ont été injectés et 1000 l retirés. On voit que la plus grosse partie de l'eau vient du bois.

Le procédé semble avoir comme avantage sur le procédé Thermowood qu'il consomme beaucoup moins d'eau. Par contre une très grande quantité d'eau très acide ressort du process (PH autour de 4) avec des composés organiques. C'est un des soucis de la méthode sous pression, souligne le FCBA. Pour diminuer cet inconvénient : le process prévoit de rester à pression atmosphérique avec système ouvert sur l'extérieur pendant la première phase de traitement, à basse température. Cela ne dégage pas de COV. Une fois que la température monte, on ferme le système mais, étant déjà très avancé dans le cycle, une nettement moindre quantité d'eau résiduelle à traiter. Le PH de l'eau est ensuite relevé autour de neutre et celle-ci envoyée dans le circuit normal d'eaux usées et donc vers une centrale d'épuration classique⁵⁴, selon Monsieur Négrié.

- **Procédé Menz Holz**⁵⁵, procédé allemand qui fonctionne avec une installation autoclave (type cylindre pour l'imprégnation bois), dont le vecteur thermique et l'agent régulateur de la pyrolyse ménagée est de l'huile végétale chauffée : le bois est chargé dans le cylindre, une fois celui-ci fermé, de l'huile végétale est pompée dans un réservoir, envoyée sous pression dans le cylindre pour que celui-ci commence le cycle de traitement. Une fois le cycle terminé, l'huile est renvoyée dans le réservoir. 3 cycles de traitement, selon le résultat à obtenir : 180°, 200°, 220° C.

L'huile utilisée peut être par exemple de l'huile de lin, Colza ou tournesol ; matière végétale brute et renouvelable par exemple. Elle permet un transfert de chaleur vers le bois rapide et homogène et une parfaite séparation de l'O2 qui vient du bois.

En Allemagne, cette technologie est utilisée pour l'épicea produit en grandes quantités et à des prix compétitifs

- Citons encore
 - les procédés à pression atmosphérique avec atmosphère appauvrie en O2, par réinjection des gaz de combustion (CO2) du brûleur (au gaz) : Procédé PCI (Canada) dont le bois issu du traitement est appelé Perdure[®] ou le procédé Besson (France). A noter

⁵³ Monsieur Négrié du FCBA

⁵⁴ Selon Monsieur Négrié du FCBA

⁵⁵ Chanrion, Schreiber, 2002

aussi que dans ces procédés, les gaz d'émanation du thermo-traitement du bois repasse dans la chaudière pour être brûlés.

- La « Rétification[®] » (Mot qui prend son origine d'une combinaison entre « Réticulation » et « Torréfaction »), le procédé mis au point par l'Ecole des mines de Saint Etienne en France: procédé **NOW** dont le vecteur thermique et l'agent régulateur de la pyrolyse ménagée est de l'azote (N2)

Il existe enfin des procédés sous vide (Exemple : Procédé **Maspell** constructeur Opel)

Tableau récapitulatif :

Procédé	Pays d'origine	Agent régulateur de la Pyrolyse	Sous pression?	Séchage préalable?	Température de Chauffe
Thermowood [®]	Finlande	Vapeur d'eau	Non	Conseillé	185 à 225°C
WTT	Danemark	Vapeur d'eau	Oui	Oui	140 à 210°C
Moldrup	Danemark	Vapeur d'eau	Oui	Oui	160 à 215°C
Plato	Hollande	Vapeur d'eau	oui (une phase)	Oui	190 à 200°C
Menz Holz	Allemagne	Huile végétale	oui (autoclave)	Oui	180 à 220°C
Besson	France	Gaz de combustion	Non	Oui	200° C
PCI (Perdure [®])	Canada	Gaz de combustion	Non	Oui	230°C
NOW (Retification [®])	France	Azote	Non	Oui	250°C

Tableau 4.

Source données: Chanrion &Schreiber 2002, FCBA, OEWB

2.3. Quelques éléments sur la situation du marché en Europe

En 2011, 300000 M3 de bois ont été traités en modification thermique dans le monde . Le marché est en hausse de + /- 10% par an.⁵⁶

En Europe, la filière n'est pas encore développée en Belgique. Elle existe déjà en Scandinavie : Finlande (premier pays utilisant cette technologie) et en Suède mais aussi en Allemagne, en France, Hollande, Suisse, Danemark, Autriche, Estonie..Il y avait +/- 75 fours au total en 2011⁵⁷ sur le sol européen.

⁵⁶ Boismag 2011

⁵⁷ OEWB



La capacité de production de bois traité thermiquement dans les pays frontaliers de la Belgique à la fin 2011⁵⁸ est de :

- France, 13 unités, > 30000 m³/an
- Pays-Bas, 2 unités, 15000 m³/an
- Allemagne, 9 unités, 55000 m³/an

Le cas particulier de la France : En terme d'offre industrielle, pour des questions de pragmatisme dans nos déplacements, nous avons été essentiellement étudié ce qui existait en France. Force est de constater qu'une offre industrielle structurée et crédible n'existe pas pour la fabrication de four. Cette fabrication reste encore du « cas par cas » issue d'une des multiples filières technologiques que les français ont adoptées. Les types de fours utilisés diffèrent en technologie sur les différents sites au point qu'il est difficile de trouver plusieurs sites utilisant la même technologie (au-delà de deux ou trois sites).

Les français n'ont en effet malheureusement à ce jour pas réussi à s'intégrer dans une véritable logique de marché et une filière digne de ce nom. Des raisons de rivalités et de compétition très tôt dans la R&D, de concurrence à travers des procédures de brevets, ont contribué à cette situation en dispersant les efforts et les filières. Outre mes propres conclusions conséquentes à mes différents contacts et investigations, cette constatation est également basée sur une source française, organe étatique officiel de premier plan dont, pour des raisons de ne pas les placer dans l'embarras, nous nous devons de garder l'anonymat.

Encadré 7

⁵⁸ Aribois 2011

La technologie, Thermowood® a pris le lead , et , comme évoqué supra , représente 38% du marché en 2011.

De manière plus générale, le problème de l'absence de certification en Belgique joue un rôle majeur dans le « frein » que le marché du bois traité thermiquement subit dans son développement. En effet, dès que l'on veut conquérir des marchés avec des volumes il faut convaincre, pour utiliser un nouveau matériau, architectes, ingénieurs, entrepreneurs, sociétés de construction, bureaux d'études.... La garantie qui peut être donnée, en nombre d'année, sur la durabilité du matériau est clé pour ces acteurs, ceux-ci ne voulant pas – et c'est compréhensible- prendre le risque de s'exposer à des recours ultérieurs.

Comme le soulignait l'OEWB, le bois modifié thermiquement n'est pas un produit abouti mais émergent . Pour élargir les usages , il y a des études supplémentaires à réaliser sur les précautions d'utilisation, la durabilité et la résistance. On « augure » certains résultats qui doivent encore être confirmés. Une étude du FCBA est en cours (voir encadré juste ci infra).

Certification : Démarches en cours en France.

Extrait de notre interview avec le FCBA (Mr Négrié) : On a peu de recul à ce stade, le bois modifié thermiquement étant sur le marché depuis une grosse dizaine d'année, tant du point de vue des « pathologies » que de la résistance. Pas de documentation, de normes de conformité, de règles de l'art. Le FCBA est chargé d'une étude qui évalue les performances du bois modifié thermiquement ainsi que les modes opératoires de fabrication et les dimensionnements. Ceci pourrait déboucher vers une certification. Les résultats sont attendus pour fin 2014. La certification correspondra à des catégories (classes) de bois modifié thermiquement obtenus avec des modes opératoires clairement décrits pour différents process et pour des usages donnés (par exemple : usage intérieur, usage extérieur (bardages) , usage extérieur + (Platelages)). Elle ne couvrira pas l'application de la mise en œuvre.

Pour des raisons de confidentialité et de respect de l'accès prioritaire de l'information pour leurs sponsors, le FCBA, de manière compréhensible, n'a pas souhaité nous communiquer les tendances déjà ébauchées en matière de résultats des tests déjà réalisés.

Encadré 8. Source : FCBA, 2013

Une complication concernant la certification est celle sur la quelle Monsieur Van Leemput, du CTIB, a attiré notre attention : Le problème avec le bois modifié thermiquement est qu'on ne peut pas exercer de contrôle à posteriori sur la qualité du bois via une analyse, comme c'est le cas pour du bois traité en autoclave. Pour ce dernier, il est facile de voir la façon dont le processus de traitement s'est déroulée par un contrôle à posteriori (ce que fait le CTIB). Pour du bois modifié thermiquement, on peut faire un contrôle au niveau du déroulement du processus lui-même mais c'est en pratique très difficile. Il faudra tabler sur l'autocontrôle des entreprises et se contenter de donner les règles en matière de mode opératoire. Que se passe-t-il alors en cas de conflit à posteriori car un matériau bois modifié thermiquement se comporte mal à l'utilisation dans le temps? Il y a là un problème à résoudre si l'on veut que les gros acteurs dans la construction s'impliquent davantage dans ces matériaux.

Nous n'avons pas investigué sur ce qui existerait comme certification dans le nord de l'Europe.

A terme, ce qui sera évidemment souhaitable, est un label européen. A notre connaissance il n'y a pas d'initiative à ce niveau aujourd'hui.

Remarque : Attention de ne pas confondre certification du bois traité thermiquement pour des usages de construction, domaine qui nous occupe ici et certification pour traitement thermique d'emballage bois (palettes...) pour des raisons sanitaires, ce qui existe déjà dans beaucoup de pays. Par exemple, la présence d'une certification au Canada⁵⁹ qui leur permet, entre autres, d'utiliser ces emballages pour leurs produits d'exportation vers l'Europe. En effet, le fait de chauffer du bois pour le rendre exempt de champignons ou insectes est une technique très courante mais qui n'a rien à voir avec ce que nous expliquons ici.

⁵⁹ <http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/forets/exportation/-pccpbt>

3. Matériels et méthodes

3.1. Généralités

Nous réaliserons trois étapes principales :

Première étape : une analyse comparative, des empreintes énergétiques et gaz à effet de serre via une analyse de cycle de vie comparative entre les différentes filières :

- Filière du Bois modifié thermiquement, origine locale (Wallonne),
- Filière du bois traité chimiquement en autoclave , origine locale (Wallonne),
- Filière du bois exotique (non traité), origine Pays du sud.

Pour chacune de ces filières un scénario pratique sera décrit (type d'essence utilisée et caractéristiques du produit obtenu). Comme nous ferons une analyse comparative, nous ne regarderons que les étapes différentielles des process de chaque filière en terme d'émission d'énergie et de gaz à effet de serre. Pour plusieurs étapes des chaînes de process de ces filières, nous assumerons en effet que les activités seront génératrices d'un même niveau d'émission et donc non prises en compte dans le raisonnement.

Deuxième étape : Un examen des aspects de pollutions chimiques, d'impact éco-toxicologique, de la filière classique de bois traité chimiquement et de la filière de bois traité thermiquement. Cela nous semble important d'aborder les conséquences sur l'environnement et la santé humaine de ces deux filières car le bois modifié thermiquement apporte à priori un avantage sur ce plan, puisque ne faisant l'objet d'aucun traitement chimique.

Troisième étape : discussion sur les résultats des deux étapes précédentes

Tout comme l'état de l'art, ces trois étapes seront réalisées grâce à l'apport d'analyse de documents, d'interviews d'experts, et de visite de sites sur le terrain.

Remarques importante sur la terminologie :

Dans notre travail, l'expression « émissions CO2 » s'entend «émissions équivalent CO2 » c'est-à-dire que notre champ d'étude et les données présentées englobent bien l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre reconvertis en unités équivalent CO2.

Dans le texte, pour des raisons de simplicité, nous utilisons l'expression « émissions CO2 »(en kg par kwh), même si le lecteur doit donc comprendre « émissions équivalent CO2 ».

Nous utilisons indifféremment les expressions « énergie grise » et « énergie incorporée », qui signifient la même chose.

3.2. Analyse du cycle de vie – « Screening LCA » - Analyse comparative entre les filières pour les scénarii retenus

3.2.1. Analyse de cycle de vie: La méthodologie⁶⁰

L'analyse de cycle de vie est un outil méthodologique qui fournit un moyen efficace et systématique pour analyser et évaluer les impacts environnementaux d'activités liées à des processus ou des produits (Biens ou services) et ce en appliquant une logique de pensée de cycle de vie, c'est-à-dire à travers les étapes suivantes (quand elles ont lieu d'être) :

- L'extraction et la transformation des matières premières
- La fabrication
- L'emballage et la distribution
- L'utilisation
- La fin de vie du produit

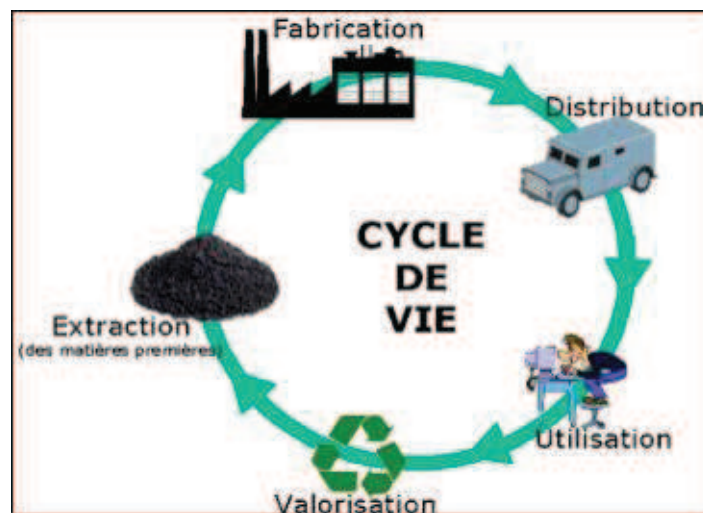


Figure 11⁶¹

Le but fondamental est de pouvoir comparer la pression sur les ressources et l'environnement qu'exerce un produit ou un processus à d'autres produits ou processus ou de pouvoir réduire cette pression tout au long de son cycle de vie. Pour les entreprises, les concepteurs et les gouvernements, l'ACV est un outil d'aide à la décision pour l'application du développement durable.

L'organisation internationale de normalisation (ISO) définit l'analyse du cycle de vie (ACV), comme suit :

⁶⁰Sources : ELCD, Gabi, Wikipedia

⁶¹ Source : http://www.sbaysite.com/sciences_ingenieur

"Compilation et évaluation des entrants et sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie".

Comme l'analyse du cycle de vie se révèle d'une très grande utilité pour l'évaluation de l'impact environnemental des produits et matériaux, l'industrie l'utilise de plus en plus dans son processus décisionnel. Par ailleurs, les renseignements fournis par l'ACV peuvent influencer les choix politiques ainsi que les décisions en matière de réglementation environnementale.

Concrètement, les ACV sont principalement utilisées pour⁶²:

- La comparaison environnementale des systèmes

En effet, l'ACV permet d'effectuer des comparaisons sur un plan environnemental :

- de produits similaires pour l'attribution d'écolabels
- d'étapes du cycle de vie, pour augmenter la valeur environnementale d'un produit
- de procédés ou de services pour alimenter une analyse de conformité
- de méthodes de production
- de choix de produits et de procédés

- L'amélioration de la production

L'ACV sert ainsi d'outil d'aide à la décision pour investir dans de nouveaux produits et procédés, pour optimiser la consommation d'énergie et de matières premières, pour identifier des solutions en matière de réduction des rejets et pour choisir des substances plus " propres ".

- Le développement commercial :
 - Pour l'obtention d'autorisations (dans le cas d'un nouveau produit, par exemple).
 - Au niveau du marketing (pour la certification ou la création d'une image de marque).
 - Comme support pour l'information au public (dans le cadre d'une déclaration environnementale de produit).

Régie par les normes de la série ISO 14040⁶³, l'analyse du cycle de vie (ACV) comporte quatre phases⁶⁴

- Définir les objectifs et le champ de l'étude (**Goal and Scope**), c'est à dire le cadre méthodologique auquel doivent se conformer les phases suivantes :

⁶² Labouze et al., 1996

⁶³ ISO14040 (2006), Management environnemental. Analyse du cycle de vie – Principes et cadre; ISO14044 (2006), Exigences et lignes directrices; International Organization for Standardization.

⁶⁴ sources ELCD, Quantis, GaBi

- **Définition de l'objectif de l'étude** : Outre l'objectif proprement dit cela comporte aussi le fait de motiver l'étude et la définition de l'audience visée.
- **Détermination de la fonction**. C'est en définissant correctement la fonction étudiée que l'on pourra valablement comparer les produits entre eux. Un bon choix de fonction permet aussi de définir correctement les frontières du système.
- **Détermination de l'unité fonctionnelle** : c'est la quantification de la fonction du produit. C'est à partir de cette unité qu'il sera possible de comparer des produits différents. Remarque terminologie : plus loin dans ce travail, en particulier dans les graphes et tableaux, les unités fonctionnelles seront souvent appelées UF .
- **Détermination des impacts à quantifier**
- **Allocation des impacts sur les éventuels produits dérivés**. Cette étape n'est pas pertinente pour notre étude et donc n'apparaît pas.
- **Détermination des frontières du système** : Il est nécessaire de définir les limites du système qui sera étudié et qui permet de rencontrer les besoins de la fonction. Comme pour un système un peu complexe, on peut voir apparaître une multitude de process élémentaires, certains ayant une contribution quasi nulle, définir les frontières du système permet aussi de définir au-delà de où l'information ne s'aventurera pas. Dans notre étude, cette étape viendra en amont, ensemble avec la description du système, et ce pour une meilleure compréhension.

Remarque : Notez que dans l'étude qui suit, si nous avons respecté ces étapes, nous n'avons pas nécessairement, pour des questions de cohérence dans nos explications, respecté leur chronologie.

- Effectuer l'inventaire de tous les entrants et sortants du système (**LCI pour Life Cycle Inventory**). Par exemple les matières premières (eau, pétrole, ...) qui sont intégrées dans les process ou des émissions telles que CO₂, CH₄, NO_x etc...ainsi que leur quantification.

La LCI donnera lieu à la construction d'un diagramme de flux.

Il faut bien distinguer, dans la construction de l'ACV les process des flux :

- Un process implique une transformation, le changement d'un état vers un autre d'un bien ou d'un service. Cela comprend aussi un changement d'état géographique et donc le fait de transporter un bien ou de le manipuler (le transport, la manutention sont aussi des process). Selon GABI, le diesel des camions, le gaz d'une chaudière ou l'électricité qui alimentent les process de l'ACV sont donc aussi considérés comme des process eux-mêmes, car résultants de transformation.

- Un flux peut être :

Elémentaire : c'est-à-dire qu'il ne provient pas de la techno-sphère et qu'il n'y est pas destiné. Il provient de l'extérieur ou sera émis vers l'extérieur. Ce sera donc soit l'utilisation d'une ressource (matière première, terre, eau, énergie primaire etc..), soit une émission (dans l'air, l'eau ou le sol)

Non élémentaire, c'est-à-dire qui provient ou est destiné à la techno-sphère tels des produits entrant dans les process, des sous produits ou des déchets

Un Flux peut être caractérisé par son poids, son volume, son nombre d'unité, son énergie, son coût.... Il peut être un input (ressources, produits) ou un output (émission, sous produits, déchet) d'un process.

- Évaluer les impacts potentiels liés à ces entrants et sortants (**LCIA pour Life Cycle Impact Assessment**). Pour les ACV complexes, il existe des méthodologies, comme RECEPE qui permettent de traiter les longues listes qui viennent de la LCI (liste des émissions, consommation ressources etc...) et qui permettent de les agréger en un nombre limité de catégories d'indicateurs. Pour RECEPE, il y a 18 indicateurs intermédiaires, eux-mêmes agrégés en 3 indicateurs : Santé Humaine, impact sur écosystèmes et impact sur les ressources
- Interpréter les données d'inventaire et les résultats de l'évaluation des impacts (**Interpretation**)

Comme le montre le schéma suivant, l'ACV est un processus itératif. Les choix effectués au cours de l'analyse peuvent être modifiés par l'acquisition de nouvelles données ou informations.

Méthodologie ACV

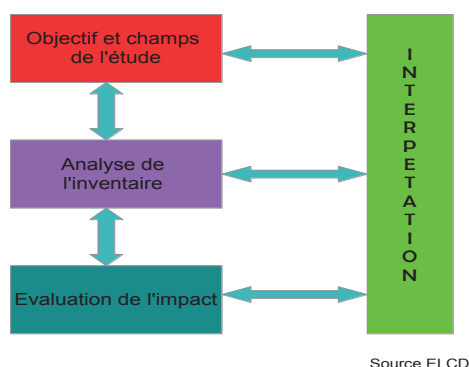


Figure 12

Le périmètre du système peut être limité à certaines étapes du cycle de vie ou à certains types d'impacts ou ne prendre en compte que les plus grands contributeurs. Dans le cas de notre étude,

nous ferons une ACV comparative de quatre scénarii (comparés deux à deux) et limitée à certains impacts et certaines étapes, ce que nous expliquons dans la section suivante.

Pour l'évaluation de l'impact il existe des modèles mathématiques permettant de transformer des flux en impacts environnementaux potentiels.

Pour alimenter l'inventaire, distinguons encore les données primaires et des données secondaires⁶⁵ :

- Les données primaires (foreground datas) que l'on obtient sur les sites eux-mêmes, via enquêtes et analyse des process et des flux.
- Les données secondaires (background datas) : Les bases de données génériques , qui regroupent des données de la littérature ou des données calculées. Par exemple ELCD, ECOINVENT, GABI... Leur utilisation implique souvent des simplifications qui peuvent affecter la précision et l'applicabilité des résultats de l'ACV, mais permettent tout de même l'identification des impacts potentiels et, dans une certaine mesure, leur évaluation.

NB : comme vous le constaterez dans la partie suivante, nous sommes surtout allés chercher des données primaires pour notre analyse.

Des logiciels permettent de construire et présenter une ACV, d'aller puiser dans les différentes sources de données et de réaliser les analyses et interprétations selon les différentes méthodologies. C'est le cas de GABI qui utilise ces méthodes et permet de décliner les résultats et interprétations en fonction de celles-ci. Nous avons pu obtenir une version d'apprentissage de GABI et avons pris le temps d'essayer de comprendre comment il fonctionnait. L'utilisation de celui-ci s'adapte mal au cas étudié et n'a donc pas été retenu dans le cadre de ce travail étant donné que

- Son niveau de standardisation en matière de process industriels est élevé : nous y retrouvons des process habituels de l'industrie mais aucun process typique au cas étudié, qui est assez neuf : (chauffage haute température du bois pour modification thermique)
- Sa dimension est « multi variables » en terme d'impacts, alors que nous n'étudierons que les émissions équivalent CO2 dans notre étude (voir infra),
- Il est complexe et nécessite un investissement en temps peu compatible avec un travail de fin d'étude (mais peut être plutôt une thèse)

Nous procéderons à l'interprétation et à la présentation des résultats « manuellement ».

⁶⁵ source Gabi

3.2.2. Goal and Scope :

3.2.2.1 Objectif de l'étude, motivation et audience visée :

L'objectif de l'étude est de pouvoir évaluer comparativement

- la quantité d'énergie consommée
- les impacts en terme de changement climatique via les émissions de gaz à effet de serre

pour la fabrication et la mise en œuvre de bois de construction extérieure et ce dans deux types de filières :

- Construction de terrasses avec d'une part du bois de feuillus d'origine local traité thermiquement et d'autre part du bois de feuillus exotique importé et non traité.
- Réalisation de bardage avec d'une part du bois de résineux d'origine local et traité thermiquement et d'autre part du bois de résineux d'origine local et traité par autoclave avec pesticides et fongicides.

L'analyse réalisera cette comparaison tout au long du cycle de vie des produits concernés. Cette analyse de cycle de vie sera dite « rough » ou « screening LCA » car nous avons à faire à une nouvelle technologie et, dans le cadre du périmètre de ce travail, nous n'aborderont que les aspects de la consommation énergétique et du réchauffement climatique. Comme mentionné supra, nous nous intéresserons aux différences entre les filières et prendrons donc uniquement en compte les impacts qui sont différentiels entre ces filières. Cette analyse présentera donc des résultats relatifs et non des résultats absolus. C'est aussi la raison pour laquelle **nous n'examinerons la chaîne de process qu'à partir de la sortie de scierie (« Gate to grave »), y incluant néanmoins le séchage du bois** car c'est un process différentiel entre les filières comme ce sera expliqué plus loin.

Les aspects de pollution toxicologiques seront traités dans une section séparée plus loin dans ce travail.

Cette étude rentre dans le cadre de la réalisation de notre travail de fin d'étude dont l'objectif a été défini en amont dans ce travail : examiner si le bois modifié thermiquement apporte des avantages en terme de durabilité dans son exploitation par rapport aux procédés dits « classiques » : bois traité en autoclave et bois exotique importé. Afin d'objectiver autant que possible notre démarche, une analyse de cycle de vie nous semble un outil utile pour participer à la réponse de la question de recherche.

L'audience visée est donc le jury et son comité de lecture, et dans un deuxième temps, si le travail est publié, l'ensemble de la population souhaitant consulter celui-ci, à commencer par une population étudiante.

3.2.2.2 Détermination de la fonction

La fonction retenue est

- La réalisation d'une terrasse en bois avec la fourniture
 - d'une facilité de mise en œuvre raisonnable
 - de la solidité nécessaire, c'est-à-dire que le matériau utilisé soit suffisamment résistant, en particulier à la flexion
 - de l'esthétisme, c'est-à-dire que le matériau utilisé et sa finition plaise au consommateur
 - de la durabilité dans le temps nécessaire

En concertation avec l'OEWB nous avons donc choisi d'utiliser du frêne d'origine wallonne pour le bois feuillu d'origine local et de l'ipé pour le bois feuillu d'origine exotique. Ces deux bois, qui se placent dans le haut de gamme des terrasses, permettent une mise en œuvre selon des standards raisonnables et un niveau de finition de qualité. Ils permettent de délivrer une fonction comparable à partir du moment où l'unité fonctionnelle est définie convenablement, en tenant compte de leurs différences intrinsèques.

- La réalisation d'un bardage en bois avec la fourniture
 - De protection et de durabilité dans le temps. La résistance à la flexion est ici un critère moins important car aucune force mécanique ne s'applique sur un bardage
 - Et comme supra pour la terrasse, d'une facilité de mise en œuvre raisonnable et de l'esthétisme requis.

Nous avons donc choisi d'utiliser de l'épicéa, bois résineux, d'origine wallonne, et ce dans les deux cas de figure : bois traité thermiquement et bois traité chimiquement en autoclave. Ici aussi, nous estimons que la différence de traitement permettra de garder la même fonction à partir du moment où l'unité fonctionnelle est définie convenablement, en tenant compte de leurs différences intrinsèques.

Comme nous l'avons souligné plus haut, les choix des bois locaux, frêne et épicéa, ont aussi été motivés par le fait de prendre des essences qui étaient disponibles en Wallonie et pour lesquelles les débouchés liés au traitement thermique peuvent s'avérer intéressantes.

3.2.2.3. Unités fonctionnelles :

Nous définirons deux types d'unités fonctionnelles, l'une pour le bois de terrasse (Scénarii 1A et 3) et l'une pour le bois de bardage (Scénarii 1B et 2)

Nous nous sommes concertés avec l'OEWB pour définir ces unités fonctionnelles. La **résistance**, du moins pour les terrasses, est un élément important à prendre en compte dans l'établissement de

l'unité fonctionnelle vu que nous comparerons des essences différentes avec des traitements différents. En particulier, nous avons vu que le bois modifié thermiquement acquière une moindre résistance à la flexion après traitement. Les épaisseurs qui ont été définies ci infra tiennent donc compte de cela. Un autre élément important est **le retrait** du bois modifié thermiquement qui est plus important après traitement vu qu'il ne peut reprendre un taux d'humidité que de maximum entre 8% et 11% environ, en situation d'atmosphère saturée d'eau (voir point 2.2.2 supra). Nous avons tenu compte de cet aspect également dans nos calculs avec un niveau d'humidité du bois à 5%, vu qu'il n'est pas supposé être en atmosphère saturée la majorité du temps.

Voici les tableaux 5 et 5 bis ci infra qui reprennent les données de retrait et de rabotage pour différentes épaisseurs et largeurs de frêne et d'épicéa (Source OEWB) :

Remarque : Nous avons pris les retraits minimums communiqués par l'OEWB car cela ne fait pas de différence pertinente pour nos calculs avec les retraits maximums, étant donné que nous devons déjà faire des arrondis raisonnables (voir infra).

FRENE

		% par % de variation de taux d'humidité du bois	$\Delta \text{ \%}=7$	$\Delta \text{ \%}=18$
retrait radial min		0,17	1,19	3,06
retrait tangentiel min		0,27	1,89	4,86

	Séchage	Traitement haute t°	Rabotage (- 5 mm)
Epaisseur (mm) à 30 %	Epaisseur à 12 %, $\Delta \text{ \%}=18$	Epaisseur à 5 %, $\Delta \text{ \%}=7$	
32	31,02	30,65	25,65
40	38,78	38,31	33,31
Largeur (mm)	Largeur à 12%, $\Delta \text{ \%}=18$	Largeur à 5 %, $\Delta \text{ \%}=7$	
115	109,41	107,34	102,34
125	118,93	116,68	111,68
155	147,47	144,68	139,68
165	156,98	154,01	149,01
170	161,74	158,68	153,68

Tableau 5

EPICEA

		% par % de variation de taux d'humidité du bois	$\Delta \% = 7$	$\Delta \% = 18$
retrait radial min		0,15	1,05	2,7
retrait tangentiel min		0,27	1,89	4,86

	Séchage	Traitement haute t°	Rabotage (- 5 mm)
Epaisseur (mm) à 30 %	Epaisseur à 12 %, $\Delta \% = 18$	Epaisseur à 5 %, $\Delta \% = 7$	
25	24,33	24,07	19,07
32	31,14	30,81	25,81
Largeur (mm)	Largeur à 12 %, $\Delta \% = 18$	Largeur à 5 %, $\Delta \% = 7$	
150	142,71	140,01	135,01

Tableau 5bis

3.2.2.3.1. Pour le bois destiné à la réalisation de terrasse, l'unité fonctionnelle est :

- **Pour la filière bois modifié thermiquement**, 1 mètre carré de Frêne d'épaisseur de 32 mm avant traitement, qui sera ramené après séchage, traitement de modification thermique et rabotage (+/- 5mm) à son épaisseur finale de 25,65 mm. Nous considérerons 26mm. A noter que les lattes auront une largeur de 155mm avant traitement, ce qui l'amènera à une largeur finale de 139,68 mm. Nous considérerons 140 mm.

Remarque :

A noter qu'il y a une approximation dans nos calculs que nous expliquons ici par souci de rigueur : Les KWh de consommation d'électricité et de gaz nécessaires pour le traitement thermique s'appliquent à du bois de 32 mm d'épaisseur (Chiffres obtenus chez JARTEK). Or, comme celui-ci est à 12% d'humidité (car préséché, venant de 30% d'humidité) avant de rentrer dans le four de traitement haute température, il a déjà subi un retrait radial de 3% et ne fait plus que 31 mm d'épaisseur. Même principe pour le retrait tangentiel. Néanmoins nous acceptons cette approximation qui n'impacte pas de façon suffisamment pertinente les KWh utilisés la consommation énergétique. Par contre, le fait que le bois soit à 12 % d'humidité est évidemment bien pris en compte dans les calculs de JARTEK. Ce raisonnement s'applique également aux calculs pour l'épicéa, ci infra.

Encadré 9

- **Pour la filière bois exotique**, 1 mètre carré d'IPE d'épaisseur de 26 mm avant traitement, qui sera ramené après rabotage (+/- 5 mm) à son épaisseur finale de 21mm. A noter que les planches dont nous prenons la même largeur de 155 mm avant traitement, seront amenées à une largeur finale de 150mm, au lieu de 145 mm dans le cas du

traitement à haute température. Il y a ici aussi une différence de 3,2% en terme de quantité de matière nécessaire selon les scénarios ainsi qu'en terme de temps de mise en œuvre (10% de temps en moins que pour du BMT). Nous tiendrons compte de ces 3,2% et de ces 10% dans nos calculs car ils ne peuvent pas être considérés comme non pertinents.

Nous ne considérons ici aucun retrait car ce phénomène ne se caractérise pour l'ipé qu'en dessous de 13% d'humidité. Les spécialistes⁶⁶ nous disent que cela ne peut arriver en menuiserie extérieure car l'ipé ne descendra jamais en dessous de 20% d'humidité.

On notera donc qu'en concertation avec l'Office Wallon Economique du Bois, nous avons pris une épaisseur de Frêne plus importante que pour l'IPE. En effet, naturellement, le Frêne a une résistance à la flexion inférieure à l'IPE. De plus le traitement thermique lui ferait perdre approximativement 15% de résistance à la flexion supplémentaire. Afin d'obtenir une efficacité fonctionnelle suffisante et comparable à ce qui est fait aujourd'hui en terme de terrasse en bois exotique nous avons donc choisi une épaisseur finale de 26 mm pour le Frêne contre 21 mm pour l'IPE, soit 24% de plus d'épaisseur pour le Frêne. Cela permet, de l'avis de l'OEWB de garder les mêmes entraxes lors de l'assemblage de la terrasse.

En résumé une unité fonctionnelle

- **De terrasse en bois « local »** : 1 M2 de Frêne de 32 mm avant traitement thermique et rabotage, non traité chimiquement (mis à part huile naturelle de finition) soit 32 DCM3, auquel nous rajoutons 3,2% pour compenser le différentiel du retrait en largeur par rapport au bois exotique ; **soit 33 DCM3** (arrondi de 33,024)
- **De terrasse en bois exotique** : 1 M2 d'ipé, d'épaisseur de 26 mm avant rabotage, non traitée ni thermiquement ni chimiquement (mis à part lasure de finition, en huile naturelle), **soit 26 DCM3**

3.2.2.3.2. Pour le bois destiné à la réalisation de bardage, l'unité fonctionnelle est :

- **Pour la filière bois modifié thermiquement**, 1 mètre carré d'epicéa d'épaisseur de 25 mm avant traitement, qui sera ramené après séchage, traitement de modification thermique et rabotage (+ /- 5%) à son épaisseur finale de +/- 19,07mm (nous considérerons 19 mm). A noter que les planches auront une largeur de 150mm avant traitement, ce qui l'amènera à une largeur finale de 135mm
- **Pour la filière bois traité en autoclave**, 1 mètre carré d'epicéa d'épaisseur de 25 mm avant traitement, qui sera ramené après séchage à 18% et rabotage (+ /- 5mm) à son épaisseur finale de 19,33 mm. Nous considérerons aussi 19 mm, et donc pas de

⁶⁶ Source FCBA

différence d'épaisseur avec l'Epicéa traité à haute température. A noter que les planches dont nous prenons la même largeur de 150mm avant traitement, seront amenées à une largeur finale de 137,7mm, au lieu de 135 mm dans le cas du traitement à haute température. Il y a ici aussi une différence, soit 2% , en terme de quantité de matière nécessaire selon les scénarios ainsi qu'en terme de temps de mise en œuvre. Nous tiendrons également compte de ces 2% dans nos calculs

En terme de différence de résistance, le bardage traité à Haute température à une résistance à la flexion de +/- 15% inférieure au Bardage traité en autoclave. Mais, après concertation avec l'OEWB, nous n'en tenons pas compte dans la définition de l'unité fonctionnelle puisqu'un bardage ne doit supporter aucune charge et a un rôle essentiellement de protection et d'esthétisme.

En résumé, une unité fonctionnelle

- **De bardage en bois local traité autoclave** : 1M2 d'Epicea de 25 mm d'épaisseur avant rabotage et traitement, soit **25 DCM3**
- **De bardage en bois traité à haute température** : 1 M2 d'Epicea de 25 mm d'épaisseur soit 25DCM3 , auquel nous rajoutons 2,% pour compenser le différentiel du retrait en largeur par rapport au traitement autoclave soit **25, 50 DCM3**

3.2.2.4 Détermination des impacts à quantifier :

Les impacts que nous souhaitons évaluer sont :

- Le différentiel d'impact de quantité d'énergie nécessaire des filières concernées. Cette quantification sera exprimée en kilowatt heure par unité fonctionnelle de terrasse et de bardage .
- Le différentiel d'impact sur le changement climatique des filières concernées via la quantification des émissions de gaz à effet de serre exprimé en kg CO2 par unité fonctionnelle de terrasse et de bardage. Comme précisé en 3.1, notre champ d'étude et les données présentées englobent bien l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre reconvertis en unités équivalent CO2. Nous vous renvoyons également à la remarque sur la terminologie au point 3.1. supra.

3.2.2.5 Description et frontières du système,

3.2.2.5.1 Généralités :

Les scénarii que nous examinerons sont des scénarii qui peuvent être qualifiés de « Gate to grave », comme expliqué dans ce qui suit. Chacune des filières choisies est traduite pour l'étude par un scénario précis. Ceci de façon à pouvoir appréhender l'ACV de façon réaliste avec la définition d'un périmètre précis. Nous avons évidemment cherché à garder ces scénarii les plus simples possibles, ceci d'autant que nous abordons une technologie encore peu développée sur laquelle il y a peu de documentation technique précise en matière d'impacts et surtout, quand il y en a, avec peu de consensus entre les différentes sources. Comme nous comparons 4 scénarios types (deux à deux), et malgré notre souci de simplification, nous sommes néanmoins confronté à devoir chercher et obtenir une grande quantité d'information. Celle-ci, ainsi

que ses sources, pour des besoins d'organisation et de systématisme dans nos recherches, se retrouve dans les tableaux LCI, (Tableaux 6, 7 et 8), en point 3.2.3, plus loin dans ce travail

Terminologie : Par site de transformation, nous entendons le site où se déroule le traitement thermique ou le traitement autoclave selon les cas. Sur ce site a également lieu le rabotage et la mise en forme définitive. Le site de transformation n'est donc pas la scierie qui est en amont de ce process et appelée comme telle dans ce texte.

Encadré 10

Ainsi nous tenons compte dans cette analyse de Cycle de vie comparative :

- Uniquement de la consommation d'énergie et des impacts en matière d'émission de gaz à effet de serre au cours. L'analyse toxicologique fait, nous le rappelons, l'objet d'un volet qualitatif séparé dans notre travail.
- Des étapes à partir la sortie de scierie, jusqu'à son recyclage sous forme de valorisation énergétique (gate to grave). Néanmoins nous prenons en compte le pré-séchage du bois qui a lieu sur le site de la scierie pour deux des quatre scénarii, il n'y a pas de pré-séchage pour les scénarii 2 et 3
- Des process dans le cycle de vie qui sont différentiels entre les différents scénarii, (nous faisons à cette fin parfois des hypothèses, voir expliquées infra). Nous n'introduisons pas dans le modèle les calculs de process communs.
- Et évidemment uniquement des process et flux qui ont un impact pertinent, nous éliminons ceux qui ont un impact non significatif.

Tout ceci est précisé et illustré concrètement par la description des scénarii qui suit ci infra et les diagrammes de flux pour chacun d'entre eux, ainsi que les tableaux LCI que nous

évoquions qui formalisent les informations cherchées et leurs sources afin de créer le modèle.

3.2.2.5.2 Description des scénarii retenus :

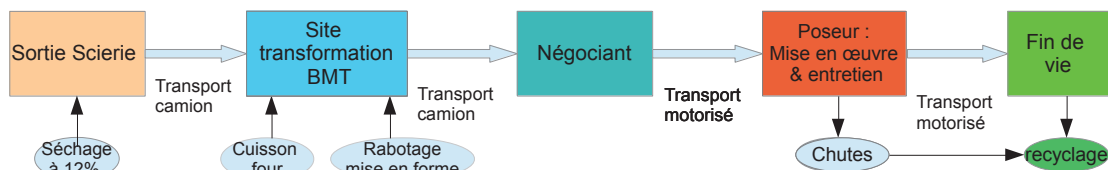
Nous avons chaque fois choisi des scénarii qui étaient révélateurs de la réalité de terrain et des usages de façon à refléter au maximum ce qui est pratiqué et par quel acteur dans la majorité des cas pour les filières décrites. Ces scénarii ont été mis au point en concertation avec l'OEWB.

Nous allons comparer la différence d'empreinte énergétique et GES pour deux scénarii pour du bois de terrasse (scénarii 1A et 3), et deux scénarii pour du bois de bardage (scénarii 1B et 2) :

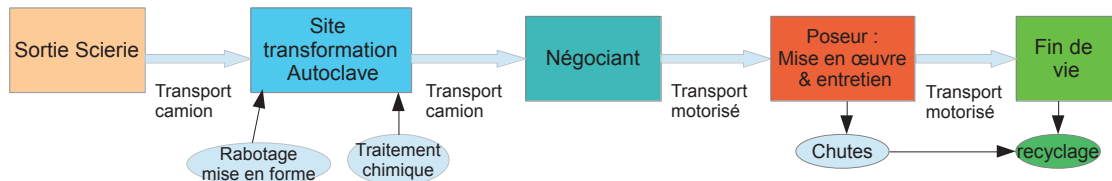
Légende :

Comparaison ACV : Terrasses : scénario 1A avec scénario 3
Bardages : Scénario 1B avec Scénario 2.

Filière BMT : Scénario 1A : Fresne (Feuillus), terrasse & **Scénario 1B** : Epicéa (résineux), bardage



Filière Autoclave : Scénario 2 : Epicéa (résineux), bardage



Filière Bois origine tropical : Scénario 3 : Ipé, terrasse

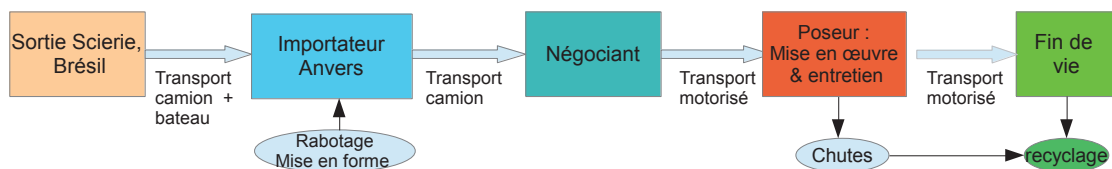


Figure 13

- Comparaison de scénarii pour du bois destiné à la conception de terrasse :
 - **Scénario 1A : Terrasse en Frêne (feuillus) origine Wallonie et traité thermiquement**, départ scierie, en intégrant l'impact du processus

de pré-séchage sur le site de celle-ci. C'est le meilleur choix pour concurrencer l'ipé

- **Scénario 3 : Terrasse en ipé (Bois exotique)**, départ scierie dans le pays d'origine (HYP (1), le bois est scié sur place, ne nécessite pas d'être séché artificiellement (le séchage est naturel, pendant la durée du stockage).
Ce bois est non traité chimiquement. Le pays d'origine est le Brésil, plus gros exportateur d'ipé au monde.

- Comparaison de scénarii pour du bois destiné à la fabrication de bardage :
 - **Scénario 1B : Bardage en Epicéa (Résineux), origine Wallonie et traité thermiquement**, départ scierie, en intégrant l'impact du processus de pré-séchage sur le site de celle-ci
 - **Scénario 2 : Bardage en Epicéa (Résineux), origine Wallonie et traité chimiquement en autoclave** (Insecticides et fongicides), départ bois scierie.

3.2.2.5.3. Aspects communs aux quatre scénarii

Empreinte CO2 de l'énergie grise :

- Nous tenons compte de l'énergie grise nécessaire pour le four de séchage et le four de traitement thermique à haute température ainsi que pour le réacteur autoclave et le produit phytosanitaire pour le traitement chimique.
- Nous ne tenons pas compte de l'énergie grise logée dans les moyens de transport (camions , bateaux) ou de manutention (Clarks élévateurs par exemple) ni de celles pour la construction des bâtiments (sites de transformation, bâtiments importateurs, bâtiments négociants).
Pour les bâtiments, notons que si on fait l'hypothèse que le « bâtiment importateur » dans le scénario 3 a le même niveau d'énergie grise que les sites de production des scénarii 1A, B et 2, cet aspect est non différentiel entre les différents scénarii.
- **Les transports:** En Belgique, ils se font en camion ou camionnette vu la nécessité de garder un mode de transport flexible (volumes relativement faibles, même pour les approvisionnements). En effet, dans la réalité, il y aura plusieurs produits en bois modifié thermiquement à partir d'essences différentes et donc cette nécessité de garder cette souplesse de transport se justifie.
- **Manutention :**
 - Nous tenons compte
 - ⇒ de la manutention pour le chargement et déchargement du four de séchage et four de traitement haute température (clarks élévateurs, fonctionnant au diesel) .

⇒ De la manutention du chargement et déchargement du bateau dans le cas de la filière « bois exotique » (grues portiques sur les docks, fonctionnant à l'électricité)

Nous ne tenons pas compte de la manutention pour charger et décharger les camions, ni celle qui a lieu chez le négociant. Notons que ces étapes de manutention sont non différentielles en fonction des scénarii, car les transports camions sont non différentiels en fonction des scénarii (voir infra point « Etapes considérées comme communes »).

- **La mise en œuvre** est faite par un placeur professionnel qui s'approvisionne chez le négociant. Vu le niveau de gamme et de prix, dans notre scénario, le bois n'est pas distribué par les chaînes de magasins de bricolage et donc n'est pas mis en œuvre par des particuliers.
 - Les pièces de fixation sont considérées les mêmes⁶⁷ pour les deux scénarii terrasse et pour les deux scénarii bardages. Il n'y a donc pas d'impact différentiel en terme d'énergie incorporée pour les fixations.
 - A noter que la mise en œuvre elle-même est considérée comme différentielle en terme d'impact entre les scénarii, le bois modifié thermiquement nécessitant une mise en œuvre un peu particulière : entre autre préforage systématique des trous pour les visseries. Ceci se fait souvent, mais pas systématiquement pour le placement de bois traité chimiquement ou de bois exotique. Par précaution, nous augmenterons forfaitairement le temps de placement du bois modifié thermiquement et les consommations électriques afférentes de 10%
- **La maintenance** : Nous partons du constat que dans les 4 scénarios, une lasure de protection est nécessaire, y compris une première couche au moment de l'installation et ce que ce soit pour bardage ou terrasse. Cela empêche le bois de trop « grisonner » et en ce qui concerne le BMT, Dumoulin Bois, nous a montré l'apparition de micro fissures superficielles après plusieurs années si le bois n'était pas protégé. L'impact est uniquement esthétique mais cela peut compter pour la clientèle. La lasure peut être une huile naturelle sans impacts sur l'environnement (source FCBA). Nous ne tenons pas compte car - considéré comme non pertinent - de l'empreinte CO2 pour la fabrication de l'huile, ainsi que de la fréquence éventuellement différentielle entre les scénarii des applications.
- Il y a des **étapes considérées comme communes** aux quatre scénarii et qui ne sont donc pas différentielles en terme d'impact de consommation d'énergie fossile et de GES dans notre analyse. En effet, sur base de nos échanges avec les professionnels du milieu, et en concertation avec l'OEWB, nous considérons ces scénarii comme représentatifs de ce qui se fait au niveau de la filière, même si d'autres schémas sont possibles, comme par exemple le fait que le négociant ne soit pas toujours présent dans la chaîne. Ces étapes communes sont :
 - Le rabotage et la mise en forme
 - L'administration à tous les échelons : que ce soit sur le site de production (ou chez l'importateur pour le scénario 3), les transporteurs, chez le négociant, le placeur, le

⁶⁷ Sur base de nos discussions avec B-fix

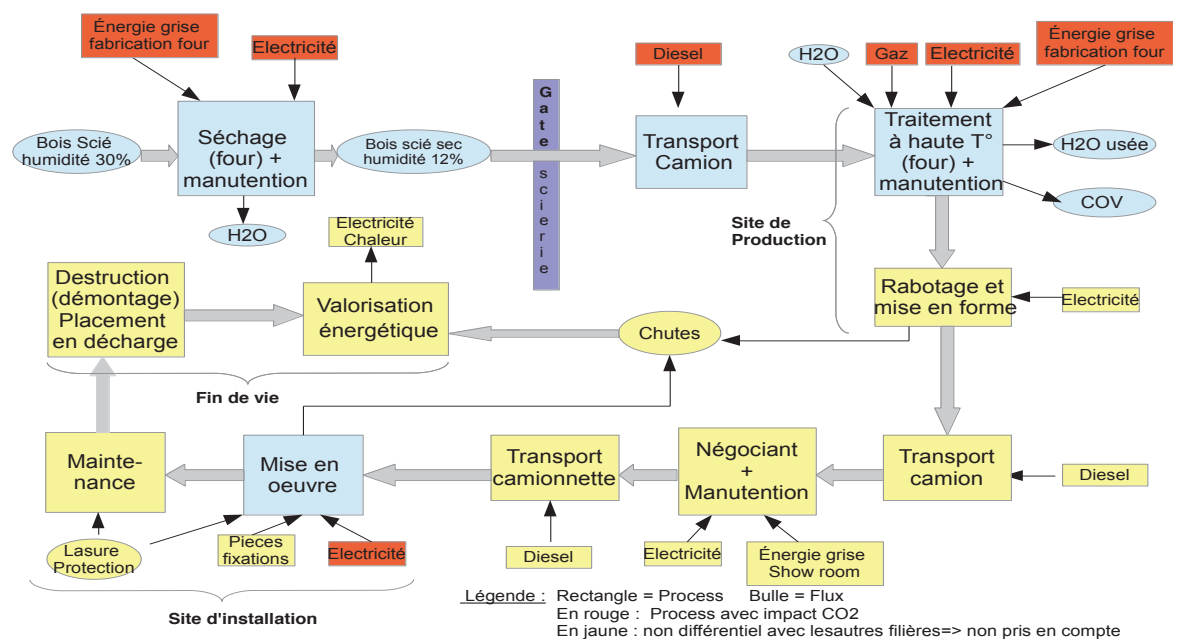
site de recyclage etc.... Nous n'avons d'ailleurs pas repris ces impacts dans nos diagrammes de flux.

- Le transport en camion sur le territoire belge (mais pas celui sur le territoire brésilien) : Pour chaque scénario, il y a deux étapes « camions », une étape « camionnette » et une étape « négociant ».
- Le trajet du site de transformation jusqu'au négociant
- Les activités qui ont lieu chez le négociant ainsi que ses infrastructures
- Le transport du négociant vers le site de mise en œuvre (client final), et le trajet réalisé par l'artisan placeur (le corps de métier).
- La fin de vie et la valorisation des déchets.

3.2.2.5.4 Diagrammes et hypothèses de travail spécifiques à chaque scénario:

A. Filière Bois local traité thermiquement (Figure 14) :

Frêne et Epicea modifiés thermiquement
Scénarii 1A (Terrasse) et 1B (Bardage)
Diagramme process et Flux

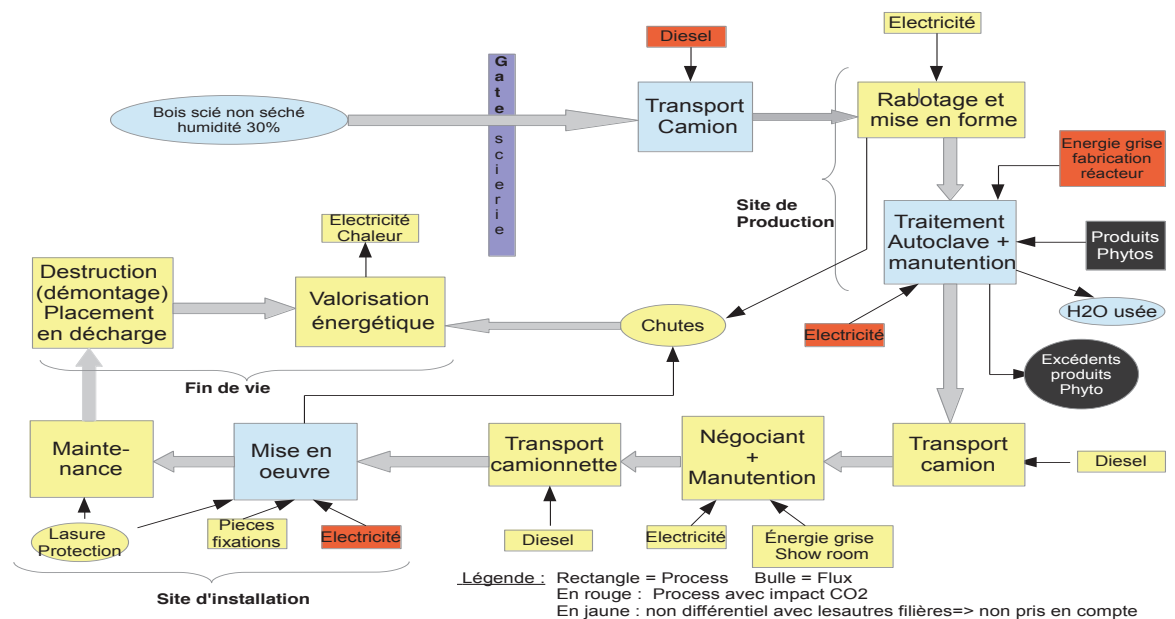


Aspects spécifiques scénarii 1A et 1B :

- Pour rappel, la technologie choisie est la technologie Thermowood car c'est la filière industrielle la mieux développée, avec un four de 20 M3 (la capacité de bois effectivement traité est de 20,7 M3⁶⁸), bois pré-séché à 12%.
- La classe de durabilité à atteindre après traitement thermique choisie est la classe 2, correspondant à un traitement thermo D, la plus haute en température, vu que nous étudions ici un matériau qui doit servir à l'extérieur et doit être comparable en terme de durabilité aux bois exotiques.
- Le rabotage et la mise en forme ont lieu après le traitement thermique car cela permet de corriger les éventuelles déformations (ex : tassage) que ce dernier aurait causé.
- Vu le système de tri pour le bois en Belgique, il n'y a pas de différence de process en fin de vie avec le scénario 2, le bois traité en autoclave. Nous vous renvoyons aux explications au point 4.2.2.2 plus loin dans ce travail

B. Filière bois local traité en autoclave : scénario 2 (Figure 15)

Epicéa traité en autoclave – Scénario 2 (Bardage)
Diagramme process et Flux



⁶⁸ Source Jartek

Aspects spécifiques scénario 2 :

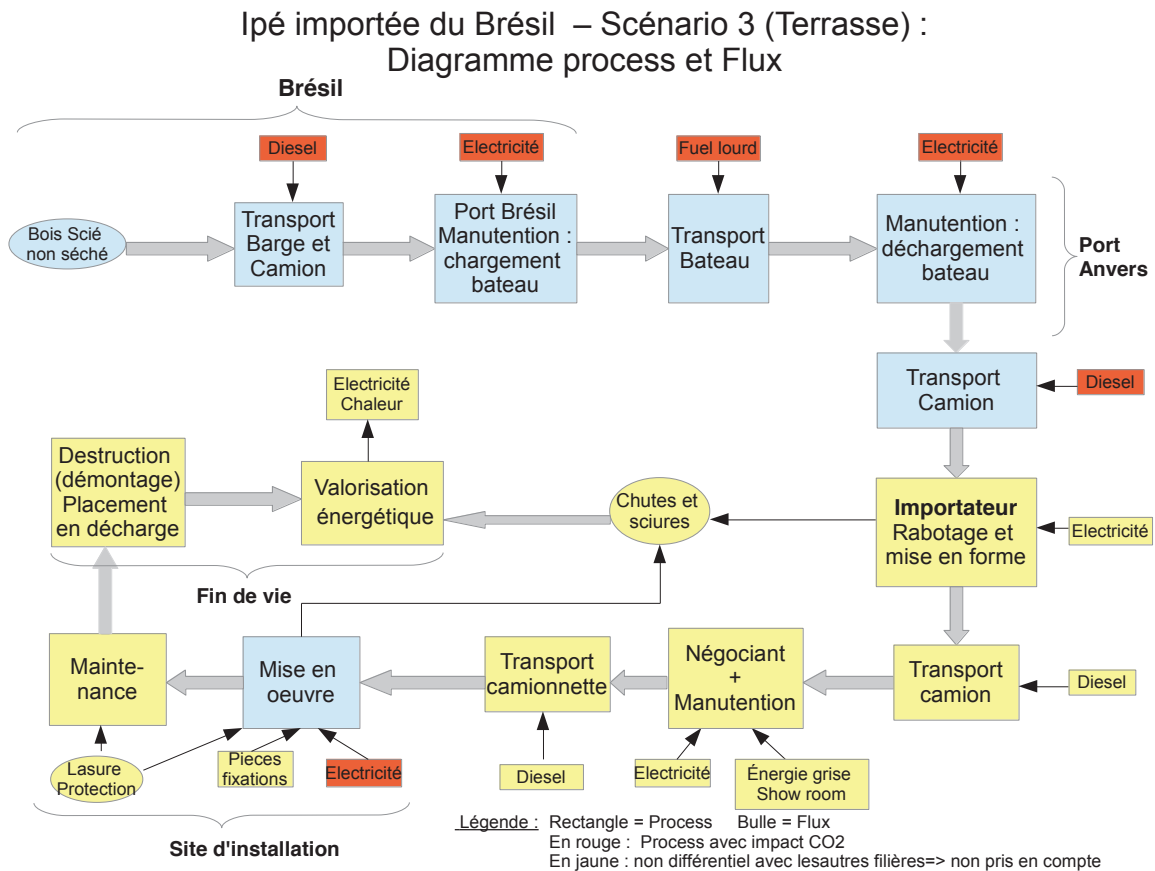
- Pour l'épicéa traité en autoclave, il n'y a pas de pré-séchage⁶⁹
- Le rabotage et la mise en forme ont lieu avant le traitement autoclave afin de ne pas gaspiller de produit phytosanitaire dans des parties de bois qui seront retirées par le processus de rabotage (source OEWB).
- L'unité autoclave a une capacité de traitement de 10 M3, durée d'un cycle pour traiter des planches: +/- 3h (selon les essences).⁷⁰
- L'empreinte CO2 du produit de traitement (cocktail pesticides et fongicides) sera prise en compte. Nous choisissons le Tanalyth E (3492) (basé à l'eau avec Cu + autres composants similaires au Madurox structure II (qui lui est sans cu). Composition : carbonate de cuivre (266g/l), acide borique (59 g/l), tébuconazole (3g/l) et propriconazole (3 g/l)⁷¹.
La dose recommandée par la fiche ATG du CTIB est de l'ordre de 3kg /M3 traité, mais par sécurité et parce que le bois n'absorbe pas uniformément, les professionnels du secteur nous disent que la concentration est souvent poussé à 6 kg /M3 de bois traité, ce qui sera la base retenue pour nos calculs.
- Capacité du four Autoclave: 10 M3,

⁶⁹ Source Fruytier group

⁷⁰ Blehen entreprises

⁷¹ Source CTIB

C. Filière bois exotique importé : scénario 3 (Figure 16)



Hypothèses et aspects spécifiques scénario 3 :

Remarque : pour ce scénario, nous avons fait beaucoup d'hypothèses, parfois fortes, que nous identifions ici :

- Il n'y a pas processus de séchage industriel pour les bois exotiques (source FCBA). Cela se réduit à un stockage dans un endroit ventilé (e.a. après autoclave pour la fixation des produits chimiques)
- Hypothèse : En terme d'impact nous calculons évidemment les impacts entre les lieux de coupe, où le bois est débité en planches, et le port d'embarquement, Belem (un des deux principaux ports d'embarquement brésiliens pour le bois tropical). Nous avons pris une distance moyenne de 1000 km, ce qui est une hypothèse forte. En effet si une

majorité d'ipé embarqué à Belem vient de l'état du Para⁷², le fait est que le bois est exploité de plus en plus loin dans la forêt et beaucoup de coupes sont illégales, donc par définition non localisables. Selon Monsieur Chanut, Bois certifié SPRL, l'exploitation d'ipé, comme beaucoup de bois exotiques, est un scandale environnemental : celui-ci est directement prélevé sur la forêt primaire. Il n'est pas cultivé car il faut 150 ans pour faire un arbre. La distance de 1000 km est donc à prendre avec prudence. Pour les calculs dans la cadre de l'ACV, nous avons arbitrairement établi que ces 1000 km se parcouraient pour moitié par barge fluviale et pour moitié par camion.

- Hypothèses : L'énergie calculée pour le chargement et le déchargement des containers sur le cargo transatlantique est la même.
- Le port d'arrivée en Belgique est Anvers, ce qui représente un trajet en bateau de 8700 km depuis Belem.
- L'importateur procède au rabotage et à la mise en forme. Hypothèse : Il est localisé Courtrai où beaucoup d'importateurs ont leur site. Distance Anvers – Courtrai : 115km
- Même cas que pour le bois modifié thermiquement (Scénarii 1A et 1B) : Le bois exotique en fin de vie pourrait théoriquement partir en recyclage Classe A vu qu'il n'a fait l'objet d'aucun traitement si ce n'est une huile naturelle comme lasure de finition. Néanmoins, comme déjà souligné, en Belgique la filière de traitement du bois recyclé ne fait aucune différence entre Classe A et B. Il n'y a donc pas de différence de process avec le scénario 2, bois traité en autoclave.
- Dans un souci de simplification, l'empreinte de production des différentes énergies (Ex : l'électricité, diesel ...) qui est prise en compte dans nos calculs est la même au Brésil et en Belgique. Comme on le verra plus loin, la « part brésilienne » de l'énergie consommée dans les process pris en compte est essentiellement du diesel ou du fuel lourd.
- L'énergie incorporée (grise) des moyens de transport (camions et bateaux) n'est pas prise en compte

3.2.2.6. Besoins en terme de données et sources

La description de l'ensemble des données collectées se trouvent dans les tableaux d'inventaire du cycle de vie (LCI) qui suit en 3.2.3 (tableaux 6, 7 et 8). Dans ce tableau, le lecteur retrouvera également chaque source. Ces données sont quasi exclusivement des données primaires.

Rappel concernant la terminologie : Les « émissions CO2 » s'entendent « émissions équivalent CO2 » c'est-à-dire que nos données englobent l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre reconvertis en unités équivalents CO2.

3.2.3. Inventaire du Cycle de vie (LCI) :

Voir tableau 6 (scénario 1A et 1B), tableau 7 (scénario 2) et tableau 8 (scénario 3) ci infra.

⁷² Bois certifié SPRL, Monsieur Chanut

Tableau 6, Life cycle inventory. Bois modifié Themiquement Frêne et Epicéa, Scénarii 1A et 1B				
Process	Flux	Source	résultats	Commentaires
Scierie	Energie grise four de séchage			NB: hypothèse durée de vie d'un four = 20 ans
	=> volume des différents composants	Fruytier Group, Vicabois	tôle acier + isolant polyuréthane 6 cm (Panneaux sandwich type "Kingspan" soit 28, 2M3 de Polyuréthane + 2,82 M3 d'acier	Taille : 15 m de large, 8m de long, 5 m de haut. Soit 600m3 pour une capacité effective d'environ 300 M3 par chargement. Surface totale 470M2 avec 6 cm d'épaisseur = 28,2 mm de de Polyuréthane et 2,82 M3 d'acier sur base de tôles de 6 mm. Un cycle de séchage résineux met +/- 3 jours , de séchage feuillus entre 2 semaines et plusieurs mois => je prends un facteur de 1 à 7 pour l'énergie grise entre résineux et feuillus vu la différentiel de temps de mobilisation de l'équipement (3 jours-3 semaines)
	=> empreinte énergie (kwh) différents composants	Pour l'acier recyclé (80% de recyclage), source Sima pro et Polyurethane, Source Cours M Huart www.arch.vuw.ac.nz (Ecole d'architecture de Welington, NZ)	Acier : 3,25 kwh/kg recyclé, Polyutéthane: 620 kwh/M3	
	Consommation énergie four séchage			
	=> Consommation Electrique sécher Frêne à 12%	Ademe via FCBA	800 KWH/M3	
	=> Consommation Electrique sécher Epicea à 12%	Ademe via FCBA	510 KWH/M3	
	=> empreinte kg CO2 /KWH mix électrique	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,275kg/kwh et N1+N2 = 0,456 kg/kwh	Nous prenons N1 +N2 pour nos calculs
	Manutention sur site			
	=>durée manutention: chariot élévateur frontal		Voir Four Traitement HT infra	Même durée et conso que pour charger et décharger un four HT
	=>conso diesel manutention: chariot élév. front.		Voir Four Traitement HT infra	idem
Transport Camion Scierie-site de production	Nombre km moyen entre scierie et site prod	hypoth HA/ OEWB	50 km	Le site de prod est situé au centre de la Wallonie.
	=> consommation énergie (kwh) par tonne et km transport camion	Cours M Huart, source Weber et Mathews, 2008	0,75 kwh /tonne et km	Densité Frêne: 600kg/M3 (séché à 12%), epicéa: 400 kg au M3 (séché à 12%)
	=> empreinte kg CO2/ kwh diesel	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,266 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0,306 kg par kwh	
Traitement Haute T°	Energie grise four de 20M3			NB: hypothèse durée de vie d'un four = 20 ans. Charge effective de bois dans le four pour un cycle: 20,7 M3 (Source Jartek)
	=> poids des différents composants	Jartek	Inox 10 T, laine de roche 1T, divers composants 5T (vannes , tuyaux, matériel électrique...)	malgré insistance pas plus de détail sur "matériaux divers"
	=> empreinte kwh différents composants	Inox et laine de Roche : source SimaPro.	Inox 7,47 kwh/kg, Laine de roche: 22,3 kwh/kg et divers composants= 10 Kwh/kg (forfaitaire sur conseil M Huart)	Inox (recyclé à 80%), laine de roche (nb: avec une feuille alu de 0,2mm) et divers
	Consommation Gaz du four			
	=> Consommation gaz traitement thermique Frêne	Source Jartek (Via OEWB)	150 +256 kwh = 406 kwh/M3(tenant compte rendement chaudière 80%)	1M3 Frêne 32 mm à 12%humidité
	=> Consommation gaz traitement thermique Epicéa	FCBA/ Jartek/ BDB	340 kwh/M3	Même principe que pour la conso électrique (voir commentaire infra) : 406/478 X 400= 340 kwh en gaz
	=> empreinte CO2 /KWH mix gaz naturel	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1= 0,202 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0,251 kg CO2/kwh	
	Consommation électricité du four			
	=> Conso Electrique Traitement thermique Frêne	Source Jartek (Via OEWB)	72kwh/M3	1M3 Frêne 32 mm à 12%humidité
	=> Conso Electrique Traitement thermique Epicea	Jartek	60 kwh/M3	Mail 25/2 NB première réponse Jartek= pas beaucoup de différence entre frêne et sapin (mail du23 janvier 2014) en réponse à L'OEWB. Conso totale Electr + Gaz 400 kwh/M3 => règle de 3 sur base de frêne: 72/478 X 400 = 60 kwh en électr
	=> empreinte CO2 /KWH mix électrique	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,275kg/kwh et N1+N2 = 0,456 kg/kwh	
	Manutention			
	=> durée manutention/M3 chariot élévateur frontal	Source OECBW.	6 min	Temps chargement moyen et déchargement par M3.Hypoth Idem four, séchoir et autoclave. Par Clark (chariot élévateur frontal), fonctionne au diesel
	=> Conso diesel manutention chariot élévateur frontal	Scierie Groupe Fruytier	6,5 l /heure et 1 l de diesel = 10 kwh	
	=> nombre de M3 manipulés par mouvement	Scierie Groupe Fruytier	entre 1 et 2 M3 => moyenne 1,5 M3	
	=> empreinte CO2 / KWH Diesel	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,266 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0,306 kg par kwh	
Mise en œuvre terrasse et bardage	=> temps de placement terrasse au M2	B-fix	2 heures /M2 +10%= 2h 12min/m2, arrondi à 2h 15 min/M2	évaluation grossière car c'est une moyenne
	=> temps de placement bardage au M2	Entreprises Jean Louis Wolf	1h30/m2 +10% (car BMT) = 1h39 min arrondi à 1h40 min/M2	Pour des planches pleines, 1h/M2 , le double si on est en hauteur => nous prenons 1H30/M2.
	=> Electricité utilisée à l'heure de travail terrasse	B-Fix	scie radiale 330 Wh /M2 (utilisation 10 min) + visseuse 30Wh/M2 (utilisation 15 min) + perceuse: 125wh /M2 => total 485wh/M2	Mail 10/3 de B Fix - Q Vanwinckel. Scie radiale: 2000W , 10 min /M2 posé + visseuse 18 v 15 min/M2 Visseuse: compter pour 4h de travail (1h en continu) le contenu une batterie lithium de 240w rechargée en 1/2 h (conso : 120Wh) soit 30Wh /M2+ pour du BMTprévoir pré-trous soit perceuse 500w pendant 15 min/M2 = 125Wh/m2
	=> Electricité utilisée au M2 de travail bardage	Entreprises Jean Louis Wolf	250wh /M2	outils électriques: 10 min X 1000w par heure de travail soit 250wh/M2
	=> empreinte CO2 /KWH mix électrique	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,275kg/kwh et N1+N2 = 0,456 kg/kwh	

Tableau 7 Life cycle inventory: Traitement chimique épicea Bardage				
Process	Flux	Source	résultats	Commentaires
Transport Camion Scierie-site de production	Nombre km moyen entre scierie et site prod => consommation énergie (kwh) par tonne et km transport camion => empreinte kg CO2/ kwh diesel	hypoth HA/ OEWB Cours M Huart, source Weber et Mathews, 2008 Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	50 km 0,75 kwh /tonne et km N1: 0,266 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0,306 kg par kwh	Le site de prod est situé au centre de la Wallonie
Traitement Chimique Autoclave	Energie grise réacteur autoclave			Capacité du four Autoclave: 10 M3, durée d'un cycle pour traiter des planches: +/- 3h. Utilisation produit: recommandation = 3kg de produit phyto (ex Tanalith) par M3 mais par sécurité et car le bois n'absorbe pas uniformément, concentration poussée à 4%, soit 6 kg /M3 de bois traité. Production annuelle: 300M3
	=> poids des différents composants	Entreprises Blehen	17 tonnes d'acier (avec le réservoir vide)	Cylindre de 1,7 m de diamètre X 13,5 m de long
	=> empreinte énergie (kwh) différents composants	Acier recyclé (80% de recyclage), source Sima Pro	3,25kwh/kg pour de l'acier recyclable	Nous prenons de l'acier recyclable pour nos calculs
	Consommation électricité			
	=> Conso Electrique Autoclave	Entreprises Blehen	45 kwh/cycle	Deux moteurs : une pompe à vide et une pompe à pression de chacun 15kwh, utilisés alternativement pendant 3 h => 45kwh/cycle
	Produit phytosanitaire:			
	Quantité de produit Phyto utilisé/ M3 bois	Fiche ATG Madurox < CTIB et entreprises Blehen	2,8 kg au M3 = recommandation CTIB. En pratique 6kg/M3 (selon entreprises Blehen)	Doses pour obtenir classe d'emploi 3
	Empreinte Kwh par litre produit Phyto	Département M Degrez	50,6 MJ/kg soit 14,05 kwh/kg	
	Manutention			
	=> durée manutention/M3 chariot élévateur frontal	Source OECBW.	6 min	Temps chargement moyen et déchargement par M3.Hypoth Idem four, séchoir et autoclave. Par Clark (chariot élévateur frontal), fonctionne au diesel
	=> Conso diesel manutention chariot élévateur frontal	Scierie Groupe Fruytier	6,5 l /heure	
	=> nombre de M3 manipulés par mouvement	Scierie Groupe Fruytier	entre 1 et 2 M3 => moyenne 1,5 M3	
	=> empreinte CO2 / KWH Diesel	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,266 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0,306 kg par kwh	
Mise en œuvre bardage				
	=> temps de placement bardage au M2	Entreprises Jean Louis Wolf	1h30/m2	Pour des planches pleines, 1h/M2 , le double si on est en hauteur => nous prenons 1H30/M2.
	=> Electricité utilisée au M2 de travail bardage	Entreprises Jean Louis Wolf	250wh /M2	outils électriques: 10 min X 1000w par heure de travail soit 250wh/M2
	=> empreinte CO2 /KWH mix électrique	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,275kg/kwh et N1+N2 = 0,456 kg/kwh	

	Tableau 8 Life cycle inventory: Ipé importée du Brésil			
Process	Flux	Source	résultats	Commentaires
Transport Camion Scierie- Port embarquement	Nombre km moyen entre scierie et port Brésil	Hypothèse voir explication point 3,2,2,5,4 C	1000 km	Port de départ: Belem. Transport 50% par barge et 50% par camion jusqu'au port d'embarquement
	=> consommation énergie (kwh) par tonne et km transport fluvial	Cours M Huart, source Weber et Mathews, 2008	0,086 kwh /tonne et km	NB, nous prenons le même mix énergétique pour la Brésil et la Belgique .
	=> consommation énergie (kwh) par tonne et km transport camion	Cours M Huart, source Weber et Mathews, 2008	0,75 kwh /tonne et km	NB, nous prenons le même mix énergétique pour la Brésil et la Belgique .
	=> empreinte kg CO2/ kwh diesel	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,266 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0,306 kg par kwh	
Manutention: chargement bateau à Salvador de Baia	=> nombre M3 dans un container	PSA Antwerp- Monsieur Van Ingelghem	12,19X 2,43 X 2,92 = 86,5 M3, arrondi à 80M3	un container = 40 ft X 8 ft X9,6 ft de haut
	=> consommation d'une grue portique	PSA Antwerp- Monsieur Van Ingelghem	3,5 kwh /move (90 sec)	Nous prenons les données du Port d'Anvers que nous appliquons au chargement à Salvador de Baia. NB Une grue fonctionne à l'électricité. Lorsque le container descend, on récupère de l'énergie=> produit de l'électricité
	=> consommation d'un "straddle carrier" (engin qui transporte les containers sur les docks)	PSA Antwerp- Monsieur Van Ingelghem	2,1 l de diesel /move	Distance entre quai (où est déposé le container à coté du bateau) et lieu de stockage (Yard) = entre 700 et 1000 m. Straddle carrier fonctionne au diesel
	=> empreinte CO2 /KWH mix électrique	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,275kg/kwh et N1+N2 = 0,456 kg/kwh	
	=> empreinte CO2/ kwh diesel	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,266 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0,306 kg par kwh	
Transport maritime	=>consommation KWh par tonne transportée et km pour transport maritime	Cours M Huart, source Weber et Mathews, 2008	Maritime: 0,056 kwh/t et km	Distance Salvador de Baia - Anvers : 8700 km
	=> empreinte CO2 /kWh fuel lourd bateau	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,281 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0, 310 kg CO2/kwh	
Manutention: Déchargement bateau à Anvers	=> consommation d'une grue portique	PSA Antwerp- Monsieur Van Ingelghem	3,5 kwh /move (90 sec)	idem supra
	=> consommation d'un "straddle carrier"	PSA Antwerp- Monsieur Van Ingelghem	2,1 l de diesel /move	idem supra
	=> empreinte CO2 /KWH mix électrique	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,275kg/kwh et N1+N2 = 0,456 kg/kwh	
	=> empreinte CO2/ kwh diesel	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,266 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0,306 kg par kwh	
Transport Camion Port Anvers- Importateur	Nombre km moyen Port Anvers et Courtrai, site importateur	hypoth HA/ OEWB	115 km	
	=> consommation énergie (kwh) par tonne et km transport camion	Cours M Huart, source Weber et Mathews, 2008	0,75 kwh /tonne et km	
	=> empreinte kg CO2/ kwh diesel	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,266 kg CO2/kwh et N1 +N2 = 0,306 kg par kwh	
Mise en œuvre terrasse	=> temps de placement terrasse au M2	B-fix	2 heures /M2	évaluation grossière car c'est une moyenne
	=> Electricité utilisée à l'heure de travail terrasse	B-Fix	scie radiale 330 Wh /M2 (utilisation 10 min) + visseuse 30Wh/M2 (utilisation 15 min) = 360 wh/M2	Mail 10/3 de B Fix - Q Vanwinckel. Scie radiale: 2000W , 10 min /M2 posé + visseuse 18 v 15 min/M2 Visseuse: compter pour 4h de travail (1h en continu) le contenu une batterie lithium de 240w rechargée en 1/2 h (conso : 120Wh) soit 30Wh /M2
	=> empreinte CO2 /KWH mix électrique	Cours M Huart(Source Cwape, Corinair, Promix)	N1: 0,275kg/kwh et N1+N2 = 0,456 kg/kwh	

3.3. Examen des impacts environnementaux sur le plan toxicologique des filières bois traité thermiquement et bois traité chimiquement

Si l'analyse du cycle de vie sur le plan énergie et émission GES est importante, il nous semblait tout aussi essentiel d'essayer d'appréhender ce que peut apporter le bois modifié thermiquement sur le plan environnemental, éco- toxicologique. En effet, note étude étant relative, il ne suffit pas de dire que le bois modifié thermiquement ne subit aucun traitement chimique ; encore faut il :

1) Examiner si la filière de traitement thermique dégage des substances nocives et, si oui, si celles-ci sont relâchées dans l'environnement. Cela concerne l'émission potentielle de composants organiques volatils(COV) mais aussi d'éventuelles autres substances

2) Examiner si le bois que nous avons appelé « d'origine local⁷³ », traité souvent par aspersion, trempage ou autoclave avec des cocktails insecticides et fongicides représente un réel problème pour l'environnement et dans quelle mesure.

- Nous partirons de l'hypothèse, vue les classes d'emploi à obtenir pour le bardage et les terrasses (minimum classe 3), que celui-ci est traité en autoclave.
- La problématique du bois traité chimiquement doit également être analysée sous l'angle de la problématique des filières de retraitement/recyclage des déchets de bois de construction

⁷³ Même si dans la réalité, beaucoup de bois des zones tempérés et traité pour plus de durabilité, provient d'Amérique du Nord.

4. Résultats et interprétations impacts environnementaux

4.1. Aspects quantitatifs : Consommation d'énergie et empreinte gaz à effet de serre : « Life Cycle Impact Assessment » et interpretation.

Rappel important : En ce qui concerne les résultats et interprétations qui suivent, le lecteur doit garder à l'esprit que l'analyse que nous faisons, comme expliqué en amont dans ce travail, est une analyse différentielle entre les filières. Les grandeurs et commentaires portent donc sur une partie seulement de l'ensemble des process des filières concernées, ceux qui les distinguent entre-elles. Les grandeurs sont donc à interpréter de manière relative et non absolue. C'est pour cela que nous utilisons à plusieurs reprises dans les lignes qui suivent l'expression « empreinte énergétique différentielle »

Les chiffres qui ont permis l'établissement des graphes en aval dans ce texte se trouvent expliqués dans le tableau Life cycle assessment qui suit (Tableau 9).

Le détail des calculs justificatifs, que vous retrouverez grâce à leur référence (Chiffres entre parenthèse) dans ce tableau, se trouvent expliqués dans le tableau en Annexe 1 de ce travail.

Précisions sur les données retenues pour la construction du LCIA en matière d'émissions CO2 :

- Pour les mix énergétiques, nous prenons (Source Cours « Energies » M Huart)
 - Diesel : $N1 + N2 = 0,306 \text{ kg de CO}_2 \text{ émis /kwh}$
 - Fuel Lourd : $N1 + N2 = 0,300 \text{ kg de CO}_2 \text{ émis /kwh}$
 - Gaz naturel : $N1 + N2 = 0,251 \text{ kg de CO}_2 \text{ émis /kwh}$
 - Electricité (Centrale belge de référence) : $N1 + N2 = 0,456 \text{ kg de CO}_2 \text{ émis /kwh}$
- Pour calculer les émissions de CO2 par kg de matériaux pour les évaluations d'émissions « grises », nous prenons :
 - Acier, Inox, polyuréthane et laine de roche : nous considérons que l'énergie pour les produire est produite à partir de 80% d'énergie fossile et 20 % renouvelable (moyenne mondiale). Nous prenons donc une moyenne entre émissions CO2 Diesel et Gaz naturel ($N1 + N2$) et appliquons un ratio de 80% .
Soit: $(0,306 \text{ kg CO}_2/\text{kwh (Diesel)} + 0,251 \text{ kg CO}_2/\text{kwh (Gaz)}) / 2 \times 0,80 = 0,22 \text{ kg CO}_2/\text{kwh}$
 - Produit Phytosanitaire (Tanalyth): nous prenons le mix électrique ($N1 + N2$) soit 0,456 kg/kwh

Remarque: le détail des calculs sont en Annexe 2, référencés par un N° dans le texte

	Etapes dans le process		
Scénarii Terrasse		Scénarii Bardage	
Scénario 1A	Scénario 3	Scénario 1B	Scénario 2
Frêne modifié thermiquement	Ipé importé du Brésil	Epicéa modifié thermiquement	Epicéa traité chimiquement
Scierie: énergie grise four séchage (1)		Scierie: énergie grise four séchage (1)	
Consommation électrique four séchage (2)		Consommation électrique four séchage (2)	
Manutention: chargement et décharg. four séchage (3)		Manutention: chargement et décharg. four séchage (3)	
Transport camion scierie - site de production (4)	Transport Camion Scierie- Port embarquement (5)	Transport camion scierie - site de production (4)	Transport camion scierie - site de production (4)
	Manutention: chargement bateau à Belem (6)		
	Transport maritime (7)		
	Manutention: déchargement bateau à Anvers(8)		
Energie grise four traitement thermique (9)		Energie grise four traitement thermique (9)	Energie grise réacteur autoclave (10)
Consommation gaz four traitement thermique (11)		Consommation gaz four traitement thermique (11)	
Consommation électricité four traitement thermique (12)		Consommation électricité four traitement thermique (12)	Consommation électrique réacteur autoclave (13)
			Energie grise du produit de traitement chim autoclave (14)
Manutention: chargement et décharg. four traitement therm. (15)		Manutention: chargement et décharg. four séchage (15)	Manutention: chargement/ décharg réacteur autoclave (16)
	Transport Camion Port Anvers - importateur (Courtrai) (17)		
Mise en oeuvre (18)	Mise en oeuvre (18)	Mise en oeuvre (18)	Mise en oeuvre (18)

Tableau 9, Life cycle impact assessment (LCIA)

Résultats Consommation énergie fossile (kwh)						Résultats émissions CO2 (kg)			
Scénarii Terrasse		Scénarii Bardage				Scénarii Terrasse		Scénarii Bardage	
Scénario 1A	Scénario 3	Scénario 1B	Scénario 2			Scénario 1A	Scénario 3	Scénario 1B	Scénario 2
Frêne modifié thermiquement	Ipé importé du Brésil	Epicéa modifié thermiquement	Epicéa traité chimiquement	Energie de référence	Facteur de conversion	Frêne modifié thermiquement	Ipé importé du Brésil	Epicéa modifié thermiquement	Epicéa traité chimiquement
					kg CO2 /kwh	Facteur de conversion: Pour le choix du mix énergétique permettant la conversion vers des kg de CO2/kwh, voir remarque importante juste en dessous de ce tableau.			
0,036		0,004		Voir remarque infra	0,220	0,008		0,001	
26,400		13,000		Mix électr	0,456	12,038		5,928	
0,143		0,110		Diesel	0,306	0,044		0,034	
0,866	11,410	0,430	0,422	Diesel	0,306	0,265	3,491	0,132	0,129
	0,008			Mix électr 15% Diesel 85%	0,329		0,003		
	13,286			Fuel lourd	0,310		4,119		
	0,008			Mix électr 15% Diesel 85%	0,329		0,003		
0,083		0,064	0,292	Voir remarque infra	0,220	0,018		0,014	0,064
13,390		8,670		Gaz naturel	0,251	3,361		2,176	
2,370		1,530	0,113	Mix électr	0,456	1,081		0,698	0,052
			2,107	Mix électr (voir remarque infra)	0,456				0,961
0,143		0,110	0,108	Diesel	0,306	0,044		0,034	0,033
	2,354			Diesel	0,306		0,720		
0,485	0,360	0,250	0,250	Mix électr	0,456	0,221	0,164	0,114	0,114
TOTAUX:						TOTAUX:			
43,916	27,426	24,168	3,292			17,080	8,500	9,130	1,353

4.1.1. Terrasses : Résultats et interprétation de la consommation d'énergie différentielle des deux filières

Nous comparons ici la consommation d'énergie différentielle entre les deux filières par unité fonctionnelle (UF)

- avec du frêne modifié thermiquement (Scénario 1A)
- par importation d'ipé du Brésil (Scénario 3)

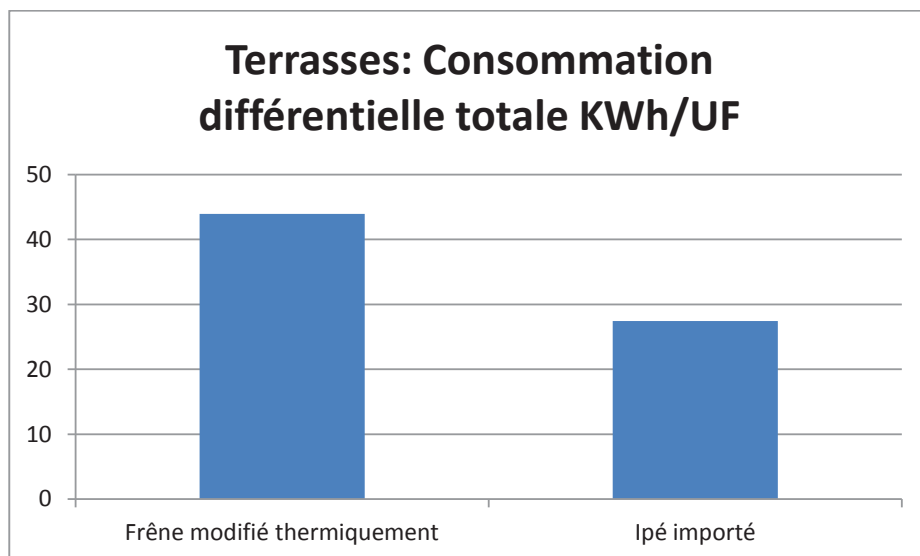


Figure 17

Pour les phases de process différentielles entre les deux filières, le frêne modifié thermiquement consomme 44 kwh par unité fonctionnelle contre 27.4 kwh par unité fonctionnelle pour l'ipé importé soit une différence d'environ 17kwh/UF. Mais voyons cela plus en détail, dans la figure 18:

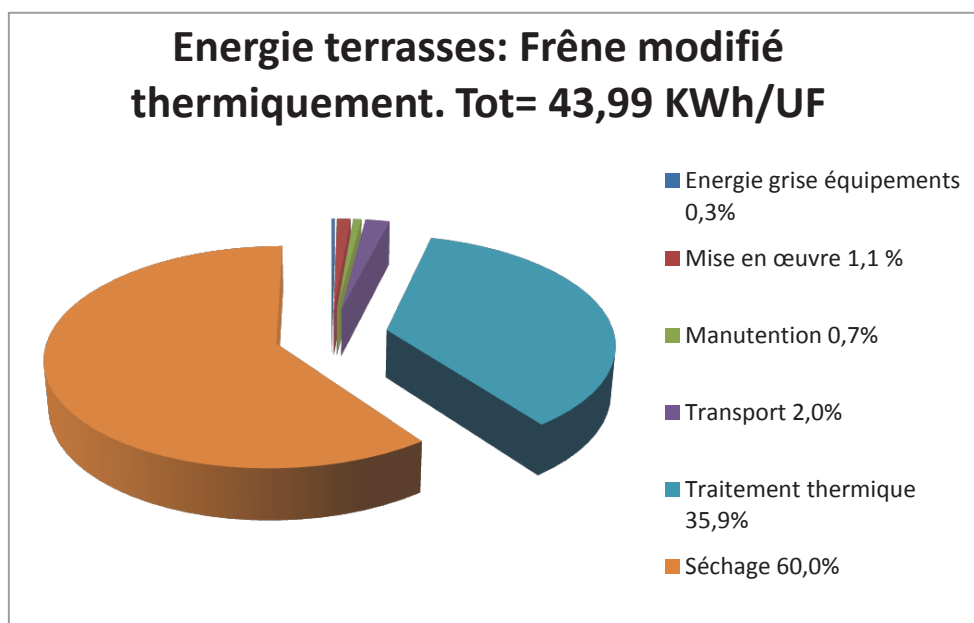


Figure 18

Pour les étapes de process que nous avons retenues, le plus gros besoin énergétique pour la production de terrasses en frêne en BMT est due en premier lieu au pré-séchage (60 % du total, énergie électrique). Pour rappel, le bois doit être introduit dans le four de traitement haute température préséché à +/- 12 %, à l'électricité selon nos hypothèses (pré-séchage hautement recommandé pour que ce dernier ne consomme pas trop). Le deuxième gros poste est l'énergie nécessaire pour le traitement thermique : 35% du total (Dans ces 35%, il y a du gaz à hauteur de 85% et de l'électricité à hauteur de 15%). Le transport, par route, ne représente que 2% du total (Diesel). L'énergie grise des équipements (0,5%), la manutention (0,65%) et la mise en œuvre pour la réalisation du chantier (1.1%) entrent pour des valeurs anecdotiques.

Il peut sembler surprenant que le poste « pré-séchage » vienne avant celui de traitement thermique proprement dit en terme de consommation énergétique, mais cela s'explique par le fait que le bois doit être préséché à 12%, venant en moyenne de 30% d'humidité (partiellement préséché en extérieur) et que le feuillus met énormément de temps à sécher. Il est en effet beaucoup moins homogène que le résineux ; cette phase est délicate et prend plusieurs semaines. On comprend ici néanmoins que les chiffres de consommation de l'unité de séchage - voir tableau 6 (Tableau LCI)- sont clés dans l'impact que ce poste aura sur le résultat total : selon que l'on prenne

- des unités de séchage plus ou moins performantes
- des essences plus ou moins faciles à sécher
- du bois avec un taux d'humidité plus ou moins élevé (bois qu'on a laissé séché plus ou moins longtemps en extérieur),

la sensibilité est énorme sur le modèle et l'impact très important sur la consommation totale de la filière.

Le fait que les autres postes (énergie grise équipements, manutention, mise en œuvre et même transport) ont des valeurs anecdotiques et n'influencent pas sur le modèle, indique une chose : nos hypothèses fortes pour le calcul des énergies grises des équipements et les distances de transport ne pose pas de problème en terme d'interprétation.

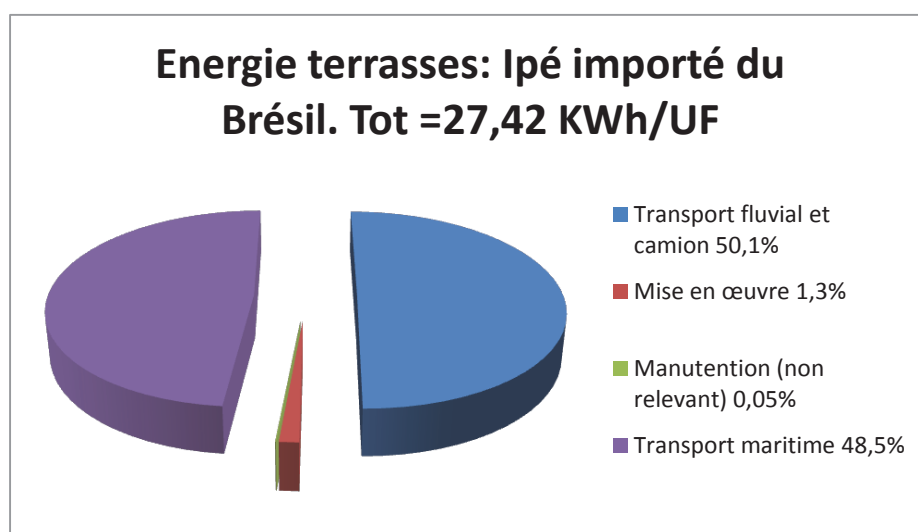


Figure 19

Pour l'ipé importé (figure 19), sans surprise, c'est le transport qui est prépondérant de façon écrasante dans la consommation énergétique des étapes retenues de la filière pour notre analyse différentielle. Ce qui peut être plus intéressant -si on regarde la sensibilité du modèle- c'est que c'est surtout la distance entre le lieu de coupe et le port d'embarquement qui est clé dans le poids de l'impact transport. Nous avons pris ici une hypothèse qui nous semble réaliste (voir tableau LCI) : 1000 km à parcourir à pondérer 50%-50% entre transport fluvial et camion. Mais

- si la distance est allongée, ce qui sera fatalement le cas au cours du temps car les scieurs doivent aller de plus en plus loin en forêt
- ou/et si la proportion Camion/ transport fluvial augmente, ce premier étant beaucoup plus énergivore,

l'impact sur le modèle est ici énorme et peut rendre le bois exotique non compétitif dans ce domaine par rapport au frêne modifié thermiquement.

Voyons cela de façon plus concrète :

A titre d'exemple si, dans le futur avec l'augmentation des distances, nous prenons 2500 km au lieu de 1000km à parcourir – ce qui est tout à fait réaliste à l'échelle de la forêt amazonienne- dont 1000 km de la distance en fluvial et 1500 km en camion, recalculons l'empreinte énergétique différentielle de l'ipé importé par rapport au frêne traité thermiquement et regardons la sensibilité du modèle:

Remarque : Pour rappel, vous trouverez le détail des calculs pour la consommation énergétique du parcours de 1000 km en annexe. Le résultat donnait 11, 41 kwh par unité fonctionnelle.

Pour cette nouvelle distance de 2500 km, cela donne :

- Transport fluvial (barge): $0,086 \text{ kwh}^{74}$ par tonne et km sur 1000 km, densité ipé = $1050 \text{ kg/M}^3 \Rightarrow 0,086 \times 1050/1000 \times 1000 \text{ km} = 90,3 \text{ kwh/M}^3 \text{ ipé}$.
- Transport Camion: $0,75 \text{ kwh}$ par tonne et km sur 1500 km, densité ipé = $1050 \text{ kg/M}^3 \Rightarrow 0,75 \times 1050/1000 \times 1500 \text{ km} = 1181,25 \text{ kwh/M}^3 \text{ ipé}$

Soit un total de $90,3 + 1181,25 = 1271,55 \text{ kwh}$ par $\text{M}^3/\text{ipé}$ transporté du lieu de coupe au port d'embarquement (Belem)

Ramenons cela à l'unité fonctionnelle : $26/1000 \times 1271,55 \text{ kwh} = \mathbf{33,06 \text{ kwh/UF}}$ (au lieu de **11, 41 kwh/UF dans le premier scénario !**)

Comme le montre le graphique suivant, l'ipé passe alors devant le frêne traité thermiquement en terme d'empreinte énergétique différentielle : 49 kwh/UF pour l'ipé contre 44 kwh/UF pour le frêne:

⁷⁴ Pour rappel, toutes les grandeurs sont justifiées dans le tableau LCI (figures 6 , 7 et 8)

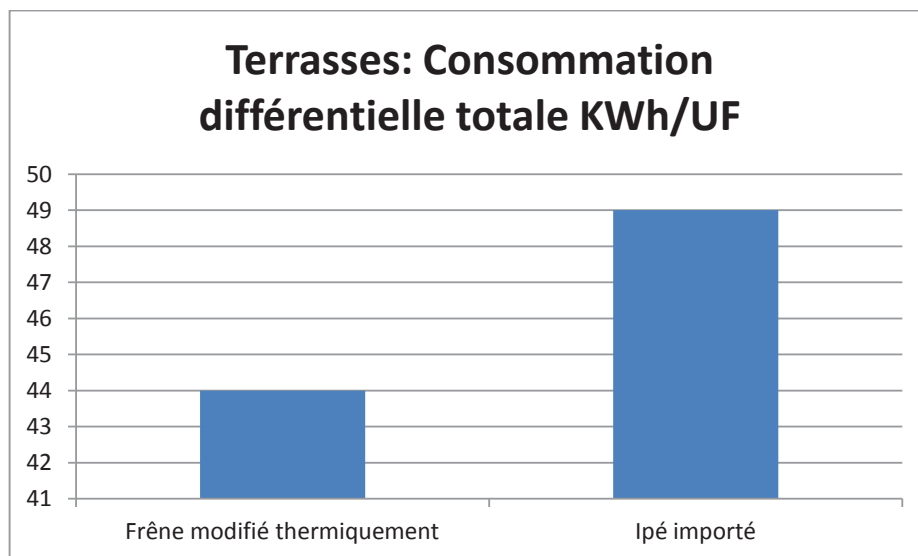


Figure 20

Et ceci ne tient évidemment pas compte de l'impact écologique catastrophique de l'exploitation d'ipé qui provient, rappelons le, de forêt primaires et sur laquelle nous reviendrons.

La comparaison, par postes principaux des deux filières donne le graphe suivant –figure 21 (NB : l'ensemble des transports est agrégé, que ce soit fluvial, maritime ou route) :

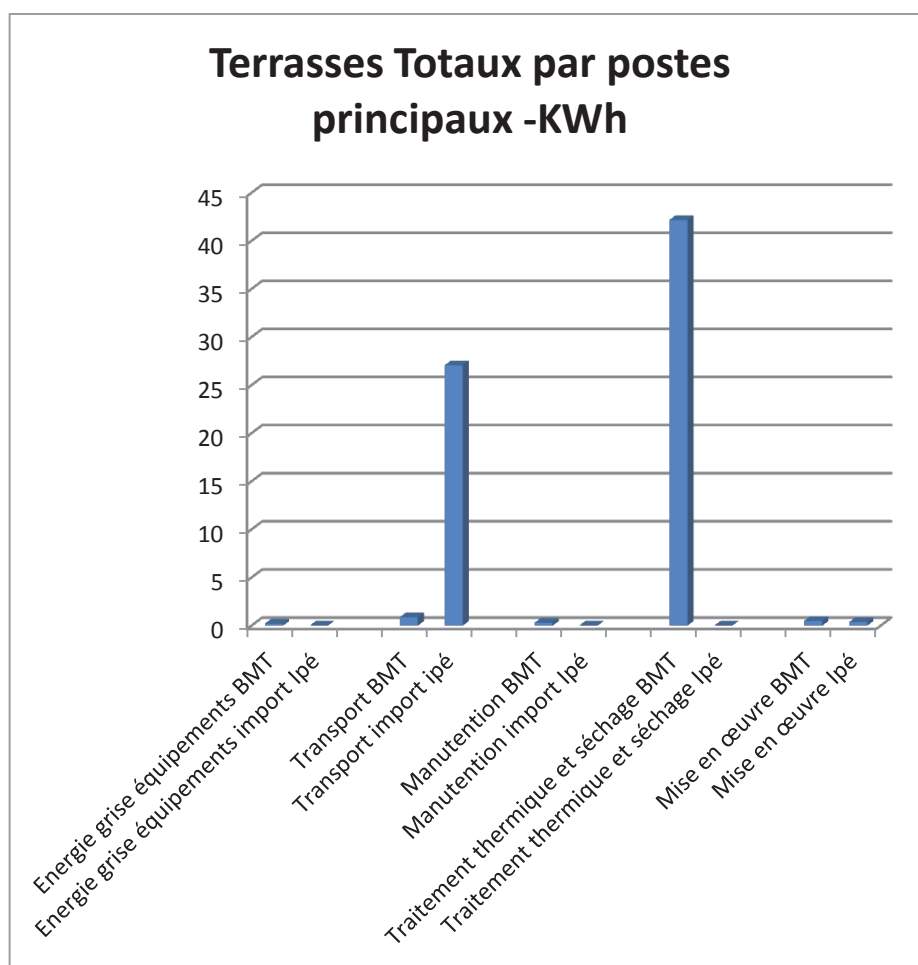


Figure 21

Cette figure confirme, si c'était nécessaire, que les postes énergivores de chaque filières sont répartis très différemment : pré-séchage et traitement thermique pour le frêne traité thermiquement, transport pour l'ipé. C'est sur ces postes que des leviers en terme de « gain » pour diminuer l'empreinte peuvent être étudiés, nous y revenons dans le point 5 « discussion » dans la suite de ce travail.

Ce qui est commun aux deux filières est le poids insignifiant de l'énergie grise des équipements, de la manutention et de la mise en œuvre. Ce ne sont donc pas des postes sur lesquels l'on pourrait jouer en terme d'organisation de process pour diminuer l'empreinte énergétique.

4.1.2. Terrasses : Résultats et interprétation des émissions GES différentielles des deux filières

Comparons à présent les émissions CO₂ (équivalent CO₂) pour ces deux filières terrasses:

Comme le montre la figure 22 ci infra, avec les hypothèses expliquées supra (entre autre les distances de transport pour l'ipé, que nous maintenons à 1000 km pour la partie « brésilienne »), en terme de process différentiels pour les deux filières, le frêne représente l'empreinte carbone la plus importante : 17,1 kg de CO₂ par unité fonctionnelle de frêne contre 8,5 kg de CO₂ par unité fonctionnelle d'ipé.

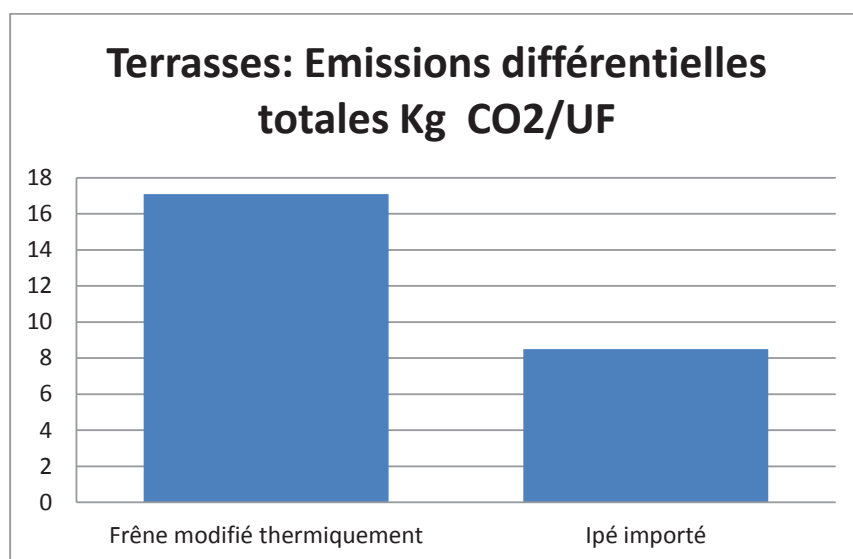


Figure 22

Par rapport à l'empreinte énergétique, le différentiel d'empreinte CO₂ du frêne avec l'ipé est encore plus important, pour les phases de process que nous avons considérées. Cela s'explique, dans notre analyse, par l'importance de la part de l'énergie électrique dans la filière frêne à cause de sa phase très lourde de « pré-séchage » qui selon nos hypothèses utilise de l'électricité, alors que la filière ipé utilise quasi exclusivement du diesel ou du fuel lourds avec moins d'impact sur le plan CO₂ que le mix électrique (voir tableau 6, LCI)

Comme le montrent les figures 23 et 24 ci infra, sans surprise la logique de répartition par poste en terme d'émission CO2 pour les terrasses en frêne et en ipé est cohérente avec les consommations énergétiques au point qu'il n'y a pas d'inversion dans l'ordre de ces postes.

Notons néanmoins que pour le frêne traité thermiquement (figure 22), la part en émission CO2 du pré-séchage passe à 70% du total (C'était 60% pour la consommation énergétique, voir figure 18) avec 12,03 kg CO2/UF contre 4,44 kg CO2/UF pour la phase de traitement thermique. La raison est à nouveau liée à la source d'énergie : l'électricité. En effet, nous avons pris des séchoirs électriques dans notre modèle, dont le mix en terme d'émissions CO2 est plus impactant que le gaz qui rentre majoritairement (à 85%) dans la consommation du réacteur de traitement thermique (Voir tableau 6, LCI). Le kwh électrique émet 0,456 kg de CO2 (N1 + N2)⁷⁵ contre seulement 0,251kg de CO2 pour le gaz (N1 + N2)⁷⁶.

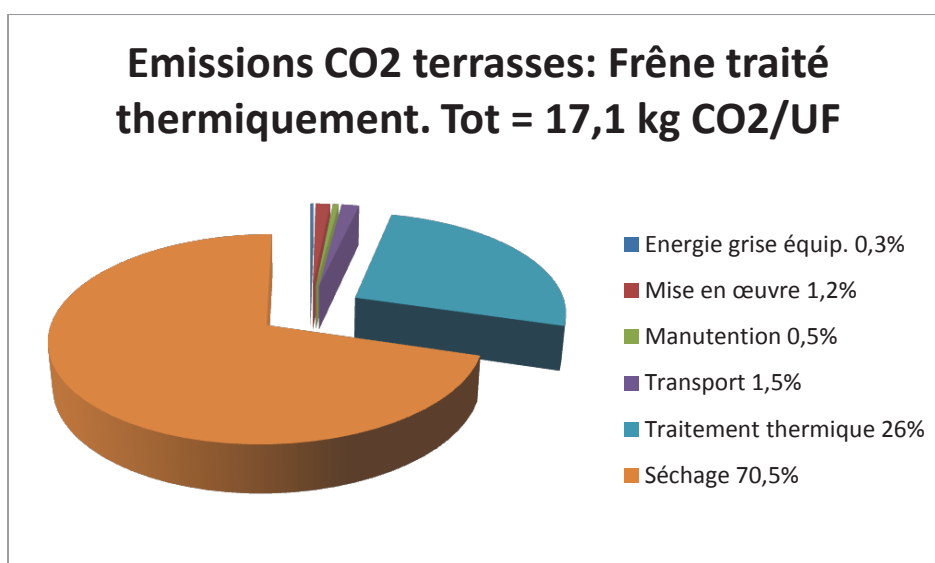


Figure 23

Il nous semble important de retenir les deux points suivants :

- La manière avec laquelle le mix électrique est « construit » influe sur le modèle : plus ou moins d'énergie nucléaire, ou plus ou moins d'énergie renouvelable, par exemple, ce qui change de pays à pays.
- Vu la grande sensibilité du modèle au pré-séchage- la phase avant le traitement thermique proprement dit - le type de source d'énergie avec lequel les séchoirs sont alimentés a un poids prépondérant sur ce même modèle. Nous avons pris pour notre travail l'hypothèse de l'électricité, car c'est la source d'énergie qui est utilisée très souvent dans notre pays pour les séchoirs (sur base de nos visites sur site). Mais, comme on vient de le rappeler, elle émet 0,456 kg de CO2/kwh . Nous n'avons pas étudié les alternatives et solutions techniques qui existent. Cela sortirait du périmètre de ce travail. Notons quand même que ces chiffres seraient très différents si le séchoir est alimenté avec de l'énergie comme du gaz (0,251 kg de CO2/kwh) ou

⁷⁵ Voir tableau 6, LCI Pour les définitions N1 et N2, nous vous renvoyons au cours « Energie et environnement » de M Huart

⁷⁶ id

mieux, de l'énergie renouvelable comme cela peut être le cas dans certains pays, comme dans le nord de l'Europe par exemple. Nous y revenons dans la « discussion » au point 5 infra.

Notons également que l'unité de traitement à haute température, alimentée ici, à 85% de gaz et 15 % d'électricité peut elle aussi également être alimentée avec de l'énergie renouvelable : certains fours Thermowood, en Finlande par exemple, sont alimentés à la biomasse.

Pour la filière ipé en comparant la figure 24 ci après à la figure 19, il y a totale similitude en terme de proportion entre l'empreinte énergétique et l'empreinte carbone : les deux principaux postes (transport fluvial et camion d'une part, maritime d'autre part) ont en effet le même type de source d'énergie : diesel ou fuel lourd qui ont des empreintes très similaires (voir tableau 8, LCI).

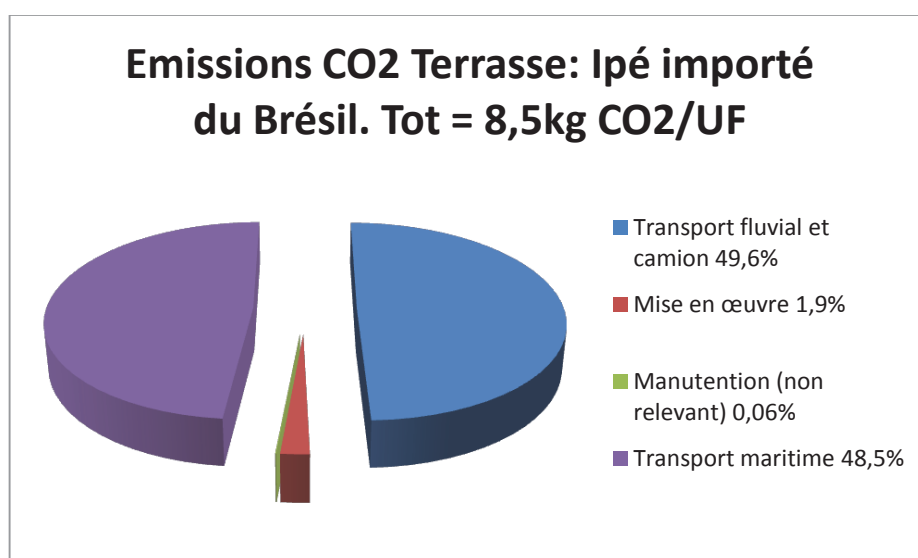


Figure 24

Ce qui était vrai pour les consommations énergétiques, comme démontré plus haut, l'est évidemment tout autant pour l'empreinte CO2 : si on augmente la distance du lieu de coupe au port d'embarquement, l'ipé se mettra hors jeu par rapport au scénario du frêne .

Comme, pour l'ipé, il est impossible de jouer sur les distances, diminuer l'empreinte CO2 ne peut passer que par l'utilisation de transport plus propre, du moins d'un point de vue théorique.

En théorie seulement car la marge d'amélioration est surtout importante pour la partie « continentale » par camion de ce transport (au Brésil), et, selon nous n'est pas souhaitable à réaliser. Nous revenons sur ce point et l'argumentons dans la partie « discussion » au point 5 dans la suite de ce travail.

4.1.3. Bardages : Résultats et interprétation de la consommation d'énergie différentielle des deux filières

Nous comparons ici la consommation d'énergie différentielle entre les deux filières par unité fonctionnelle de bardage réalisée

- avec de l'épicéa traité thermiquement (Scénario 1B)
- avec de l'épicéa traité chimiquement par autoclave (Scénario 2)

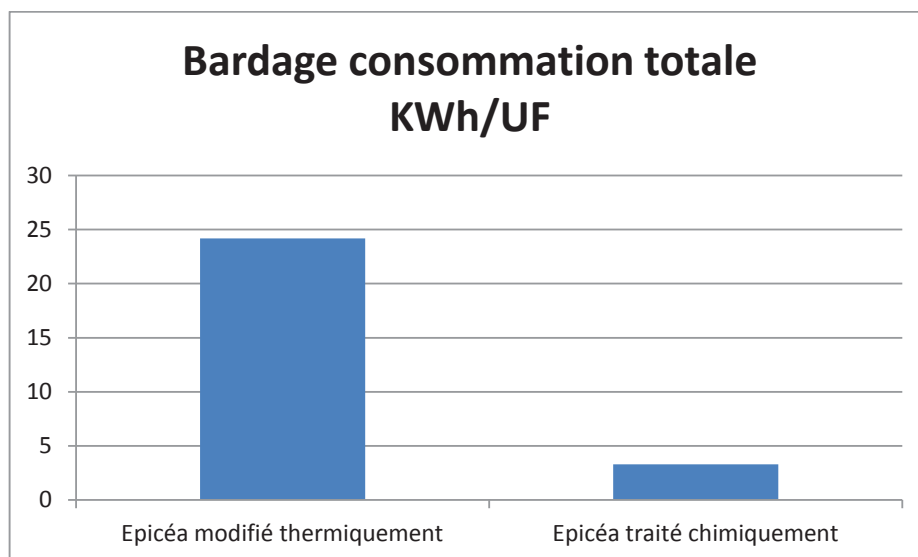


Figure 25

Si l'on regarde, sur la figure 25, le delta de consommation d'énergie des deux filières, on tire comme conclusion que pour les process différentiels de chaque filière, l'épicéa traité thermiquement ne peut rivaliser avec l'épicéa traité chimiquement: 24,23 kwh/UF pour le premier contre plus de sept fois moins, 3,29 kwh/UF pour le deuxième, soit un gap de plus de 20kwh !

Notons d'abord qu'il n'y a pas de différence concernant le transport vu que nous prenons le même épicéa, produit en forêt wallonne pour les deux scénarii.

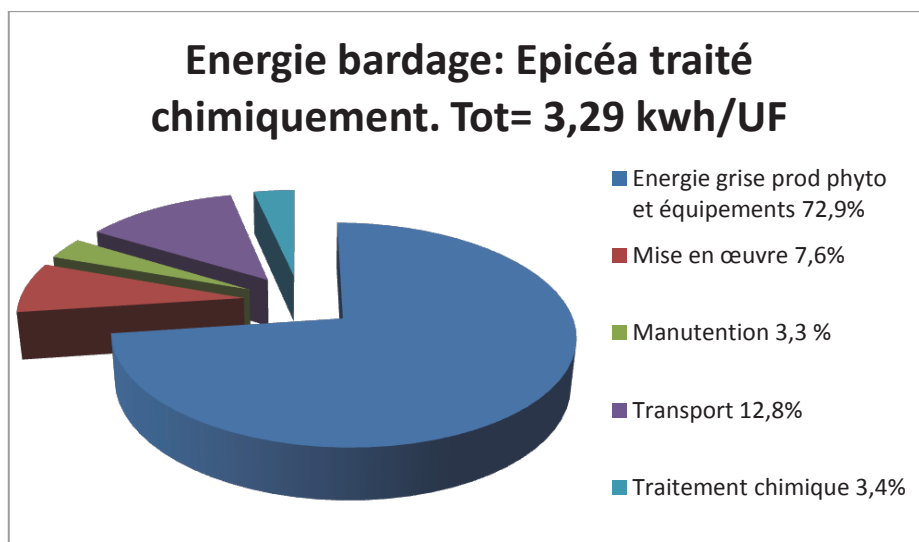


Figure 26

Cette énorme différence (20kwh) tient au fait que sur base des étapes de process pris en compte ici, celles-ci sont beaucoup moins énergivores pour de l'épicéa traité chimiquement et ce même si, comme on le voit figure 26 supra, nous avons tenu compte de l'énergie incorporée (grise) des produits phytosanitaires utilisés. Pour la filière chimique, il n'y a évidemment pas de traitement thermique, mais plus encore, car il n'y a pas de pré-séchage préalable nécessaire, alors qu'il est le poste le plus énergivore pour la filière traitement thermique (voir figure 27 ci infra). L'épicéa, pour être efficacement traité en autoclave, ne doit pas être séché et peut être introduit dans le réacteur autoclave à une humidité d'environ 30%, soit après un simple séjour en extérieur.

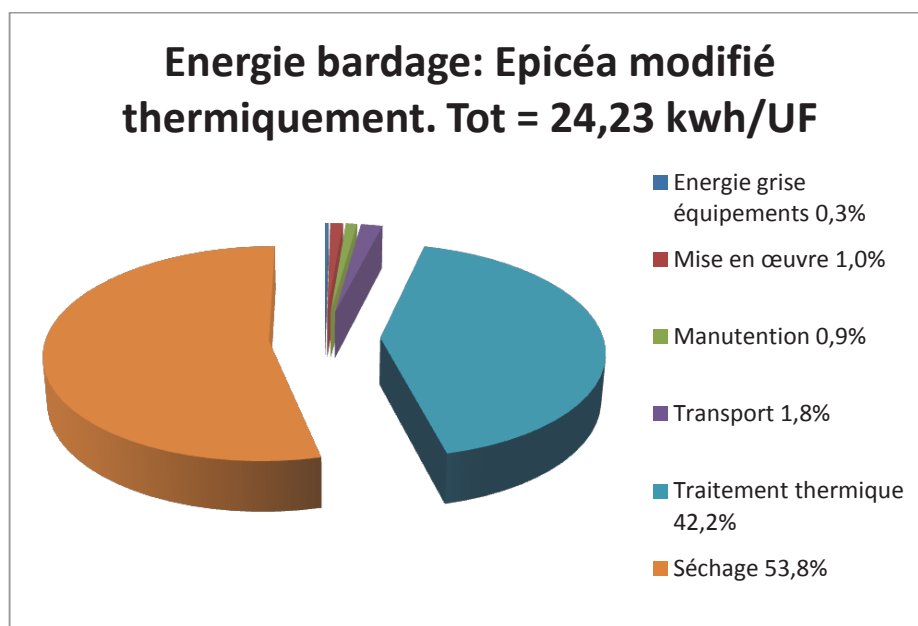


Figure 27

Comme le montre encore la figure 26, parmi les phases de process examinées, le seul process très énergivore de l'épicéa traité chimiquement est l'énergie incorporée dont le total, 2,4kwh /UF comporte 2,1 kwh d'énergie incorporée dans le produit phytosanitaire. Le solde étant l'énergie incorporée dans l'unité autoclave. Cette énergie incorporée représente d'ailleurs 72,9 % du total d'énergie des phases étudiées de cette filière.. A coté de cela, le traitement en autoclave ne nécessite que 0,113kwh/UF (sous forme d'électricité), soit une infime partie de ce que le traitement thermique et le pré-séchage nécessite dans l'autre filière : 23,2 kwh/UF.

Bref, en terme différentiel, la filière de traitement chimique présente un avantage écrasant. Mais n'oublions pas que cette différence de + /- 20 kwh entre les deux filières doit être ramenée à la consommation totale de l'ensemble de chacune de ces filières (from cradle to grave) et que ce chiffre ne devient alors peut être que très relatif. Ceci n'est pas couvert par le périmètre de notre travail mais nous pouvons en tous cas affirmer que produire un mètre carré de lames de bardage, unité fonctionnelle égale, consomme 20 kwh de plus dans la filière de traitement thermique que dans la filière chimique.

La seule raison pour laquelle l'utilisation de bardage en épicéa traité chimiquement pourrait être discutable est l'impact sur la plan environnemental du fait de l'utilisation de produit phytosanitaire. C'est ce que nous verrons au point 4.2 ci infra.

A noter que ce qui est vrai pour l'épicéa- absence de nécessité de pré-séchage avant traitement- est loin d'être une généralité pour toutes les essences, y compris résineuses. Dans le cas d'une nécessité de pré-séchage, en général autour de 18% avant traitement autoclave, il faudra rajouter une proportion importante de kwh au process. Néanmoins, cela n'équilibrera pas la balance avec le bois traité thermiquement qui lui a besoin d'être séché à 12%, avant d'être introduit dans l'unité de traitement thermique qui elle consomme encore 10,2 kwh/UF (pour du résineux)

4.1.4. Bardages : Résultats et interprétation des émissions GES différentielles des deux filières

Comparons à présent les émissions CO2 (équivalent CO2) pour ces deux filières de bardage :

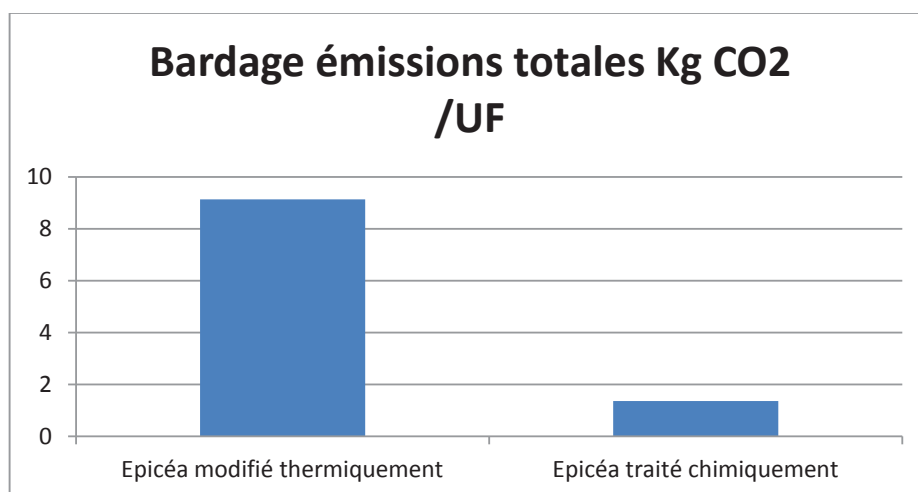


Figure 28

Pour les phases de process prises en compte - phases différentielles entre les deux filières- le traitement thermique de l'épicéa présente une quantité de CO2 émis pas loin de 7 fois supérieure au traitement chimique : 9,13kg CO2/UF contre 1,35 kg CO2/UF (figure 28).

Cela ne fait que refléter les réalités en terme d'empreinte énergétique que nous avons expliquées plus haut : dans le domaine des émissions CO2, l'épicéa modifié thermiquement n'est également absolument pas concurrentiel par rapport à l'épicéa traité chimiquement.

Regardons à présent la répartition des postes dans chacune des filières :

Emissions CO2 bardage: Epicéa traité thermiquement Tot: 9,13 kg CO2/UF

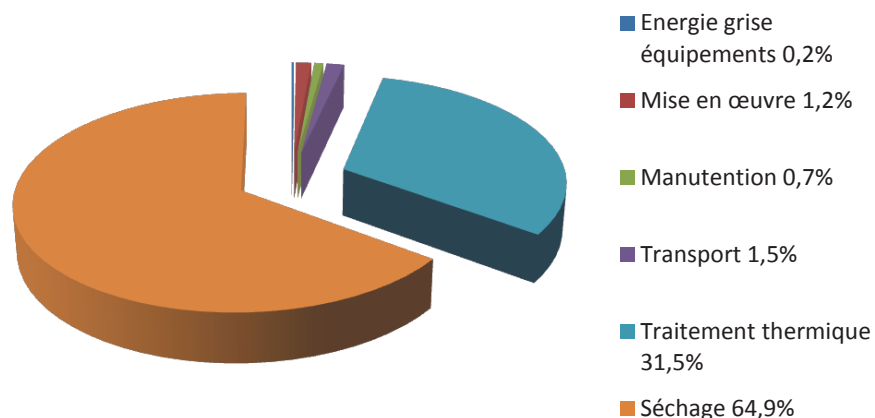


Figure 29

Pour la filière de l'épicéa modifié thermiquement, pré-séchage et traitement thermique proprement dits représentent plus de 95% des émissions de CO2 pour les phases étudiées. Seule l'utilisation d'énergie renouvelable permettrait de diminuer cette empreinte. Mais ici, à moins de bénéficier de beaucoup de biomasse locale pour alimenter les fours (et de plus, une biomasse provenant d'une gestion durable des forêts) comme c'est le cas pour certaines usines d'Europe du Nord, le chemin risque d'être très long pour concurrencer sur ce plan la filière de traitement chimique. En effet, comme on l'a montré plus haut, on part d'un rapport de 7 à 1 entre les deux filières !

Emissions CO2 bardage: Epicéa traité chimiquement. Tot: 1,35kg CO2/UF

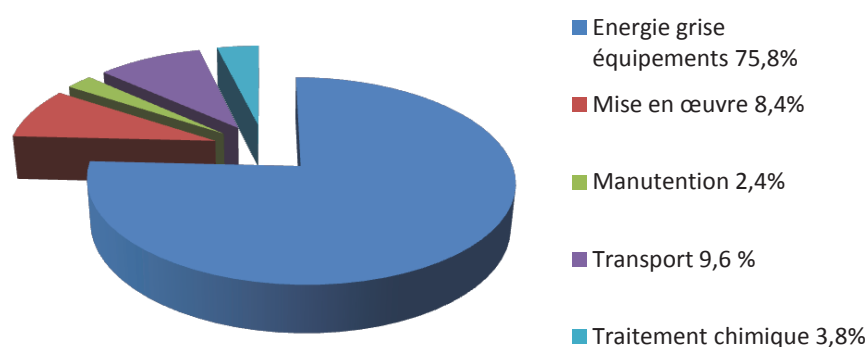


Figure 30

Dans le cas du bardage épicéa traité chimiquement (figure 30), c'est l'énergie grise qui explique 75% des émissions de CO2 pour les phases différentielles des deux filières. Ces 75 % sont en écrasante majorité composés de l'énergie incorporée dans le produit phytosanitaire (plus de 90% de ces 75%). Pour rappel, 6 kg de produit phytosanitaire sont nécessaires par M3 de bois traité, et nous avons fait l'hypothèse que cette énergie grise était composée d'électricité (voir figure 7, LCI). Elle représente 0,96 kg de CO2 émis/UF, le reste étant l'énergie incorporée dans l'unité autoclave.

La consommation électrique pour le traitement chimique n'émet quant à elle que 0,05 kg de CO₂/UF.

Avec ces valeurs, on est très loin des 8,8kg de CO₂/UF émis pour le séchage et le traitement thermique du bardage épicié dans l'autre filière.

4.2. Aspects qualitatifs : impact sur le plan eco-toxicologique

4.2.1. Quels impacts environnementaux sur le plan eco-toxicologique du bois traité thermiquement ?

Nous nous référons ici au process Thermowood®. Beaucoup des informations qui suivent viennent de Jartek, constructeur de four de cette technologie. Il va de soi que ces éléments doivent donc être pris avec caution.

En terme d'effluent, les gaz émanant du bois et extraits de la chambre contiennent :

- Des COV dont en grande partie des formaldehydes (nocifs) et des dérivés de Terpènes (non nocifs)⁷⁷
- De l'acide acétique
- De l'acide formique
- D'autres substances en quantités faibles

Ces gaz d'émanation du bois qui apparaissent suite à la hausse de température sont ensuite dirigés vers la chaudière et brûlés à 850-950 °C avant d'être relâchés dans l'atmosphère.

Selon Jartek, l'acide acétique et l'acide formique sont les deux principaux composants et représentent entre 75 et 90% de tous les effluents. Ces effluents, ainsi que les COV, sont donc détruits, sans avoir d'impact sur l'environnement⁷⁸. À noter que nous n'avons trouvé nulle part une étude d'un organisme

Que sont les COV?

Les composés organiques volatils (COV) (*) sont des substances formées d'au moins un atome de carbone et un d'hydrogène. Ils ont des groupes fonctionnels N et O qui peuvent être dangereux car ils peuvent se lier au transport de l'O₂. On les trouve à l'état gazeux dans l'atmosphère. Plusieurs de ces composés participent aux réactions photochimiques responsables de la formation de l'ozone troposphérique. D'autres, tels que le benzène et le formaldéhyde, sont aussi considérés comme toxiques et peuvent avoir un impact sur la santé de la population. Ils peuvent être d'origine anthropique (provenant du raffinage de produits pétrolier, de l'évaporation de solvants organiques, d'imbrûlés, etc.) ou naturelle (émissions par les plantes ou certaines fermentations). Selon les cas, ils sont plus ou moins lentement biodégradables par les bactéries et champignons, voire par les plantes, ou dégradables par les UV ou l'ozone (**).

(*) Source : Ministère du développement durable et de l'environnement, Québec, 2014 (**) Source Wikipédia Encadré 11

⁷⁷ Source CTIB, Monsieur De Boever

⁷⁸ Selon Jartek, mais cela nous a été également confirmé par Dumoulin Bois qui utilise le procédé Besson qui applique le même principe de destruction des gaz émis via la chaudière. Le CTIB nous a confirmé qu'à 850° ces

indépendant qui analyse la composition des gaz de sortie de la chaudière d'une unité de traitement thermique.

- On retrouvera aussi quelques déchets solides dans le four, non nocifs selon le constructeur, qui s'accumulent dans la chambre, qui nécessite d'être nettoyée de temps en temps.
- Selon Monsieur Tetri Timo (Jartek) on retrouve enfin une partie des émissions provenant du bois dans l'eau résiduelle : ici aussi essentiellement de l'acide acétique et formique, et aussi un peu de composés organiques. Il ressort du process 20 à 50 litres d'eau par M3 de bois traité à PH 3.5.

Selon Jartek, certains de leurs clients renvoient cette eau résiduelle telle quelle dans le réseau qui part vers les centrales d'épuration, sans impact selon lui pour les gros systèmes. D'autres de leurs clients la traite pour être neutralisée avant rejet.

De manière générale, il est extrêmement difficile d'avoir des données précises sur les rejets du procédé. Un seul exemple : Le devis du constructeur pour un four de 20M3⁷⁹ mentionne 15l d'eau résiduelle par M3 de bois traité, ce qui représente déjà une nette différence avec ce qu'il nous communique par ailleurs lorsque on l'interroge : 20 à 50l par M3 de bois traité.

Remarque additionnelle :

Une réserve intéressante a été émise sur la question de l'émission de COV pour le bois modifié thermiquement par Mr De Boever (CTIB) : si les types de COV habituellement mesurés sont à des niveaux faibles pendant et après un séchage classique du bois (Températures autour de 70°C), celui-ci attirait notre attention sur le fait que la question est aussi de savoir si de nouveaux types de composants, potentiellement toxiques, ne pourraient pas faire leur apparition à cause du process de traitement thermique à plus haute température. Il faut en effet savoir, qu'en phase d'utilisation, un bois continue à relâcher des petites quantités de COV dans l'atmosphère. En usage extérieur cela ne pose évidemment aucun problème mais la question pourrait se poser pour des usages intérieurs (parquets par exemple).

Il serait probablement utile que ce domaine soit investigué plus avant, d'autant que certains producteurs de bois modifié thermiquement utilisent comme argument commercial le fait qu'après leur traitement le bois relâche moins de COV en phase d'utilisation que des bois non thermo-traités. C'est effectivement confirmé par le CTIB pour les composés listés, mais Monsieur De Boever nous rappelle que la liste des COV sur laquelle la Belgique se base pour ses tests est une liste de référence qui ne contient qu'une dizaine de produits.

En conclusion, sans trop de crainte de nous tromper, nous pouvons affirmer que les process de traitement thermique qui prévoient une destruction des gaz d'émanation du bois en repassant par la chaudière sont peu ou pas du tout impactants pour l'environnement sur le plan toxicologique. A 850°C, tous les COV et les acides sont détruits.

composants ne résistaient pas

⁷⁹ Constructeur Jartek

Par ailleurs, le niveau de « relâchage » de COV en cours de vie du matériau est inférieur à du bois non traité thermiquement, en tous cas en se référant aux listes de produits usuellement mesurés. Mais une réserve doit être émise ici (voir commentaire supra).

En ce qui concerne l'eau résiduelle, d'après le CTIB, les bactéries en centrales d'épuration sont parfaitement capables de dégrader les COV (elles en seraient friandes, en fait). Selon Jartek, le PH bas ne nuit pas au fonctionnement de grosses installations d'épuration, ce qui nous été également confirmé par le CTIB.

Penchons nous à présent sur l'impact environnementale de filière de traitement autoclave pour la quelle le traitement thermique se positionne comme concurrent.

4.2.2. Quels impacts environnementaux sur le plan toxicologique du bois traité en autoclave ?

4.2.2.1: Lors de l'application du traitement et pendant sa durée de vie :

Pour notre travail, nous regarderons ce qui se passe pour du bois extérieur : bardage traité en autoclave avec un produit chimique très généralement utilisé sur le marché. Néanmoins tout ce qui suit peut aussi s'appliquer à du bois de terrasses qui serait traité par autoclave.

Remarque préliminaire : A noter que, pour le bardage, le résineux beaucoup utilisé sur le marché belge, est le sapin blanc du nord (origine Scandinavie) ou l'épicéa, qui est ainsi nommé quand il provient de nos régions⁸⁰ (Ce sont en fait les mêmes espèces). C'est souvent ce bois qui est choisi pour des bardages peu coûteux. Les bardages plus coûteux, pour des immeubles haut de gamme, se font souvent en cèdre ou en mélèze, non traités chimiquement mais éventuellement recouverts d'une couche de finition, souvent de l'huile⁸¹.

Procédé Autoclave-préservation du bois:

Le bois est placé dans un cylindre étanche. Le principe est d'imprégner le bois de produit traitant (cocktail fongicide + insecticide). Dans un premier temps, le bois est ventilé à l'aide d'un vide très fort dans le cylindre, puis le produit traitant est ajouté, sous maintien du vide, et pressé profondément dans le bois par surpression. C'est le système qui garantit une très bonne pénétration du produit dans le bois (d'autres systèmes étant l'aspersion et le trempage). Certains acteurs du marché prétendent que le bois est « traité à cœur ». Dans les faits, c'est rarement le cas car la profondeur de pénétration du produit dépendra de l'essence et de la durée du traitement. C'est néanmoins une technique qui permet de garantir des classes d'emploi performantes pour du bois moins durable à l'origine. Encadré 12

En concertation avec l'OEWB, pour le bardage, nous avons adopté le scénario du « résineux peu coûteux » car, pour rappel, nous souhaitions prendre un bois d'origine local. Et notre choix s'était logiquement posé sur l'épicéa car c'est le bois le plus disponible chez nous. Comme déjà évoqué, la caractéristique de l'épicéa est qu'il ne nécessite pas d'être pré-séché avant de passer en autoclave.

⁸⁰ Source Fruytier Group

⁸¹ Source Bois Delvaux

Au contraire un pré-séchage va diminuer le coté poreux du bois et empêcher le liquide de pénétrer et rendant l'opération moins efficace⁸². Il n'en reste pas moins que c'est une essence qui absorbe mal les produits d'autoclave, l'injection du produit va rarement pouvoir dépasser 3mm de profondeur. Nous avons ici reprécisé notre choix pour rester cohérent avec le scénario choisi pour la réalisation de l'analyse de cycle de vie qui précède. Néanmoins ce que vous trouverez dans les prochaines lignes s'applique en grande partie à n'importe quel résineux. Le choix de l'essence ne nous semble pas déterminant par rapport à notre démonstration.

Les produits utilisés en autoclave sont beaucoup moins nocifs qu'avant.

En effet, on distinguait au début des années 2000 deux grands types de produits d'imprégnation⁸³ :

- Les combinaisons à base de métaux lourds , Cuivre –Chrome, qui peuvent permettre d'obtenir du bois jusqu'à la classe d'emploi 4
 - CCA : (Cuivre, Chrome , Arsenic)
 - CCB (Cuivre, Chrome, Bore)

Les traitements CCA et CCB ont été interdits en 2004
- Les solutions organiques : ces produits contiennent des substances biocides (fongicides et insecticides) dans un solvant organique (du white spirit, par exemple).

Aujourd'hui, on utilise des solutions de combinaison de métaux lourds (Cu) et de composés organiques, ou des solutions organiques seules. Il existe des solutions organiques à base d'eau, ce qui retire la problématique de l'émission de COV liée aux solvants.

Avant d'être mis sur le marché, les produits de traitement du bois font évidemment l'objet de tests et doivent être certifiés par des organismes officiels .

[Deux directives importantes qui ont un rôle pour les traitements de préservation du bois :](#)

La « directive biocide » de 1998 : elle prévoit un examen de toutes les substances actives de produits biocides

La « Directive COV » de 2004 : relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils due à l'utilisation de solvants organiques

Encadré 13

Le CTIB, sur base du respect des normes européennes⁸⁴ va délivrer une ATG (agrégation technique) Cette ATG décrit le mode opératoire de l'application d'un traitement spécifique et garantit la qualité

⁸² Source Fruytier Group

⁸³ Di Stasio, Lucia, 2010

⁸⁴ Une norme importante est la norme NBN 599-1 qui définit les critères d'homologation pour les performances de traitement à obtenir – source CTIB. Extrait du site web du CTIB : « En application de la norme NBN EN 599-1, les produits de protection du bois peuvent être homologués dans une ou plusieurs des classes d'emploi définies dans la norme européenne NBN EN 335-1. Pour recevoir une homologation, un produit doit démontrer ses performances conformément aux exigences formulées dans la norme européenne NBN EN 599-1, pour chacune des classes d'emploi pour lesquelles une efficacité est revendiquée. (Suite page suivante) (suite de la page précédente) Les exigences formulées prennent en compte à la fois la méthode d'application du produit (traitement superficiel ou profond) et la sensibilité particulière du bois sur lequel le produit sera appliqué (burabilité naturelle, espèce réfractaires, bois résineux ou bois feuillu). L'homologation est délivrées par l'Association belge pour la Préservation des Bois (ABPB) sur la base d'un dossier technique.»

de ce qui sort du traitement en terme de performance et en terme de respect des normes de protection de l'environnement et de la santé humaine. Il impose, selon son niveau, des contrôles plus ou moins fréquents par des organismes agréés.

Le CTIB nous donne trois produits en exemple qui peuvent être utilisés pour les traitements de terrasses –bardages, deux sans cuivre et l'un avec cuivre :

- Madurox structure II (à base d'eau **sans Cu**) (1,24% de propiconazole, 0,42% tébuconazole, 0,42% IPBC et 0,6% de cyperméthrine).
- Tanalith E (3492) (basé à l'eau **avec du Cu** et des composés similaires que le Madurox) (carbonate de cuivre (II) (266 g/l), acide borique (59 g/l), tébuconazole (3 g/l) et propiconazole (3 g/l)
- Basilit HBx (basé avec de l'eau, **sans Cu** et avec des composant totalement différents) (50% benzalkoniumchloride)

Tout au long du cycle de vie du bois traité, voyons où peuvent se trouver les problèmes d'impact sur l'environnement.

Les principales étapes de la vie d'un produit de préservation sont :

- **La fabrication du produit de préservation** : Cela sort du cadre de ce travail mais de façon très générale, les stations qui peuvent produire ces produits doivent être agréées, sont contrôlées et ne relâchent aucun produit toxique dans l'environnement⁸⁵. Les éventuels sous produits, surplus etc ...sont traités spécifiquement dans des unités de destruction à très haute température.
- **L'application du traitement** : En autoclave, ce n'est évidemment qu'une petite partie du « bain » qui est injecté dans le bois. Les bains sont donc utilisés sur plusieurs cycles avec rajout des composants chimiques pour garder les concentrations à niveau. Néanmoins il faut changer les bains au bout d'un certain temps. Ce qui ne peut être récupéré sera envoyé dans des unités de destruction à très haute température. Les composés organiques seront détruits et les systèmes de filtration à la sortie sont efficaces. Seuls les métaux lourds peuvent rester dans les cendres et se retrouveront en décharge comme nous le mentionnerons lorsque nous abordons le traitement des déchets matériau-bois⁸⁶.
- **Sa « tenue » pendant la vie du matériau traité (du support) :**
Deux phénomènes principaux vont se produire :
 - Le fait d'avoir traité le bois en ajoutant des composants organiques va changer son rapport C/N qui va passer d'environ 30 (bois naturel) à des valeurs pouvant approcher 10. L'effet sera un relâchement plus important de COV pendant la durée de vie du matériau. Mais pour des terrasses ou bardages, en extérieur, il n'y a pas d'impact pour la santé humaine.⁸⁷
 - Exposé aux intempéries, le bois traité va relâcher du produit pendant sa durée de vie, produit qui part en infiltration dans le sol, ou dans les eaux de pluies. Monsieur

⁸⁵ Source CTIB, Monsieur De Boever

⁸⁶ Source IBW , Monsieur Offergeld et CTIB, Monsieur De Boever

⁸⁷ Source CTIB, Monsieur De Boever

De Boever évalue, très approximativement, ces « pertes » sur toute la durée de vie du bois de terrasse ou bardage à 5% du total du produit injecté au départ. Ce n'est pas énorme mais cela peut indéniablement avoir un impact sur l'environnement. Les composés organiques – toxiques – finiront par se dégrader dans le sol, mais certains ont une durée de demi-vie longue et peuvent donc se retrouver dans les nappes phréatiques. Et les métaux lourds, comme le cuivre s'infiltreront de façon durable. Tant qu'ils restent à des concentrations très faibles cela ne pose pas de problème. Le CTIB ne dispose pas d'étude précise sur les impacts de ce phénomène qu'il peut nous communiquer. Examiner ce champ de question pourrait être néanmoins intéressant mais cela nécessiterait un travail de fin d'étude en tant que tel.

Une autre question que l'on est en droit de se poser est le niveau relatif des normes européennes en terme de seuils de toxicité : ce n'est pas parce qu'ils sont respectés qu'ils garantissent « aucun » impact sur l'environnement ou la santé humaine. L'histoire a montré une tolérance plus ou moins importante par rapport aux impacts potentiels que des substances chimiques peuvent causer à l'environnement eu égard aux avantages qu'elles pouvaient apporter en terme d'efficacité, aux enjeux économiques et aux freins liés aux traditions et usages.

4.2.2.2: En fin de vie

Comment fonctionne la filière de traitement des déchets « bois » en Belgique et qu'arrive t-il en fin de vie à du bois à du bois de bardage ?

Notez que nous regardons cet aspect pour le bardage mais aussi pour les terrasses et de manière générale, tous les déchets de bois de construction extérieure. C'est dans le support (ici bardages et terrasses) en fin de vie qu'est stocké la plus grande part de produit phytosanitaire injecté au départ. Ce point est important car il représente donc le levier le plus important pour des effets néfastes potentiels sur l'environnement et la santé humaine du bois.

En Belgique⁸⁸, on distingue 3 catégories de déchets de bois :

- Classe A : bois non traités (ni en préservation, ni en finition).
- Classe B : Bois traités (recouvrement, trempage) et selon les sources, imprégnés qui ne rentrent pas dans la catégorie C (voir explication infra de ce « flou »)
- Classe C : Bois traités ou imprégnés de manière significative ou/et avec des produits à haute nocivité. Concrètement ce sont des bois créozotés (e.a. billes de chemin de fer) ou imprégnés CCA ou CCB et faisant l'objet de traitement dans des filières séparées⁸⁹. A noter que ces bois sont de plus en plus rares : comme dit supra, les traitements CCA et CCB ont été interdits en 2004 et les créozotes ont aussi été retirés peu à peu du marché (mis à part quelques exceptions). Il n'en reste pas moins qu'ils peuvent être toujours présents dans le cadre de chantiers de démolition ou de démontage.

⁸⁸ Source Shanks, UCM

⁸⁹ Di Stasio L, 2010

Nos échanges avec l'Office Wallon des Déchets⁹⁰ nous a permis de voir un peu plus clair dans la réalité de cette classification et du tri qui les accompagne :

Il est important de souligner que selon eux, cette classification n'est pas officielle, utilisée essentiellement dans le domaine commercial, et les limites entre les classes peuvent être assez floues et varier en fonction de l'interlocuteur. Les autorités wallonnes ont émis un Arrêté en février 2013 qui est une mise à jour d'un Arrêté de 2003 et qui fait la distinction entre bois traité et non traité, en y faisant correspondre des critères clairs avec des valeurs seuils (Ex : teneur en métaux lourds). Ceci repose sur une étude de l'institut Scientifique des Services Publiques. Néanmoins l'application de ces critères doit encore être traduite sur le terrain⁹¹.

Aujourd'hui, il n'y a pas de tri et de traitement différencié pour du bois traité et non traité, classe A ou B. Seuls les bois correspondant à la classe C sont sortis de la filière pour être détruits à très haute température (en cimenterie par exemple).

Une raison à cette « non distinction » de tri entre Classe A et B est que la classe A représente une toute petite partie du volume total traité⁹².

Ajoutons que les conclusions de l'OWD, sur base d'une étude dans cette filière, sont à ce stade de considérer que vouloir dédoubler la filière de recyclage (et donc éventuellement de collecte) entre du bois traité et non traité (équivalent à classes A et B décrit supra), serait un casse tête au niveau de la gestion des parcs à containers tant pour les particuliers que les intervenants dans ces parcs. Ce n'est donc pas dans leurs projets actuels. On peut en effet facilement imaginer que la vraie difficulté est de permettre aux intervenants - même les entrepreneurs- de distinguer une qualité de déchet d'un autre, ce qui pour du bois de démolition par exemple, peint, trempé ou imprégné, datant parfois de plusieurs décennie, n'est pas chose aisée à faire. Est-ce même réaliste ?

Qu'arrive t-il en fin de vie à une terrasse ou à un bardage ? Deux grands scénarii se détachent :

- Du matériau de terrasse ou de bardage est démonté lors d'un chantier de rénovation ou lors de la démolition d'un bâtiment réalisé par un entrepreneur. D'après l'Office Wallon des déchets⁹³, celui-ci est tenu de passer par une entreprise affiliée pour l'évacuation de ses déchets. Le matériau sera dirigé ensuite vers un tri spécifique « bois » sans distinction de classe A ou B.
- Pour les chantiers/ démolitions réalisé par les particuliers eux-mêmes, l'essentiel des déchets passent par les parcs à containers que nous connaissons tous. Là aussi le bois classe A et B est indistinctement jeté dans un container « Bois » (normalement ces parcs sont inaccessibles aux professionnels, sauf certains déchets issus de travaux communaux). Le bois classe C n'est pas supposé être jeté dans ce container (cas très rare des billes de chemin de fer, créozotées, utilisé comme décoration de jardin)

⁹⁰ Monsieur Didier Gohy et Madame Sigrid Marceau. L'Office Wallon des déchets agréé les entreprises de collecte des déchets et donne un avis sur les permis d'environnement délivrés pour les centres de tri.

⁹¹ Toujours selon l'Office Wallon des déchets (D. Gohy)

⁹² Source CTIB

⁹³ Monsieur Gohy

Ce bois sera essentiellement valorisé sous deux formes : panneaux (agglomérés) et production d'énergie. Nous avons eu du mal à avoir des statistiques précises de la part de l'Office wallon des déchets. Pour donner un exemple de ce flou : selon Monsieur Gohy, le total de bois à recycler en Wallonie pour la filière industrielle serait entre 130000 et 310000 tonnes par an. La filière « particulier » représenterait, elle, environ 110000 T/an

- Pour la filière industrielle⁹⁴, 80% serait broyé et valorisé sous forme de panneaux après avoir été épuré des parties non souhaitées (pièces de métal, plastiques etc...), contrôlé et éventuellement purifié pour rester en deçà de norme de certains composants chimiques provenant des traitements initiaux. En Belgique, c'est le site Spano à Oostrozebeke qui traite l'ensemble de ces flux (capacité de production de panneaux: 300000 M3/an). A noter que les panneaux ne peuvent pas être recyclés indéfiniment, au bout d'un certain nombre de cycles de recyclage (maximum 6), ils devront être envoyés à la destruction (valorisation énergétique) car la longueur des fibres raccourcit à chaque transformation⁹⁵. Les 20 autres % seraient valorisés dès le départ sous forme d'énergie.
- Pour la filière « particulier » cette répartition serait plutôt de 50 -50.

En conclusion, ce qu'il faut retenir :

- Le tri en Belgique est assez efficace même si il ne fait pas la distinction entre classes A et B
- tout produit bois terminera sa vie, après plusieurs cycle de valorisation éventuels sous forme de panneau dans une chaudière pour être valorisé énergétiquement.

Ces chaudières industrielles montent à des températures de minimum 850° C, avec des systèmes efficaces de filtration à la sortie. Selon l'IBW⁹⁶, ce qui ressort des cheminées d'une chaudière industrielle est bien supérieur en qualité que ce qui ressort d'une chaudière, d'un poêle d'un particulier individuel. Outre les filtres à la sortie, le bois placé en chaudière industrielle est sec garantissant de travailler toujours à des températures optimales.

En général, à la sortie d'une chaudière industrielle, le système de filtration se présente comme ceci :

- Un électrofiltre où le gros des poussières passe à travers les deux pôles électriques et est attiré sur des plaques
- Lavage des gaz que l'on fait passer dans l'eau : les composés toxiques se dissolvent et se retrouvent sous forme d'acides et de sel
- Dans les installations les meilleures, on fait également passer les gaz dans du charbon actif.

Source : Monsieur Offergeld, IBW

Encadré 13

Les composés organiques des produits de traitement sont détruits à de telles températures. Le seul impact sur l'environnement spécifique au traitement du bois proviendra des métaux lourds (Cu) que l'on retrouvera dans les cendres lorsque le bois a été traité avec ceux-ci (Ex Tanalith, citée plus haut). Ces cendres sont alors mises en décharge de catégorie ad hoc⁹⁷, ou brûlées en cimenterie.

⁹⁴ CTIB, Monsieur De Boever

⁹⁵ CTIB, Monsieur De Boever

⁹⁶ Monsieur Offergeld

⁹⁷ CTIB, Monsieur De Boever

5. Discussion : opportunité de la filière « thermique » sur le plan environnemental

Après avoir examiné ces résultats et essayé de les interpréter, revenons à notre question de recherche: le bois modifié thermiquement peut-il remplacer avantageusement, en terme de durabilité, sur le plan environnemental, le bois traité chimiquement (traitement par autoclave) et le bois importé d'origine exotique ?

Et regardons les hypothèses que nous avons posées au point 1.7.. Nous les traiterons dans l'ordre avec lequel nous les avons abordées dans ce travail, commençant par celles portant sur l'empreinte énergétique et gaz à effets de serre:

La troisième hypothèse était : « *Le bois modifié thermiquement a une consommation énergétique et une empreinte GES plus élevée que le bois exotique* ». Nous avons construit deux scénarii pour examiner cela concrètement avec la production de lames de terrasse, en feuillus: Filière « locale »(Frêne) avec traitement thermique versus filière « bois exotique importé (ipé) » sans traitement (Scénarii 1A et 3). Nous avons fait une ACV dite « rough » sur les aspects différentiels des deux filières en terme d'empreinte énergétique et d'émission de gaz à effet de serre. Que peut-on en tirer comme enseignement ?

- Sur base de nos hypothèses de travail pour les scénarii construits, en regardant les process différentiels avec le scénario « Bois importé », l'hypothèse se vérifie : 43,99 kwh/UF d'empreinte énergétique et 17,1kg CO₂/UF d'émissions CO₂ pour le frêne traité thermiquement contre respectivement 27,4 kwh/UF et 8,5 kg CO₂/UF pour l'ipé importé. En effet,
 - Le traitement thermique est un procédé énergivore rentrant pour un tiers environ dans l'empreinte énergétique et GES des process étudiés de la filière.
 - Mais surtout, le traitement thermique nécessite un pré-séchage à 12%. Ce pré-séchage représente d'ailleurs la majorité de l'empreinte énergétique de 60% sur le total des phases étudiées et même 70 % pour l'empreinte GES. Ce dernier pourcentage s'expliquant par l'utilisation d'électricité pour le process de pré-séchage : celle-ci a une empreinte GES plus importante que le gaz utilisé de façon majoritaire pour le traitement thermique proprement dit.
- De son côté, l'ipé importé ne fait évidemment pas l'objet d'un traitement thermique et ne nécessite même pas de pré-séchage. Les empreintes énergétiques et GES de l'ipé sont justifiées par le transport : du lieu de coupe jusqu'au port d'embarquement (transport fluvial et route ou piste) et son voyage transatlantique par bateau. Sur base de nos hypothèses de scénario, cela ne contrebalance pas les empreintes des process liés au frêne, mais reste inférieur.

- Les empreintes liées au transport en Belgique, à la manutention, à la mise en œuvre et à l'énergie incorporée (grise) des équipements sont anecdotiques pour les deux filières. Elles ne sont donc pas pertinentes dans l'interprétation. Cela montre simplement que les hypothèses fortes que nous avons faites, surtout en matière d'énergies grises, n'impactent pas le modèle de façon prépondérante.
- Mais, ce qu'il est surtout intéressant de noter, c'est que les résultats en terme d'empreinte énergétique et d'émission de CO₂ peuvent s'inverser, si, comme nous l'avons démontré,
 - la distance entre lieu de coupe et port d'embarquement augmente pour le bois exotique
 - et/ou la part transport par route/piste par rapport au transport fluvial augmente également.
 Nous avons montré que, vu la sensibilité élevée du modèle dans ce domaine, si nous prenions 2500 km dont 1500 km par camion au lieu de 1000 km dont 500km par camion (hypothèse de base), l'ipé importé devenait non compétitif par rapport au frêne local traité thermiquement.
- Dans la filière thermique, le fait d'utiliser pour le pré-séchage non pas de l'électricité, comme c'est souvent le cas en Belgique, mais du gaz, ou mieux de l'énergie renouvelable (biomasse gérée durablement) permettrait d'accroître l'avantage de cette filière. Dans une moindre mesure, cet argument fonctionne également pour la phase de traitement thermique, qui en fonction de la technologie choisie et de sa localisation peut utiliser également de la biomasse au lieu du gaz consommés ici dans notre scénario (qui rentre à 85% dans cette phase de process)

Donc, ces résultats et réflexions nous mènent à penser qu'il existe une opportunité, une justification pour la production de bois de terrasse comme le frêne, d'origine locale, traité thermiquement en concurrence du bois exotique, comme l'ipé du Brésil. Pour cela nous nous basons sur les arguments suivants :

- Les lieux de coupe deviennent de plus en plus éloignés des ports hauturiers d'embarquement. Dans la réalité ce bois provient de forêts primaires vu l'absence de culture, comme nous l'avons expliqué. Et malheureusement, pour l'ipé, l'hypothèse que nous avons utilisée en début de ce travail (pour en définir le périmètre) à savoir du bois « géré durablement » est probablement, même dans le futur, une illusion : Les scieurs doivent s'enfoncer toujours plus loin dans la forêt primaire et aucune entreprise dans un système capitaliste n'investira à ... 150 ans, durée de croissance d'un ipé.
On pourrait rêver de transports « plus propres » sur le continent exportateur, mais est ce vraiment souhaitable ? Améliorer les infrastructures de transport en Amazonie par exemple ? Cela signifie plus de ports fluviaux, plus de voies ferrées et, évidemment toujours plus de routes d'accès à la jungle et de déforestation car l'un ne va pas sans l'autre ...

La réponse évidente et logique nous semble simple : quant bien même elles apparaîtraient, il ne faudrait pas se cacher derrière d'éventuelles hypothétiques initiatives pour diminuer l'empreinte carbone de l'exploitation de l'ipé, il faut simplement arrêter de l'exploiter, protéger la forêt... et le remplacer par du bois produit de façon renouvelable, localisé plus

près de ses marchés d'utilisateurs. Et ce raisonnement tient probablement aussi pour beaucoup d'autres bois exotiques....

- Conséquence en grande partie du point précédent, politiquement la situation va probablement devenir de plus en plus intenable pour ce type de bois exotique car on peut raisonnablement espérer que la pression va s'accroître sur les états concernés (ici le Brésil) pour sauvegarder leurs puits de carbone, eu égard à l'évolution du réchauffement climatique et au débat qu'il suscite. On peut aussi attendre une attention de plus en plus vive du consommateur final sur l'origine et le mode d'exploitation du bois, relayée par des associations dont la visibilité et les pressions exercées sont de plus en plus vives (Comme le travail de Greenpeace en Indonésie , par exemple)
- Et évidemment, en conséquence, on peut attendre un impact toujours plus important à la hausse sur le prix du bois exotique, qui n'arrête pas d'augmenter ces dernières années, rendant des techniques alternatives, comme le bois modifié thermiquement, de plus en plus réalistes et crédibles. Ce que les politiques hésiteront peut être à faire, le marché peut le faire. Il nous semblerait ici aussi judicieux d'ouvrir la question d'une taxe environnementale à l'importation, domaine pour lequel nous pensons que l'Union Européenne a tout son sens. Mais nous abordons ici des questions de type économique qui nous éloignent de notre question de recherche et pourraient être l'objet d'un autre mémoire.
- Et enfin, l'opportunité d'utiliser des fours de séchages et des réacteurs de traitement thermique avec une plus grande part d'énergie renouvelable doit être examinée, permettant de diminuer l'empreinte GES de celui-ci. Evidemment, avec les limites que cet argument contient : nous n'aurons, par exemple, en Belgique, jamais la quantité de biomasse renouvelable que possèdent les finlandais et le chemin est encore long pour avoir une production d'électricité majoritairement sur base de sources renouvelables.

Nous insistons sur le fait que toutes ces réflexions doivent évidemment être pondérées en fonction du type d'essence et du type de pays d'origine d'où provient le bois exotique. Nous ne répéterons jamais assez que nous avons limité notre étude au frêne local et à l'ipé du Brésil. Mais il y a là des pistes, nous le pensons, intéressantes pour une alternative à la contribution de la destruction des forêts tropicales liées à la construction de nos terrasses.

La deuxième hypothèse était: « *le bois modifié thermiquement n'a pas une empreinte énergétique et GES moindre, et probablement plus élevée que la filière d'origine locale « autoclave »*. Nous avons construits deux scénarii pour examiner cela concrètement avec la production de bois de bardage, en résineux (Epicéa) : filière « bois local » traité thermiquement versus filière « bois local » traité chimiquement (Scénarii 1B et 2). Ces scénarii faisaient aussi partie de notre ACV et nous pouvons tirer comme enseignement que :

- Quand on regarde les process différentiels entre les deux filières, la filière chimique autoclave est sans discussion beaucoup moins énergivore et avec une empreinte GES beaucoup moins lourde que la filière thermique : 3,29 kwh/UF et 1,35 kg CO2/UF pour le

bardage traité chimiquement contre 24,23 kwh/UF et 9,13 kg CO₂/UF pour le bardage traité thermiquement. Le ratio d'empreinte énergétique entre les process pris en compte pour l'une et l'autre filière est donc de 1 à 7 à l'avantage de la filière autoclave et la logique est respectée si l'on regarde les émissions GES. Ce n'est donc pas, si l'on reprend notre deuxième hypothèse « *pas moindre et probablement plus élevée* », mais « *énormément plus élevé* » qui est l'expression qui conviendrait, au point que sur dans ce domaine la filière thermique soit tout à fait hors jeu.

- Cette différence provient essentiellement du fait que pour la filière chimique, il n'y pas de pré-séchage nécessaire avant de passer dans l'unité autoclave. Dans la partie 4, Nous avons néanmoins tempéré cet argument car c'est loin d'être vrai pour toutes les essences. Mais même en cas de pré-séchage nécessaire, nous avons vu que le gap avec la filière thermique reste important.
- Nous avons intégré dans notre analyse l'énergie grise contenu dans les produits phytosanitaires pour la filière autoclave. Pour cette filière, c'est le poste le plus important pour les phases de process étudiées: 2,1 kwh/UF. Mais cela reste un niveau ridiculement bas si on regarde les postes les plus énergivores de la filière thermique : un total de 23,2 kwh/UF pour le pré-séchage et le traitement thermique.
- Bien sûr, il faudrait ramener cette différence de 20 kWh entre les deux filières à la totalité de l'énergie consommée pour l'ensemble des process, pour juger de son poids relatif. Mais 20kwh de différence est, en absolu, une grosse quantité d'énergie quand on sait que notre unité fonctionnelle représente un M2 de bardage. Nous pensons que cela ne passe pas inaperçu dans les arbitrages que peuvent faire un décideur en terme de coût à l'unité de sa production. Et comme la même logique de résultat est respectée pour les émissions GES, l'impact est loin d'être neutre pour l'environnement.
L'argument utilisé supra pour les terrasses (frêne traité thermiquement) - d'utiliser des énergies à empreintes GES moins lourdes - devrait être poussé ici tellement loin pour contrebalancer l'avantage écrasant de la filière autoclave qu'il nous semble à priori assez peu réaliste et pertinent, même si cela nécessiterait une étude plus poussée, pour tirer des conclusions définitives.

En conclusion, si nous regardons donc la quantité d'énergie nécessaire et les émissions GES, nous craignons ici que la filière « bardage épicéa traité thermiquement » ne soit plombée, morte née, à cause de ce delta aussi important par rapport à la filière autoclave. La filière thermique est lourdement désavantagée en terme d'impact sur le réchauffement climatique.

Ajoutons, que sur le plan économique, plus d'énergie à injecter (20kwh/UF), peut entrainer un coût plus élevé à l'unité produite non seulement à cause de la consommation mais aussi des investissements potentiellement plus lourds en équipement, sauf si le prix du produit phytosanitaire dans l'autre filière (150 gr /UF⁹⁸) compense ce désavantage. Nous n'avons pas poussé l'étude à ce

⁹⁸ 6 kg de produit phytosanitaire nécessaire par M3 (voir tableau 7, LCI) X 25 DM3 (UF)/1000 DCM3 = 150 grammes

stade car cela sort de notre question de recherche qui se concentre sur les aspects environnementaux.

Sur le plan environnemental, seules des considérations de type éco-toxicologiques, pourraient venir contrebalancer le choix de la filière traitement chimique. C'est ce que nous voyons à présent en revenant sur notre première hypothèse.

La première hypothèse était : *la nouvelle technologie- Bois modifié thermiquement- est plus respectueuse de l'environnement en ce qui concerne les aspects éco-toxicologiques que la filière traditionnelle de production de bois local (européen) traitée chimiquement (par autoclave) .*

Pour répondre à cette question, nous avons examiné d'abord l'impact environnemental pour le scénario bardage en épicea, traité thermiquement

- sur le plan des effluents lors du process de modification thermique
- et pendant la durée d'utilisation du bois sous forme de bardage

Nous répétons ici que les données en terme d'effluents que nous avons réunies peuvent être empreinte de subjectivité vu qu'elles viennent du constructeur lui-même. Mais nous n'avons pas trouvé d'autres sources.

- Les émissions lors du process de traitement thermiques sont de plusieurs ordres :
 - **Émissions par le bois de composés organiques volatils** dans la chambre de traitement thermique. Ces COV sont brûlés via injection des fumées dans la chaudière (au gaz, selon nos hypothèses et notre choix de la technologie Thermowood®). Celle-ci monte à des températures autour de 850° °et les COV sont totalement détruits avant que les fumées ne soient relâchées dans l'atmosphère. Il en va de même pour l'acide acétique et l'acide formique qui représentent la majorité des substances émises (outre la vapeur d'eau).
 - **Résidus solides dans la chambre de traitement thermique** : Ils sont en très faible quantité et sans danger pour l'environnement selon le constructeur. Nous n'avons pas pu obtenir plus de détail mais des exploitants de fours nous ont confirmé que ces résidus étaient infimes. Dans tous les cas ils sont récupérables et l'on pourrait parfaitement les détruire à haute température si cela s'avérait nécessaire.
 - **Eau résiduelle** : le process demande beaucoup d'eau. Il faut d'ailleurs noter que ce n'est probablement pas neutre sur le plan environnemental et économique dans des pays où celle-ci serait rare - ce qui n'est pas le cas pour la Finlande d'où vient la technologie. Il ressort du process 20 à 50 litres d'eau par M3 de bois traité à PH 3.5. essentiellement de l'acide acétique et formique, et aussi un peu de composés organiques (données sujettes à grande caution, comme mentionné en 4.2.1.). Cette eau résiduelle est souvent relâchée telle quelle dans le réseau qui part vers les centrales d'épuration.

Quelles sont nos conclusions ? Le fait que la chaudière monte à 850° et que les gaz de la chambre de traitement y soient réinjectés, avec destruction des COV et acides est un fait indiscutable selon nous. Nous sommes donc tout à fait rassurés sur ce point. Les résidus solides, de par la facilité de leur « récolte » et la possibilité de les détruire, ne sont pas un problème non plus, quand bien même ils seraient plus toxiques que ce que l'on nous prétend. Concernant l'eau résiduelle, nous nous appuyons sur l'avis du CTIB qui corrobore ce que dit le constructeur d'unité de traitement thermique : il n'y a pas d'impact de l'injection de cette eau sur le circuit de retraitement des stations d'épuration. Le PH bas n'influerait pas sur les gros systèmes, et les bactéries aérobies sont friandes de composés organiques.

- Pendant la durée d'utilisation du bois sous forme de bardage, le «taux de relâchage » de COV du bois est inférieur à du bois non traité thermiquement (à essence comparable). De plus, une terrasse étant par définition à l'extérieur, c'est un faux problème. Notons néanmoins la piste intéressante à creuser que le CTIB pointe pour du bois d'utilisation intérieur : Il faudrait idéalement évaluer scientifiquement si le traitement thermique ne produit pas l'apparition d'autres substances dangereuses non listées dans les listes de référence de COV .

Nous avons ensuite regardé l'impact éco-toxicologique de l'épicéa traité en autoclave, en prenant un produit phytosanitaire (insecticide + fongicide, habituellement utilisé à base de cuivre, (Tanalith, voir 4.2.2.))

En terme la dispersion du produit de traitement dans l'environnement pendant la durée de vie de son support, nous pouvons retenir que :

- Il y a des améliorations indéniables sur les normes toxicité des produits utilisés et leur rémanence. Beaucoup de substances ont été interdites. Il y a de meilleurs contrôles aussi.
- Au niveau de la fabrication de ces produits et de leur application sur le support (en autoclave), il existe une bonne maîtrise de la gestion des résidus et effluents, ceux-ci étant systématiquement détruits par incinération
- Lors de la durée de vie de leur support, en extérieur (ici bardage) :
 - Une plus grande quantité de COV est relâchée que pour du bois non traité chimiquement (coefficient C/N se modifie), mais cela ne pose pas de problème puisque on est en extérieur
 - Vu l'exposition aux intempéries, il y a des pertes par « lessivage », et par conséquence infiltrations de composés organiques et de cuivre dans le sol (si le produit en est composé).

Ce dernier point est celui sur lequel nous avons peu d'informations précises, certaines étant d'ailleurs considérées confidentielles par le CTIB. Celui-ci se montre néanmoins assez rassurant parlant de « 5%de perte »⁹⁹ sur la durée de vie du support, et de danger très faible pour les sols et les nappes phréatiques tant que les concentrations restent raisonnables. Néanmoins, ce point mérite réflexion et prudence, ainsi que des investigations ultérieures plus poussées que nous n'avons pas eu

⁹⁹ Donnée TRES approximative nous souligne le CTIB.

l'occasion de faire dans le cadre de ce travail qui couvrait déjà un périmètre très important. En particulier nous avons aussi posé la question du niveau relatif des impacts sur la santé humaine de produits et process qui rentrent dans les normes telles que définies par l'Europe. En d'autres mots, ce n'est pas parce que l'on répond aux normes que l'impact est inexistant, vu que ces normes sont elles-mêmes la conséquence de tractations face à des lobbies, et d'arbitrage en matière politique et économique.

Nous nous sommes enfin intéressés à la fin de vie du bois et deux points ont retenu notre attention :

- Au niveau des filières de recyclage, le tri « bois » se fait de façon très satisfaisante en Belgique. Il n'y a pas de distinction entre Classe A et B, tout étant traité comme classe B. La classe C, qui ne nous concerne pas ici, est traité à part.
- Traité comme classe B, le bois traité en autoclave (après plusieurs cycles probables de recyclage en panneaux agglomérés) termine sa vie en combustible pour valorisation énergétique dans des chaudières qui détruiront les composés organiques contenus dans les produits phytosanitaires. Seul le cuivre éventuel reste dans les cendres, celles-ci étant évacuées en décharge ad-hoc.

Sur base de tout ce qui précède, nous concluons, qu'indéniablement le bois modifié thermiquement a une empreinte éco-toxicologique beaucoup moindre que le bois traité en autoclave, mais, pour autant, juger de l'importance de l'impact négatif absolu sur l'environnement du bois traité chimiquement pour bardages est difficile à évaluer. Nous pensons qu'il faut probablement relativiser vu

- La valorisation sous forme énergétique assez « propre » du bois traité en fin de vie – ce qui en terme de quantité de produit phytosanitaire, représentait le plus gros danger pour l'environnement (car c'est dans le support que l'on trouve la quantité de produit résiduelle la plus importante par rapport à chaque étape de son cycle de vie).
- La façon satisfaisante, semble-t-il, dont les process de production de produits phytosanitaires et leur application sont organisés et tenus sous contrôle
- La définition et le contrôle des produits qui a beaucoup évolué. Cela implique que le lessivage du support ne relâche plus « que » des composés organiques et éventuellement du cuivre. Si cela a un impact sur l'environnement, tout est question de doses. Par la nature du phénomène d'infiltration et les quantités concernées celles-ci resteraient marginales. Ajoutons que seul le cuivre est rémanent, les composés organiques finissent par disparaître. Ce dernier point néanmoins reste un point d'attention pour investigations ultérieures.

Reste à tenter de répondre à la question que nous avons rajoutée au vu des résultats de ce travail : *Pour du bois de bardage, sur le plan environnemental, le poids plus impactant de la filière autoclave sur le plan éco-toxicologique justifierait-il de privilégier une filière à traitement thermique, alors que nous avons vu que cette dernière était beaucoup plus énergivore et avec une empreinte GES*

beaucoup plus élevée ?

Il est très difficile de répondre à cette question car nous comparons une partie de notre étude qui est quantitative (la partie empreinte énergétique et GES, via notre ACV), avec une partie plus qualitative (impact éco-toxicologique).

Pour faire avancer le débat, nous prendrons néanmoins le risque de faire la comparaison suivante, à prendre pour ce qu'elle vaut et, évidemment, basée sur des hypothèses parfois fortes liées aux scénarii choisis :

- Pour la filière thermique une unité fonctionnelle, correspondant à un M2 de surface de bardage, nécessite 20kwh de plus que l'autre filière. Ces 20 kwh sont de l'électricité à 65 % et du gaz à 35%¹⁰⁰
- Pour la filière autoclave, si l'on prend comme hypothèse
 - que le seul problème d'impact éco-toxicologique est le lessivage et les infiltrations qui en résultent dans le sol pendant la durée de vie du support (hypothèse forte, et selon laquelle toutes les autres « sorties » du produit phytosanitaire de la chaîne du cycle de vie sont totalement détruites, ce que nous avons décrit supra)
 - que le taux de perte par lessivage serait de 5% du total du produit injecté, sur la durée de vie totale du support (ce qui est un chiffre très approximatif qui nous été donné de l'aveu même de son auteur¹⁰¹)

Les « fuites » dans l'environnement de produit phytosanitaire seraient alors de 6kg/M3 divisé par 40 (soit 1000 DCM3/25DCM3 (25DCM3 est l'UF du bardage autoclavé), et multiplié par 5%, cela donne **7,5 grammes de produit phytosanitaires perdus** dans la nature par mètre carré de bardage.

Donc, par mètre carré de bardage : 7,5 grammes de composés organique et de cuivre à comparer à 20 kwh (65% mix électrique, 35% gaz)

Le produit phytosanitaire sont toxiques pour l'environnement, de façon non rémanente pour les composés organiques et rémanente pour le cuivre. Mais à partir de quelles doses ? Et, comme dit supra, il faut tenir compte que ces produits se sont améliorés, nous ne parlons plus d'arsenic ici.

Vu l'urgence de la problématique climatique et le gouffre en terme d'énergie entre les deux filières, nous pourrions être tenté d'être plus favorable pour la filière bardage traitée chimiquement, en tous cas tant qu'on utilise des essences de bois sans pré-séchage nécessaire. Mais cela nécessiterait plus d'investigation sur les doses « acceptables » de ces produits phytosanitaires pour les sols et les nappes phréatiques. Et à la fin, cela relèverait certainement d'un choix politique. Le lecteur, à qui nous espérons avoir donné les éléments de réflexion, se fera son avis.

¹⁰⁰ Les principaux postes différentiels du bardage traité thermiquement avec la filière chimique sont, pour rappel, pour le séchage, 13kwh d'électricité, pour le traitement thermique et 1,53 kwh d'électricité et 8,67 kwh de gaz. (voir tableau tableau 9 LCIA)

¹⁰¹ Les conclusions ici et le fait de choisir ces données pour les construire n'engage que nous.

6. Conclusions

Nous avons voulu évaluer l'opportunité de la filière de modification thermique de bois d'origine locale sur le plan environnemental, et cela comparativement à deux filières « classiques », le bois exotique importé et le bois d'origine local traité chimiquement. C'était le point central de notre question de recherche. Nous nous sommes concentrés sur deux produits : le bois de terrasse et le bois de bardage. Élément important, sur le plan de la production la filière est totalement absente en Belgique, et la Région Wallonne a la volonté politique de la voir se développer.

Pour cette évaluation,

- Nous avons donné un aperçu de ce qu'était la filière bois en Belgique, et avons essayé de mettre le focus sur le bois de construction extérieur en général et le marché des terrasses et bardages en particulier. Nous avons aussi tenté d'expliquer quels étaient les défis de la filière wallonne et pourquoi le bois modifié thermiquement pouvait représenter une opportunité pour celle-ci. Nous en avons profité pour donner quelques notions de base sur la filière bois telles que classes de durabilité, classe d'emploi..
- Nous avons expliqué ce qu'était la filière de traitement thermique du bois, ce qu'elle apportait sur le plan technique, ses points forts mais aussi les difficultés qu'elle pouvait engendrer. Le bois modifié thermiquement est plus hydrophobe et donc plus stable dimensionnellement, il acquiert plus de durabilité biologique, plus de dureté, une meilleure résistance à la compression et une couleur plus sombre. Mais il a également une moindre résistance à la flexion et est donc déconseillé comme bois de structure. Il est un peu plus contraignant en terme de mise en œuvre mais dans des proportions très raisonnables. Après avoir décrit les principes généraux du process de thermo-traitement et la nécessité de gérer de façon fine plusieurs paramètres clés, nous avons également brièvement décrit les principales différentes technologies en présence et avons mis le focus sur la technologie finlandaise Thermowood®.
Nous avons enfin souligné le fait que la technologie était jeune, du moins sur le plan de l'industrialisation et de sa commercialisation, ce qui avait pour conséquence que des questions restaient en suspens concernant la durabilité à long terme de celle-ci. Des études, au FCBA par exemple, toujours en cours. Dans nos pays, en France en particulier, des démarches sont en cours pour une éventuelle labellisation ce qui devrait apporter un coup de pouce au secteur sur le plan commercial.
- Nous avons construit des scénarii afin de répondre le plus concrètement possible à notre question de recherche et aux hypothèses sous-jacentes en examinant les filières pour les comparer :

- à travers une ACV dite « rough » visant à comparer les empreintes énergétiques et gaz à effet de serre – une ACV qui porte donc sur les étapes de process **différentielles** entre les filières.
- et à travers une analyse qualitative de l'impact éco-toxicologique du traitement thermique versus traitement chimique (autoclave).

Les scénarii, comparés deux à deux pour l'ACV étaient :

- La production de terrasse à partir de bois feuillus pour deux filières : frêne d'origine locale traité thermiquement et ipé importé du Brésil
 - La production de bardage à partir de bois résineux d'origine local pour deux filières : Epicéa traité thermiquement et épicea traité chimiquement (en autoclave). La Wallonie est un grand producteur de ce résineux
- Enfin, nous sommes passés à l'étude proprement dite : l'ACV avec ses étapes principales : goal and scope, life cycle inventory, life cycle impact assessment, et interprétation, ainsi que l'étude qualitative sur le plan éco-toxicologique.

Nous revenons sur les limites de ce travail : nous pensons avoir couvert un champ extrêmement vaste et ambitieux pour un travail de fin d'étude. Pour garder un périmètre gérable et un modèle réalisable, nous avons dû décider de mettre le focus sur des scénarii particuliers. Ces scénarii ont fait l'objet

- de choix volontaristes (type de technologie et sources d'énergie utilisées lors des différentes phases de process, type d'essence de bois, pays d'origine pour le bois importé ...)
- ainsi que d'hypothèses fortes (distances de transport, matériaux retenus pour les énergies grises d'équipement, simplification de certaines réalités dans les étapes du cycle de vie...)

Nous sommes tout à fait conscient que cela a influé énormément sur la façon dont le modèle se comporte et les enseignements et conclusions qu'on peut tirer de ce travail. A cela s'ajoute la fiabilité de certaines sources qui peut être questionnée (e.a. ce qui provient du constructeur d'unité de traitement thermique lui-même, mais aussi des données plus « politiques », comme en matière éco-toxicologique) ainsi que certaines approximations, parfois pour des raisons volontaires, souvent pour des raisons de difficulté d'accès (Rappelons que la technologie est encore peu développée)..

Mais nous avons chaque fois prévenu le lecteur lorsque nous avons fait ces choix volontaristes et hypothèses fortes ou lorsque certaines sources étaient approximatives. Nous avons aussi essayé de montrer les éléments sur lesquels le modèle était sensible versus ceux qui n'influent pas ou très peu car participant de façon anecdotique aux résultats. **Et nous insistons sur le fait que ce travail reste avant tout un exercice de style, permettant d'aborder un domaine assez neuf et innovateur, de raisonner et de comprendre quels en sont les tenants et aboutissants, de se poser les bonnes questions et de relativiser les résultats plutôt que de prendre les conclusions comme vérités indiscutables, alors qu'elles sont basées sur un modèle et une démarche dont les périmètres sont par définition limités et imparfaits.**

Nous avons finalement conclu en répondant à la question de recherche et en questionnant et répondant aux hypothèses que nous avons posées.

Pour le marché des terrasses, scénarii bois feuillu (frêne local – ipé brésilien), le bois modifié thermiquement a une consommation énergétique et une empreinte GES plus élevée que le bois exotique. Pour la filière thermique locale, si nous avons montré que le traitement thermique est énergivore, la surprise vient peut être du fait que le poste de consommation énergétique le plus important - dans notre étude comparative des deux filières - est le pré-séchage du bois nécessaire avant de le rentrer dans le four de traitement thermique.

Sur base des hypothèses que nous avons posées, pré-séchage et traitement thermique proprement dit représentent ensemble une consommation et une empreinte GES plus élevée par unité fonctionnelle que le transport de l'ipé du lieu de coupe au Brésil à l'importateur en Belgique. Ce dernier représente l'essentiel de l'empreinte énergétique et GES de cette deuxième filière

Mais nous avons également montré la sensibilité du modèle aux hypothèses de distance et mode de transport (fluvial/pistes et routes) entre lieu de coupe au Brésil et port d'embarquement hauturier. Et démontré que ces résultats pouvaient facilement s'inverser au bénéfice de la filière locale thermique si ces distances s'allongeaient.

Par ailleurs le modèle montre aussi une grande sensibilité de la filière thermique pour le type d'énergie retenue pour la phase pré-séchage. Nous avons retenu l'électricité, avec une grosse empreinte GES, mais les résultats changent si nous retenons des sources d'énergie moins émettrices de GES.

Nous avons également exposés quelques arguments environnementaux d'ordre politiques et économiques, en particulier l'aberration de vouloir exploiter toujours plus loin dans la forêt primaire une ressource comme l'ipé qui met 150 ans à pousser.

Et nous avons dès lors conclu que la filière thermique, pour de la production de lames de terrasse en frêne, est plus avantageuse sur le plan environnemental et a dès lors l'opportunité de concurrencer, de façon de plus en plus efficace au fil du temps, la filière ipé de bois exotique importé. Et, espérons le, un jour de la supplanter.

Pour le marché du bardage, scénarii de bois résineux local (épicéa), il apparaît que la filière thermique présente un désavantage énorme en matière de comparaison de consommation énergétique et empreinte GES par rapport à la filière de traitement chimique par autoclave (d'un facteur 7) .

Cela est essentiellement dû au fait que la filière autoclave, pour l'épicéa, ne nécessite pas de pré-séchage et qu'elle est donc très peu énergivore. 75% de l'énergie de cette filière est représentée par l'énergie incorporée (grise) des produits phytosanitaires. Face à la consommation énergétique et à l'empreinte GES de la filière thermique pour les phases pré-séchage et traitement thermique, la filière chimique est donc très lourdement avantagée.

Nous avons néanmoins attiré l'attention du lecteur sur le fait qu'en fonction du type d'essence de bois traitée, un pré-séchage peut souvent être nécessaire avant passage en autoclave, ce qui rajoute

alors des kwh au process et modifierait les résultats (mais on serait loin d'inverser le rapport entre les deux filières néanmoins).

S'en est suivi un débat lors duquel nous avons conclu que la filière de bardage épicea thermo-traitée nous semblait peu susceptible de concurrencer la filière autoclave et cela pour des raisons environnementales (émissions de GES). Le seul argument qui pourrait modifier le choix d'un décideur pour investir dans la filière thermique (à part des raisons purement idéologiques) serait l'impact éco-toxicologique de la filière chimique, si celle-ci s'avérait catastrophique pour l'homme et l'environnement.

Sur ce dernier point, le traitement autoclave, nous avons examiné la façon dont les produits phytosanitaires pouvaient impacter l'environnement, quels étaient leurs potentiels de « fuite » dans celui-ci, et avec quel risque d'impact. Et nous avons conclu :

- que la façon dont le bois est traité en fin de vie est acceptable pour l'environnement, alors que c'est cette étape du cycle de vie qui représentait le danger potentiel plus gros pour l'environnement.
- La façon dont la production de produits phytosanitaires et leur application sont organisés semble bien maîtrisée en terme d'effluents.
- La question qui restait ouverte concernait le « lessivage » par les intempéries du support (ici le bardage, mais ce serait aussi vrai pour des terrasses) en cours de durée de vie. Nous avons vu, en très grosse approximation que cela représentait des quantités très faibles de produit qui se sont beaucoup améliorés ces dernières années (normes et contrôles beaucoup plus strictes). Le risque était de voir des sols contaminés par des composés organiques (non rémanents mais certains ont une durée de demi vie longue) et du cuivre (rémanent). Le débat qui s'en suivait était : à quelles doses est-ce acceptable, avec quel impact ?

Nous avons terminé la discussion en osant une comparaison, par unité fonctionnelle de bardage, entre

- Kilowatts heure supplémentaires nécessaires pour le traitement thermique
- et quantité de produit phytosanitaire pouvant se disséminer dans le sol pour le traitement autoclave.

Nous laissons au lecteur le soin de comparer et d'apprécier ces deux valeurs : pour un mètre carré de bardage, ce à quoi correspondait notre unité fonctionnelle, 20kwh d'électricité du côté filière thermique contre 7,5 grammes de produit phytosanitaire, type Tanalyth (Cu + composés organiques), côté filière chimique.

Quant à nous, nous reconnaissons que le volet éco-toxicologique nécessiterait plus d'investigation sur le plan de l'impact du lessivage et des infiltrations. Néanmoins sur base de nos hypothèses, nous émettons des doutes que, ces 7,5 grammes de produits phytosanitaire puissent justifier l'avènement de la filière thermique en bardage résineux qui consomme 20kwh de plus (dont 65% en électricité selon nos hypothèses). Et ce même en ne regardant que purement le volet environnemental, en abstraction du volet économique qui mériterait une étude en tant que telle.

7. Bibliographie

Classement par ordre alphabétique du nom de l'auteur :

- Avat F, 1993, « Contribution à l'étude des traitements thermiques du bois jusqu'à 300°C : Transformations chimiques et caractérisations physico-chimiques » , Mémoire Ecole des Mines de Saint Etienne
- Bengt E, 2000 « Environmental Damage Wood Surface Treatment » EU-project ENV4 CT-98-0796
- Boonstra Michiel, 2008, «A two stage thermal modification of wood”, Universiteit Gent
- Bull A. , Hawkxwort D.L., 2006, « Forest diversity and management », Topics of biodiversity and Management Introduction, vol 2
- Chanrion P et Schreiber J - CTBA, 2002, “Bois traité par haute température »
- Curran Mary-Ann, 2012, “Life cycle assessment handbook: a guide for environmentally sustainable products”, e-book.
- Demaz Tsayem, , 2008, “Quand le développement prime sur le l'environnement : la déforestation en Amazonie brésilienne », Mondes en Développement, vol 143, N°3
- Di Stasio, Lucia, 2010, « Aspects socio-économiques et environnementaux de l'utilisation des bois indigènes dans la construction : alternative aux bois tropicaux importés », Mémoire IGEAT.
- Dudley N, 2005 “Impact of forest loss and degradation on biodiversity” chapter 3 of the book “ Forest restoration and landscapes”
- Foerste E, 2006, “ Some wood treatments have environmental consequences”, Orlando Sentinel.
- Frère H., 2013, « Qu'il est loin le temps du chalet en bois », Article Le Soir
- Frère H, 2013, « La Belgique doit être fière de sa filière bois », Article Le Soir
- Goyer C, 1998, “Evaluation des incidences environnementales du recyclage et de la valorisation énergétique du bois traité », Mémoire Ecole Polytechnique Université de Montréal
- Hedmark A, Scholz M, 2008, “Review of environmental effects and treatments of runoff from storage and handling of wood”, Bioresource technology, vol 99
- Huart M., 2012-2013, Cours “Energie et environnement”, Faculté des sciences, Université libre de Bruxelles

- Jolliet O, Crettaz P, Saadé M, 2005, « Analyse du cycle de vie : Comprendre et réaliser un écobilan », Shaked, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Mac Kay D. ,2011, “L’énergie durable, pas que du vent » E- Book version 3.5.2,
- Mawdsley N, 1996, “Biodiversity loss on ecosystem function in Tropical Forest”, N, Trends in ecology and evolution.
- Mench M, Bes C, 2009, “Assessment of ecotoxicity of top soils from a wood treatment” Pedosphere, vol 19, N°2
- Militz H, Hill C., 2005, “ Wood modification: process, properties and commercialization”, report of the second conference on wood modification
- Nguila Inari G., 2008, “Contribution à la compréhension des modifications moléculaires iterevnant lors du traitement thermique du bois – Effet sur la réactivité chimique et sur la durabilité du matériau”, Thèse, Nancy Université
- Parviz N, Heger F., 2005, “Comportement thermo-hydromécanique du bois , Presses polytechniques et universitaires romandes
- Rebuffoni D., Schmickle S, Writers S., 1992, “Loss of Tropical Forest leads to loss of biodiversity”, Star Tribune.
- Repellin V, 2006, « Optimisation des paramètres durée et température d'un traitement thermique du bois. Modifications des propriétés d'usage du bois en relation avec les modifications physico-chimiques et ultrastructurales occasionnées par le traitement thermique » Mémoire
- Townsend, 2006, «Environmental impacts of treated wood », G Staff, e-book.

Auteurs non identifiés (classement par date du plus récent au plus ancien) :

- 2013, “Evaluation, processing, and predicting of THM treated wood behavior by experimental and numerical methods” ” European Cooperation in science and technology Workshop report “COST action FP0904 “.
- 2012,2013, « Panorabois » Office économique Wallon du bois.
- 2012, “Toxicity of building materials”, Architecture Methods and Materials, e-book
- 2012, “Current and future trends of thermo-hydro-“mechanical modification of wood. Opportunities for new markets?” European Cooperation in science and technology, workshop

report "Cost action FP09043".

- 2012, "Toward a life cycle sustainability assessment", UNEP Report
- 2012, « Les déchets du bois », fiche UCM
- 2011, "Mechano-chemical transformations of wood during THM processing" European Cooperation in science and technology Workshop report "COST action FP0904".
- 2010, Institute for environment and sustainability « ILCD Handbook », Join Research Center, European Commission.
- 2008, "Sustainability through new technologies for enhanced wood durability", European Cooperation in science and technology, conference report « Cost action E37 »
- 2004 « Traitement phytosanitaire du bois par chauffage à cœur », Article EPPO Bulletin.
- 2004, "Forest conservation policy: a reference handbook", contemporary world issue
- 2003, "Thermowood Handbook" Finish Thermowood association
- 1998, "Life Cycle Assessment – a guide to approaches, experience and information sources", European Environment Agency
- 1996, "Breakfast of biodiversity: the truth about rain forest destruction", Choice review online, vol 33

Principaux sites internet de référence (par ordre alphabétique):

- CTIB, Centre technique belge de la transformation du bois et de l'ameublement : <http://www.ctib-tchn.be/>
- ELCD (European reference Life Cycle Database) website: <http://eplca.jrc.ec.europa.eu>
- FCBA, Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement : www.fcba.fr
- Fédération belge du commerce d'importation bois : www.houtimportbois.be
- Happax: <http://www.happax.net/conseils/materiaux-terrasse/essence-de-bois/>
- Houtinfobois : www.houtinfobois.be
- Intercommunale du Brabant Wallon : www.ibw.be
- Ministère du développement durable et de l'environnement, Québec , <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/air/cov/index.htm>
- Office Wallon des déchets (SPW, Portail environnement) : www.environnement.wallonie.be
- Société Royale forestière de Belgique www.srfb.be
- Wikipedia : www.fr.wikipedia.org
- Woodforum: <http://www.woodforum.be/>

Annexe: détails des calculs du tableau 9 - LCIA				Par unité fonctionnelle (UF)
				Rappel UF: Terrasse frêne BMT:33 DCM3, Terrasse Ipé: 26 DCM3, Bardage épicea BMT: 25,5 DCM3 et bardage épicea traité chimiquement 25DCM3
Phase du process (voir tableau LCIA)	Calcul: Etape 1	Calcul: Etape 2	Calcul: Etape 3	Résultat
Réf (1) Energie grise séchoir	Acier: 2,82 M3 X 8000 kg /M3 X 3,25 kwh/kg = 73320 kwh Polyuréthane: 28,2M3 X 620 kwh/M3 = 17484 kwh => total = 90804 kwh	Durée de vie séchoir = 20 ans, Capacité séchoir = 300 M3 de bois , un cycle = 3 jours en moyenne pour résineux et 3 semaines pour feuillus et hypoth fonctionnement à 80% => volume produit sur durée de vie séchoir = 365 j/3j X 80% X 300 M3 X 20 ans= 584 000 M3 pour résineux et 7 X mois soit 83428 M3 pour feuillus.	Résineux 90804 kwh/ 584000= 0,155 kwh /M3. feuillus: 90804kwh/ 83428 = 1,088kwh/M3	Pour terrasse frêne BMT: 33/1000 X1,088 = 0,036 kwh /UF. Pour bardage épicea BMT: 25,5/1000 X 0,155= 0,004 kwh
Réf (2) Consommation électrique séchoir	Frêne séché à 12% : 800 kwh/M3 et epicea séché à 510 kwh/M3			Pour terrasse frêne BMT: 33/1000 X 800= 26,40 kwh /UF. Pour badrage épicea BMT: 25,5/1000 X 510= 13,00 kwh/UF
Réf (3): manutention, chargement et déchargement four séchage	6 min par mouvement chargement et déchargement à 6,5 l de diesel à l'heure= 0,65 l/mouvement	1, 5 M3 traité par mouvement => 0,65l/1,5 M3 = 0,433 l par M3	0,433l /M3 X 10kwh /l= 4,33 kwh/M3	Pour terrasse frêne BMT: 33/1000 X 4,33= 0,143kwh /UF. Pour badrage épicea BMT: 25,5/1000 X 4,33= 0,110 kwh/UF
Réf (4) Transport camion scierie - site de production	0,75 kwh par tonne et km sur 50 km, densité frêne = 700 kg/M3 et densité épicea = 450 kg/M3 => Frêne= 0,75 X700/1000X 50 = 26,25 kwh/M3 Epicea =0,75 X 450/1000 X 50 = 16,87 kwh/M3			Pour terrasse frêne BMT: 33/1000 X 26,25= 0,866kwh /UF. Pour bardage épicea BMT: 25,5/1000 X 16,87 = 0,430 kwh/UF. Pour Bardage épicea traité chimiquement 25/1000 X 16,87 = 0,422 kwh/UF
Réf (5) Transport Camion Scierie- Port embarquement Brésil	Transport fluvial (barge): 0,086 kwh par tonne et km sur 500 km, densité ipé = 1050kg /M3 => 0,086 X1050/1000 X 500= 45,15 kwh/M3 Ipé. Camion: 0,75 kwh par tonne et km sur 500 km, densité ipé = 1050kg /M3 => 0,75 X1050/1000 X 500= 394 kwh/M3 Ipé	Total transport entre lieu de coupe et port d'embarquement (Belem): 45 kwh + 394 kwh= 439 kwh/M3 Ipé		Pour terrasse Ipé: 26/1000 X 439 kwh = 11,41kwh/UF
Réf (6) Manutention: chargement bateau Belem	Pour 80 M3 (un container) : Chargement Grue portique = 3,5 kwh/move + straddle carrier 2,1 l de diesel/ move (= 21 kwh) => total = 24,5 kwh pour 80 M3	soit 24,5 kwh/80M3 = 0,306 kwh /M3		Pour terrasse Ipé: 26/1000 X 0,306 kwh = 0,008 kwh/UF
Réf (7)Transport Maritime Brésil - Belgique	Distance: 8700 km, Densité Ipé 1050kg /M3, transport maritime = 0,056 kwh /tonne et km => 1050kg/1000 X 0,056 X 8700 =511 kwh /M3			Pour terrasse Ipé: 26/1000 X 511 kwh = 13,286 kwh/UF
Réf (8) Manutention: déchargement bateau Anvers	Pour 80 M3 (un container) : Chargement Grue portique = 3,5 kwh/move + straddle carrier 2,1 l de diesel/ move (= 21 kwh) => total = 24,5 kwh pour 80 M3	soit 24,5 kwh/80M3 = 0,306 kwh /M3		Pour terrasse Ipé: 26/1000 X 0,306 kwh = 0,008 kwh/UF
Réf (9) énergie grise four traitement thermique	Inox 10000 kg X 7,47 kwh= 74700 kwh, Laine de roche 1000 kg X 22,3kwh= 22300kwh et divers matériaux 5000 kg X 10 kwh = 50000 kwh => total = 147000kwh	Durée de vie four traitement thermique = 20 ans, Capacité = 20 M3 de bois effectivement traité , un cycle = 2 jours en moyenne et hypoth fonctionnement à 80% => volume produit sur durée de vie four = 365 jours/2 X 80%X 20M3 X 20 ans= 58400M3	147000 kwh/58400 m3 = 2,52 kwh/M3	Pour terrasse frêne BMT: 33/1000 X 2,52= 0,083kwh /UF. Pour bardage épicea BMT: 25,5/1000 X 2,52= 0,064 kwh/UF
Réf (10) énergie grise réacteur autoclave	Acier: 2,7 M3 X 8000 kg X 3,25 kwh/kg = 70200 kwh	Durée de vie unité autoclave: 20 ans . 300 M3 traité par an soit un total de 20 X 300 M3 = 6000 M3 sur la durée de vie de l'unité	70200 kwh / 6000M3 = 11,7kwh/M3	Pour bardage épicea traité chimiquement: 25/1000 X 11,7 = 0,292kwh/UF
Réf (11) Consommation gaz four traitement thermique	Frêne 406 kwh/M3 et épicea 340kwh/M3			Pour terrasse frêne BMT: 33/1000 X 406= 13,390 kwh /UF. Pour bardage épicea BMT: 25,5/1000 X 340= 8,670 kwh/UF
Réf (12) Consommation électricité four traitement thermique	Frêne 72 kwh/M3 et épicea 60kwh/M3			Pour terrasse frêne BMT: 33/1000 X 72= 2,370 kwh /UF. Pour badrage épicea BMT: 25,5/1000 X 60= 1,530 kwh/UF
Réf (13) Consommation électricité réacteur autoclave	45kwh /cycle de 10M3 de capacité = 4, 5 kwh/M3			Pour bardage épicea traité chimiquement: 25/1000 X 4,5= 0,113 kwh/UF
Réf (14) Energie grise produit traitement chimique	6kg/M3 X 14,05 kwh/kg = 84,3 kwh /m3			Pour bardage épicea traité chimiquement: 25/1000 X 84,3= 2,107kwh/UF
Réf (15): manutention, chargement et déchargement four traitement thermique	6 min par mouvement chargement et déchargement à 6,5 l de diesel à l'heure= 0,65 l/mouvement	1, 5 M3 traité par mouvement => 0,65l/1,5 M3 = 0,433 l par M3	0,433l /M3 X 10kwh /l= 4,33 kwh/M3	Pour terrasse frêne BMT: 33/1000 X 4,33= 0,143kwh /UF. Pour bardage épicea BMT: 25,5/1000 X 4,33= 0,110 kwh/UF
Réf (16): manutention, chargement et déchargement réacteur autoclave	6 min par mouvement chargement et déchargement à 6,5 l de diesel à l'heure= 0,65 l/mouvement	1, 5 M3 traité par mouvement => 0,65l/1,5 M3 = 0,433 l par M3	0,433l /M3 X 10kwh /l= 4,33 kwh/M3	Pour bardage épicea traité chimiquement: 25/1000 X 4,33= 0,108 kwh/UF
Réf (17) Transport camion Port Anvers- Importateur (Courtrai)	Distance: 115 km, Densité Ipé 1050kg /M3, transport camion = 0,75kwh /tonne et km => 1050kg/1000 X 0,75X 115 =90,56 kwh/M3			Pour terrasse Ipé: 26/1000 X 90,56 kwh = 2,354 kwh/UF
Réf (18) Mise en oeuvre	Pour Terrasse frêne modifié thermiquement: 0,485 kwh/M2, bardage épicea modifié thermiquement: 0250 kwh/M2, Terrasse Ipé: 0,360 kwh/M2, Bardage épicea autoclavé: 0,250kwh/M2 (voir justif. tableau LCI annexe 1)			L'épaisseur de la lame de bois n'influe pas sur le travail (hypothèse) =>1 M2 = UF, soit: Frêne Traité therm.= 0, 485 kwh/UF, bardage épicea modifié therm: 0250 kwh/UF, Terrasse Ipé: 0,360 kwh/UF, Bardage épicea autoclavé: 0,250kwh/UF