

Optimisation du recyclage matière et de la valorisation énergétique des déchets de bois dans différentes chaînes de valeur

Optimisation of material recycling and energy recovery from waste
and demolition wood in different value chains

DEMOWOOD

Rapport final
30 avril 2014

FCBA

10, Avenue de Saint Mandé – 75012 Paris

Coordinateur et Chef de Projet : Gérard Deroubaix

Date de début du contrat : décembre 2010

Durée du projet : 41 mois

Organismes financeurs: cadre du Programme WoodWisdom-Net, Appel à Projets 2010

- Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire : convention n° E 30/2010 (du 7/12/2010)

- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement : Programme 135 – BOP 135 SOC – Unité Opérationnelle 91907501 ; convention n° P10.35 / 0000686 (notifiée le 20/12/2010)

N. Réf FCBA / Projet n°B00613



Sommaire

1.	Présentation du projet DEMOWOOD	4
1.1	Contexte, état de l'art et objectifs	4
1.2	Objectifs.....	4
1.3	Partenariat, financement et organisation.....	5
2.	Gestion du projet.....	7
3.	Etat des lieux de la gestion des déchets bois (WP1)	8
3.1	Méthodologie pour l'analyse du gisement et de la gestion des déchets de bois -	8
3.1.1.	Champ de l'étude et définitions.....	8
	La première action a consisté à définir le champ de l'étude DEMOWOOD.....	8
3.1.2.	Gisement des déchets de bois.....	9
3.1.3.	Méthodologie de caractérisation des déchets de bois : contaminants potentiels dans les bois usagés.....	14
3.2.	Analyse des sources de déchets bois et des pratiques de gestion dans les pays participants (DL WP1.2).....	21
3.2.1.	Influence des choix méthodologiques.....	21
	Conclusions.....	21
	Marché potentiel français	22
	Estimation à l'échelle européenne.....	23
3.2.2.	Systèmes de gestion des déchets de bois.....	25
3.3.	Estimations et propositions pour une harmonisation de la classification et un système d'observation (DL WP1.3).....	33
3.3.1.	Les limites d'une approche générique	33
3.3.2.	Recommandations.....	35
4.	Technologies de détection rapide et de tri (WP2)	37
4.1.	Livrables du WP2 :.....	37
4.2.	Résumé des travaux du WP2.....	37
4.2.1.	Technologies de détection et de tri.....	37
4.2.2.	Spécifications et cahiers des charges des différentes filières utilisatrices.....	40
4.2.3.	Principes de classification.....	42
4.2.4.	Stratégies de tri	43
5.	Production de pâte mécanique (WP3).....	44
5.1	Objectifs.....	44
5.2	Résultats.....	44
5.3	Conclusion et perspectives	46
6.	Production de panneaux (WP4).....	47
6.1	Objectifs.....	47
6.2.	Tests de fabrication de panneaux de particules avec des déchets de cadres de fenêtre issus de démolition (50%), après préparation du matériau.....	47
6.3.	Utilisation de panneaux de particules usagés	48
6.4.	Utilisation de déchets de bois tout venant non triés, triés et purifiés.....	48
7.	Energie et bio-combustibles (WP5)	52
7.1.	Objectifs.....	52
7.2	Manipulation des combustibles et fonctionnement de la chaudière	52
7.3	Emissions de combustion	52
7.4.	Production d'éthanol par procédé biotechnologique :.....	53
8.	Evaluation technique, économique, logistique et environnementale (WP6)	55
8.1.	Objectifs.....	55
8.2.	Concepts de valorisation.....	55
8.3.	Evaluations environnementale et économique du tri et de la logistique.....	58
8.4.	Evaluation économique du développement des filières de valorisation	60

8.4.1. Méthodologie d'évaluation des concepts.....	60
8.4.2. Conclusions générales	61
8.5. Evaluation environnementale du développement des filières de valorisation	61
8.5.1. Evaluation environnementale du concept CHP (Cogénération chaleur-électricité)	62
8.5.2. Evaluation environnementale du concept fabrication de panneaux de particules.....	64
8.5.3. Evaluation environnementale du concept Ethanol	65
8.5.4. Conclusion sur la pertinence environnementale des scénarios de valorisation des bois récupérés.....	67
8.5.5. Comparaison environnementale des filières de valorisation	67
9. Diffusion des résultats et communication (WP7)	71
10. Conclusions.....	74
ANNEXE : Rapport du Centre Technique du Papier.....	76

1. Présentation du projet DEMOWOOD

1.1 Contexte, état de l'art et objectifs

Des estimations de l'UNECE évaluent à plus de 50 millions de m³ équivalent bois ronds par an, la quantité de déchets de produits bois en fin de vie non valorisés dans 27 pays européens. Cela constitue donc, après la forêt, la seconde source potentielle de bois pour les demandes des marchés; qu'il s'agisse de matériaux d'origine biologique ou d'énergie biomasse, ces demandes sont croissantes et pour ce qui concerne l'énergie, fortement soutenues par les politiques de développement des énergies renouvelables.

Si le recyclage des déchets bois en panneaux de particules ou en combustible est couramment pratiqué notamment pour les bois issus de l'emballage (emballages légers ou palettes), allant jusqu'à représenter 30 % de la matière première de fabrication des panneaux dans certains pays, la valorisation énergétique des déchets issus du bâtiment ou des meubles en fin de vie est dans certains pays plus limitée et dépendante de la nature des installations et des réglementations nationales. Les obstacles techniques et réglementaires à une plus large utilisation de cette « matière première secondaire » sont principalement la méconnaissance:

- des contaminants effectivement présents dans ces déchets
- des capacités de détection et de tri permettant de produire différentes qualités de matières récupérées répondant à des cahiers des charges précis
- des possibilités effectives d'utilisation (ou d'extension d'utilisation) de ces qualités de matières récupérées dans les processus de fabrication de la pâte à papier, des panneaux de particules et des combustibles biomasse solides ou liquides.

FCBA, en partenariat avec des organismes de recherche et des entreprises des secteurs de la gestion des déchets, de la pâte à papier, du panneau de bois reconstitué et producteurs d'énergie a élaboré un programme d'étude visant à développer significativement la valorisation des déchets de produits bois en fin de vie (déchets du bâtiment et de l'ameublement) dans les filières pâte à papier, panneaux de particules et énergie. Les bénéfices attendus de ces évolutions seraient, outre une meilleure valorisation économique de ces déchets, une économie de la ressource forestière, une réduction des impacts de leur élimination actuelle (mise en décharge, incinération, brûlage).

1.2 Objectifs

Les objectifs techniques sont les suivants :

- Mieux connaître les pratiques actuelles de gestion, tri et valorisation des déchets de bois, estimer plus précisément les enjeux en quantités et les contaminants
- Recenser les technologies existantes de détection de contaminants et de tri des déchets bois et voir leur adéquation avec les exigences techniques du recyclage en pâte, panneaux et combustible: déterminer les besoins de développements technologiques
- Tester l'utilisation d'une certaine qualité de matière issue du tri des déchets bois en production de pâte thermomécanique et proposer un cahier des charges matière
- Tester l'utilisation de qualités de déchets bois non utilisées à ce jour en fabrication de panneaux de particules, en mettant en œuvre de nouvelles méthodes d'épuration de la matière

- Evaluer la capacité à produire des combustibles solides et liquides répondant à différentes spécifications à partir des produits du tri des déchets de bois.
- Evaluer la performance et les bénéfices économiques et environnementaux de scénarios de valorisation basés sur les conclusions des travaux précédents

L'objectif stratégique est de développer significativement la valorisation des déchets de produits bois en fin de vie (déchets du bâtiment et de l'ameublement) dans les filières pâte à papier, panneaux de particules et énergie

1.3 Partenariat, financement et organisation

Ce projet est porté par un partenariat franco-germano-finlandais que le réseau de financement de recherche « Wood Wisdom Net » a accepté de soutenir financièrement. Les organismes financeurs français sont: Le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt, le Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie et le CODIFAB (Comité professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois), Secteur Bois.

Le partenariat est le suivant :

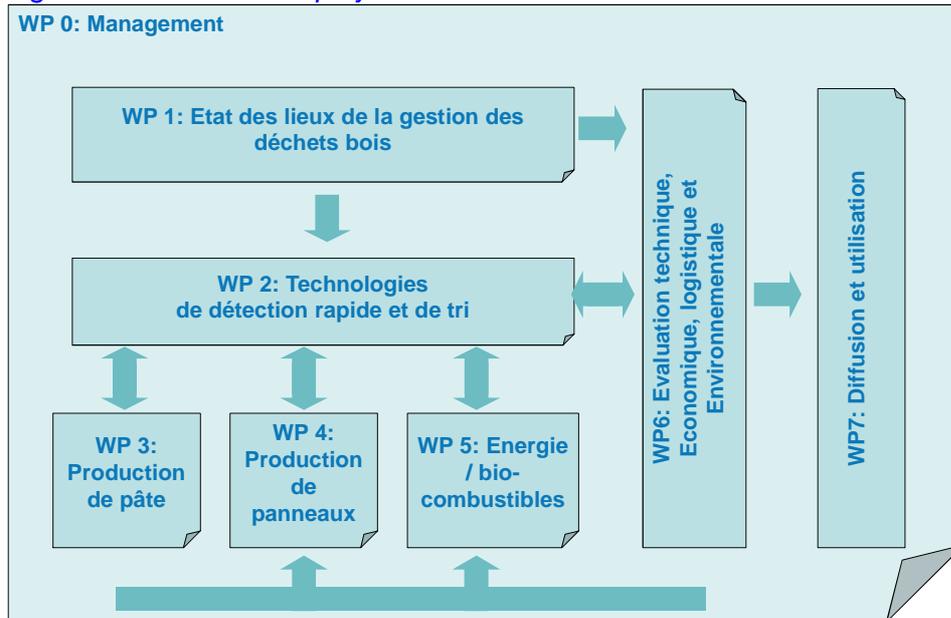
Allemagne :	Instituts : PTS, WKI Entreprises industrielles : Entsorgungstechnik Bavaria, Schumann-Analytics, Pfeleiderer Holzwerkstoffe, TiTech, RTT Steinert
France :	Instituts : FCBA, CTP Entreprises industrielles : SITA, Veolia, Norske Skog Golbey
Finlande :	Instituts : VTT Entreprises industrielles : Lassila & Tikanoja (L&T), Finnish Wood Research (FWR)

La durée prévue du projet est de 3 ans : Janvier. 2011 – Janvier 2014. Afin de permettre de réaliser une restitution sous forme d'une conférence finale sur le salon IFAT en mai 2014, le délai de réalisation a été allongé de 5 mois, sur la base d'une demande faite en 2013 auprès de WoodWisdom Net et des organisations de financement nationales.

Le budget total est de 1820 k€, avec un financement publique total de 910 k€.

La structure du projet est indiquée sur le schéma ci-dessous :

Figure 1 – Structure du projet DEMOWOOD



FCBA est coordinateur de ce projet ; il est fortement impliqué dans plusieurs « work packages » (WP) :

WP1 : Etat des lieux de la gestion des déchets : coordination FCBA

WP6 : Evaluation technique, économique, logistique et environnementale

Il intervient également de manière plus modeste dans les autres work packages :

WP2 : Technologies de détection rapide et de tri : suivi et orientation des travaux ; contributions sur les cahiers des charges des secteurs utilisateurs de déchets bois

WP4 : Production de panneaux

WP5 : Energie et bio-combustibles

Il co-anime également avec PTS, la partie diffusion des résultats et communication.

VEOLIA coordonne le WP2 ; CTP le WP3 ; WKI le WP4 et VTT coordonne les WP5 et 6.

Les partenaires industriels interviennent selon leurs compétences dans les différents WPs.

2. Gestion du projet

L'ensemble des partenaires de DEMOWOOD ont signé un « Consortium Agreement » (CA), qui définit les règles de gestion du projet des partenaires: quelques éléments essentiels sont détaillés ci-après.

Une assemblée générale (AG) est constituée par les représentants de chacun de ces partenaires; cette AG est l'organe de décision du projet, qui ont chacun une voix en cas de vote.

FCBA, en tant que coordinateur, est l'intermédiaire entre les partenaires et le réseau WoodWisdom-Net et doit remplir les tâches de gestion et d'animation prévues par le CA. Le projet est suivi par Mme Kristina Gross (PTJ – Allemagne), en tant qu'observateur du réseau WoodWisdom-Net.

La « Management Support Team » (groupe des coordinateurs de WP) appuie l'AG et le coordinateur dans leurs missions de gestion du projet.

Le coordinateur préside et anime les réunions de l'AG. Les partenaires s'engagent à appliquer les décisions prise par l'AG. FCBA a donc organisé des réunions ordinaires de l'AG tous les 6 mois de février 2011 à janvier 2014

L'assemblée générale ne pouvait délibérer et décider que si les deux tiers des membres sont présents ou représentés (quorum). Les décisions étaient prises à une majorité des deux tiers. L'AG ne pouvait cependant modifier les financements ou augmenter la charge de travail d'un partenaire sans son consentement explicite; la réorientation de la recherche ne pouvait être décidée sans l'accord des partenaires et des organismes financeurs.

L'AG pouvait prendre des décisions sur les sujets suivants: contenu du projet, financement et propriété intellectuelle

- (a) Propositions de modifications du document descriptif des travaux, sous réserve d'acceptation par les organismes financeurs
- (b) Propositions de modifications du consortium et de son budget, sous réserve d'acceptation par les organismes financeurs

Dans le cadre de sa responsabilité de coordination du projet, FCBA a donc établi ce consortium agreement et l'a fait signer par les partenaires.

Il a supervisé le travail des partenaires tel que prévu dans la description des travaux en s'assurant notamment de la qualité des livrables, du partage des résultats, du respect des décisions relatives à la confidentialité et la propriété intellectuelle, de la diffusion des rapports.

Voici la liste des réunions d'assemblée générale (GA) et de Work Packages qui se sont tenues :

- 2011: Février - kick off; Mars - WP1&WP2; Juin – tous WPs + GA; October - WP1,2,3, 4 & 5
- 2012: Janvier - tous WPs + GA; Avril -WP1; Juin 2012 - WP2,3,4,5 & 6 + GA;
- 2013: Janvier – WP 2,3,4,5 & 6 + GA ; Juin 2013 – WP2,3,4 & 6 + GA
- 2014 : Janvier – tous WPs + GA ; Mai – Conférence finale

3. Etat des lieux de la gestion des déchets bois (WP1)

La réalisation de ce travail s'est faite sous coordination de FCBA (coordination Elisabeth Le Net, pôle Economie Energie et Prospective), avec la participation active de PTS et WKI pour la situation en Allemagne, Autriche et Suisse, et celle de VTT pour la situation en Finlande.

Les travaux ont donné lieu à 3 rapports (DL WP1.1, DL WP1.2, DL WP1.3), résumés dans les parties 3.1 à 3.3 ci-après.

3.1 Méthodologie pour l'analyse du gisement et de la gestion des déchets de bois - Description préliminaire des gisements de la gestion des déchets de bois au sein des pays participants et informations manquantes (livrable DL WP1.1)

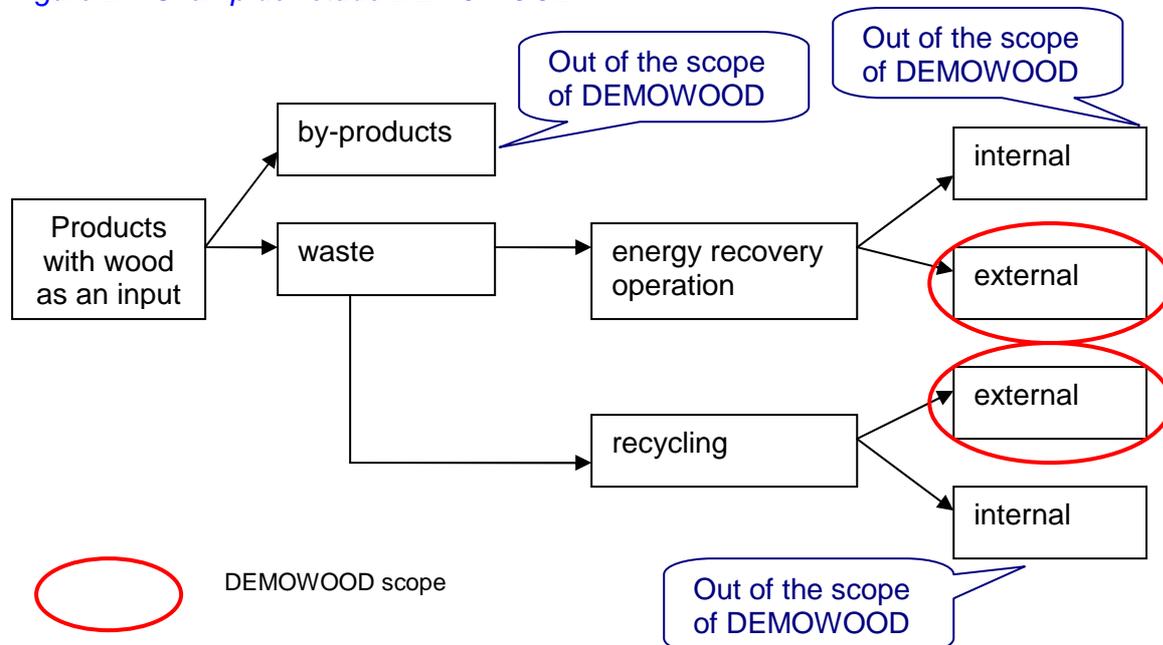
3.1.1. Champ de l'étude et définitions

La première action a consisté à définir le champ de l'étude DEMOWOOD

Le champ de l'étude exclut :

- Les rémanents forestiers et les produits connexes de scierie ;
- Les déchets de bois valorisés sur le site même où ils sont produits (recyclage matière ou valorisation énergétique)
- Les déchets de bois entrant dans la catégorie des déchets dangereux

Figure 2 – Champ de l'étude DEMOWOOD



Des définitions ont ensuite été retenues pour DEMOWOOD

Le terme “bois usagé” est utilisé pour définir le gisement de déchet par origine (flux entrant) et celui de “produits bois secondaires” désigne le gisement aval destinés aux utilisateurs (flux sortant).

Les bois usagés sont tous types de matériaux en bois provenant de produits en fin de vie. Ils se composent principalement des matériaux d'emballage, des matériaux de construction et de démolition et des déchets municipaux, industriels et des activités commerciales

Les produits bois secondaires regroupent les bois qui ont déjà été utilisé avant de faire l'objet d'un second usage sous la forme de recyclage matière (pâte à papier, panneaux, biocombustible) ou de production d'énergie. Ils sont généralement produits par des installations de traitement de déchets (plateforme de regroupement et de tri) à partir de bois usagés (cf. définition ci-avant).

3.1.2. Gisement des déchets de bois

Pour l'estimation du gisement, il a été utilisé deux types de classification :

- Le catalogue européen des déchets pour études statistiques (European Waste Catalogue for Statistics - EWC-STAT)¹. Les déchets de bois appartiennent à la catégorie 07.05 (« Wood waste, Non-hazardous and Hazardous ») et sont répartis en trois sous catégories (emballages, sciures et copeaux, et autres déchets de bois)
- La liste européenne des déchets (« European Waste Catalogue List of Waste - EWC 2002). Les déchets de bois se répartissent selon leur origine au sein de 5 rubriques : 03, 15, 17, 19 et 20.

Données européennes existantes

La base de données Eurostat met à disposition des quantités de déchets produits et traités pour différents pays européens. Les données peuvent être sélectionnées selon différents paramètres: par pays, par catégories dangereux ou non, par catégories EWC-Stat, par code NACE, par année, par type de traitement...

Eurostat donne une bonne représentation générale du gisement de déchets de bois en Europe mais ne donne pas d'informations suffisamment précises sur les différents types de déchets et leur caractérisation

Méthodologie de collecte des données

La méthodologie suivie intègre deux approches, directe et indirecte :

Approche directe : Les données sont directement extraites des données existantes provenant d'Eurostat et/ou des agences nationales de statistiques. Un coefficient a été utilisé pour rapporter les données d'un secteur à l'échelle d'un sous-secteur, ou d'une catégorie spécifique de déchet.

Approche indirecte : Le gisement de déchets est calculé à partir de données sur la production industrielle de la filière bois et/ou à partir de données de consommation de produits bois (par ex : x meubles par habitant). Des facteurs de conversion sont ensuite utilisés pour évaluer les quantités correspondantes de déchets générés.

¹ COMMISSION REGULATION (EC) No 574/2004 of 23 February 2004 amending Appendices I and III to Regulation (EC) No 2150/2002 of the European Parliament and of the Council on waste statistics.

En théorie, les résultats par approche indirecte doivent être supérieurs à ceux de l'approche directe.

Base de données DEMOWOOD

L'objectif est d'obtenir le gisement de déchets de bois pour chaque pays (France, Allemagne, Finlande, Autriche and Suisse) sur la base d'une méthodologie commune.

Les facteurs de pondération utilisés peuvent en revanche être spécifiques à chaque pays. Lorsque certaines données ne sont pas disponibles, des valeurs par défaut sont utilisées et signalées comme telles.

Un tableau (fichier Excel) a été constitué :

- Les lignes correspondent aux types de déchets par origine, c'est à dire par secteur de production des produits bois :
 - Le Bâtiment (construction et démolition)²
 - Les Industries (industries du bois et autres utilisant des produits bois pour leurs activités)
 - Les Municipalités
 - Les Activités commerciales
 - Le secteur de l'emballage, transversal aux autres secteurs
 - Le Génie civil est mentionné même si la grande majorité des déchets de bois induits par ce secteur sont potentiellement des déchets dangereux et donc non valorisables pour les utilisateurs ciblés de l'étude DEMOWOOD (pâte, panneaux, énergie).
- Les colonnes fournissent les informations du déchet de bois considéré : volumes générés par an, prix /coût, les modes de traitement et quand cela est possible, toute information sur la qualité du bois.

Ce tableau a été constitué sur la base du cas français. Puis il a été modifié et complété par les autres pays pour leur propre cas

Profils par pays

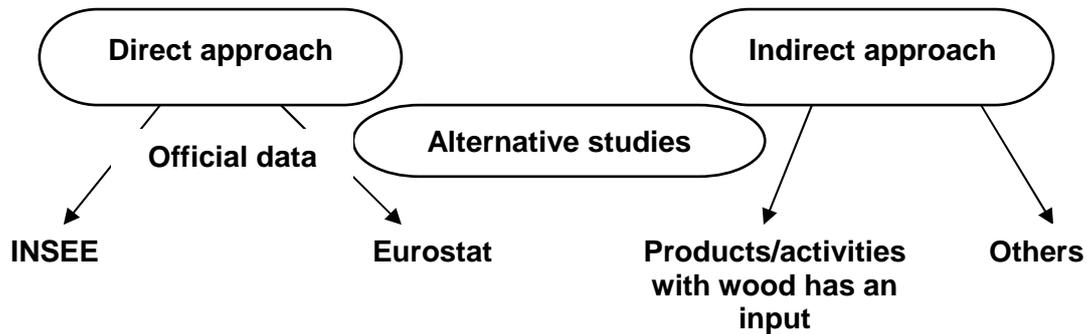
La méthode utilisée pour déterminer les données destinées à alimenter notre base de données (tableau Excel) est la suivante :

1. Définition
2. Sources (références biblio, site Internet, année de référence)
3. Méthodologie
 - Origine des données
 - Calcul and principales hypothèses (conduisant par exemple à la détermination d'un facteur de conversion).
4. Autres commentaires

Exemple de la méthode suivie pour le cas français :

² This terminology is specific to DEMOWOOD. For DEMOWOOD, construction means new building.

Figure 3 – Sources d'informations pour le profil français



Synthèse des gisements par pays

Bien qu'il ait été adopté une méthodologie générale, la disponibilité des données au niveau national reste le facteur essentiel pour établir une évaluation du gisement.

La comparaison entre pays est possible en regroupant plusieurs origines par secteur, mais avec prudence. Derrière la spécificité probable de l'approche nationale, la structure économique du pays (importance de la consommation de bois, autoconsommation et taux de recyclage des déchets de bois, efficacité des systèmes de collecte) peut expliquer certainement pour partie les différences.

Par exemple, pour la Finlande, la principale origine des déchets de bois est le secteur du bâtiment, alors qu'il se répartit entre le bâtiment et l'industrie pour la France.

Cependant, cela peut s'expliquer également par le fait que le système de classification des unités de production d'énergie (incinération en particulier) et l'interprétation de la notion de « bois traités » diffèrent selon les pays.

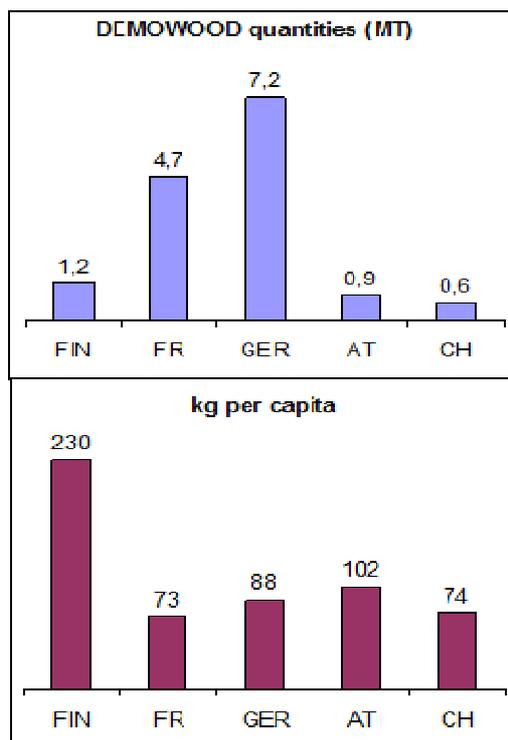
Mis à part pour la Finlande, le tableau ci-dessous sous-estime le gisement de bois usagé mais en contrepartie évite les doubles comptages.

Tableau 1 – Comparaison par pays

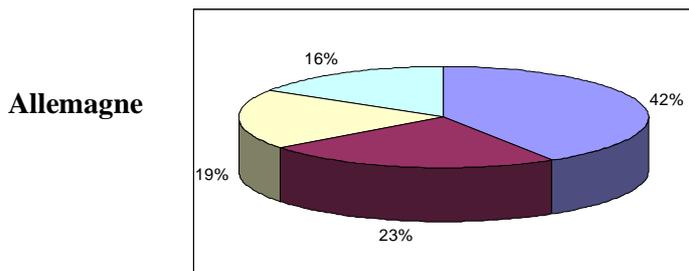
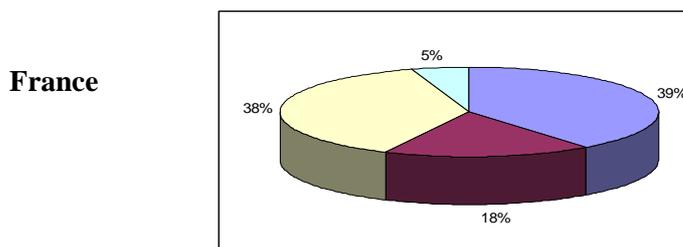
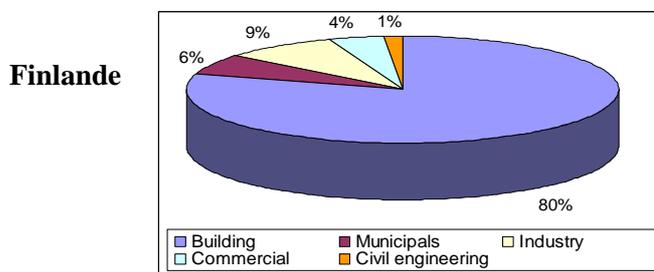
Country	Origin	Tonnes thousands			%	Tonnes thousands		
		Wood waste	Packaging waste	Total		DEMOWOOD quantities	Population 01/01/2009 (thousand of inhab.)	kg per capita
FIN	Building	926	53	979	80%	1 228	5 326	230
FIN	Municipals	74		74	6%			
FIN	Industry		105	105	9%			
FIN	Commercial		53	53	4%			
FIN	Civil eng.	17		17	1%			
FR	Building	1 711	124	1 835	39%	4 667	64 369	73
FR	Municipals	750	83	833	18%			
FR	Industry	1 227	541	1 768	38%			
FR	Commercial		231	231	5%			
FR	Civil eng.	200*			0%			
GER	Building			2 984	41%	7 245	82 002	88
GER	Municipals			1 699	23%			
GER	Industry			1 398	19%			
GER	Commercial			1 164	16%			
GER	Civil eng.	700*			0%			
AT	Building			277	33%	850	8 355	102
AT	Municipals			183	22%			
AT	Industry			51	6%			
AT	Commercial			324	38%			
AT	Civil eng.			15	2%			
CH	Building			286	50%	571	7 702	74
CH	Municipals			107	19%			
CH	Industry			107	19%			
CH	Commercial			71	12%			
CH	Civil eng.			2 984	41%			

* Déchets potentiellement dangereux (exclus du champ d'étude de DEMOWOOD)

Répartition des estimations de gisement de déchets bois par pays



Répartition par origine du gisement déchets : France, Finlande et Allemagne



3.1.3. Méthodologie de caractérisation des déchets de bois : contaminants potentiels dans les bois usagés

La méthodologie a été développée pour le cas français. Les données ont ensuite été modifiées et/ou complétées par les autres pays.

a) Approche analytique de la contamination des déchets de bois

Dans le cadre de l'étude, le terme "contamination" désigne la présence de composés chimiques et autres substances et objets indésirables, c'est à dire que ces « contaminants » sont absents (ou présents à l'état de traces) dans le bois naturel et les produit bois de première transformation (résultant uniquement d'opérations mécaniques).

L'approche est la suivante :

4. dresser un inventaire des contaminants potentiels des déchets de bois
5. définir des niveaux de contamination par contaminant: "valeurs limites de concentration"

Ceci devrait ultérieurement permettre de croiser les teneurs en contaminants avec le cahier des charges des utilisateurs potentiels (pâte, panneaux, énergie et biocombustibles).

Cette approche permettra également d'identifier et d'écarter les déchets de bois dangereux (exclus du champ de l'étude).

Contaminants potentiels du bois

Plusieurs études ont déjà été réalisées sur le sujet, dont notamment le projet BioNorm II³ qui a apporté une contribution notable à cet inventaire.

Les produits bois peuvent avoir reçu différents types de traitement chimique (produit de préservation, colle, finition...) ou être associés plus ou moins fortement à d'autres matériaux (mélamine, plastique, métal, verre...).

Les contaminants chimiques sont intimement liés au bois de manière permanente et sont indissociable du matériau, contrairement aux contaminants physiques, qui sont faciles à séparer, par le tri notamment.

Un tableau Excel regroupe les différents contaminants susceptibles d'être rencontrés en fonction de la nature et l'origine des déchets de bois. Des extraits de ce tableau sont joints ci-après.

³ BioNorm II – Project no. 038644 – Pre-normative research on solid biofuels for improved European standards“.

Tableau 2 – Principaux traitements des bois usagés (cas français)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Potential contaminants								
2	Waste wood(used wood) source/ type	preservative	glue	coated wood (paint, lacquer, stain)	coated wood (materials)	soiled wood - surface contamination (oils)	glass	metal	minerals
3		PT	G	CP	CM	SC	GI	Me	M
4	1.Construction								
5	<i>1.1 construction elements 1.1.1 Exterior</i>								
6	facade panelling (cladding or wood siding)	x	x	x				x	
7	wooden roofing	x						x	
8	doors	x		x	x		x	x	
9	windows	x	x	x	x		x	x	
10	wood flooring	x		x				x	
11	<i>1.1 construction elements 1.1.2 Interior</i>								
12	frame wood: walls, ceiling		x					x	
13	frame wood: floor joisting	x		x				x	
14	wall and ceiling panelling		x	x				x	
15	wood flooring		x	x					
16	doors		x	x				x	
17	furniture from solid wood	x		x			x	x	
18	furniture from panels		x	x	x		x	x	
19	stairs			x				x	
20	<i>1.2 supporting timber</i>								
21	temporary walkfloors (scaffold)					x			x
22	castings molds (concrete forming)		x			x			x
23	fences	x						x	x
24	2.Demolition								
25	<i>2.1 construction elements 2.1.1 Exterior</i>								
26	facade panelling (cladding or wood siding)	x	x	x				x	
27	wooden roofing	x						x	
28	doors	x		x	x		x	x	
29	windows	x	x	x	x		x	x	
30	wood flooring	x		x				x	
31	<i>2.1 construction elements 2.1.2 Interior</i>								
32	frame wood: walls, ceiling		x					x	
33	frame wood: floor joisting	x		x				x	
34	wall and ceiling panelling		x	x				x	
35	wood flooring		x	x					
36	doors		x	x				x	
37	furniture from solid wood	x		x			x	x	
38	furniture from panels		x	x	x		x	x	
39	stairs			x				x	
40	3.Municipals								
41	<i>3.1 private furniture</i>								
42	furniture from solid wood			x			x	x	
43	furniture from panels		x	x	x		x	x	

Note: en comparaison avec BioNorm II, les informations additionnelles de DEMOWOOD sont mentionnées en rouge.

Tableau 3 – Contaminants correspondant aux types de traitement potentiels des bois (cas français)

1	Used wood		Chemical contaminants	Additional information
2	preservative-treated wood	PT	Cl	glue and wood preservative component. Cl is not used as a glue component since 1995, it was replaced by sulfate. Cl can be found only in the demolition sector
3			F	F is not used today, it can be found only in the demolition sector
4			B	CCB compound
5			Sn	TBTO (tributyltin oxide), TBTN (tributyltin naphthenate) Sn is not used today, it can be found only in the demolition sector (windau frames that have been manufactured between 1975-199 have been impregnated with organic tin compounds) (BioNarmil)
6			Cu	Cu-based inorganic compounds (oxide and hydrocarbonate) and organic compounds including HOC*
7			Cr*	CrO3 - CCA compound
8			As*	Ar205 - CCA compound
9			Creosote*	Approximately 6 kg of creosote is consumed on 1 railway sleeper. Creosote has been restricted according to Directive 2001/90/CE (Directive 76/769/EEC).
10			Carbonyl	Carbonyl (PAH)
11			HOC** in the past: PCP (Pentachlorophenol)	PCP can be found in the demolition used waste and pallet and in the packaging (pallets)
12			HOC** in the past: Lindane, Aldrin, Dieldrin, Endosulfan	
13	HOC** in the present: IPBC (Iodine propynyl butyl carbamate), triazole, pyrethroid			
14	Quaternary ammonium			
15	glued wood	G	Cl	Glue composition
16			S	Glue composition
17			UF (Urea-formaldehyde)	It's synthetic resin glue
18			MUF (Melamine urea-formaldehyde)	It's synthetic resin glue. Introduced in the 1980ies and increased. It gives sanitary and drying facilities
19			MF (Melamine formaldehyde)	It's synthetic resin glue. Occurrence: fire-protection wallboard
20			EPI (Emulsion polymer isocyanate)	It's synthetic resin glue. Introduced in the 1980ies. Occurrence: water-proof joints
21	PUR (Polyurethane)	It's synthetic resin glue.		
22	PVA (Polyvinyl acetate)	It's synthetic resin glue.		
23	coated wood (paint, lacquer, stain)	CP	Zn	
24			Cd	
25			Cr	Cr is not used today, it can be found only in the demolition sector
26			Mn	
27			Pb	Pb is not used today, it can be found only in the demolition sector
28		Ti		
29	coated wood (materials) laminated/ veneered	CM	Plastic resins without Cl (Melamine, ABS (acrylonitrile butadiene styrene))	
30			PVC (polyvinyl chloride)	
31	soiled wood	S	Mineral and organic oils and other hydrocarbons	surface contamination by mineral and organic oils, for example, lumber can be contaminated by contact with the air
32	Physical contaminants			Additional information
used wood sources				1.1.1 / 1.1.2 / 1.2 / 2.1.1 / 2.1.2
Total Chemical contaminants				

La première colonne donne les types de bois usagés en fonction du traitement reçu :

- Bois traité pour la préservation (PT) ;
- Bois collé (G) ;
- Bois recouvert (CP) d'une finition (peinture, lasure, vernis...) ;
- Bois revêtu (CM) (panneau mélaminé par ex.) ;
- Bois souillé (S), en surface, par des hydrocarbures par exemple

La seconde colonne indique les contaminants chimiques potentiels associés au traitement considéré.

Teneurs en contaminants (basé sur le cas français)

Chaque sous-secteur d'origine des déchets bois a fait l'objet d'un tableau reprenant les contaminants potentiels et les teneurs correspondantes en valeurs moyenne et maxi (mg/kg)

ou ppm, %). La base de données comprend ainsi 16 tableaux, dont est extrait l' exemple ci-après.

La valeur moyenne a été prise égale à 10% de la valeur maximum rencontrée, afin de prendre en compte la diversité des niveaux de traitements. Plusieurs valeurs ont été obtenues par dire d'experts (FCBA), sur la base des documents techniques de référence des produits bois lorsqu'ils existent.

Tableau 4 – Valeurs limites des contaminants chimiques pour des matériaux de construction destinés à un usage extérieur

1. Construction 1.1 construction elements 1.1.1 Exterior

1	1.Construction 1.1 construction elements 1.1.1 Exterior					
2						
3	Contaminants	Origins	Mean value*** mg/kg (ppm)	Max value mg/kg (ppm)	Additional information	Sources
4	Cl	PT	20	200	IPBC component	Expert Opinion (Gérard Deroubais)
5	F					
6	B	PT	1000	10000	facade panelling (cladding or wood siding)	Expert Opinion (Eric Heisel)
7	Sn					
8	Cu	PT	500	5000	Cu-based organic compounds including HOC**	Expert Opinion (Eric Heisel)
9	Cr*	PT	1000	10000	CrO3 - CCA compound	FCBA study (Réf BTS)
10	As*					
11	Creosote*					
12	Carbonyl					
13	HOC** in the past:PCP (Pentachlorophenol)					
14	HOC** in the past:Lindane, Aldrin, Dieldrin, Endosulfan					
15	HOC** in the present: IPBC (Iodine propynyl butyl carbonate), triazole, pyrethroid	PT	10	100	wood can adsorb 2L /m3 of wood	Expert Opinion (Eric Heisel)
16	Quaternary ammonium	PT	500	5000		Expert Opinion (Gérard Deroubais)
17	S	G	100	1000		Expert Opinion (Gérard Deroubais)
18	Glue resins	G	10000	100000		FCBA study (Réf BTS)
19	Zn	CP	500	5000		FCBA study (Réf BTS)
20	Cd	CP	500	5000		FCBA study (Réf BTS)
21	Mn	CP	500	5000		FCBA study (Réf BTS)
22	Pb				Pb is not used today, it can be found only in the demolition sector	
23	Ti	CP	500	5000		Expert Opinion (Gérard Deroubais)
24	Plastic resins without Cl					
25	PVC					
26	Mineral and organic oils and other hydrocarbons					

b) Classification

Classification des déchets pour le projet DEMOWOOD

L'objectif d'un système de classification serait de comparer les teneurs définies ci-avant avec les exigences des filières de valorisation, dans le but d'établir une classification des déchets en fonction de leur possible utilisation dans telle ou telle filière.

Ce point sera développé au cours du projet, notamment après le WP2 (Work Package 2) qui aura collecté le cahier des charges des approvisionnements en bois des fabricants de pâte et de panneaux, et des producteurs de biocombustibles et d'énergie.

Néanmoins, à ce stade de l'étude, les systèmes existants de classification ont été analysés, pour voir quels pouvaient être les relations entre ces systèmes.

Classifications existantes et comparaison

Quatre principales classifications sont identifiées :

- La classification EUBIONET A, B, C, D, utilisée en Finlande
- la classification allemande AI, AII, AIII, AIV, utilisée en Suisse et en Pologne en plus de l'Allemagne
- la classification proposée dans les travaux du COST E31
- la classification française usuelle A, B, C qui n'a pas de fondement réglementaire ou normatif

Le tableau suivant compare les différentes classifications existantes.

Tableau 5 – Comparaison des classifications existantes

Sources	Scope	Definition	Other comments
EUBIONET (A, B, C et D)	Used wood Recovered construction/demolition wood	Wood substances or objects which have performed their intended purpose. Used wood arising from construction / demolition of buildings or from civil engineering works	Chemical and mechanical contaminations
German classification (AI, AII...)	Used wood	Used products made from solid wood, derived timber products or from composite materials consisting mainly of wood (over 50% by mass) (<i>Waste Wood Ordinance</i>) <i>Altholzverordnung – AltholzV.</i>	Chemical and mechanical contaminations
COST E31	Recovered wood	Wood already had a previous use before using it another time as raw material. Although the recovered wood becomes again a resource, generally, it is defined as waste at the end of life of the previous use. Often the point where waste becomes a resource is unclear.	Chemical and mechanical contaminations plus origin information (sector)

Aucune de ces classifications ne répond pleinement aux besoins de DEMOWOOD, notamment en raison du large éventail des utilisateurs potentiels étudiés. Mais une combinaison de plusieurs d'entre elles permettrait peut-être d'aboutir à une classification répondant aux différents marchés.

Tableau 6 – Classifications existantes et essai de correspondance

Wood waste	Natural wood (non-treated)	Lightly treated wood (glued, coated)	Heavy treated wood (preservative- treated wood, soiled wood)	
	Non inert and non hazardous waste		Hazardous waste	
EUBIONET	A	B	C	D
German classification	AI	AII	AIII	AIV
COST E31	1	2a	2b	3
Usual wood waste Typology (ABC) (Fr)	A		B	C
European Regulation 1013/2006 on shipments of waste	Green listing waste		Amber listing waste	

Vers une classification DEMOWOOD

La classification DEMOWOOD a été développée plus avant dans le projet. A ce stade, il semblait que deux niveaux de classification s'imposaient :

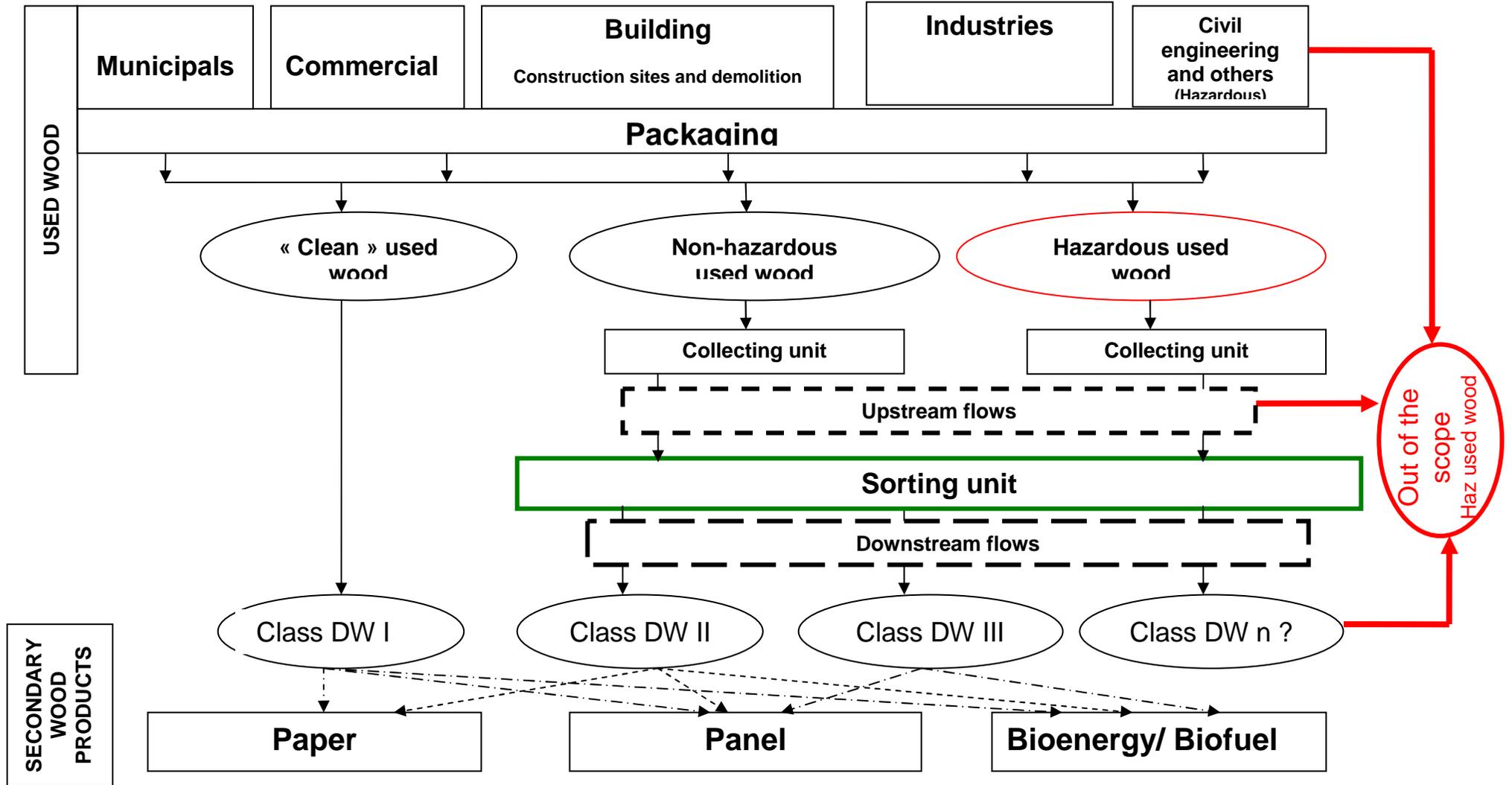
- Une classification pour le bois usagé (flux entrant des plateformes de tri / regroupement), distinguant les déchets de bois propre, non dangereux et dangereux ;
- Une classification pour les produits bois secondaires (flux sortant des plateformes), distinguant les utilisations possibles par classe ou catégories de produit.

Pour la première, la définition des bois usagés dangereux est donnée par la classification européenne des déchets dangereux. La distinction suivante est à faire entre les bois usagés propres et les bois usagés non dangereux.

La seconde classification sera définie sur la base des cahiers des charges des utilisateurs potentiels, lorsque ceux-ci seront connus

La figure suivante schématise l'approche générale :

Figure 4 – Représentation d'ensemble du système de production et de gestion des déchets de bois usagés



3.2. Analyse des sources de déchets bois et des pratiques de gestion dans les pays participants (DL WP1.2)

3.2.1. Influence des choix méthodologiques

Approche directe vs. Approche Indirecte : illustration avec le cas français

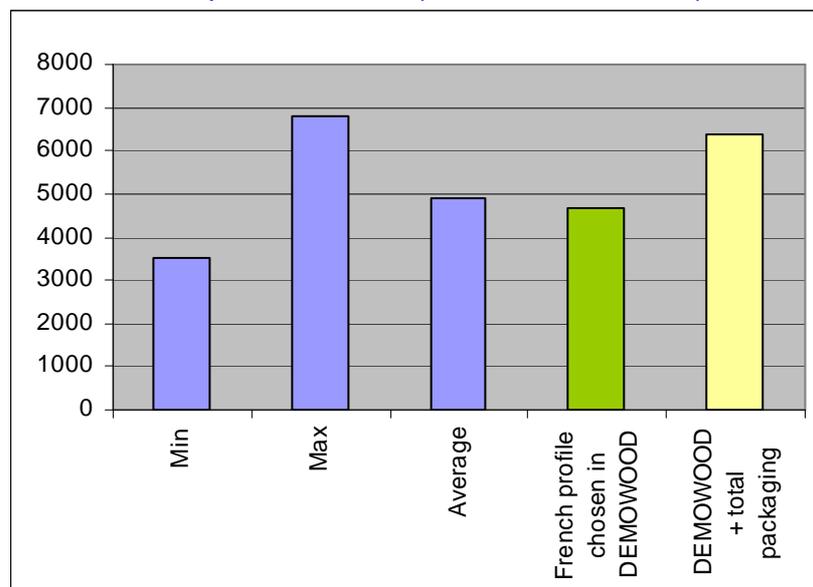
Comparaison des approches

La comparaison entre les approches directe et indirecte ne permet pas de dégager les règles d'une méthodologie d'inventaire des déchets de bois. Elle permet toutefois d'identifier de larges écarts comme par exemple pour les déchets issus du bâtiment.

Eventail statistique

Par une approche purement statistique, il a été possible de fournir des valeurs minimales, maximales et moyennes pour aboutir à un gisement d'environ 4,6 millions de tonnes.

Figure 5 – Eventail de valeurs pour la France (en milliers de tonnes)



Conclusions

Influence du choix

Selon les choix faits concernant les quantités potentielles de déchets de bois, le résultat peut être soit prudent, soit très optimiste ou pessimiste. Il est certainement plus raisonnable d'être prudent et de mettre en évidence les améliorations possibles pour augmenter la quantité de bois disponible.

La quantité de déchets évaluée pour DEMOWOOD est représentative du marché potentiel, dont une partie est déjà utilisée et qui pourrait être augmentée si le taux de collecte lui-même augmentait.

Une des solutions peut être d'améliorer les systèmes de collecte, mais les quantités sont insuffisantes pour rendre cette piste techniquement et économiquement viable (cas des déchets d'emballage, dont une part disparaît au profit de d'une récupération privée, et échappe donc au marché). Cette part pour la France peut être évaluée à 1 million de tonnes.

Discordance entre l'approche Déchets et l'approche statistique

La Directive Déchets 2008/98/EC se fonde sur la liste européenne des déchets établie sur la base de la nature du déchet tandis que les estimations se font par secteur ou sous-secteur d'origine, ce qui nécessite une approche par code NACE.

Les difficultés rencontrées montrent la nécessité d'une méthodologie (telle que développée dans le DL WP1.1) mais le besoin également de se focaliser sur les deux principales origines des déchets bois : le secteur du bâtiment et les déchets municipaux

Estimations DEMOWOOD et d'autres études

Marché potentiel français

Concernant la France, on constate que les évaluations des différentes sources convergent, sauf pour Eurostat et COST E31, en raison notamment de champs d'étude différents.

Tableau 8 – Amounts of waste wood in France – estimations

France	Year of data	Million tonnes	Scope
Eurostat (2011)	2008	8,7	Non hazardous wood waste <i>Sawmills' by products and self consumed wood waste incl.</i>
COST E31 (2007) ⁴	2006	7,1	Recovered wood <i>Sawmills' by products incl.</i>
ADEME	2009/10	6	Wood waste <i>(oral presentation, September 2011)</i>
UNECE/FAO	2008	5,16	Post consumer recovered wood
DEMOWOOD DL WP1.1	2009	4,6	Used wood <i>Sawmills' by-products and self-consumption are excl.</i>
JRC	2008	4,7	Wood recycling/energy recovery
CIBE	2007	4,7	Recycling wood
EUwood (2010b) ⁵	2010	4,3	Post-consumer wood
EUwood (2010a) ⁶	2007	4	Post-consumer wood

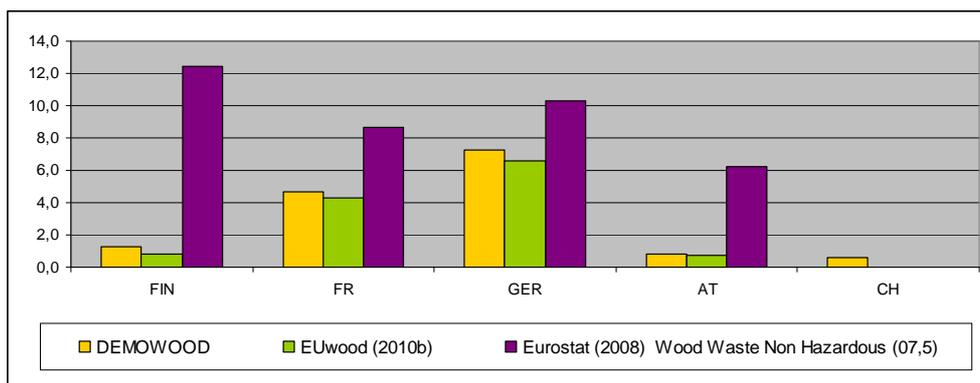
En comparant DEMOWOOD avec Eurostat et EUwood, on peut dégager la règle générale suivante : **EUwood (basis 2007) < DEMOWOOD < Eurostat.**

⁴ COST E 31 (2007), Management of recovered wood _ Reaching a higher technical, economic and environmental standard in Europe, 3rd European COST 31 Conference. Proceedings, Klagenfurt, Austria 2007

⁵ Mantau, U. *et al.* (2010a), *EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests*, Final report. Hamburg/Germany, June.

⁶ Mantau, U. *et al.* (2010b), *EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests*, Methodology Report. Hamburg/Germany, June.

Figure 6 – Quantités de déchets bois: DEMOWOOD, Eurostat et EUwood (millions de tonnes)



Estimation à l'échelle européenne

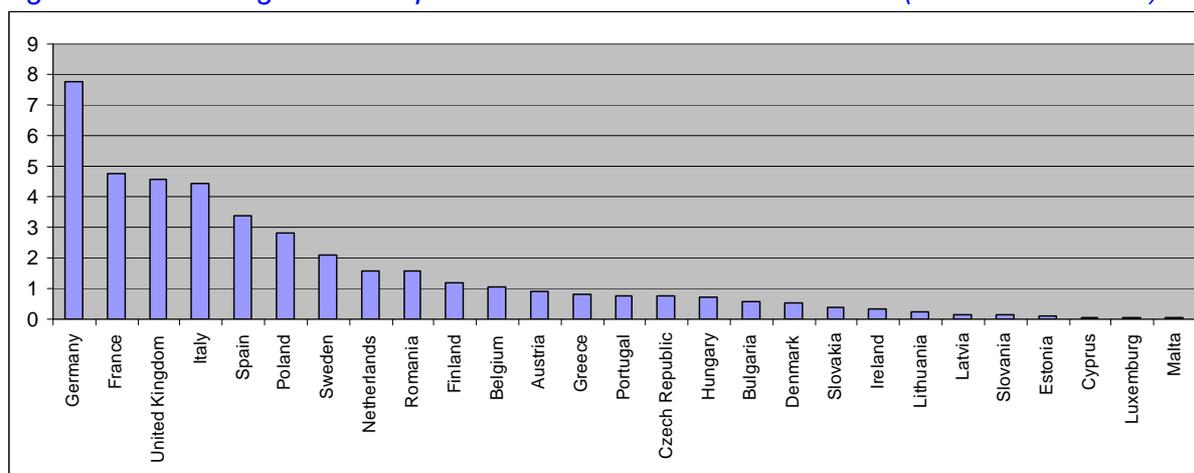
Cette estimation s'est faite sur la base du gisement potentiel rapporté par habitant et par analogie entre les pays (même profil par exemple pour la Suède que pour la Finlande). Pour rester prudent, les données pour la majorité des pays européens (pays de l'est en particulier) ont été basées sur la valeur la plus basse observée dans les pays étudiés, soit 73 kg par habitant (donnée française).

Tableau 4 – Répartition des pays par profils nationaux DEMOWOOD

	Wood waste kg per capita	Countries analogies
Finland	225	Sweden
Germany	95	Belgium Denmark Luxemburg Netherlands
Austria	106	-
Switzerland	74	-
France	73	Ireland United Kingdom Cyprus Greece Italy Malta Portugal Spain Estonia Latvia Lithuania Bulgaria Romania Poland Czech Republic Hungary Slovakia Slovenia

Note: In bold: kg per capita superior to EUwood (60 kg per capita for Southern countries and 55 kg per capita for Eastern countries).

Figure 7 – Bois usagés en Europe selon évaluation DEMOWOOD – (millions de tonnes)



Sur la base de ces hypothèses, la quantité totale estimée pour l'Europe des 27, pour une démographie de 2011 est de **41.7 millions de tonnes**⁷: Une part importante (80 %) de cette estimation s'observe sur 10 pays :

Figure 8 – Part des 10 premiers pays en Europe selon évaluation DEMOWOOD

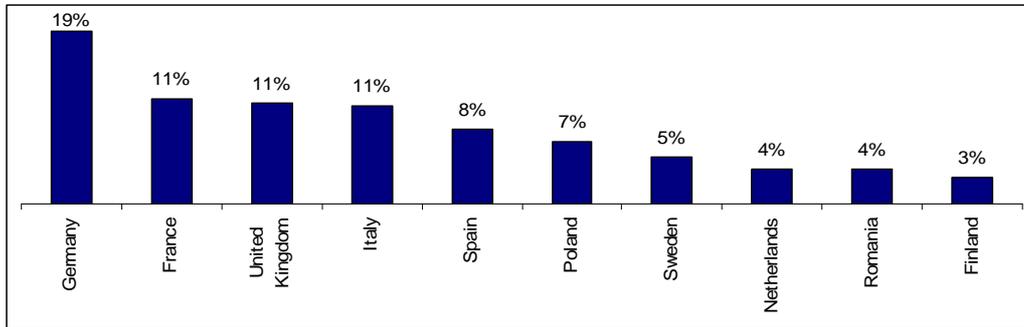
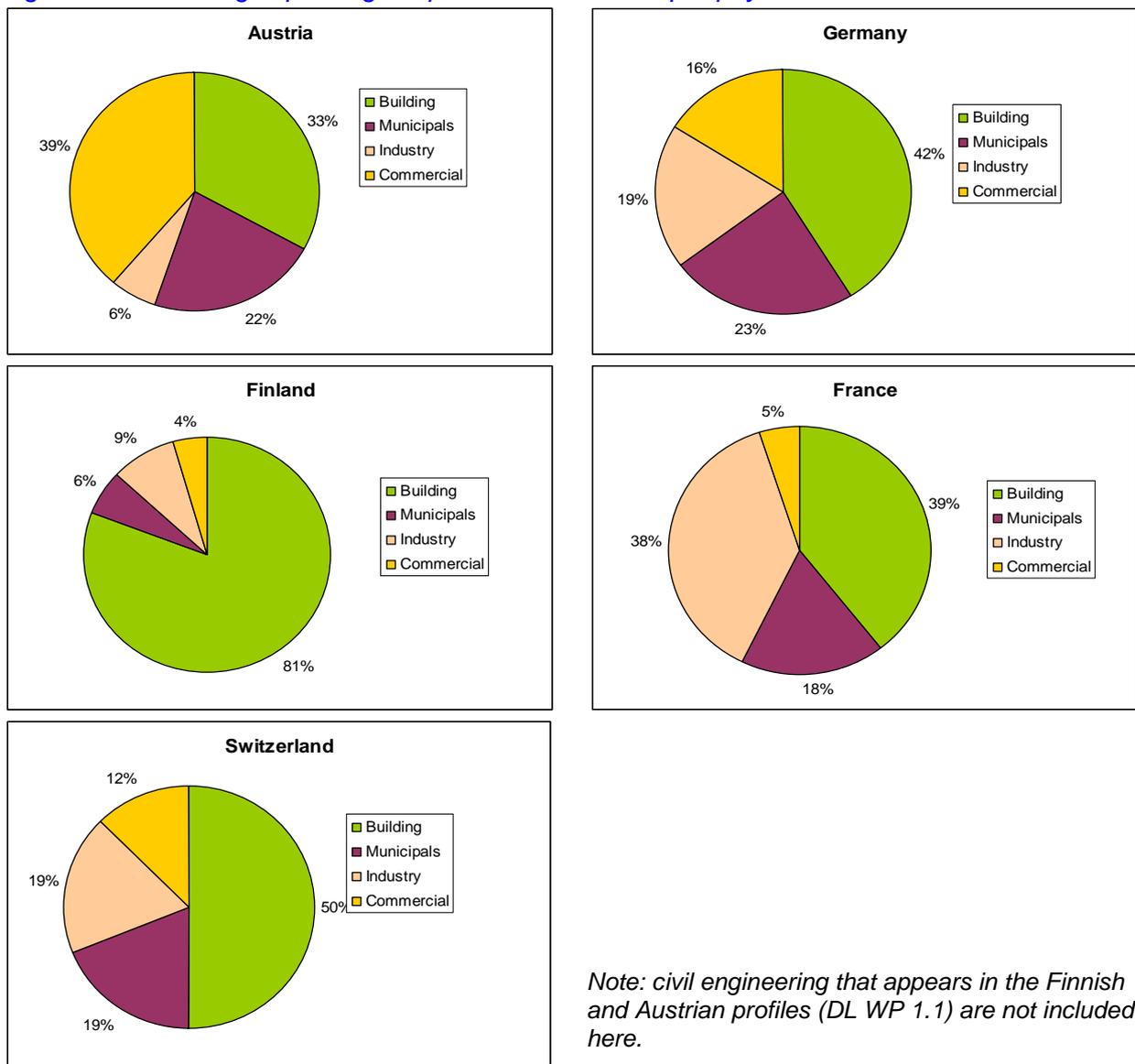


Figure 9 – Bois usagés par origine: profil DEMOWOOD par pays



⁷ Evaluation Mantau : 55.4 Mm³ dont 2/3 déjà utilisés pour les panneaux et l'énergie en 2007

3.2.2. Systèmes de gestion des déchets de bois

Profils par pays

Les systèmes de collecte et de gestion des déchets bois, jusqu'à la production de matériaux secondaires bois, ont été décrits. Il a été traité des aspects quantitatifs, organisationnels et économiques (coûts et prix).

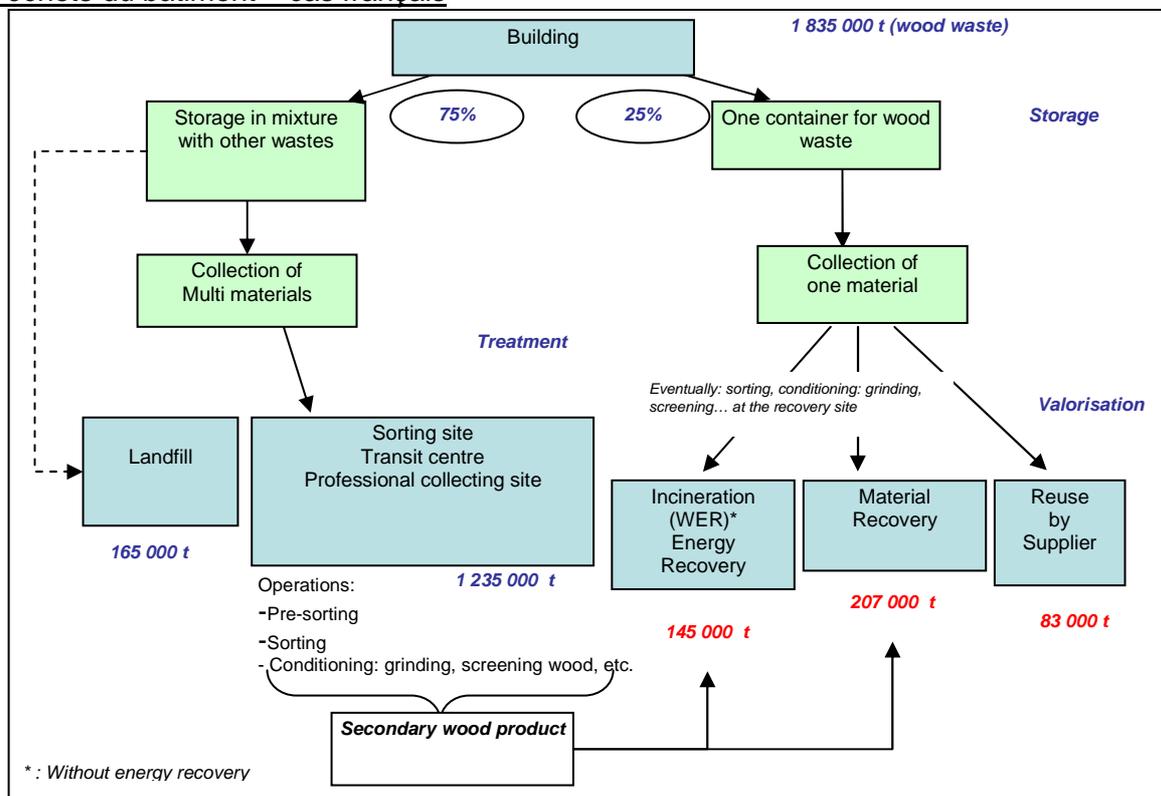
Les informations proviennent à la fois des retours d'enquêtes auprès des professionnels, de la littérature et de dires d'experts (aspect économique en particulier).

FRANCE

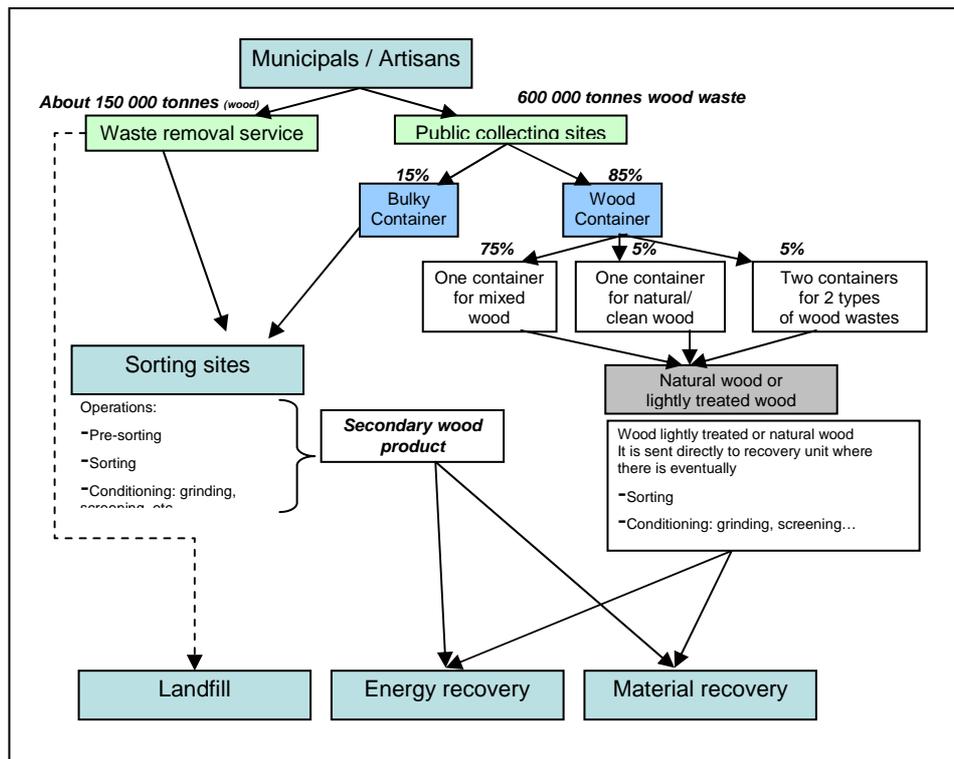
Compte tenu de leur représentation importante sur le gisement total, l'étude s'est portée principalement sur les déchets du bâtiment et sur les déchets municipaux.

Un schéma des pratiques de gestion a été réalisé pour chaque secteur d'origine, synthétisant l'ensemble des informations recueillies.

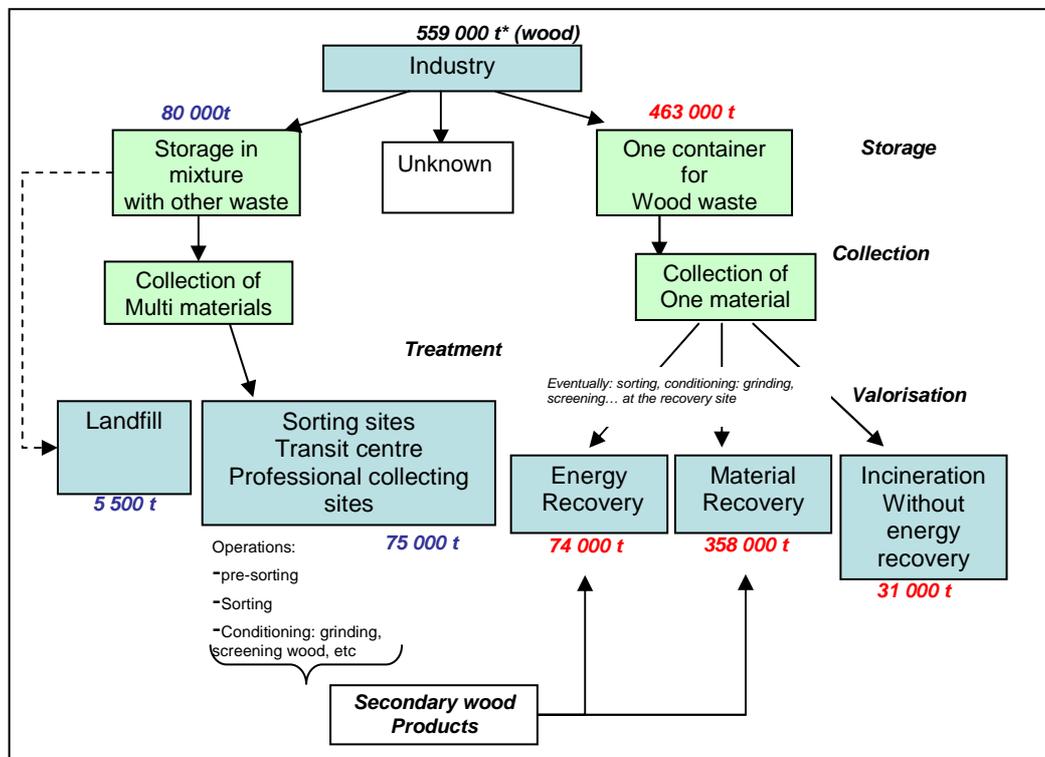
Déchets du bâtiment – cas français



Déchets municipaux – cas français



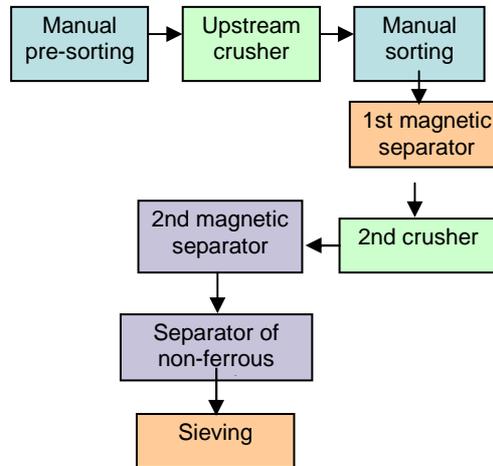
Déchets des industries – cas français



Nota : les quantités sont hors industries de la filière bois.

Approche économique des plateformes de tri

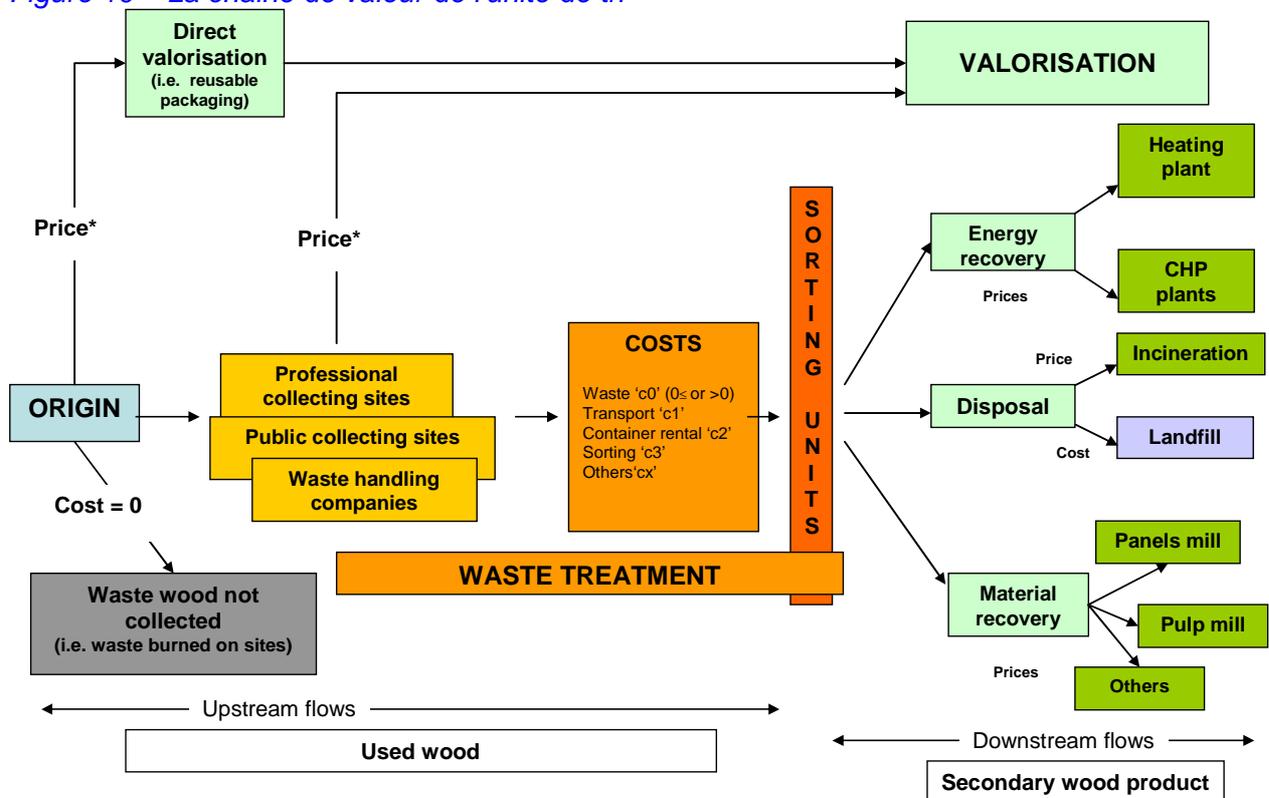
Les principales opérations pratiquées sur les plateformes de tri sont les suivantes :



Distinction entre le coût et le prix.

Nous nous plaçons du point de vue de la plateforme de tri. Les coûts sont donc en amont, pour la production des produits secondaires bois, lesquels sont vendus à un prix donné.

Figure 10 – La chaîne de valeur de l'unité de tri

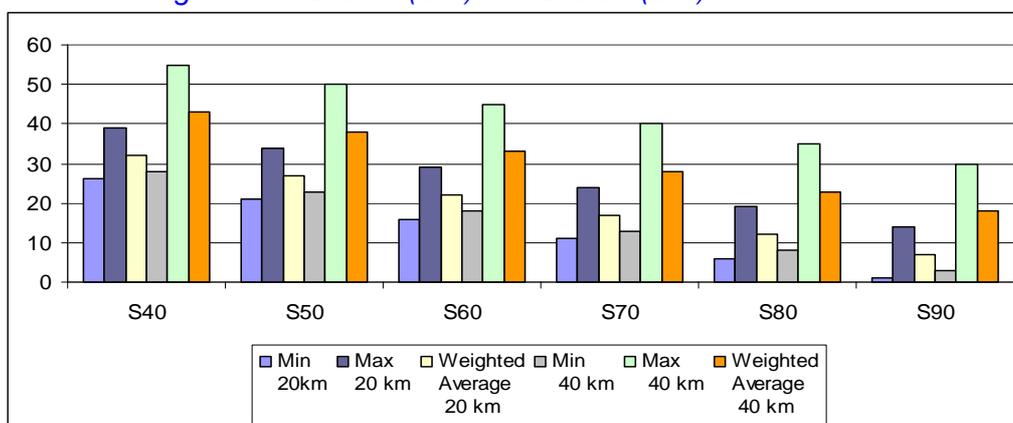


Note: "price*" are market prices out of the scope of the sorting unit point of view.

Le service de collecte et de traitement des déchets :

Il est vendu par la plateforme au producteur de déchets à un prix allant de 40 à 90 €/ tonne.

Figure 11 – Coût des produits bois secondaires pour une unité de tri combinant plusieurs sources de bois usages, avec coûts négatifs et positifs – Analyse de sensibilité sur le coût négatif des bois usagés de 40 €/tonne (S40) à 90 €/tonne (S90)



Les prix de vente (hors transport) des matériaux bois secondaires (sortie de plateforme) sont :

- pour les produits de classe A (bois propre), de 30 à 40 €/t
- pour les produits de classe B, de 10 à 40 €/t.

La proportion respective de ces deux matériaux bois secondaires va donc influencer la rentabilité de la production de ces produits pour la plateforme. Le prix du marché est également un facteur important, ainsi que la variation des coûts en amont de la chaîne. En fait, l'activité Bois est souvent associée à d'autres activités de gestion de déchets et l'évaluation économique globale se fait en général à l'échelle de la plateforme.

ALLEMAGNE

Schéma des filières de recyclage des déchets de bois de démolition (cas allemand)

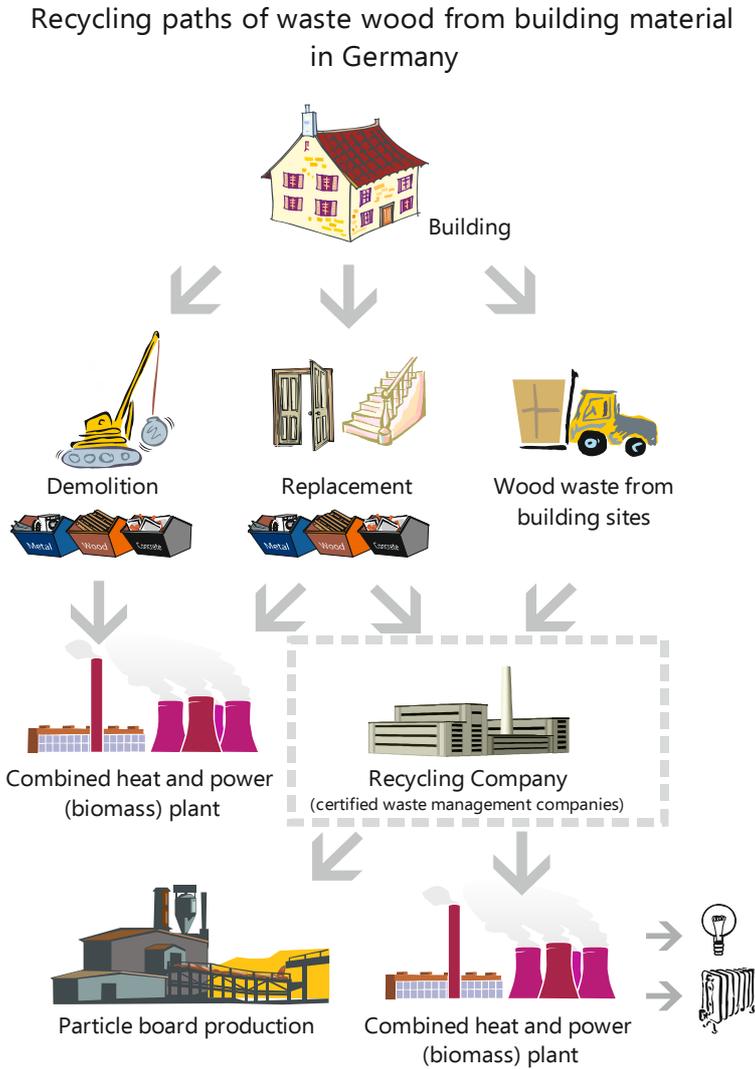


Schéma des filières de recyclage des déchets de bois de l'industrie (cas allemand)

Recycling paths of waste wood from industry and packaging in Germany

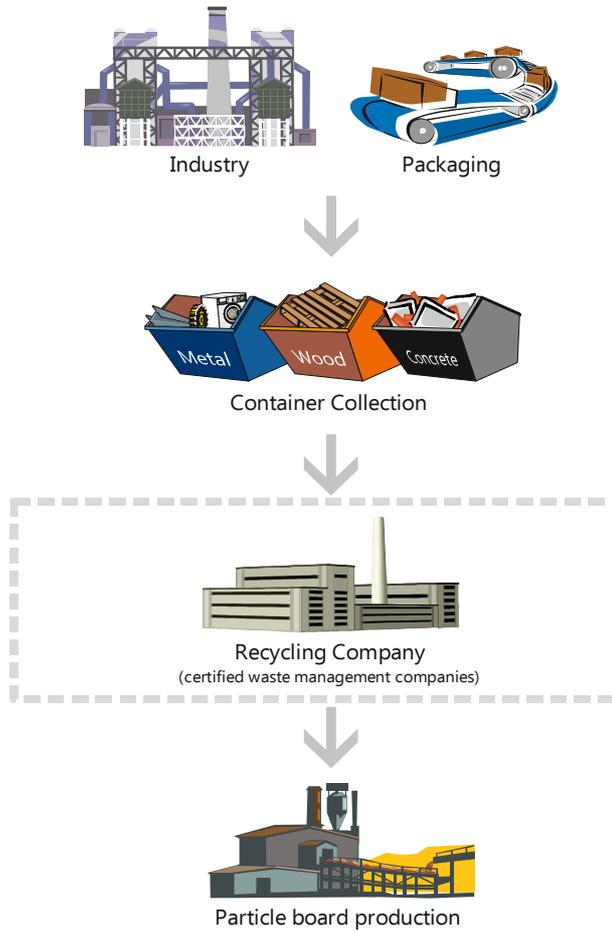
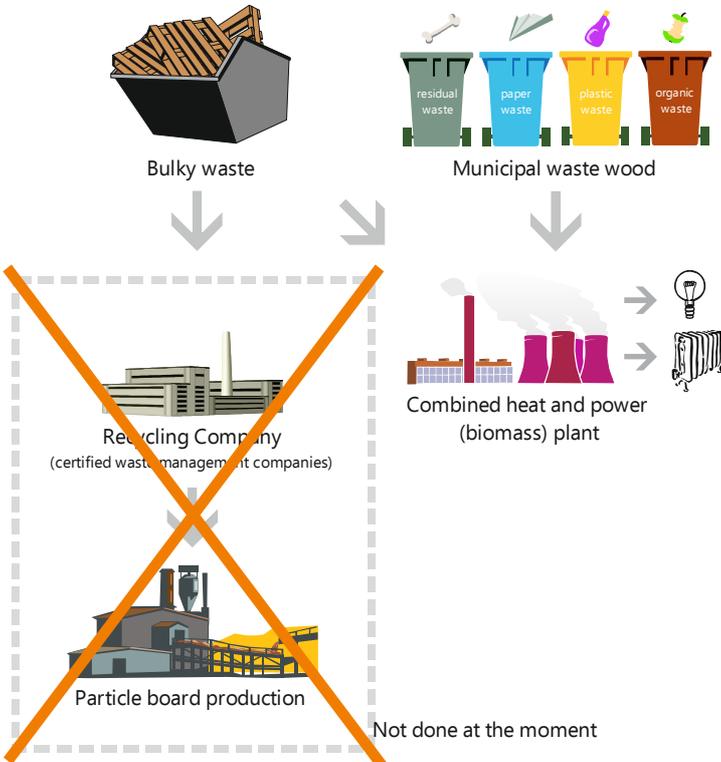
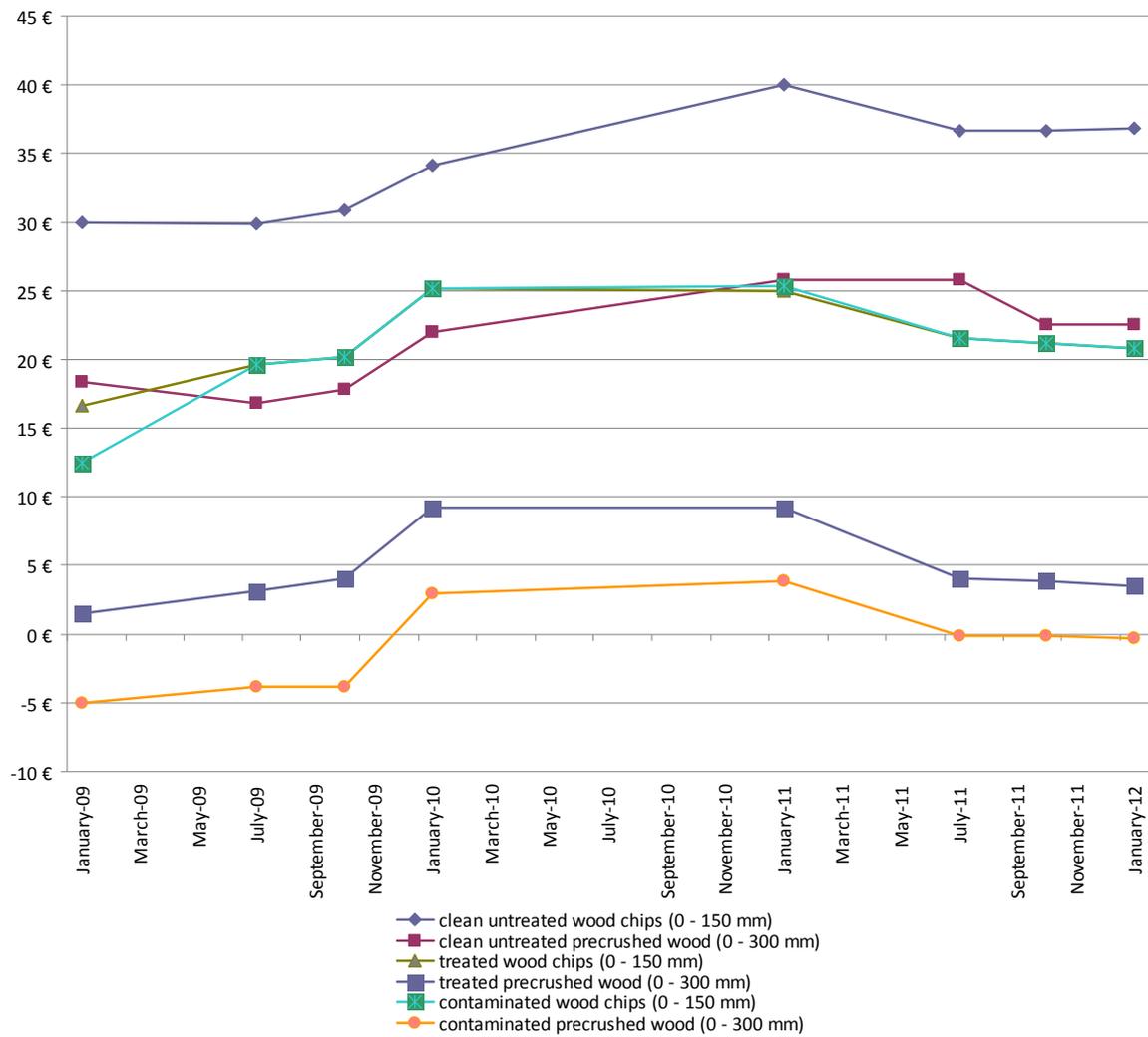


Schéma des filières de recyclage des déchets de bois municipaux (cas allemand)

Recycling paths of municipal waste wood
in Germany



Evolution des prix des déchets de bois (cas allemand)



Principales différences de gestion entre la France et l'Allemagne :

- Les usages finaux : recyclage matière vs. énergie
- Le taux d'élimination ; la réglementation vs. les pratiques effectives

Allemagne :

Le recyclage matière représente environ 20% des déchets de bois (class A I) (matériaux bois, charbon actif, combustible vert...).

La valorisation énergétique représente environ 80% des déchets de bois (class A II – A IV) dans des chaudières biomasse très performantes, des incinérateurs de moindre efficacité pour la classe AIV les bois contaminé au PCB, les chaudières industrielles.

La mise en décharge de produits organique est interdite depuis 2009 et les quantités de matériaux suivant cette filière représentent moins de 1 % en Allemagne.

France :

Le taux de mise en décharge (secteur du bâtiment notamment) et le recyclage matière (panneaux) est plus important au regard de la valorisation énergétique qui est très réduite (la majorité des chaudières biomasse sont de petites unités, de faible puissance utilisent de la biomasse propre.

3.3. Estimations et propositions pour une harmonisation de la classification et un système d'observation (DL WP1.3)

3.3.1. Les limites d'une approche générique

a) Caractérisation et classification :

Convergences et divergences

Les classifications existantes :

- la classification finlandaise EUBIONET (A, B, C, D) destinée aux combustibles solides et basée sur l'origine des déchets;
- la classification réglementaire allemande (A I to A IV);
- la classification de « Action COST E31 », basée sur le bois de récupération et le recyclage matière;
- la typologie usuelle française des déchets de bois (A, B, C) mise en place et utilisée les acteurs de la collecte et du tri.

Deux catégories extrêmes de déchets de bois

- le bois usagé "propre" (non-traité, transformé uniquement mécaniquement) (pour la part incluse dans le champ d'étude de DEMOWOOD (hors produits connexes de scierie));
- le bois usagé "imprégné" (traitement de préservation), qui est classé comme déchet dangereux et donc exclu du champ d'étude de DEMOWOOD.

Deux catégories intermédiaires dans le champ d'étude de DEMOWOOD

- le bois usagé transformé chimiquement, ne contenant pas de composés organo-halogénés, ni métaux lourds (selon les classifications EUBIONET and COST E31), et excluant les bois traités pour préservation ;

- le bois usagé transformé chimiquement, susceptible de contenir des composés organo-halogénés et des métaux lourds (selon les classifications EUBIONET et COST E31 mais excluant toujours les bois traités pour préservation).

Conclusion

La classification DEMOWOOD peut être établie sur la base des usages potentiels des matières premières secondaires et prendre en compte les cahiers des charges définis par les par les secteurs utilisateurs que sont l'énergie, la fabrication de panneaux ou de pâte.

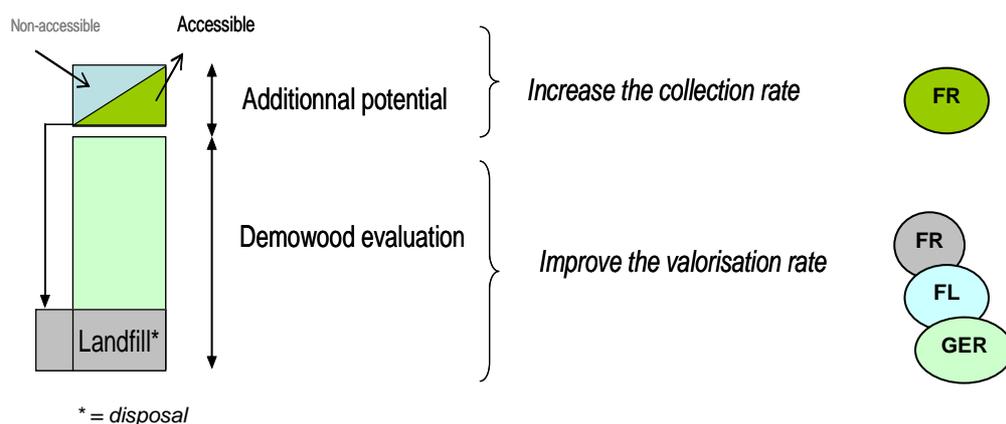
b) Les systèmes de gestion

Convergences et divergences:

Les principes sont similaires mais les améliorations à apporter sont différentes.

Points d'amélioration :

- Taux de collecte : 20% supplémentaires de la quantité de bois usagé ;
- Taux de valorisation : réduire la mise en décharge (de 35% à 5%) (en moyenne en Europe)



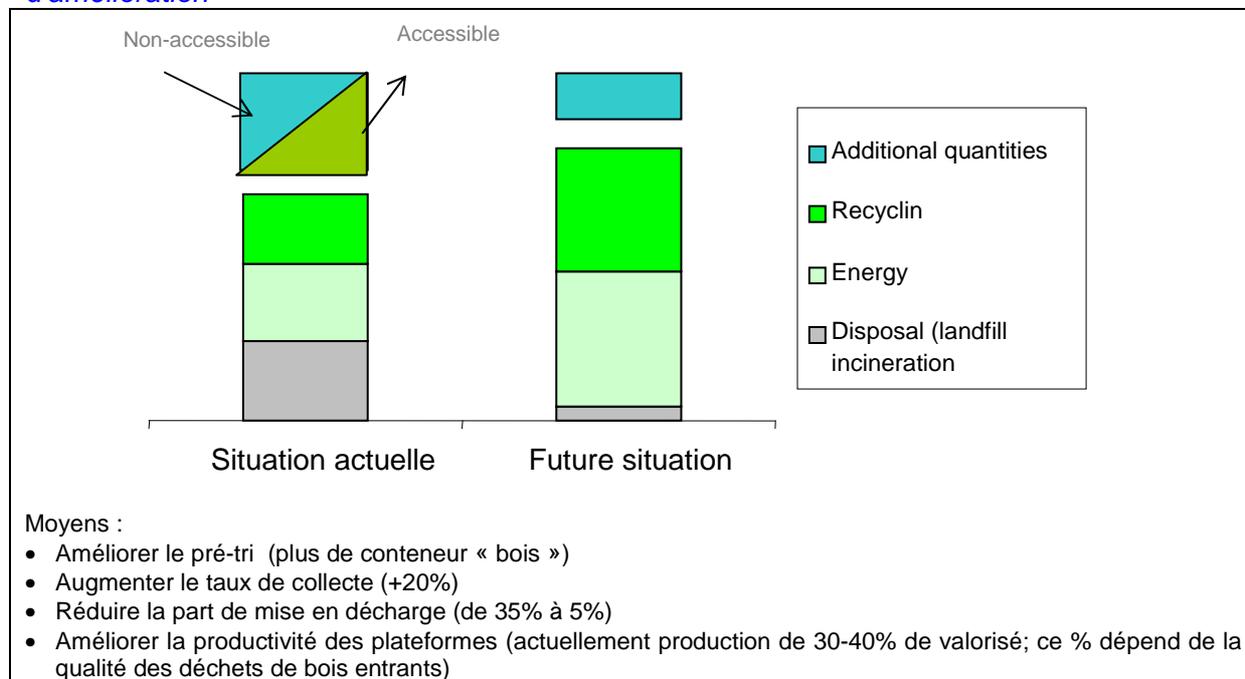
Les deux leviers, collecte et taux de valorisation se rencontrent principalement dans les pays du sud et de l'est de l'Europe, ainsi qu'en France, où le champ d'amélioration est principalement dans le secteur bâtiment; ces pays disposent d'un potentiel d'amélioration important.

Le taux de valorisation peut être amélioré dans les pays du nord et l'Allemagne par un meilleur tri, nécessitant des techniques plus efficaces et plus rapides. Il y a ainsi un potentiel certain de basculement en Allemagne d'une partie du bois classé AIII et AIV en AII pour augmenter la fraction utilisable en fabrication de panneaux

Pour ce qui est de l'industrie de la pâte, il faudrait que les améliorations de tri aillent jusqu'à différencier les groupes d'essences (résineux).

La situation actuelle et la situation souhaitée à l'échelle Européenne sont les suivantes :

Figure 12 – Situation actuelle vs. situation attendue pour les pays « à fort potentiel d'amélioration »



Une part de mise en décharge réduite à 5% devrait pouvoir être atteinte pour l'Europe en 2030.

3.3.2. Recommandations

a. Observatoire des déchets de bois

Un observatoire des déchets bois pourrait être créé sur les données relatives aux quantités, qualités, origine et destinations (mode de valorisation). Il permettrait :

- de mettre à jour et d'améliorer le système de collecte des données ;
- d'adapter les questionnaires d'enquêtes nationales à la réalité ;
- de faire des évaluations supplémentaires du gisement potentiel ainsi que des flux.

b. Réglementation

- Clarifier la hiérarchie d'usage ;
- Clarifier l'exclusion des produits connexes de scieries du statut de déchets ;
- Augmenter les systèmes de contrôle (pour contrer les pratiques illégales) ;
- Mettre en place un système de traçabilité ;
- Augmenter les contrôles et les demandes d'information concernant les flux entrants et sortants ; cette solution est complémentaire aux autres (meilleur système de collecte et méthode commune de travail) ;
- Aboutir à une typologie officielle européenne sur les chaudières biomasse associant les caractéristiques techniques et les combustibles autorisés.

c. Classification

Dans le WP1, les discussions ont permis une proposition de principe de classification des produits bois secondaires, proposition qui a été approfondie dans le WP2

Il a donc été proposée que la classification DEMOWOOD pourrait se composer d'au moins trois classes (hors déchets dangereux):

- Classe 0: utilisable pour tous secteurs (énergie, panneaux, pâte),
- Classe 1: utilisable pour tous secteurs sauf la pâte (énergie, panneaux),
- Classe 2: utilisable uniquement pour le secteur de l'énergie

Cette classification est reprise enrichie et détaillée dans le WP2.

Les caractéristiques de chaque classe seraient basées sur les valeurs limites des contaminants fournies par le cahier des charges de chaque secteur utilisateur.

La classification DEMOWOOD reposerait donc sur la synthèse de ces différents cahiers des charges :

Utilisation permise	Classe 0	Classe 1	Classe 2
Pâte	Oui	Non	Non
Panneaux	Oui	Oui	Non
Energie	E1*	E2*	E3**

*E1, E2, E3 : 3 cadres réglementaires et installations de types correspondant différents : exemple, pour la France : E1 = 2910 A ; E2 = 2910B ; E3 = CSR : Incinération de déchets non dangereux

La tentative de trouver des valeurs limites communes de concentrations en contaminants pour distinguer les classes s'est trouvée contrariée par la multiplicité des approches nationales, notamment sur l'énergie.

4. Technologies de détection rapide et de tri (WP2)

Ce Work package a été coordonné par VEOLIA ; l'action de FCBA sur ce WP était limitée à un suivi et un apport d'expertise ponctuel sur les points relevant de son domaine de compétence tels que les cahiers des charges des utilisateurs, la connaissance des contaminants potentiels des déchets bois selon leur origine et les réflexions sur les stratégies à retenir en matière de tri.

4.1. Livrables du WP2 :

- Rapport DL 2.1 : "Current Practices on Detection and Sorting Technologies" ;
- Rapport DL 2.3 "Model test system results",
- Rapport DL 2.2 "Quality assessment",
- Rapport DL 2.4 – 2.6 : "Requirements and New specification classes »
- Rapport DL 2.5 « Metal particles separation »
- Rapport DL 2.7 « Sorting strategies" (En cours de finalisation)

4.2. Résumé des travaux du WP2

4.2.1. Technologies de détection et de tri

L'objectif principal du Work package WP2 "Fast detection and sorting technologies" est de trouver et développer des améliorations dans la détection rapide des contaminants et le tri des déchets bois.

Après une évaluation des technologies existantes et l'obtention des spécifications techniques des secteurs étudiés (papier, panneaux, énergie), l'objectif est de comparer ces cahiers des charges avec les performances des technologies existantes.

Une analyse des technologies de détection et de tri existantes en Europe a été conduite, dans le domaine du recyclage des déchets bois et du tri des matériaux indésirables. L'objectif de cet état de l'art a été de collecter et d'analyser les informations sur les techniques de détection permettant une identification rapide et un tri des bois traités chimiquement afin de permettre un recyclage à grande échelle. Les principales conclusions sont les suivantes :

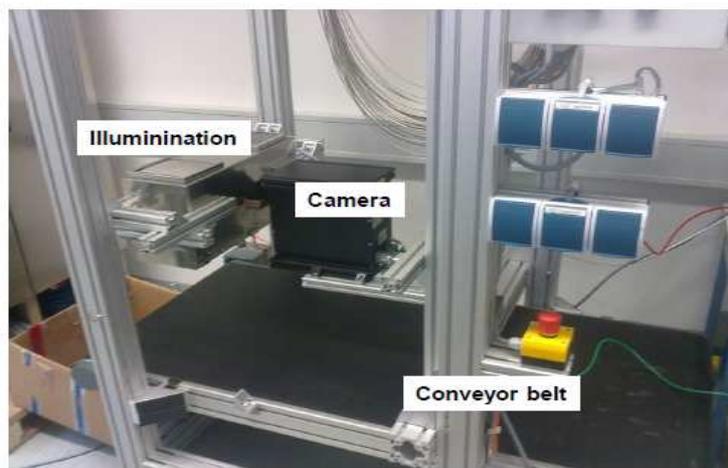
- Actuellement, selon les études bibliographiques, seules trois technologies sont identifiées comme pouvant réellement être utilisées en ligne pour le tri des déchets bois:
 - XRF – X-Ray Fluorescence Spectrometry : détection de substances minérales
 - LIBS – Laser Induced Breakdown Spectroscopy : détection de substances minérales
 - NIR – Near Infrared Spectroscopy : détection de composés organiques
- La technologie IMS – Ion Mobility Spectroscopy, permettant de détecter la plupart des composés de préservation du bois, non actuellement développée pour le tri en ligne, mérite également d'être testée.
- Par ailleurs, seule la technologie NIR remplit actuellement toutes les exigences d'une détection de composés organiques et d'un tri en ligne de petits objets, avec une précision et une vitesse suffisamment élevées pour permettre de traiter d'importants volumes.
- Parce qu'un procédé de tri automatique ne peut être efficace à 100%, un pré-tri visuel et manuel des déchets bois à l'entrée semble une action nécessaire et efficace pour l'ensemble du système de recyclage. Il évite la contamination de bois manifestement propre par des éléments en bois traité. De même, un pré-screening des déchets bois avec différents types ou degrés de contamination pourrait augmenter l'efficacité des tris utilisant des capteurs, après broyage.

Après cette bibliographie, des essais de tri en ligne avec détection NIR ont été réalisés pour démontrer la faisabilité d'une séparation de déchets bois contaminés à haute précision et efficacité. Pour cela des mélanges modèles de déchets bois ont été constitués (déchets de bois propre, bois avec revêtements, panneaux de particules avec ou sans revêtements) et les méthodes de classification BIT ont été développées. Les différents composants des déchets bois (bois, peintures, PVC, HPL) diffèrent dans leur composition chimique, ce qui se traduit par des différences dans les spectres en infra-rouge. Ces différences spectrales peuvent être utilisées pour la classification des différents contaminants. Pour distinguer et séparer toutes ces variations spectrales, des procédures de pré-traitement des spectres et des méthodes de calibration chimique sont utilisées. Les résultats de ces essais ont montré que la technologie d'imagerie NIR permet la différenciation de plusieurs types de contaminants organiques et du bois propre dans les déchets de bois, avec une haute précision et une vitesse importante ; la détection de particules de 10 à 50 mm peut ainsi être conduite à une vitesse de 2 m/s. Les contaminants pouvant être détectés sont les peintures, les colles, les revêtements plastiques, les papiers-décors. L'algorithme de classification peut encore être développé et amélioré par ajout de références. L'ajout d'autres systèmes de détection tels que XRF ou IMS sont cependant nécessaires pour la détection d'autres contaminants organiques ou de contaminants inorganiques.

Les figures ci-après illustrent ces résultats.

- **Test on installation of NIR Online Measurements at PTS**

- **Able to detect chemical organic contaminants**

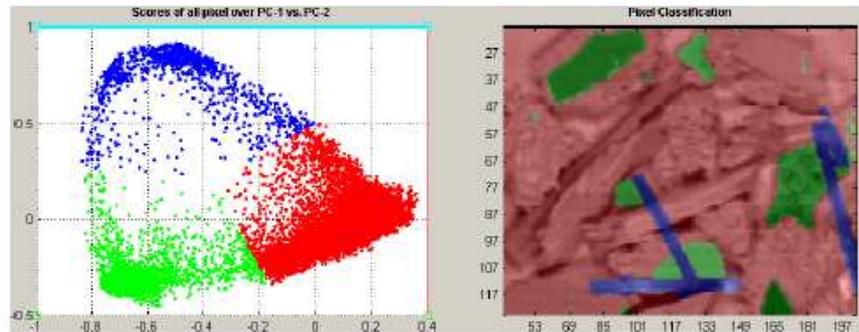


NIR Spectroscopy



Detection of plastic with NIR spectroscopy

Separation AI / All + All possible?



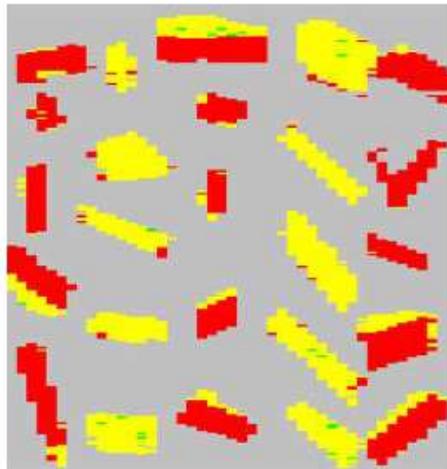
Source: WKI B. Plinke

NIR Spectroscopy

Visual Picture



Classification Picture



Particleboard covered with PVC

■ wood
 ■ particle board
 ■ wood with coatings

Source: PTS Piegorsch

Cette technologie NIR a également été testée sur la détection de bois traités avec des substances de préservation. Les résultats sont plutôt positifs bien que la différenciation des spectres nécessite des traitements de données plus ou moins complexes et que la résolution dépende de la nature des substances.

En résumé, la spectroscopie NIR est adaptable au tri des déchets bois ; elle est rapide, robuste, à haute résolution et comparativement peu onéreuse.

Par ailleurs, des tests avec la technologie XRF ont été conduits au laboratoire et développés à l'échelle pilote industrielle. Les essais ont montré des résultats très positifs pour la détection des métaux lourds dans les déchets bois. Cette technologie peut qualifier et quantifier ces éléments en ligne.

L'autre technologie qui peut s'avérer intéressante pour détecter des contaminants organiques tels que le PCP, le lindane ou la créosote est l'IMS. Plusieurs essais en ligne se sont avérés positifs, même si les vitesses de traitement restent pour le moment modérées.

En conclusion, différentes technologies pourraient être utilisés pour améliorer la qualité du tri des déchets bois. Un certain nombre d'essais ont été suffisamment concluants pour affirmer que le tri en ligne peut être suffisamment efficace et permettre d'atteindre les niveaux de qualité requis par les secteurs utilisateurs.

On peut donc retenir qu'il y a effectivement de très bonnes perspectives pour des développements technologiques qui permettraient d'améliorer le tri des déchets bois.

4.2.2. Spécifications et cahiers des charges des différentes filières utilisatrices

Le WP2 a tenté de rassembler ces données pour la pâte, les panneaux et l'utilisation en tant que combustible des déchets bois.

- **Pâte thermo-mécanique :**

Exclusion des produits de préservation du bois, des métaux toxiques dans le cycle de la matière; séparation des impuretés (métaux, plastiques); importance de l'origine du déchet bois et des essences : les résineux sont préférables (feuillus maximum 2%)

- **Panneaux :**

2 Cahiers des charges existant en France et Allemagne, il n'a pas été possible d'harmoniser et d'établir une liste commune d'exigences. Le référentiel de l'EPF et celui de la réglementation allemande ont donc été repris.

- **Combustibles :**

Les réglementations diffèrent d'un pays européen à l'autre: les exigences sur le combustible dépendent de la puissance de l'installation, des traitements de fumées. Il a été conclu qu'il n'y a pas de réglementation harmonisée sur ce sujet en Europe : le projet n'a donc pas permis de déterminer des exigences harmonisées au niveau Européen, malgré l'existence de normes de qualification des combustibles et de définition des Combustibles Solides de Récupération.

Compte-tenu de ces divergences, il est difficile d'établir une liste de paramètres physiques et chimiques à contrôler. Une liste minimale a cependant pu être retenue, qui est à compléter selon les exigences spécifiques de chaque pays.

Parameter	Requirements		
	Paper industry	Particle board	Energy
Physical			
Particle size	x	x	x
Particle shape	x		
Bulk density	x	x	x
Moisture content	x	x	x
Net calorific value (ar)			x
Mechanical impurities	x	x	x
Ash content	x	x	x
Color	x		
Wood species	x		

Parameter	Requirements		
	Paper industry	Particle board	Energy
Chemical			
Chlorine (Cl)	x	x	x
Bromine (Br)	x	x	x
Fluorine (F)	x	x	x
Chromium (Cr)	x	x	x
Copper (Cu)	x	x	x
Arsenic (As)	x	x	x
Lead (Pb)	x	x	x
Cobalt (Co)	x	x	x
Antimony (Sb)	x	x	x
Nickel (Ni)	x	x	x
Vanadium (V)	x	x	x
Manganese (Mn)	x	x	x
Cadmium (Cd)	x	x	x
Mercury (Hg)	x	x	x
Zinc (Zn)	x	x	x

Metallic aluminium (Al)	x	x	x
Sodium and potassium (Na, K)			x
Nitrogen (N)			x
Sulphur (S)			x
Polychlorinated biphenyls (PCB)		x	
Pentachlorophenol (PCP)		x	
Creosote		x	
VOCs (e.g. formaldehyde)		x	
kyanised or creosoted waste wood (Hg)		x	

4.2.3. Principes de classification

En repartant de la réflexion développée dans le WP1, et suite à cette analyse des besoins des différentes filières de valorisation possibles, la proposition de système de classification des déchets a été révisée (passage de 3 à 4 classes) ; cette proposition est présentée dans le tableau suivant :

Wood classes	DW 0	DW I	DW II	DW III
Pulp	Yes	No	No	No
Panels	Yes	Yes	Yes	No
Energy	E0 - France : 2910A rules Finland : A-class (EN ISO 17225-1)	E1 - France : 2910B rules Finland : B-class (EN ISO 17225-1, class 1.2.2 and 1.3.2)	E2 - France : Solid Recovered Fuel (SRF) - EN 15359 Finland : C-class, EN 15359 for classification B, if threshold values meet requirements of virgin wood in EN ISO 17225-1	E3 - France : Incineration directive of non hazardous waste Finland : C-class, EN 15359 for classification and Waste Incineration directive (WID)

Au-delà de ces principes, il s'est avéré impossible de compléter cette classification avec des seuils fixes de contaminants, à l'échelle européenne compte-tenu des différences entre réglementations nationales. Cependant, pour aider à la fixation de ces seuils, une base de données de contaminants et concentrations mesurées dans les déchets bois et la biomasse a été établie.

4.2.4. Stratégies de tri

Enfin, sur la base de l'ensemble des éléments précédents, une réflexion a été conduite sur les stratégies de tri à retenir. Les conclusions sont les suivantes :

Principales étapes à assurer :

- A) Tri sur base de technologies existantes
 - Réduction de taille
 - Séparation des métaux ferreux et non-ferreux
 - Séparation des matières minérales
 - Elimination des matières plastiques

- B) Nouvelles étapes de tri
 - Elimination des matières plastiques liées au bois
 - Séparation du MDF par rapport aux panneaux de particules
 - Séparation des bois contenant des métaux lourds

Les technologies XRF et NIR peuvent être développées et introduites dans le process de tri pour réaliser les nouvelles étapes.

5. Production de pâte mécanique (WP3)

FCBA n'est pas intervenu sur ce WP ; le rapport du CTP, joint en annexe, donne toutes les informations sur ce point.

Seules sont repris ici les éléments de synthèse des travaux du WP3.

5.1 Objectifs

Les **objectifs** des travaux menés sont de :

- démontrer l'intérêt d'introduire du bois de récupération dans la production d'une pâte thermomécanique TMP et de déterminer l'impact sur le procédé de fabrication, sur la qualité de la pâte produite, sur l'aptitude au blanchiment de cette pâte et sur la qualité des effluents générés par le procédé.
- déterminer la quantité maximale de déchets de bois potentiellement utilisables dans la production de pâte TMP pour la fabrication de papiers pour journaux.

5.2 Résultats

Quatre lots de bois de récupération ont été approvisionnés soit en Allemagne, soit en France auprès des partenaires du projet Demowood. Ces lots étaient composés soit de cadres de fenêtre (en Meranti ou en résineux) issus de la démolition de bâtiment, soit de palettes récupérées (figure 1). Ces bois de récupération ont été mis en copeaux par les partenaires récupérateurs pour permettre leur utilisation dans le procédé TMP.

Ces bois de récupération ont été soit introduits dans des copeaux d'épicéa utilisés industriellement pour la production de pâte TMP, soit utilisés pour la production de pâte TMP avant mélange avec la pâte TMP de référence (figure 2).



Figure 1 : Les quatre lots de bois de récupération évalués pour la fabrication de pâtes TMP.

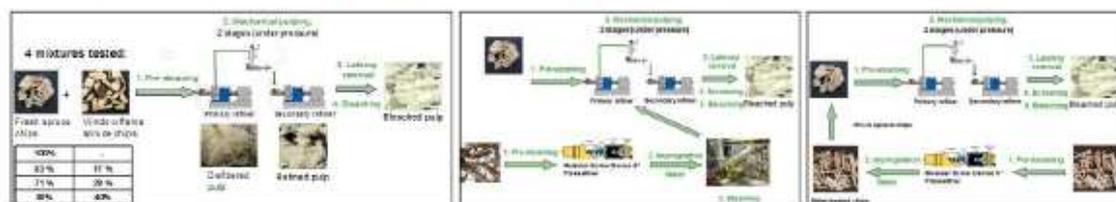


Figure 2 : Configuration du procédé TMP utilisé pour évaluer les quatre lots de bois de récupération (cadre de fenêtre à gauche, bois de palettes 1^{er} lot au centre et bois de palettes 2^{ème} lot à droite).

Différentes proportions de bois de récupération issu de cadres de fenêtre en Meranti ont été introduites dans des copeaux d'épicéa quotidiennement utilisés industriellement pour la production de pâte TMP pour papier journal. Ces essais ont montré qu'il était possible

d'introduire du bois récupéré dans la matière première de référence. Le principal point négatif est la perte de blancheur de la pâte écrue, due à la présence de particules de peinture et de mastic. D'autre part, le Meranti est un bois feuillu exotique qui possède des fibres courtes colorées par rapport à l'épicéa. De ce fait, les propriétés mécaniques de la pâte ont été négativement affectées.

Différentes proportions de bois de récupération issus de cadres de fenêtre en résineux variant de 17 à 40% ont été introduites dans les copeaux d'épicéa de référence et des pâtes TMP ont été produites à différents indices de raffinage. De ces essais, il en ressort les points suivants :

- L'introduction de bois de récupération permet d'économiser de l'énergie électrique consommée par les raffineurs du procédé. Des économies de 18 à 30% sont observées selon la teneur en bois de récupération utilisée.
- Une augmentation de la teneur en bûchettes de la pâte TMP (éléments grossiers néfastes à la qualité) est notée lorsque la teneur en bois de récupération augmente. Mais pour des indices de raffinage utilisés par l'usine, les différences sont nettement moins importantes, permettant d'envisager l'utilisation de ce type de bois dans la fabrication de pâte TMP.
- La présence de bois de récupération n'a pas d'effet significatif sur la longueur moyenne des fibres, entraînant même une amélioration de l'indice de déchirement.
- La résistance à la traction du papier produit avec les pâtes TMP contenant du bois de récupération est légèrement plus faible, du fait de la présence d'un peu plus de bûchettes dans la pâte.
- Le principal point négatif est la perte de blancheur de la pâte TMP : de 5 à 10 points sont perdus lorsque ce bois de récupération est introduit dans les copeaux d'épicéa utilisés industriellement. Il est nécessaire d'effectuer un blanchiment par le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin pour atteindre les mêmes niveaux de blancheur finale que la pâte TMP de référence.
- Les pâtes produites en pilote sont sensiblement de qualité inférieure à celles produites industriellement (pâte de référence) ; résultat partiellement expliqué par l'absence de classage/épuration en pilote. De plus, les pâtes produites en pilote contiennent plus de contaminants (points noirs) et la présence de bois de récupération n'améliore pas la situation du fait de la présence de particules de peinture et de mastic. Le blanchiment des pâtes réduit le nombre de ces contaminants mais le niveau reste supérieur à celui observé en usine.
- Les effluents générés par le procédé TMP en présence de bois de récupération ne sont pas plus chargés que ceux de la pâte de référence. De plus, leur biodégradabilité est meilleure, contrairement à ce que l'on pouvait attendre, du fait de la présence de peinture et de mastic. En fait, il semblerait que ce soient les extractibles du bois, présents en plus faible quantité dans le bois de récupération que dans le bois frais, qui expliquent ces différences de biodégradabilité des effluents.

Des pâtes TMP sont produites à partir du bois de récupération issu de palettes (1^{ier} lot) et sont comparées à la pâte TMP de référence produite avec des copeaux d'épicéa. Les principaux résultats de ces essais sont :

- Le bois de récupération se comporte différemment dans le procédé TMP. Pour des indices freeness supérieurs à 120 ml CSF, il consomme sensiblement plus d'énergie électrique alors qu'à des indices inférieurs à 120 ml CSF, des économies d'énergie sont possibles. Ces différences de comportement au raffinage peuvent s'expliquer par la granulométrie des copeaux, très différente entre des copeaux de rondins et des copeaux de palettes.
- La teneur en bûchettes est plus faible qu'avec le bois d'épicéa de référence, indiquant que la séparation des fibres est plus efficace, compte tenu de l'aspect cassant du bois sec. Un peu plus d'éléments fins sont produits mais les principales caractéristiques des fibres sont maintenues.

- La blancheur de la pâte TMP écrue diminue de 10 points par rapport à la pâte TMP de référence car le bois de récupération a une couleur foncée prononcée.
- La pâte TMP de bois de récupération a une plus faible aptitude au blanchiment, même avec la technologie basée sur le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin.
- Les effluents générés par le procédé TMP sont comparables en charge polluante.

La pâte TMP de bois de récupération blanchie est mélangée à la pâte TMP blanchie de référence avec des proportions variant de 0 à 30%. Avec un blanchiment au peroxyde d'hydrogène, il est possible d'introduire jusqu'à 20% de pâte TMP de bois de récupération dans la pâte de référence sans impact sur les propriétés mécaniques, mais la plus faible blancheur de cette pâte fait limiter ce taux à 10%. Avec un blanchiment au dithionite de sodium, il est possible d'introduire jusqu'à 10% de pâte TMP de bois de récupération dans la pâte de référence sans impact sur les résistances mécaniques de la pâte mais la blancheur est immédiatement affectée, limitant l'intérêt du mélange de pâtes TMP de bois de récupération et de référence.

Le bois de récupération de palettes (2ième lot), sélectionné et de couleur claire, a été prétraité mécaniquement pour augmenter sa teneur en eau, paramètre important dans le procédé TMP. Les copeaux ainsi prétraités sont mélangés à hauteur de 10% en poids à des copeaux d'épicéa avant la mise en pâte TMP conventionnelle, après discussion avec le partenaire industriel. Les principaux résultats de ces essais sont :

- L'introduction de 10% de bois de récupération dans les copeaux de référence entraîne des économies d'énergie de 400 à 500 kWh/t, soit environ 20%.
- L'aptitude au blanchiment de la pâte TMP par le peroxyde d'hydrogène ou le dithionite de sodium n'est pas modifiée par l'introduction de bois de récupération dans la matière première.
- L'introduction de 10% de bois de récupération entraîne une légère diminution des propriétés mécaniques de la pâte TMP, du fait d'une diminution de la longueur moyenne des fibres et de l'augmentation de la teneur en éléments fins.
- Les effluents du procédé TMP ne sont pas modifiés par la présence de 10% de ce bois de récupération.

5.3 Conclusion et perspectives

D'après les résultats obtenus en pilote, il est possible d'introduire environ 10% de bois de récupération dans la matière première utilisée pour la production de pâte TMP pour papier journal, à condition que ce bois soit issu d'un tri sélectif des palettes et qu'il ne soit pas coloré mais plutôt clair pour ne pas impacter les propriétés optiques de la pâte.

Un des paramètres qui peuvent gêner l'utilisation d'un bois de récupération dans le procédé TMP est l'humidité du bois ou sa teneur en eau. Généralement les bois de récupération sont plus secs que les bois utilisés pour la production de pâte TMP. Une étape de ré-humidification est recommandée par étuvage associée à une imprégnation mécanique avec l'eau. L'utilisation de produits chimiques tels que le peroxyde d'hydrogène et la soude en quantité faibles, devrait permettre de faciliter l'utilisation de ces bois de récupération sélectionnés pour la production de pâte TMP.

Comme le procédé TMP est assez rigoureux sur la matière première entrante, il serait intéressant d'étudier le comportement à la fabrication de pâtes chimiques de différents lots de bois de récupération. Ce pourrait être aussi un autre débouché de valorisation des bois récupérés.

6. Production de panneaux (WP4)

C'est le WKI qui est le principal intervenant sur ce sujet. FCBA intervient ponctuellement dans ce Work Package, dans la réalisation d'essais de qualification des émissions de formaldéhyde des panneaux fabriqués à partir de déchets bois.

6.1 Objectifs

Les objectifs sont de :

- Définir les spécifications théoriques pour l'acceptabilité des déchets bois pour la fabrication de panneaux
- Réaliser des essais de fabrication au laboratoire pour tester l'acceptabilité de différents types de déchets bois
- Examiner les possibilités de tri pour préparation d'une matière première secondaire répondant aux attentes de production

Sur la base des investigations du WP1, les partenaires du WP4 en sont venus à choisir plusieurs types de déchets pour tester la fabrication de panneaux : des cadres de fenêtres usagées, avec ou sans leurs revêtements de peinture, des panneaux surfacés de meubles de cuisine et des approvisionnements de déchets bois récupérés tout venant et triés (purifiés) d'une usine de panneaux du partenaire industriel fabricant de panneaux (Pfleiderer).

6.2. Tests de fabrication de panneaux de particules avec des déchets de cadres de fenêtre issus de démolition (50%), après préparation du matériau

La question centrale était ici de voir la nécessité d'enlever la finition; ce nettoyage du bois a été testé par sablage. Les tests mécaniques conduits sur les panneaux fabriqués montrent que les résultats sont tout à fait comparables à ceux de panneaux fabriqués avec 100% de bois propre, avec ou sans enlèvement de la peinture.

Les résultats de recherche des teneurs ou émissions en formaldéhyde concluent également qu'il n'y a pas de différence entre les références et les panneaux fabriqués avec les déchets de fenêtres, avec ou sans peinture.

FCBA a testé les émissions de formaldéhyde des panneaux ainsi préparés ; les résultats de ces essais sont fournis ci-dessous :

Test method Unit	Formaldehyde value	
	EN 120 (mg/100g)	EN 717-2 (mg/m ² .h)
100% virgin spruce	6,23	4,14
50% spruce 50% meranti without paint	5,2	2,32
50% spruce 50% meranti with paint	6,21	2,9
20% spruce 80% meranti without paint	4,21	2,73
20% spruce 80% meranti with paint	5,1	3,23

Pour mémoire, la norme EN120 fixe une limite à 8 mg/100g de formaldéhyde libre pour que les panneaux soient qualifiés « classe E1 » (bas taux de formaldéhyde). On voit que dans tous les cas les panneaux fabriqués avec des déchets de bois ont des émissions de

formaldéhyde inférieures à celles du panneau de référence. L'utilisation de ces déchets ne génère donc pas d'émission supplémentaire de formaldéhyde.

6.3. Utilisation de panneaux de particules usagés

Des tests ont été conduits avec des panneaux grossièrement coupés en morceaux et des panneaux débités en carrés. Une partie des tests ont été faits avec un prétraitement d'immersion dans l'eau pendant 1 jour puis cuisson et traitement vapeur, ainsi que dans une solution d'urée ; la préparation sans prétraitement avec simple écrasement des particules dans un raffineur MDF a également été testée.

Les résultats sont les suivants :

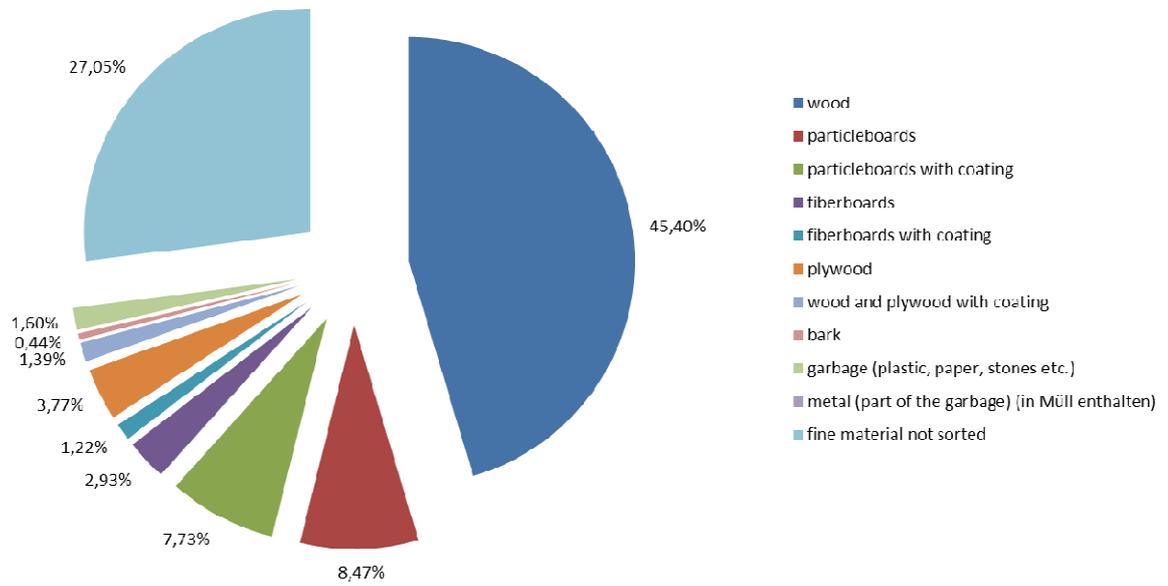
- Avec le prétraitement immersion+cuisson+vapeur, les résultats d'essais mécaniques sont bons et comparables aux références bois propre
- Avec le prétraitement solution d'urée ou passage au raffineur, les résultats montrent des pertes de performances mécaniques
- Les résultats de teneur et d'émission en formaldéhyde sont satisfaisants dans tous les cas.

6.4. Utilisation de déchets de bois tout venant non triés, triés et purifiés

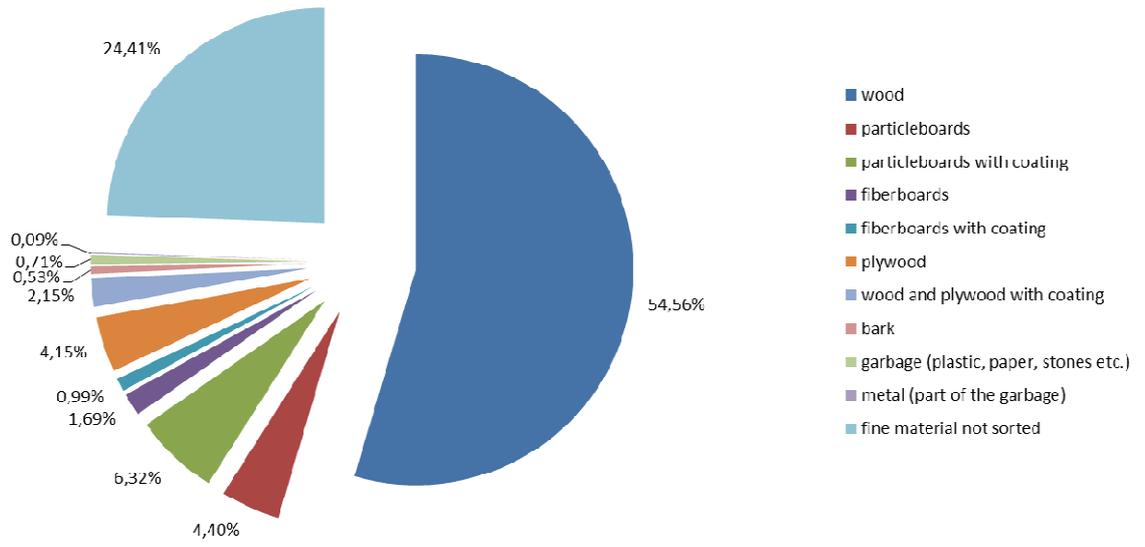
Des échantillons représentatifs des approvisionnements en déchets bois d'une usine Pfeleiderer ont été analysés visuellement avant et après tri par la chaîne automatique.

Les résultats de cette analyse typologique sont représentés ci-dessous :

Composition of the unpurified waste wood



Composition of the purified waste wood



Des panneaux ont été fabriqués avec des proportions fortes (entre 90 et 100%) de déchets purifiés, triés et non triés. A quelques exceptions près, les panneaux ainsi produits montrent des performances mécaniques conformes aux exigences des normes européennes de qualité, donc tout à fait comparables à celles des panneaux fabriqués avec du bois vierge. Seul l'aspect (couleur, aspect des particules en surface) est différent sur les panneaux bruts.

Différentes techniques d'extraction physico-chimiques (méthanol, CO₂ supercritique, vapeur) des contaminants ont également été testées par le WKI, notamment sur des déchets de bois contenant des biocides, avec des efficacités satisfaisantes.

Les conclusions de ces essais sont qu'il est possible de réaliser des panneaux jusqu'à 100% de déchets de bois, avec des propriétés physiques équivalentes à celles des panneaux fait à partir de bois vierge.

7. Energie et bio-combustibles (WP5)

Ce travail est piloté et réalisé en très grande partie par le VTT. FCBA a également ici une participation restreinte, d'apport d'avis et d'expertise sur la partie des travaux concernant l'utilisation des déchets bois comme combustible solide.

7.1. Objectifs

Les objectifs sont les suivants :

- Détermination des caractéristiques de combustion des déchets de bois en installation pilote et évaluation des alternatives de combustion
- Recommandations pour l'amélioration de la qualité des déchets bois pour l'utilisation du combustible et l'efficacité de combustion
- Exploration de l'utilisation de déchets bois pour la production d'éthanol biotechnique en essais de laboratoire ; production de données pour le modèle de production d'éthanol et évaluation de faisabilité.

7.2 Manipulation des combustibles et fonctionnement de la chaudière

- Concernant la manipulation des combustibles, les différentes options de stockage et mélange ont fait l'objet d'une analyse : les sources de problèmes en manipulation, les bonnes pratiques ont été obtenues auprès d'entreprises; des spécifications de qualité ont été définies pour éviter ces problèmes de manipulation.
- Concernant le fonctionnement de la chaudière, des essais de combustion sont faits sur installation pilote (lit fluidisé) avec des lots de combustible déterminés: classe C (classification finlandaise et référence biomasse propre); Une évaluation des problèmes d'agglomération du lit et autres problèmes techniques tels que les risques de corrosion liés aux contaminants sera menée;
Sur la base des résultats, la recherche de conditions de combustion alternatives pourra être menée.

7.3 Emissions de combustion

- Métaux lourds et particules fines: ces émissions sont analysées sur les essais sur installation pilote
- Etude bibliographique sur les systèmes de filtration : efficacité de différents systèmes

Combustibles : le combustible « déchets bois est caractérisé par de fortes teneurs en Na, Zn et Pb et de faibles valeurs en Cl ; il serait classé en classe C selon la classification finlandaise. La référence de biomasse forestière est de composition classique.

Emissions : Pas de différences significatives en émissions gazeuses (émissions en SO₂ légèrement plus fortes avec les déchets bois) ; les déchets produisent nettement plus de particules dans la gamme 0.1-1 micromètres, soit celle pour laquelle l'efficacité des filtres électrostatiques est la plus faible. Les émissions de métaux lourds dans les poussières après la chambre de combustion sont 2 fois plus importantes avec la biomasse forestière mais il s'agit à ~97% de Mn et en grosses particules ; avec les déchets bois, ils sont plutôt dans des particules fines ; théoriquement, les filtres électrostatiques ou filtres à manches permettent de diminuer ces émissions de particules de 30%.

Conduite de la chaudière : la forte proportion en matériau contenant des résines (contreplaqué) a rendu l'étude complexe concernant la combustion en lit fluidisé : le contenu fort en Na favorise l'agglomération du lit ; les cendres volantes des déchets bois génèrent plus d'encrassement (Na, Pb, Zn) et donc une baisse d'efficacité de l'installation ; les dépôts de produits de combustion de déchets bois contiennent de plus fortes concentrations de Zn, Pb mais pas de Cl. En pratique la qualité du combustible varie et donc la présence de Cl est probable, conduisant à des problèmes de corrosion à moyenne et haute température. Avec la biomasse forestière, il y avait du Cl, mais pas de Zn ou Pb, donc un risque de corrosion à haute température.

Conclusions/recommandations

Il est important que des bois récupérés avec un degré de qualité suffisant soient classés comme biocarburant à l'avenir, pour permettre une production d'énergie efficace par co-combustion au lieu d'une incinération de faible efficacité des déchets dans des installations d'incinération.

Un bon point de départ pour déterminer les valeurs limites pour les composés nocifs sont les valeurs maximales trouvées dans la biomasse ligneuse vierge, comme cela a été fait en Finlande. Cependant, plutôt que de donner à chaque métal lourd une valeur limite séparée, il serait préférable de regrouper les métaux lourds et de déterminer une limite de la somme (de même pour la directive incinération des déchets).

Des valeurs limites pour le chlore et l'azote pourraient également être appliquées afin de contrôler les émissions de NOx et de HCl

En plus des exigences pour le combustible lui-même, il pourrait avoir des exigences aussi pour les installations de combustion, tel un minimum de puissance et une exigence d'un électrofiltre ou de meilleur dispositif de séparation de particules.

Le contrôle qualité de combustible est important pour permettre une utilisation à grande échelle du bois récupéré :

- minimiser le contenu en Cl, Zn, Pb et Na (fonctionnement de la chaudière)
- réduire la part du bois CCA (émissions)
- pré tri des bois propres

Il faudrait également utiliser les normes pour déclarer la qualité.

- bois propre et bois propre récupéré : EN ISO 17225-1
- bois récupéré contaminé (Combustibles Solides de Récupération) : EN 15359

Il faut également des moyens spécifiques pour les installations pour faire face aux défis posés par les bois récupérés: - Co-combustion - matériau alternatifs de lit fluidisé, - additifs anti-corrosion.

7.4. Production d'éthanol par procédé biotechnologique :

Les conclusions des essais expérimentaux de laboratoire sont les suivantes :

- Des briquettes de déchets de bois et de poussière (à partir de bois & stratifié) ont été comparés à un bois de référence (bouleau) comme matières premières pour la production d'éthanol
- Les déchets bois contiennent de faibles quantités de cendres et de composants autres que le bois. Basée sur la composition en glucides, l'échantillon contenait une forte proportion de matériau à base de bois résineux (environ 90 ± 5 % du bois) et peu de feuillus.
- Le prétraitement (10 min à 200 ° c, avec catalyseur acide) a été légèrement sous-optimal pour les déchets de bois contenant cette part élevée des briquettes de poussière de bois résineux
- Les panneaux de particules et stratifiés ne semblaient pas convenir pour la production d'éthanol

- Les déchets de bois traités au préalable sont moins inhibiteurs de la levure que le matériau correspondant au bois frais de référence (bouleau)
- ➔ les déchets de bois ne contenaient pas une quantité importante d'impuretés à même de perturber la fermentation
- les concepts de processus de fermentation mis au point pour les autres matières premières, surtout pour les résineux comme l'épicéa, peuvent s'appliquer dans l'évaluation des concepts basés sur l'utilisation de déchets de bois comme matière première pour la production d'éthanol

En conclusion :

- Les déchets de bois conviennent pour des processus biotechnologiques «standards» pour la production d'éthanol cellulosique, probablement avec seulement des modifications mineures :
 - comme éléments supplémentaires pour la production d'éthanol issue de bois
 - si les quantités sont suffisantes, les déchets de bois peuvent constituer la base de matière première principale pour une installation
 - les déchets bois peuvent éventuellement, sous conditions de modifications dans la section de traitement préalable, servir de matière première supplémentaire pour les processus de base paille (premières usines commerciales actuellement en Europe)
- Les déchets bois peuvent servir de source renouvelable de sucres, pour être utilisés comme matière première pour l'industrie de la fermentation au-delà du bioéthanol
- Des échantillons de bois déchets provenant d'autres sources peuvent varier en composition, => une optimisation et des études de process plus détaillés sont nécessaires pour une évaluation appropriée dans chaque cas

8. Evaluation technique, économique, logistique et environnementale (WP6)

8.1. Objectifs

L'objectif de ce « Work Package » est d'évaluer la performance et les bénéfices environnementaux de scénarios de valorisation basés sur les conclusions des travaux précédents. En pratique, il s'agit de :

- Générer et sélectionner des modèles de filières de valorisation de déchets de bois ;
- Evaluer ces différentes filières en termes de durabilité, en prenant notamment en compte l'aspect recyclage matière et valorisation énergétique ;
- Analyser les effets des aspects logistique et tri.

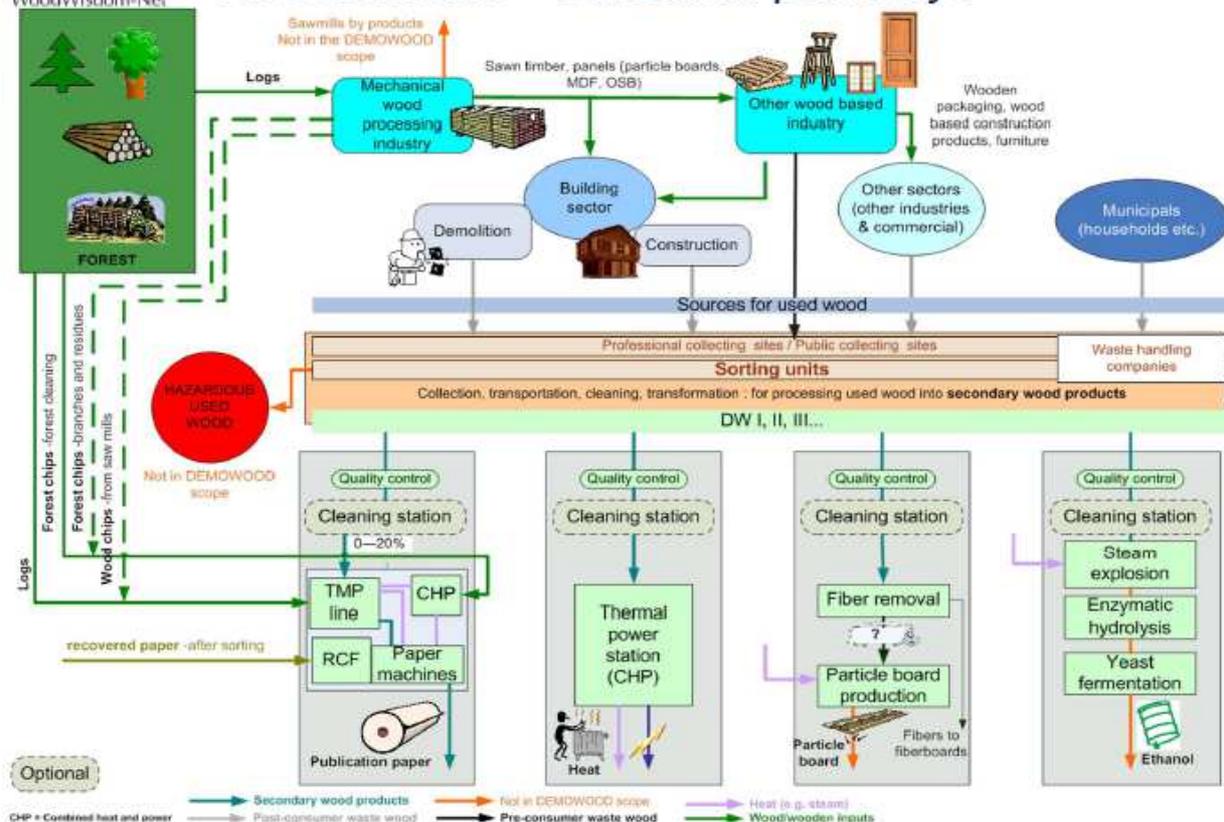
L'évaluation des bénéfices environnementaux des filières sélectionnées doit se faire par Analyse de Cycle de Vie (ACV).

Cette partie du projet a été pilotée par le VTT. FCBA a contribué de façon importante à la partie évaluation environnementale et également à la partie évaluation économique.

8.2. Concepts de valorisation

L'ensemble du système considéré a d'abord été décrit (voir figure ci-dessous), puis il s'est agi de constituer des modèles techniques de valorisation (ou concepts), pour chacun des secteurs utilisateurs des bois récupérés ; la tâche 1 s'est ainsi achevée avec publication du rapport DL 6.1 «*Generation and selection of end of life waste wood utilization pathways* ».

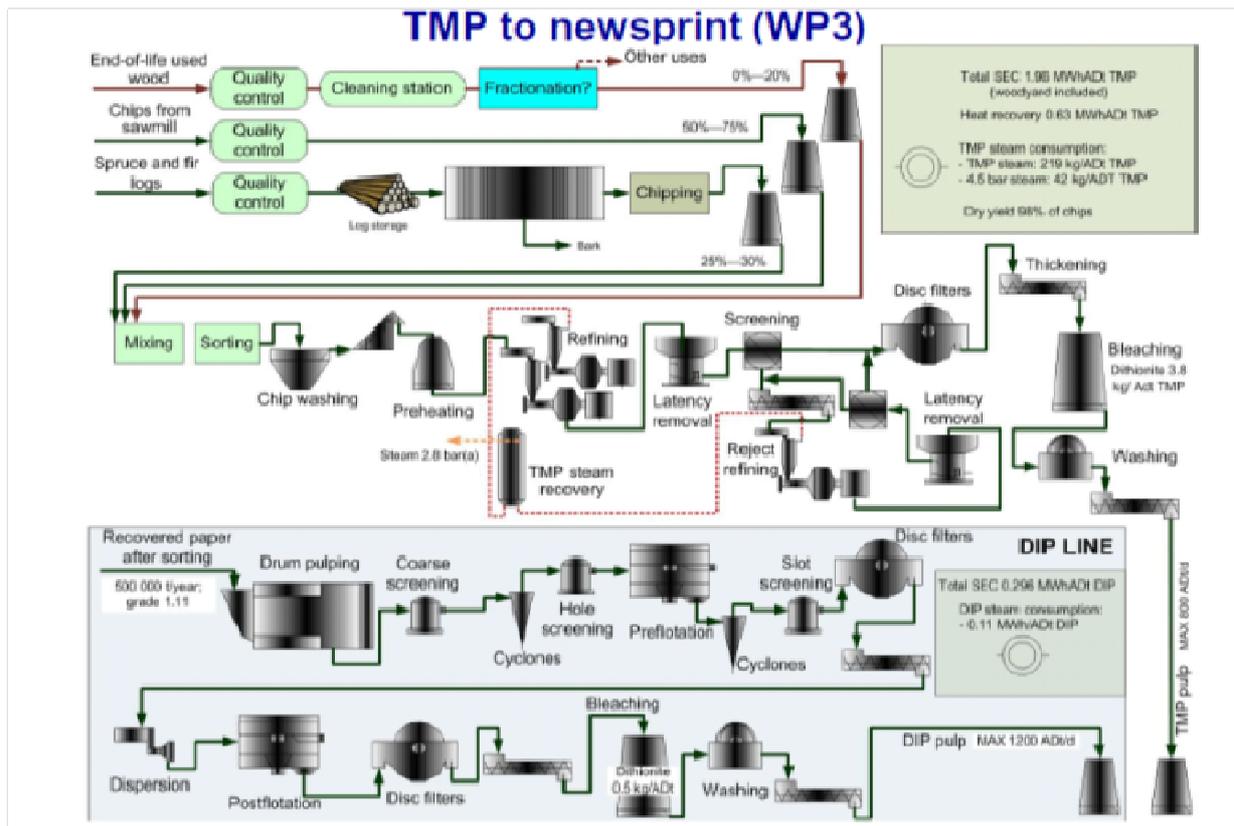
WP6: Technical, Economical and Environmental Assessments - Utilization pathways



Les concepts décrits et retenus pour analyse sont résumés dans le tableau suivant :

Concept	Reference level	DEMOWOOD case
Panel board production (WP4)	100% Pulpwood spruce	30% secondary wood products
Mechanical pulp production (WP3)	70%-75% chips from saw mill 25%-30% spruce chips	20% of secondary wood products applied to replace part of the chips from saw mill
Ethanol production (WP5)	100% pulpwood spruce or straw	100% of secondary wood products
CHP (WP5 & WP6)	100% mechanical wood processing industry side products	100% of secondary wood products

Ci-après un exemple de concept concernant l'utilisation de bois récupéré en production de pâte à papier.

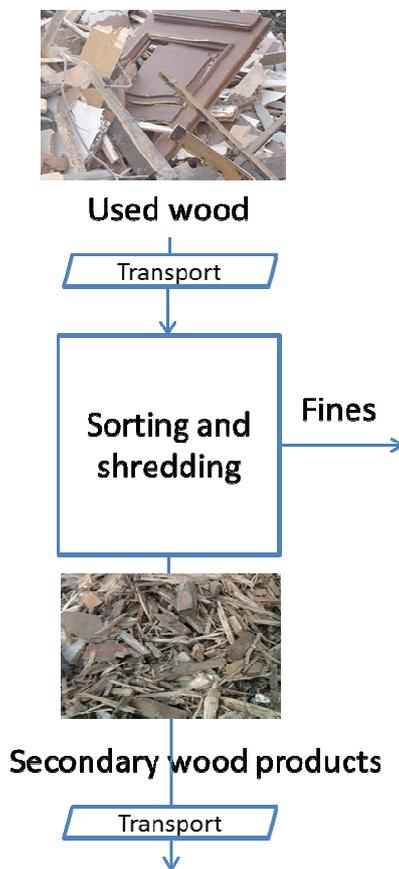


Les tâches 2 et 3 d'évaluation technique, environnementale et économique ont ensuite été menées ; des questionnaires ont été élaborés et le recueil de données techniques et environnementales a été réalisé auprès des partenaires industriels et des experts des instituts concernés par chaque cas. Les résultats de ces travaux ont été décrits dans les livrables DL 6.2, « System analysis of waste wood utilization options » et DL 6.3 « Sustainability assessment ».

8.3. Evaluations environnementale et économique du tri et de la logistique

Une analyse particulière a été menée sur les aspects de logistique et de tri.

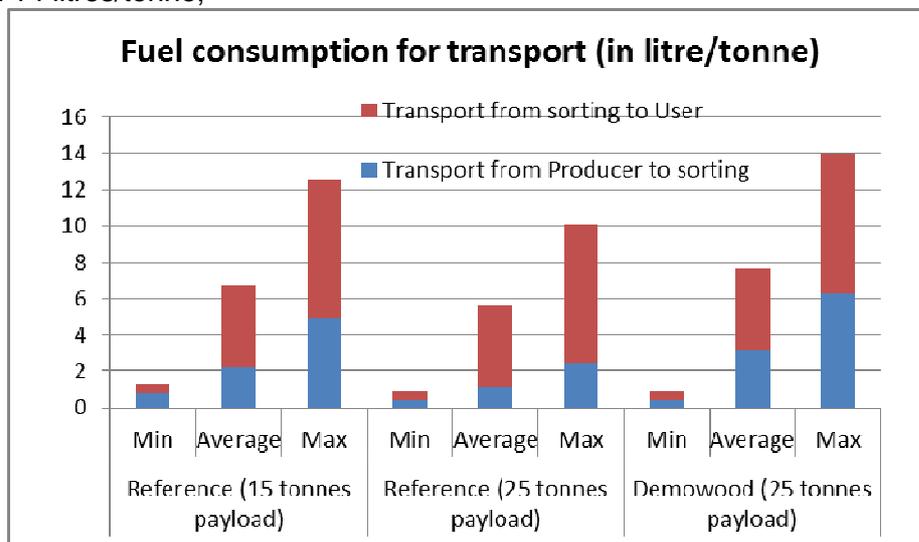
Cela a consisté à étudier le système en amont des installations utilisatrices des déchets de bois à recycler.



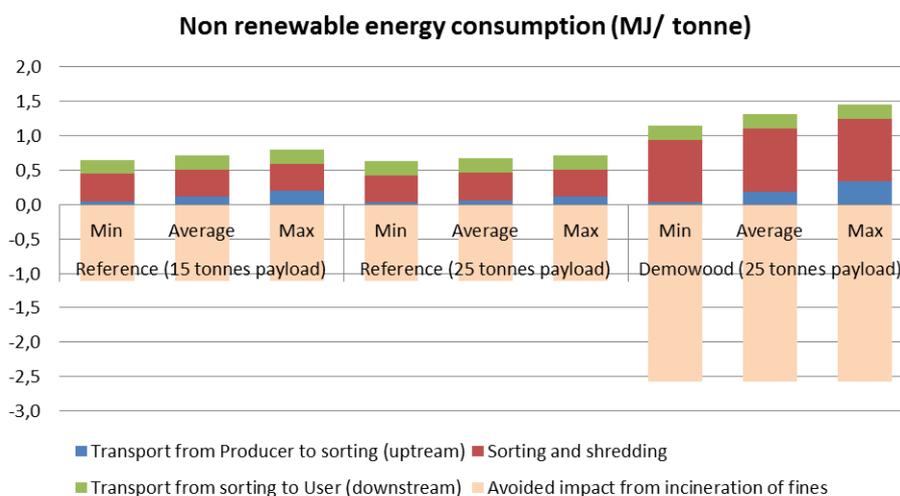
- Le scénario de référence implique une technologie actuelle pour le tri et broyage :
 - tri préalable fondée sur l'inspection visuelle, broyage, nettoyage ou séparation (métaux ferreux, métaux non ferreux, séparation par gravité), tamisage.
 - Transport en amont : il est possible de trouver une plate-forme de tri dans un rayon de 50 km.
 - Transport en aval : basé sur les données récentes de sondage auprès de Veolia, Sita et L & T
- Le scénario DEMOWOOD intègre un tri supplémentaire et traitement pris en compte dans DEMOWOOD, qui impliqueraient :
 - systèmes de détection en utilisant une combinaison de différentes technologies (XRF, NIR, IMS, etc.),
 - systèmes de séparation entre bois et bois propres contaminés.
 - transport en amont : la combinaison de systèmes de détection s'appliquera uniquement sur les grandes plates-formes situées près des villes importantes.
 - transport en aval : mêmes données que pour le scénario de référence, étant donné que même s'il y a moins de plates-formes, plus d'entreprises seraient intéressées par ce bois "plus propre"

Concernant les impacts environnementaux du tri et de la logistique, on constate que :

- La quantité de carburant utilisée pour transporter le bois utilisé varie de 1 litre/tonne jusqu'à 14 litres/tonne;



- l'énergie non-renouvelable correspondant à des consommations directes d'énergie (carburant, consommation d'électricité) double avec la mise à niveau de la plateforme de tri. Cependant, l'incinération des fines permet de récupérer plus d'énergie.



Les distances de transport ont une influence faible à moyenne sur l'impact environnemental lié à l'utilisation des déchets de bois dans les différentes filières étudiées:

- Ethanol: si la distance de transport amont varie de +-50%, l'indicateur de changement climatique varie de +-15%,
- Panneaux de particules : si la distance de transport amont varie de +-50%, l'indicateur de changement climatique varie de +-4%,
- Cogénération chaleur-électricité: si la distance de transport amont varie de +-50%, l'indicateur de changement climatique varie de +-2%.

Concernant les aspects économiques du tri et de la logistique, on constate que :

- Les coûts de transport ont une forte influence sur les économies liées à l'utilisation des déchets de bois dans les différentes filières :
 - Ethanol: si les coûts de transport varient de +-50%, les économies varient de +-30%,

- Panneaux de particules : si les coûts de transport varient de +-50%, les économies varient de +-13%,
- Cogénération chaleur-électricité: si les coûts de transport varient de +-50%, les économies varient de +-40%.

En conclusion de cette analyse, en considérant les limites de l'exercice liées au fait qu'il n'y a pas de données représentatives (économiques et environnementales) pour les plateformes de tri imaginées avec les nouvelles technologies (plateformes "high tech") et qu'il y a de fortes incertitudes sur les distances, on peut retenir les points suivants :

- l'impact du tri et de la logistique est significatif pour l'économie du système de valorisation et un peu moins sur le plan de l'environnement.
- toutefois, cela ne remet pas en question l'intérêt de l'utilisation de déchets de bois au lieu des combustibles fossiles ou de bois vierge dans les différentes filières étudiées
- l'importance relative du transport dépend de la voie considérée; une analyse spécifique par site doit être faite,
- la qualité du bois de recyclage issu des plateformes de tri "high tech" devrait être proche de celle du bois propre pour permettre une rentabilité de ces activités de gestion des déchets; des incitations ou soutiens publiques / collectifs pourraient être nécessaires pour aider au développement de ces plateformes de tri « high tech ».

8.4. *Evaluation économique du développement des filières de valorisation*

8.4.1. **Méthodologie d'évaluation des concepts**

Cette méthodologie peut se résumer par la succession d'étapes suivantes :

- **Description des concepts, coûts totaux de production, ou économies réalisées**
 1. Concept selon les spécifications du détenteur de la technologie : objectifs, hypothèses pour l'analyse du système, capacité, etc.
 2. Diagramme schématique de process : de l'entrée à la sortie
 - Estimation des flux et rendements pour les matières premières et utilités (énergies et eau) : paramètres spécifiques de process pris auprès du détenteur ou dans la littérature
 3. Estimation de coût base sur ces données : prix appliqués selon les informations du détenteur, données publiques ou expertise VTT
 4. Résultats :
 - Estimation des coûts de production
 - Sensibilité des coûts par rapport à certains paramètres (coût matière première, principaux paramètres process)
 - Ou, évaluation du changement dans le process en se focalisant sur les paramètres les plus importants soumis à changement

Résultats : économies réalisées
- **Pré-estimation de la rentabilité des concepts (RSI), ou Investissement acceptable possible**
 1. Estimation de l'ordre de grandeur des investissements : basée sur les coûts historiques et sur les méthodes d'estimation des coûts par étape
 2. Coûts fixes (maintenance, travail, charges, etc.) : basés sur la méthode factorielle (facteurs issus de la littérature)
 3. Estimations des revenus des produits : prix appliqués basés sur les données des détenteurs de la technologie, données publiques et expertise VTT ; des études de marché peuvent cependant être nécessaires

4. Résultats

- Retour sur investissement (RSI)
- Etudes de sensibilité du RSI
- Ou investissement additionnel acceptable possible (équipement de tri) calculé sur la base des économies réalisables

8.4.2. Conclusions générales

Tous les concepts recherchent des améliorations de leur compétitivité :

- **Fabricant de panneaux de particules** - Important utilisateur déjà de Bois Récupérés (BR)
- **Pâte Thermo-Mécanique (TMP)** – n'utilise pas encore de BR
- **Combustion pour production d'énergie** (CHP plant) : Important utilisateur déjà de BR
- **Production d'éthanol** – concept n'existant pas encore (à partir de bois)
- **Plateformes de tri** - rôle majeur dans les filières d'utilisation, par la fourniture de différentes fractions (et plus encore dans l'avenir) pour différents utilisateurs.

Tous ces utilisateurs ont différents challenges liés à l'utilisation ou l'augmentation de l'utilisation des BR : la qualité du produit final, le procédé ou les émissions correspondantes.

- Tous les concepts analysés montrent des économies positives lorsque l'on remplace de la ressource bois forestière par des bois récupérés ou déchets bois ; seul le cas TMP n'a pas été évalué précisément mais le potentiel existe également dans ce cas.
- Les quantités et allocations des bois récupérés disponibles ou utilisés dépendent des facteurs suivants :
 - Prix de marché des BR
 - Positionnement géographiques des installations et distances de collecte
 - Capacités process et nouvelles installations
 - Réglementations

8.5. Evaluation environnementale du développement des filières de valorisation

Le travail a été mené selon deux objectifs :

- Evaluer la pertinence de chaque scénario de valorisation des bois récupérés
 - CHP concept : installation de cogénération
 - Particle Board concept : fabrication de panneaux de particules
 - Ethanol concept : production d'éthanol

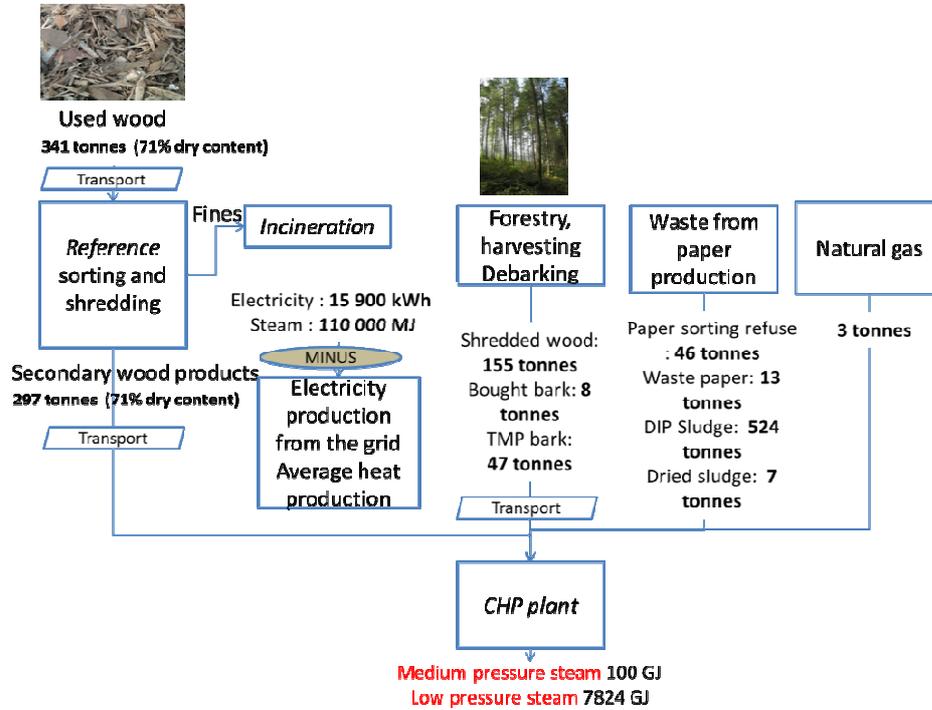
Cette évaluation vise à répondre à la question suivante : *du point de vue de l'utilisateur, est-il plus intéressant d'utiliser des bois récupérés à la place de bois vierge ou biomasse forestière?*

- Faire une comparaison environnementale des différents concepts entre eux.
Cette évaluation vise à répondre à la question suivante : *du point de vue du producteur de déchets bois quelle est la meilleure stratégie environnementale pour gérer une tonne de bois récupérés ?*

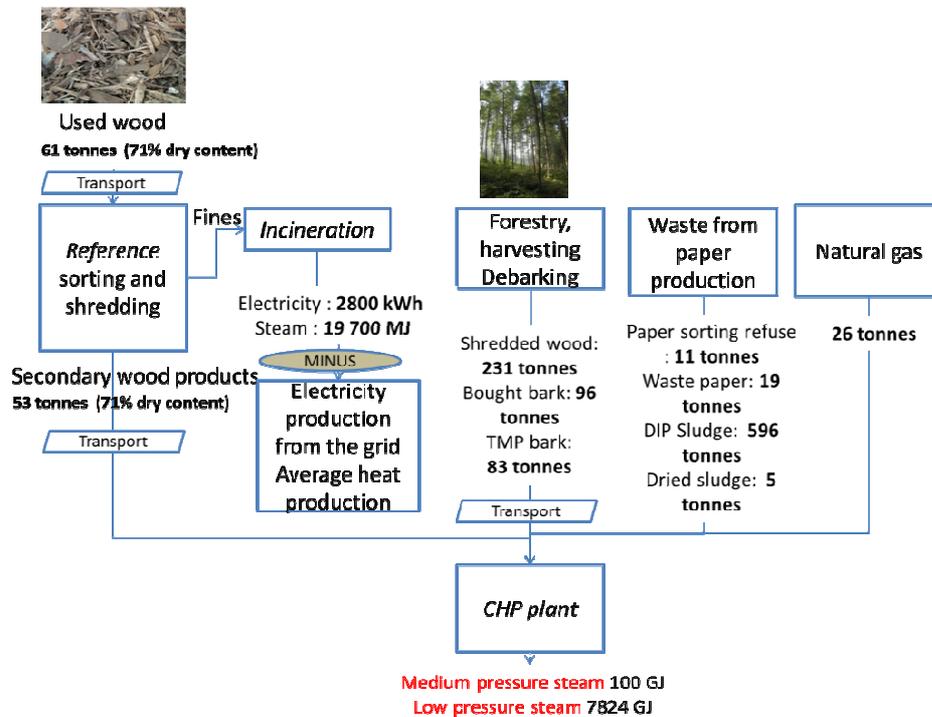
8.5.1. Evaluation environnementale du concept CHP (Cogénération chaleur-électricité)

Le scénario DEMOWOOD est comparé au scénario de référence ; ces deux cas d'étude sont décrits schématiquement ci-dessous :

Cas DEMOWOOD



Cas de référence



En résumé, l'évolution consiste à substituer la quasi-totalité du gaz naturel et une partie de la biomasse forestière utilisés dans le cas de référence par des déchets de bois. Dans ces conditions, les calculs d'impact environnementaux sont effectués pour une production journalière de 100 GJ de vapeur moyenne pression et de 7824 GJ de vapeur basse pression.

Les résultats de cette substitution en utilisant les déchets de bois sont les suivants :

Réchauffement climatique : - 67 t eqCO₂

Acidification : + 15 kg eqSO₂

Oxydation photochimique : + 2,4 kg eq C₂H₄

Consommation d'énergie renouvelable : + 1 624 369 MJ

Consommation d'énergie non renouvelable - 1 365 731 MJ

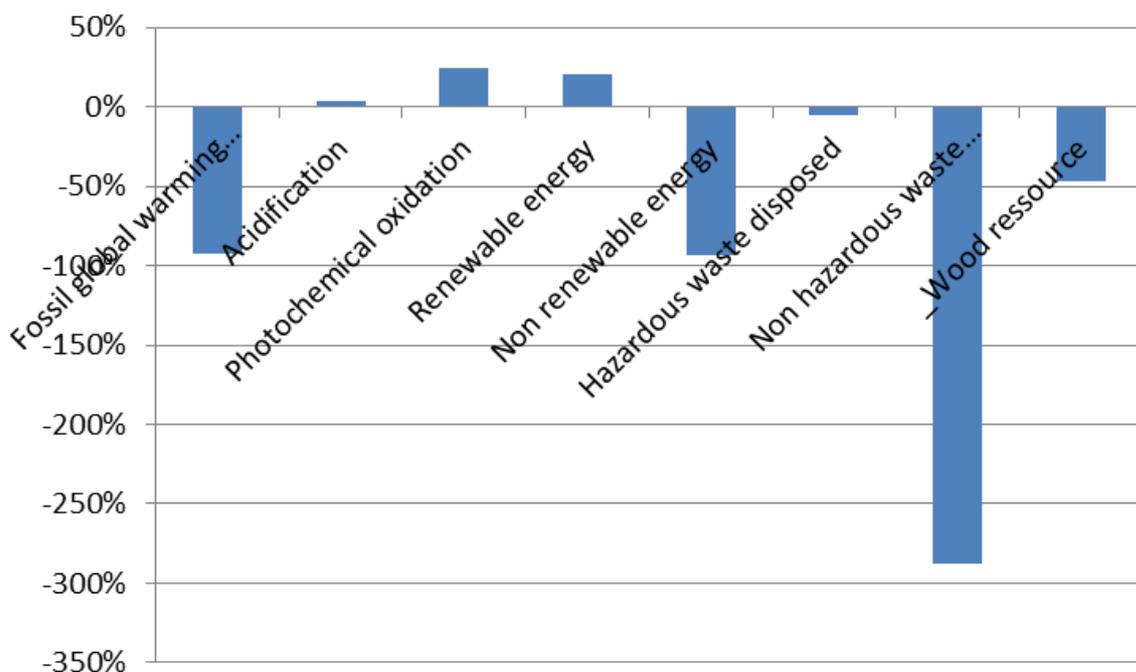
Déchets dangereux : - 5 kg

Déchets non dangereux : - 1,5 t

Consommation de ressource bois : - 235 m³

Impact relatif du passage aux bois récupérés:

(I scénario – I référence) / I référence



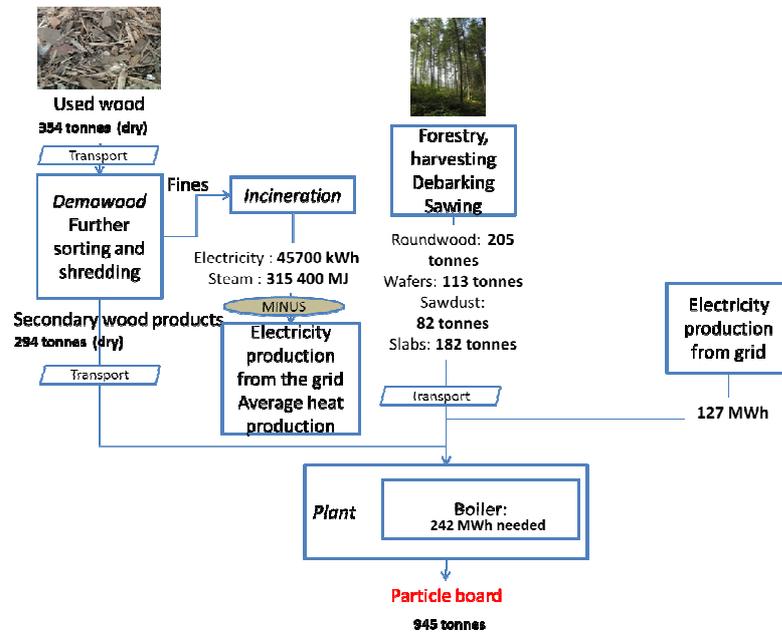
En conclusion, l'augmentation de la part de déchets bois ou bois récupérés en substitution du gaz naturel et de la ressource forestière a les conséquences environnementales suivantes :

- Une diminution des indicateurs d'impact sur le réchauffement climatique lié aux GES d'origine fossile et de consommation d'énergie non renouvelable ; cela est dû à la diminution de consommation de gaz naturel;
- Une augmentation de la consommation d'énergie renouvelable liée au remplacement de l'énergie fossile par des bois récupérés
- Une diminution de l'utilisation de la ressource bois forestière, liée à l'utilisation des bois récupérés,
- Une augmentation non significative de l'indice d'oxydation photochimique

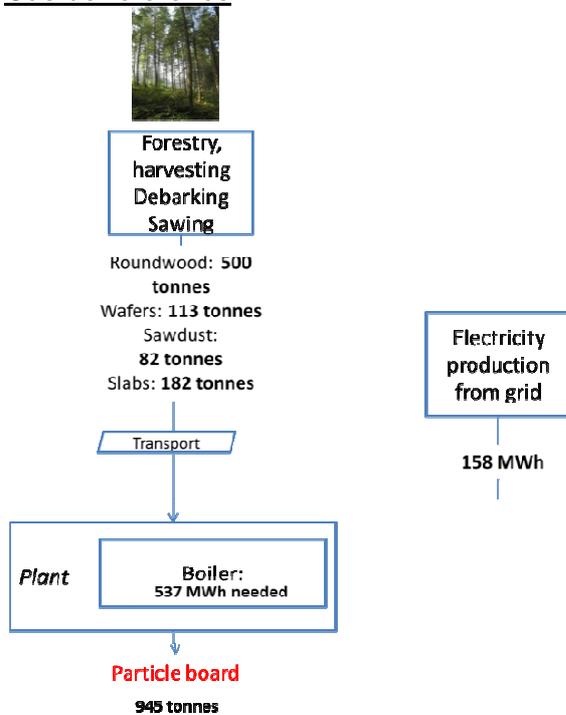
8.5.2. Evaluation environnementale du concept fabrication de panneaux de particules

Le scénario DEMOWOOD est comparé au scénario de référence ; ces deux cas d'étude sont décrits schématiquement ci-dessous :

Cas DEMOWOOD



Cas de référence



En résumé, l'évolution consiste à substituer 295 t de bois ronds de ressource forestière, par des déchets bois.

Dans ces conditions, les calculs d'impact environnementaux sont effectués pour une production journalière de 945 tonnes de panneaux de particules.

Les résultats de cette substitution en utilisant les déchets bois sont les suivants :

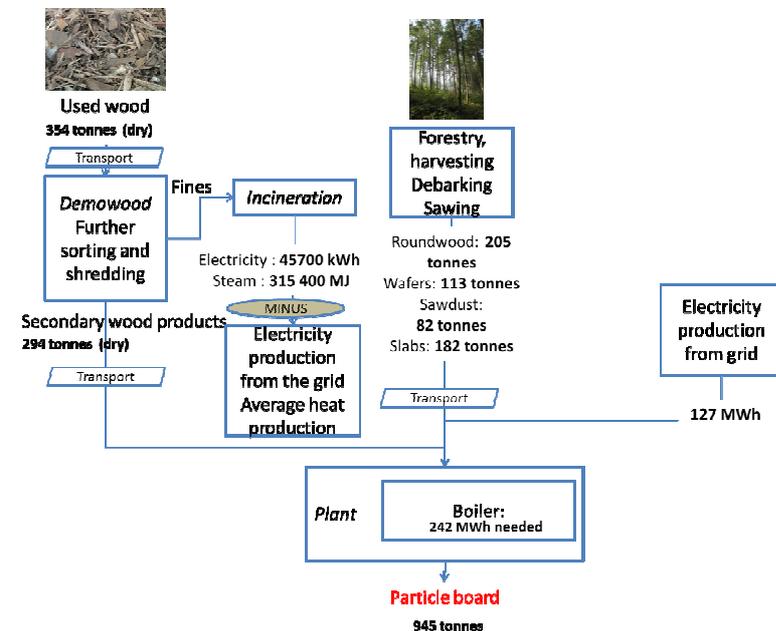
- Réchauffement climatique : - 52 t eqCO₂
- Acidification : 249 kg eqSO₂
- Oxydation photochimique : - 14,5 kg eq C₂H₄
- Consommation d'énergie renouvelable : - 479 669 MJ
- Consommation d'énergie non renouvelable - 1 021 439 MJ
- Déchets dangereux : - 491 kg
- Déchets non dangereux : - 11 t
- Consommation de ressource bois : - 763 m³

En conclusion: l'augmentation de la part de déchets bois en substitution de la ressource bois forestière améliore tous les indicateurs d'impact environnemental étudiés.

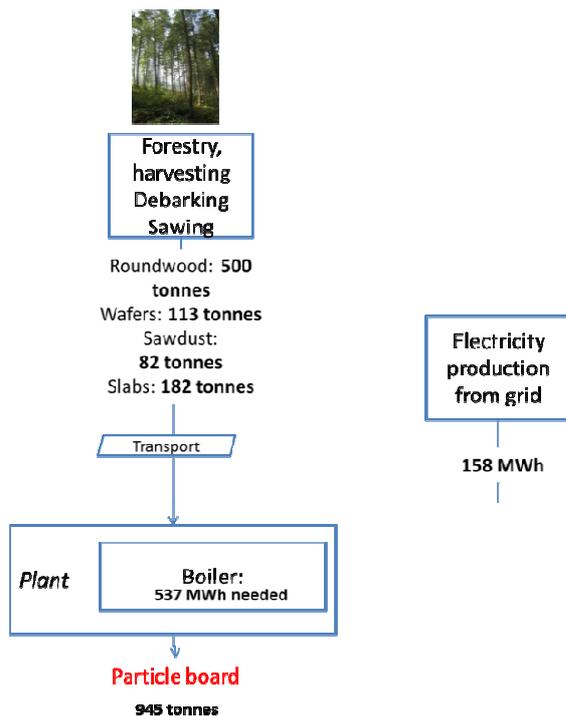
8.5.3. Evaluation environnementale du concept Ethanol

Le scénario DEMOWOOD est comparé au scénario de référence ; ces deux cas d'étude sont décrits schématiquement ci-dessous :

Cas DEMOWOOD



Cas de référence



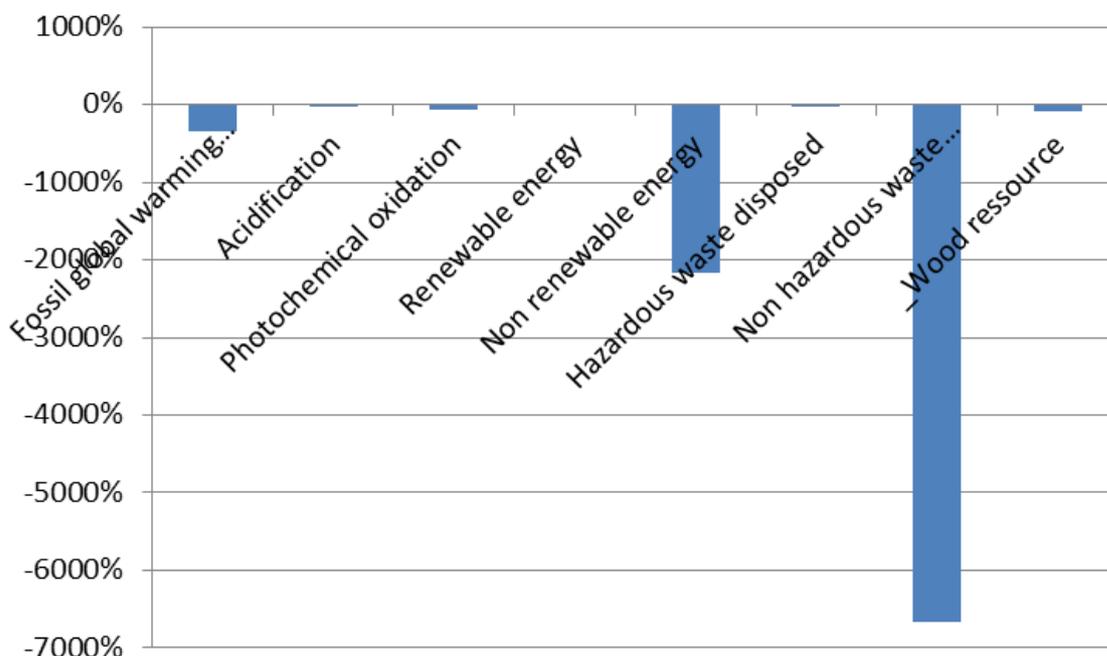
En résumé, l'évolution consiste à substituer 295 t de bois rond de ressource forestière par des déchets de bois.

Dans ces conditions les calculs d'impact environnementaux sont effectués pour une production journalière de 212 tonnes d'éthanol.

Les résultats de cette substitution en utilisant les déchets bois sont les suivants :

- Réchauffement climatique : - 64,5 t eqCO₂
- Acidification : - 56,3 kg eqSO₂
- Oxydation photochimique : - 20 kg eq C₂H₄
- Consommation d'énergie renouvelable : + 3 314 019 MJ
- Consommation d'énergie non renouvelable - 998 305 MJ
- Déchets dangereux : - 463 kg
- Déchets non dangereux : - 8,5 t
- Consommation de ressource bois : - 2 275 m³

Impact relatif du passage aux bois récupérés:
 (I scénario – I référence) / I référence



En conclusion, pour la fabrication d'éthanol, comme dans le cas précédent de la fabrication des panneaux de particules, l'augmentation de la part de déchets bois en substitution de la ressource bois forestière améliore tous les indicateurs d'impact environnemental étudiés.

8.5.4. Conclusion sur la pertinence environnementale des scénarios de valorisation des bois récupérés

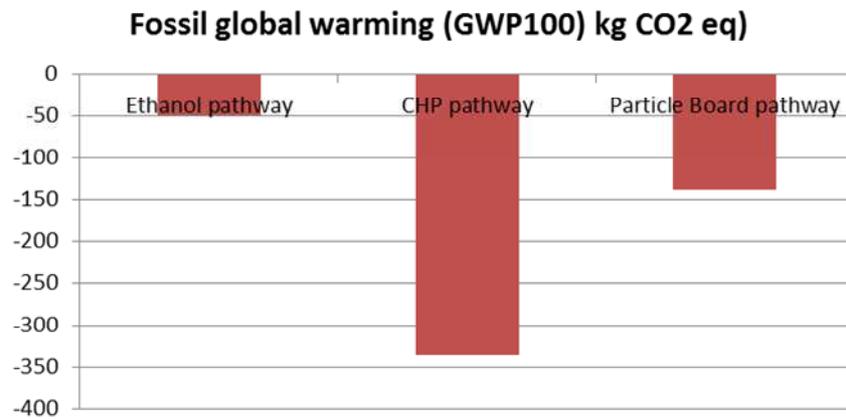
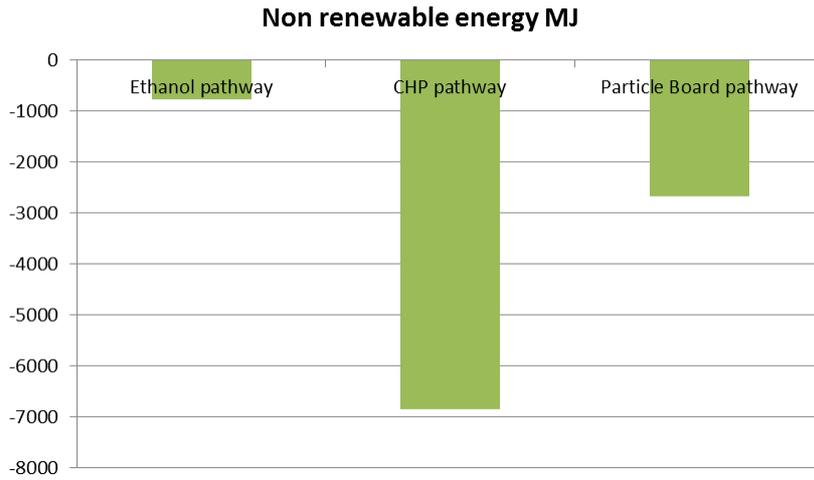
L'évaluation par ACV de la maximalisation de l'utilisation des déchets de bois récupérés dans les trois filières étudiées (éthanol, panneaux de particules et cogénération) montre des bénéfices pour la plupart des indicateurs environnementaux.

Les résultats pour l'installation de cogénération montrent que l'utilisation de produits bois récupérés en substitution de gaz naturel et de bois vierge a un impact négatif sur les émissions atmosphériques (plus de COVs et de NOx).

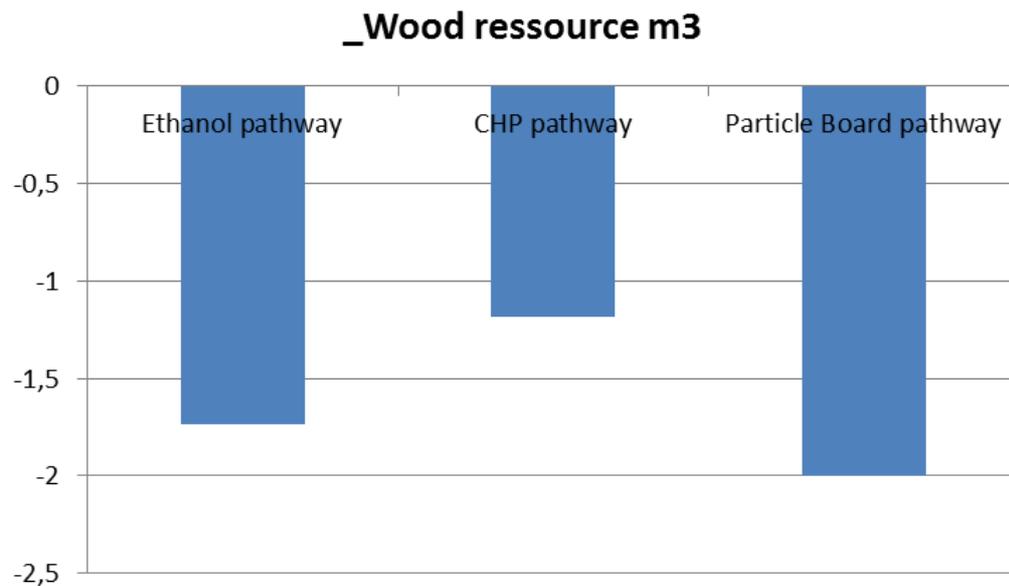
8.5.5. Comparaison environnementale des filières de valorisation

L'unité fonctionnelle prise en compte pour la comparaison entre les trois filières étudiées (éthanol, panneaux de particules et cogénération) est : gérer 1 tonne (sèche) de déchet bois récupéré, à partir du site qui génère le déchet.

Les résultats dans les graphiques suivants présentent la différence entre le cas DEMOWOOD et le cas de référence.

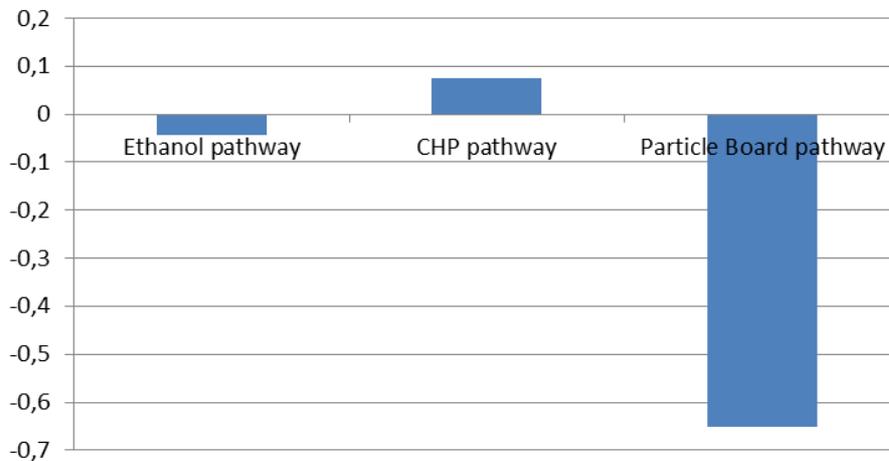


Le concept CHP (cogénération) est meilleur pour les indicateurs de réchauffement climatique et de consommation d'énergie renouvelable. En effet, le concept CHP est le seul dans lequel le scénario de référence inclue l'utilisation de combustible fossile.

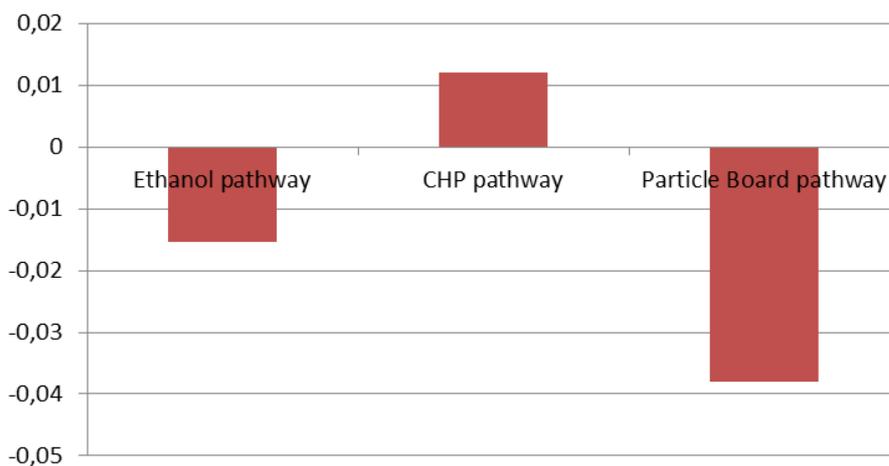


Le concept fabrication de panneaux de particules est celui qui permet d'économiser le maximum de ressource forestière (à la fois en tant que matériau et source d'énergie).

Acidification kg SO₂ eq

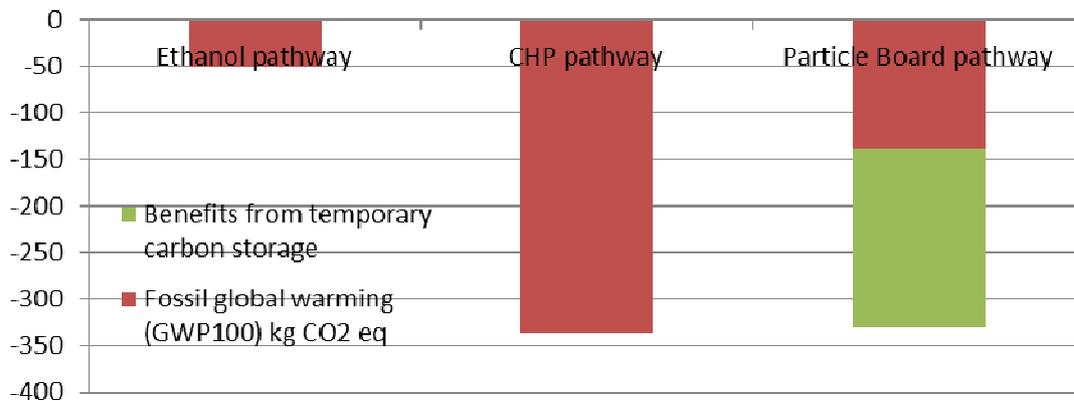


Photochemical oxidation kg C₂H₄ eq



Le concept de fabrication de panneaux de particules est meilleur sur les indicateurs d'impact d'acidification de l'air et d'oxydation photochimique, en raison des économies d'énergie process et des émissions correspondantes imputables à la combustion de la biomasse ligneuse.

Fossil global warming (GWP100 kg CO2 eq) and temporary carbon storage



Si le stockage temporaire du carbone est ajouté pour le calcul de l'indicateur d'impact de gaz à effet de serre, le concept de fabrication de panneaux de particules obtient un résultat comparable au concept cogénération (CHP). La fabrication de panneaux de particules est la seule voie pour laquelle le carbone biogénique est maintenu stocké dans un produit 15 années supplémentaires par rapport aux autres concepts

En conclusion de ces évaluations comparatives, le concept de fabrication de panneaux de particules montre des résultats favorables par rapport aux deux filières énergie étudiées.

Ces résultats sont en cohérence avec la priorité donnée actuellement par la directive déchets sur le recyclage matière.

Cependant, ces résultats pourraient être discutés pour d'autres indicateurs ; en effet les aspects toxicité et écotoxicité n'ont pas été évalués dans cette étude par manque d'informations sur la dispersion des contaminants.

9. Diffusion des résultats et communication (WP7)

Un site web a été mis en place pour la diffusion d'informations du projet : www.wwnet-demowood.eu : les rapports classés "publiques" vont être chargés sur ce site et des notes/résumés des rapports classés "diffusion restreinte aux partenaires du projet" y seront également mis en place.

Ci-dessous la liste des communications effectuées sur le projet.

Date	Titre	Cible	Partenaires impliqués
19-20 Feb. 2013	Optimisation of material recycling and energy recovery from waste and DEMOLITION WOOD in different value chains - 5th WWNet Symposium, PTS, Munich	WoodWisdomNet partners: wood science researchers, agencies	FCBA - Gerard Deroubaix,
October 2012	Used wood sorting, utilization and recycling in different value chains – Nordic Wood Biorefinery Conference	Biorefinery/ Paper experts and professionals	VTT, Juha Hakala
17-19. April 2012	Optical Infrared Detection of Contaminations in Recovered Wood - Sensor Based Sorting 2012, International Conference and Exhibition, Aachen Eurogress	Sensor technique industry	WKI - Peter Meinschmidt, Burkhard Plinke
10. Mai 2012	Automatisierte Sortierung AI/All – ist das möglich - Altholztag von BAV, BDE und VDMA, Altholz – que vadis?, IFAT-Entsorga in München	Waste management and recycling industry and experts	WKI - Peter Meinschmidt, Burkhard Plinke
10.-12. October 2012,	Testing of Innovative Detection Methods on Recovered Wood for Particle Board Production 8 th European Wood-Based Panel Symposium, Hannover	Panels industry	WKI, Peter Meinschmidt, Robert Briesemeister, Brigitte Dix
24 October 2012	Presentation technical meeting of French panel industry Valorisation des déchets bois: Etude DEMOWOOD	Panels industry	FCBA – Gerard Deroubaix
28 November 2012	Presentation technical workshop at POLLUTEC 2012 Perspectives de l'évolution des usages des déchets bois: Etude DEMOWOOD	Waste management industry and experts, energy, pulp, wood paper industry	FCBA – Gerard Deroubaix
2012, November	DEMOWOOD – Optimierung des Stoffrecyclings und der Energieverwendung aus Abfall und Abfallholz in Wertschöpfungsketten – TP Produktion von Holzwerkstoffplatten aus recycelten Spänen	Experts of the wood and wood-based industry	WKI - Peter Meinschmidt

	iVTH Newsletter, Ausgabe 6, November		
2011	IR and NIR Separation Techniques for particle boards made of recycling wood; Applications of Sensor-based Sorting in the Raw Material Industry, ISBN: 978-8440-0585-1, Shaker Verlag, Aachen; 2011	Sensor technique industry	WKI - Peter Meinschmidt und Burkhard Plinke

Par ailleurs, deux articles résumés en anglais du projet et de son avancement ont été publiés dans la newsletter du réseau WoodWisdomNet, à début 2012 et début 2013.

Un résumé du même type a également été publié sur le site de FCBA.

Des présentations d'avancement ou de synthèse ont également été réalisées lors des ateliers du réseau WoodWisdom Net qui ont eu lieu en 2012 et 2014.

Une conférence finale ouverte au public a été réalisée le 6 mai 2014 sur le parc des expositions de Munich, dans le cadre du salon des technologies de l'environnement IFAT 2014. Cette conférence a réuni 25 participants. Les présentations sont disponibles sur le site web www.wwnet-demowood.eu.

Le programme de cette conférence est présenté ci-dessous :

***Optimisation of material recycling and energy recovery
from waste and demolition wood in different value chains.***

9.00 – The DEMOWOOD project - From used wood to secondary wood products, an important resource and a large potential for improvement of its management - Gerard Deroubaix, FCBA

9.30 – Waste wood sorting: the challenge of adapting recovered wood to the user's requirements - Laurence Lafosse, VEOLIA

10.00 - Modern sorting techniques for waste wood - Peter Meinschmidt, WKI

11.00 – Are recovered woods a potential resource for the production of Thermo-Mechanical Pulp – Valerie Meyer, CTP

11.30 - Particleboard production from cleaned waste wood - Peter Meinschmidt, WKI

13.30 – Classification of waste wood for combustion based on ISO 17225 –standard - Eija Alakangas, VTT

13.50 - Waste and demolition wood as raw material for ethanol and other fermentation products - Matti Siikaaho, VTT

14.10 – Sorting platforms and logistics: economical and environmental assessment - Estelle Vial, FCBA

14.30 - Economic analysis of concepts utilizing secondary wood products – Methodology and results; Example case ethanol production: Juha Hakala, VTT

15.00 – Environmental assessment of different recycling pathways – Tifenn Guennec, FCBA

15.30 – Prospects for the development of waste wood recycling and energy recovery: round table with all experts

Une restitution/présentation de synthèse est effectuée le 12 mai auprès des ingénieurs de l'ADEME ; le même type de restitution sera également organisé en France pour les acteurs professionnels et institutionnels en septembre 2014.

10. Conclusions

Le projet DEMOWOOD a eu pour objet d'étudier les possibilités de développement significatif de la valorisation des déchets de produits bois dans les filières pâte à papier, panneaux de particules et énergie. Le champ d'étude était les déchets de produits bois en fin de vie (construction, ameublement, emballage) et les déchets des industries de seconde transformation du bois non valorisés en interne.

Le partenariat établi pour réaliser ce projet, comprenait des organismes de recherche et des entreprises des secteurs de la gestion des déchets, de la pâte à papier, du panneau de bois reconstitué et producteurs d'énergie, français, allemands et finlandais. La complémentarité de compétences et la diversité des situations nationales ont permis de traiter la question de la valorisation des déchets bois de manière relativement complète et d'en confirmer l'enjeu européen.

La partie « état des lieux et inventaire de la gestion des déchets » a permis de quantifier les gisements de déchets bois en France (~4,7 Mt/an) et dans 4 autres pays européens (FI, DE, CH & AT) et de l'évaluer à l'échelle de l'Union Européenne (~40 Mt/an), par origine. Les pratiques de gestion dans les pays participants ont été analysées : il y a de fortes différences réglementaires, de classification, de pratiques et d'options de valorisation. A titre d'exemple, on rappellera que la valorisation énergétique prédomine en Allemagne et en Finlande alors que c'est le recyclage matière en France et que l'enfouissement des déchets bois est interdit dans ces deux pays. Une typologie des déchets bois et des suggestions d'harmonisation de classification ont été établies, en tenant compte des spécifications des différents secteurs utilisateurs potentiels de déchets bois.

Wood classes	DW 0	DW I	DW II	DW III
Pulp	Yes	No	No	No
Panels	Yes	Yes	Yes	No
Energy	E0 - France : 2910A rules Finland : A- class (EN ISO 17225-1)	E1 - France : 2910B rules Finland : B-class (EN ISO 17225-1, class 1.2.2 and 1.3.2)	E2 - France : Solid Recovered Fuel (SRF) - EN 15359 Finland : C-class, EN 15359 for classification B, if threshold values meet requirements of virgin wood in EN ISO 17225-1	E3 - France : Incineration directive of non hazardous waste Finland : C-class, EN 15359 for classification and Waste Incineration directive (WID)

Des recommandations ont également été élaborées pour une amélioration de la gestion de ces déchets : amélioration de l'observation statistique, tri amont, amélioration du taux de collecte, réduction de l'enfouissement, développement des systèmes de tri, actions sur les réglementations et normalisation.

Sur le volet détection des contaminants et tri des déchets, trois technologies ont été testées en ligne et calibrées avec des résultats positifs : la détection proche infra-rouge (NIR) fonctionne pour la plupart des contaminants organiques; la fluorescence X (XRF) permet de détecter les contaminants inorganiques, la spectroscopie à mobilité d'ions est intéressante pour certains contaminants organiques complexes (biocides) mais présente encore quelques problèmes techniques (vitesse de traitement). Il y a donc de très bonnes perspectives pour des développements technologiques qui permettraient d'améliorer le tri des déchets bois.

Pour l'utilisation de déchets bois en production de pâte thermomécanique (TMP), les essais ont montré que le broyat de palettes représente une ressource bois intéressante :

10% de ce type de déchet bois pourraient être introduits dans la ressource épicéa pour la production de papier d'impression par le procédé TMP, permettant 15-20% d'économie d'énergie et une réduction des coûts de production, à condition de réaliser quelques ajustements afin de compenser la légère diminution de la résistance à la traction du papier.

Pour ce qui concerne l'augmentation possible de l'utilisation de déchets de bois en fabrication de panneaux de particules, il apparaît qu'avec un minimum de tri de déchets bois relativement contaminés, des panneaux constitués de 90 à 100% de bois recyclé ont des performances mécaniques acceptables par rapport aux normes de qualité; sur des déchets de bois massifs, l'enlèvement des revêtements n'est pas nécessaire, les panneaux de particules peuvent également être utilisés moyennant un prétraitement de trempage, des techniques efficaces ont été testées pour extraire les biocides des bois traités. Seuls les résidus de panneaux de fibres dans la matière première secondaire posent encore des problèmes techniques pour le recyclage en panneaux de particules.

Concernant les biocombustibles et la production d'énergie biomasse :

- la combustion de bois de classe C (classification finlandaise) en comparaison avec des plaquettes forestières en installation à lit fluidisé ne montre pas de différences significatives dans les émissions gazeuses, mais un tri et contrôle qualité du combustible pour respect de spécifications sur les contaminants, un niveau de puissance d'installation et un système efficace de séparation des particules sont nécessaires ;
- Bio-éthanol : selon les essais de laboratoire, les déchets de bois massif conviendraient comme ressource complémentaire dans des procédés biotechnologiques standards, probablement avec de faibles modifications de procédé,.

Enfin les évaluations économiques et environnementales des différentes filières de valorisation concluent toutes dans le même sens : tous les concepts analysés montrent des économies positives (jusqu'à très positives) et des réductions d'impacts, lorsque l'on remplace de la ressource bois vierge (ressource forestière) par des bois récupérés issus de déchets bois. Par ailleurs, lorsque l'on compare la valorisation d'une tonne de déchets bois dans le recyclage en panneaux et dans les filières énergie (combustion et bio-éthanol), c'est la filière panneaux qui montre les résultats les plus favorables, pour les impacts étudiés. Enfin, les évaluations montrent que l'impact du tri et celui de la logistique sont significatifs pour l'économie du système de valorisation.

Le champ de cette étude était large. Aussi, les travaux menés doivent être considérés comme exploratoires dans la mesure où ils ont été conduits sur des installations de laboratoire ou pilotes, sur un nombre d'échantillons de déchets limité. Les orientations données dans ces conclusions devraient donc être confirmées par des travaux complémentaires et bien entendu des essais pilotes industriels.

Il apparaît cependant que les possibilités de développement de la valorisation matière et énergie des déchets bois sont confirmées. L'amélioration de la capacité de tri par de nouvelles technologies, la structuration du marché par une classification harmonisée des déchets et des matières bois secondaires issues de ce tri seront des conditions certainement nécessaires à cette évolution.

ANNEXE : Rapport du Centre Technique du Papier

Optimisation du recyclage de matière et de récupération d'énergie dans les chaînes de traitement des déchets de bois et d'objets à base de bois.

Michel PETIT-CONIL Valérie MEYER

Rapport Final CR n°6185

26 avril 2014 IF1101

DEMOWOOD

Convention Ministère de l'Agriculture – CTP n°E30/2010 Date de Notification 07/12/2012

26 avril 2014

IF1101 - Demowood

Convention n°E30/2010

Date de Notification 07/12/2012

Durée de la Convention : 36 mois

Date de Publication : 16/12/2010

Programme 149 - Action 01 - Sous-action 15

Confidentialité : non

Optimisation du recyclage de matière et de récupération d'énergie dans les chaînes de traitement des déchets de bois et d'objets à base de bois

Michel PETIT-CONIL
Valérie MEYER

Rapport Final
CR n°6185

Fiche Signalétique
Convention N° E 30 / 2010

Cette fiche doit être intégrée dans le rapport final et adressée par mail au MAAP.

1 - IDENTIFICATION

TITRE : Optimisation du recyclage de matière et de récupération d'énergie dans les chaînes de traitement des déchets de bois et objets à base de bois

	Partenaire 1	Partenaire 2
Organismes :	Centre Technique du Papier	
Montant :	65 000 €	
Date de notification :	07/12/2012	
Durée :	48 mois	
Nom du responsable :	Michel PETIT-CONIL	
Téléphone :	04 76 15 40 47	
MAIL	michel.petit-conil@webCTP.com	

PARTENAIRE (S) :

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme WoodWisdomNet (Projet Demowood) en collaboration avec les partenaires suivants :

- Institut technologique FCBA (coordinateur du projet)
- Norske Skog Golbey
- Véolia
- Sita Recyclage
- WKI (Allemagne)
- PTS (Allemagne)
- VTT (Finlande)
- Entsorgungstechnik Bavaria GmbH (Allemagne)
- Lassila & Tikanoja Oyj (Finlande)
- Finnish Wood Research (Finlande)
- RTT Steinert GmbH (Allemagne)
- Pfleiderer Holzwerkstoffe GmbH (Allemagne)

COMITE DE PILOTAGE :

Des comités de pilotage rassemblant les représentants de chaque entité partenaire se sont réunis tous les 6 mois à compter de la date de démarrage du projet, le 01 janvier 2011.

Le CTP est leader du « Workpackage 3 : Mechanical pulp Production ».

2 – OBJECTIFS VISES

Les objectifs ont-ils été atteints ? Lesquels et sinon, pourquoi ?

Dans le cadre du projet Demowood, accepté par le programme WoodWisdom Net, les objectifs du « workpackage » dédié à l'utilisation de bois dans la fabrication de pâtes mécaniques, étaient :

- Démontrer l'intérêt d'introduire différentes sortes de déchets de bois dans un procédé conventionnel de production de pâte TMP,
- Déterminer l'impact de ces déchets de bois sur le procédé, sur la qualité de la pâte TMP, sur son aptitude au blanchiment et sur la qualité des effluents générés.

L'étude, réalisée en collaboration avec un industriel producteur de pâte TMP, a permis d'étudier l'impact de trois sortes de bois de récupération sur le procédé TMP et la qualité de la pâte produite. Les objectifs de cette étude ont été atteints et ont permis de déterminer l'impact de l'utilisation de bois de récupération avec le bois conventionnellement utilisé ainsi que la teneur maximale sans perturbation importante du procédé et de la qualité.

D'autres objectifs que ceux prévus ont-ils été atteints ?

Par comparaison des impacts de trois qualités de bois de récupération sur le procédé TMP, il a été possible d'indiquer quelle qualité de bois de récupération était envisageable dans ce procédé. Le bois issu de palettes récupérées (classe A) sélectionné et correctement trié pourrait être utilisé dans la fabrication de pâte TMP si un investissement est réalisé pour permettre d'augmenter l'humidité de ce bois avant mise en pâte.

Est-ce que de nouvelles pistes d'étude ont été mises en évidence ?

Suite aux résultats obtenus dans le cadre de ce projet, des prétraitements du bois de récupération avant la mise en pâte TMP peuvent être étudiés afin d'éviter la diminution des propriétés mécaniques de la pâte.

De plus, les bois de récupération pourraient être une ressource intéressante pour la production de pâtes chimiques écruées ou blanchies, du fait de la robustesse du procédé grâce aux réactions chimiques impliquées qui devraient permettre d'utiliser différents bois de récupération.

3 – RAPPORT FINAL

Ses références bibliographiques :

Rapport final « Optimisation du recyclage de matière et de récupération d'énergie dans les chaînes de traitement des déchets de bois et objets à base de bois » M. Petit-Conil – V. Meyer – CR n°61xx

Est-il confidentiel

oui

non

Diffusion prévue

nombre d'exemplaires : 4

destinataires : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire
Centre Technique du Papier (Service Documentation)

4 – VALORISATION DES RESULTATS

PUBLICATIONS

Projet d'articles :

Un article sur les principaux résultats obtenus avec le bois de récupération issu de palette est prévu d'être préparé et publié.

Dans quelles revues scientifiques ? Une revue scientifique pour l'industrie papetière, telle que Nordic Pulp and Paper Journal, Revue ATIP ou autre.

Dans quelles revues de vulgarisation ? Aucune

Présentation orale :

Projet de présentation scientifique (colloque, ...) :

Présentation lors du Workshop final du projet Demowood prévue le 6 mai 2014 à Munich en Allemagne

Présentation à programmer lors d'une prochaine conférence sur les pâtes mécaniques (International Mechanical Pulping Conference).

Projet de vulgarisation (formation, journée sur le terrain, etc) : Aucune

3 – RESUME

Quatre lots de bois de récupération ont été caractérisés et utilisés pour la fabrication de pâtes thermomécaniques (TMP) en mélange avec des copeaux d'épicéa pour déterminer l'impact sur le procédé et sur la qualité de la pâte produite. Ces essais ont été faits en collaboration avec l'usine de Norske Skog à Golbey.

Le premier lot de bois de récupération issu de cadres de fenêtre en Meranti a été mélangé avec des copeaux d'épicéa (jusqu'à 17% en poids) avant la mise en pâte TMP. L'impact négatif sur la blancheur de la pâte et sa propreté ne permet pas d'envisager l'utilisation de ce type de bois dans le procédé TMP.

Le second lot de bois de récupération issu de cadres de fenêtre en épicéa a également été mélangé avec les copeaux d'épicéa (jusqu'à 40%) avant la mise en pâte TMP. Des économies d'énergie allant jusqu'à 30% ont été observées au détriment de l'efficacité de la séparation des fibres, du fait de la forte siccité de ce bois (augmentation de la teneur en bûchettes allant jusqu'à 40%). Si les propriétés mécaniques sont faiblement affectées, la blancheur et la propreté de la pâte TMP sont fortement dégradées, du fait de la présence de peinture et de mastic dans les copeaux de bois de récupération. Pour compenser ces pertes, un blanchiment par le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin est nécessaire, technologie qui n'est pas en place à l'usine concernée. Les effluents générés par le procédé présentent une meilleure biodégradabilité, du fait de la plus faible teneur en matières extractibles du bois.

Le premier lot de bois de récupération issu de palettes a été utilisé pour produire de la pâte TMP blanchie. Les pâtes TMP de référence et TMP de bois de récupération blanchies ont alors été mélangées en proportions variables. Le bois de récupération permet de diminuer la consommation électrique des raffineurs ainsi que la teneur en bûchettes, indiquant une séparation des fibres plus facile. Mais compte tenu de la faible blancheur du bois de récupération, les pâtes TMP correspondantes sont moins blanches, malgré une augmentation de la charge en agents de blanchiment. Les effluents générés ne sont pas différents de ceux de la pâte de référence. Il est quand même possible d'envisager un mélange avec 10% de pâte TMP de bois de récupération blanchie.

Le deuxième lot de bois de récupération issu de palettes avait une blancheur nettement supérieure. Les copeaux correspondants ont été imprégnés avec de l'eau à l'aide d'un système de compression avant d'être mélangés à hauteur de 10% en poids avec les copeaux de référence. La pâte TMP correspondante présente une aptitude au blanchiment similaire et uniquement une légère diminution de la résistance à la traction, sans modification des effluents. Des économies d'énergie d'environ 400 à 500 kWh/t ont été observées.

Avec un tri sélectif de palettes, il est possible d'envisager l'incorporation d'environ 10% de ce bois dans le procédé de fabrication de pâte TMP pour la production de papier journal, à condition de ré-humidifier correctement ce bois.

MOTS CLES : Bois de récupération – Qualité des bois de récupération – Pâtes thermomécaniques – Consommation d'énergie - Propriétés mécaniques de la pâte TMP – Propriétés optiques de la pâte TMP – Aptitude au blanchiment

Table des Matières

Introduction	3
1. - Matériels et méthodes	5
1.1. - Matériaux	5
1.2. - Méthodes	5
1.2.1. - <i>Simulation pilote de production de pâte TMP avec les bois de récupération issus de bois de fenêtre.....</i>	<i>5</i>
1.2.2. - <i>Simulation pilote de production de pâte TMP avec les bois de récupération issus du premier lot de palettes</i>	<i>6</i>
1.2.3. - <i>Simulation pilote de production de pâte TMP avec les bois de récupération issus du deuxième lot de palettes.....</i>	<i>7</i>
2. - Production de pâte TMP avec des bois récupérés	8
2.1. - Impact de l'utilisation de bois de fenêtres en méranti.....	8
2.2. - Impact de l'utilisation de bois de fenêtres en épicéa	8
2.2.1. - <i>Impact sur la consommation énergétique.....</i>	<i>9</i>
2.2.2. - <i>Impact sur les caractéristiques des constituants de la pâte TMP</i>	<i>10</i>
2.2.3. - <i>Impact sur les propriétés de la pâte TMP.....</i>	<i>12</i>
2.2.4. - <i>Impact sur les effluents générés lors de la production de la pâte TMP.....</i>	<i>15</i>
2.2.5. - <i>Comparaison avec les données industrielles</i>	<i>15</i>
2.3. - Impact de l'utilisation de bois de palettes (premier lot)	16
2.3.1. - <i>Impact sur la consommation énergétique.....</i>	<i>17</i>
2.3.2. - <i>Impact sur les propriétés de la pâte TMP.....</i>	<i>18</i>
2.3.3. - <i>Impact sur les caractéristiques des constituants de la pâte TMP</i>	<i>19</i>
2.3.4. - <i>Impact sur les effluents générés lors de la production de pâte TMP</i>	<i>22</i>
2.4. - Impact de l'utilisation de bois de palettes (deuxième lot)	22
2.4.1. - <i>Impact sur la consommation énergétique.....</i>	<i>23</i>
2.4.2. - <i>Impact sur les propriétés de la pâte TMP.....</i>	<i>24</i>
2.4.3. - <i>Impact sur les caractéristiques des constituants de la pâte TMP</i>	<i>26</i>
2.4.4. - <i>Impact sur les effluents générés lors de la production de pâte TMP</i>	<i>27</i>
Conclusion et Perspectives.....	29
Références Bibliographiques	30

Introduction

Le bois est un matériau grandement utilisé en Europe. Il est aujourd'hui employé en grande quantité dans de nombreux secteurs industriels et fait partie intégrante de notre vie. Dans les déchets de fin de vie des produits, il y a une part significative de matériaux à base de bois. Le bois de récupération comprend toutes sortes de matériaux en bois disponibles lors de leur fin de vie. Les principales sources de bois récupéré sont les matériaux d'emballage, le bois de démolition, le bois des sites de construction et les fractions de bois utilisées pour des activités résidentielles, industrielles et commerciales.

Le volume de déchets bois générés est très grand. L'action COST E31 « Management of recovered wood » a présenté les quantités de bois de récupération disponibles dans les 20 pays de l'Union Européenne lors de la conférence finale tenue en Mai 2007 (Tableau 1).

Tableau 1 : Résultats de l'enquête conduite par l'action COST E31 (Merl et al. 2007)

	Quantité (tonnes/an)
Réutilisation	535 142
Recyclage	10 872 383
Energie	9 996 395
Compostage	916 822
Autres, inconnu	4 147 127
Mise en décharge	3 125 083
Total	29 592 953

De ce fait, un quart des ressources identifiées de bois de récupération n'est pas recyclé ou a une faible utilisation à faible valeur ajoutée. Au delà de ce chiffre, le potentiel additionnel de bois récupéré est estimé à au moins 52,5 millions de m³. Ainsi le bois récupéré représente la seconde source potentielle la plus importante, après la forêt, pour une demande en bois additionnelle répondant aux besoins croissants de la société.

Le principal utilisateur de bois récupéré est l'industrie des panneaux, notamment des panneaux de particules, mais d'autres utilisations apparaissent rapidement. Un des principaux avantages du bois est qu'il peut être recyclé plusieurs fois, avant d'être incinéré pour la production d'énergie. De ce fait, l'industrie des panneaux est confrontée à la demande croissante en bois du secteur de production d'énergie verte. Dans les six principaux pays de l'Union Européenne, l'industrie des panneaux produit 31% de sa production à partir de bois récupéré.

L'industrie de la pâte n'est pas un consommateur de bois récupéré jusqu'à maintenant car les demandes de pureté du matériau étaient trop élevées pour utiliser du bois qui pouvait être contaminé par des pièces métalliques, des peintures, des vernis, ... Il est difficile de trouver des articles pertinents sur l'utilisation de bois de récupération dans la fabrication de pâtes à papier et de cartons. Forouzanfar *et al.* (2010) ont utilisé des particules de bois récupéré dans la fabrication de pâtes mi-chimiques pour la production de papiers pour cartons ondulés. Des pourcentages de 5 à 10% de bois récupéré ont été introduits dans le bois conventionnellement utilisé sans modification de la qualité du papier produit.

Le projet Demowood a pour objectif d'étudier différents concepts de valorisation pour maximiser la valeur ajoutée de déchets bois lors de la fabrication de pâtes à papier, de panneaux de particules et de systèmes énergétiques basés sur la combustion ou la production de biofuels liquides. Cette approche permettra d'économiser les ressources

forestières, réduire l'impact environnemental de la gestion des déchets bois tout en contribuant à l'utilisation de ressources renouvelables et la diminution des gaz à effet de serre dans ces secteurs industriels.

Le projet Demowood, supporté par le programme WoodWisdom-Net, est articulé en 7 tâches principales :

- Gestion des déchets bois
- Technologies de détection et de classage rapides
- Production de pâtes à papier
- Production de panneaux
- Production de bio-fuel et de produits chimiques
- Approche technico-économique, logistique et environnemental
- Diffusion et communication

Dans le cadre de ce projet, le CTP coordonne la tâche « Production de pâtes à papier ». L'objectif de cette tâche est de démontrer l'intérêt d'introduire du bois de récupération dans la production de pâte thermomécanique TMP et de déterminer l'impact sur le procédé de fabrication (consommation énergétique), sur la qualité de la pâte produite, sur l'aptitude au blanchiment de la pâte et sur les effluents générés par le procédé. De plus, les travaux permettront de déterminer la quantité maximale de déchets bois potentiellement utilisable dans la production de pâte TMP pour la fabrication de papiers pour journaux.

Les livrables dont le CTP a la charge sont :

- Impact des déchets bois sur la consommation énergétique du procédé TMP
- Impact des déchets bois sur la qualité de la pâte et son aptitude au blanchiment
- Teneur maximale en déchets bois n'impactant pas négativement le procédé TMP et la qualité de la pâte produite.

1. - Matériels et méthodes

1.1. - Matériaux

Des copeaux d'épicéa, conventionnellement utilisés dans la production de pâte TMP, ont été fournis par la société Norske Skog – Usine de Golbey. Ces copeaux servent de référence pour le procédé et la qualité de la pâte.

Des copeaux produits à partir de cadres de fenêtres provenant de la démolition ou de la rénovation des bâtiments ont été fournis par le WKI (Allemagne), partenaire du projet Demowood. Du bois de Meranti composait ces copeaux.

Des copeaux produits à partir de cadres de fenêtres en épicéa ont également été fournis par le WKI.

Deux lots de copeaux produits à partir de bois de palettes (Classe A) ont été fournis par Sita. Ces deux lots se distinguaient pas leur couleur : le premier étant plus coloré et le deuxième plus blanc car produit à partir d'un tri de palettes.

1.2. - Méthodes

Les copeaux de bois de récupération ont été classés en 6 fractions selon la classification dite STFI pour déterminer leur granulométrie. Les très gros éléments et les très fins ont été éliminés avant la mise en pâte. Un aspect visuel des copeaux a également été fait pour déterminer les particules de peintures et de mastic pour les copeaux issus de bois de fenêtre. Ces copeaux ont été étuvés à la vapeur pour les ré-humidifier avant leur utilisation.

1.2.1. - Simulation pilote de production de pâte TMP avec les bois de récupération issus de bois de fenêtre

Les copeaux produits à partir des cadres de fenêtre ont été introduits à différents pourcentages en poids (0 à 40%) dans les copeaux d'épicéa de référence.

Le procédé TMP a été simulé à l'échelle pilote selon la figure 1. Après pré-étuvage et étuvage à 110°C pendant 5 minutes, les copeaux sont défibrés sous pression (2 bar) pour produire une pâte défibrée qui est ensuite raffinée sous pression à différents indices d'égouttage (freeness) de façon à produire une courbe de raffinage (indice freeness variant de 100 à 300 ml CSF). Les pâtes obtenues sont soumises à un traitement de latence pour déstresser les fibres : traitement à 3% de concentration à 90°C pendant 20 à 30 minutes.

Ensuite les pâtes sont blanchies soit avec le dithionite de sodium dans les conditions de l'usine de Norske Skog ou avec le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin.

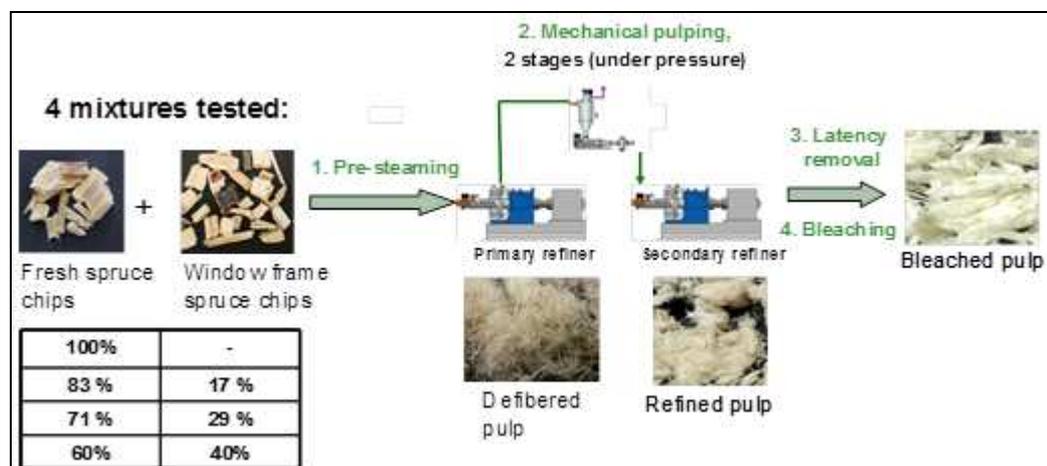


Figure 1: Protocole de production de pâte TMP à l'échelle pilote avec les copeaux issus de cadres de fenêtre.

Les conditions de blanchiment avec le dithionite de sodium sont :

- 4,5 kg/t $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, 10% de concentration en pâte, 85°C, 30 minutes sous atmosphère d'azote.

Les conditions de blanchiment avec le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin sont :

- Stade de chélation Q: 0,4% DTPA, 10% concentration en pâte, 70°C, 30 minutes
- Stade de blanchiment P: 3% H_2O_2 , 1,9% NaOH, 2% silicate, 30% concentration en pâte, 70°C, 2 heures

Les pâtes raffinées sont utilisées pour la production de formettes de 75 g/m², nécessaires pour la mesure des propriétés mécaniques et optiques de la pâte TMP. Ces évaluations sont faites selon des normes ISO.

Une analyse des fibres des pâtes produites est faite avec l'analyseur MorFi, développé par le CTP et qui permet d'obtenir des informations sur les principales caractéristiques morphologiques et dimensionnelles.

Une pâte de référence est produite à partir des copeaux d'épicéa frais uniquement.

Les effluents du procédé obtenus sont conservés pour analyses ultérieures.

1.2.2. - Simulation pilote de production de pâte TMP avec les bois de récupération issus du premier lot de palettes

Les copeaux de bois de récupération ont été imprégnés avec de l'eau en utilisant un système de vis de compression (MSD Pressafiner), comme représenté sur la figure 2. Une pâte TMP est ensuite produite avec ces copeaux prétraités selon le protocole conventionnel. Une pâte TMP de référence est produite avec les copeaux d'épicéa sans utilisation du prétraitement d'imprégnation à l'eau.

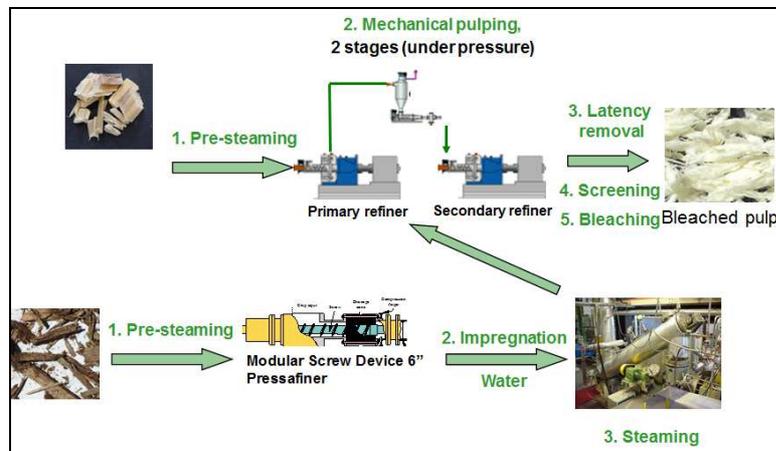


Figure 2: Protocole de production de pâte TMP à l'échelle pilote avec les copeaux produits avec le premier lot de palettes.

Les pâtes TMP avec un indice d'égouttage de 120 ml CSF sont sélectionnées et blanchies avec le dithionite de sodium dans les conditions suivantes,

- 9,0 kg/t $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, 10% concentration en pâte, 85°C, 30 min sous atmosphère d'azote

ou avec le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin selon la séquence QP :

- Stade de chélation Q: 0,4 % DTPA, 10 % concentration en pâte, 70°C, 30 minutes
- Stade de blanchiment P: 5 % H_2O_2 , 2,5 % NaOH, 2 % silicate, 30 % concentration en pâte, 70°C, 2 heures

Après blanchiment, la pâte TMP de référence est mélangée avec la pâte TMP produite avec les copeaux issus de palettes comme indiqué dans le tableau 2 pour évaluation de la qualité de la pâte et des caractéristiques des fibres.

Tableau 2: Mélanges de pâtes TMP blanchies produites avec des copeaux d'épicéa frais et avec les copeaux produits avec le premier lot de palettes.

Reference	% Spruce chips	% Class A	Reference	% Spruce chips	% Class A
Spruce P 100%	100		Spruce Y 100%	100	
Pallets P 100%		100	Pallets Y 100%		100
Pallets 10% - Spruce 90%	90	10	Pallets 10% - Spruce 90%	90	10
Pallets 20% - Spruce 80%	80	20	Pallets 20% - Spruce 80%	80	20
Pallets 30% - Spruce 70%	70	30	Pallets 30% - Spruce 70%	70	30

1.2.3. - Simulation pilote de production de pâte TMP avec les bois de récupération issus du deuxième lot de palettes

Comme pour le premier lot de bois de palettes, les copeaux de bois de récupération ont été imprégnés avec de l'eau en utilisant un système de vis de compression (MSD Pressafiner). Ces copeaux prétraités sont mélangés avec les copeaux d'épicéa avec un ratio de 10% de copeaux de bois de palette et 90% de copeaux d'épicéa. Une pâte TMP est ensuite produite avec ce mélange de copeaux selon le protocole conventionnel (figure 3).

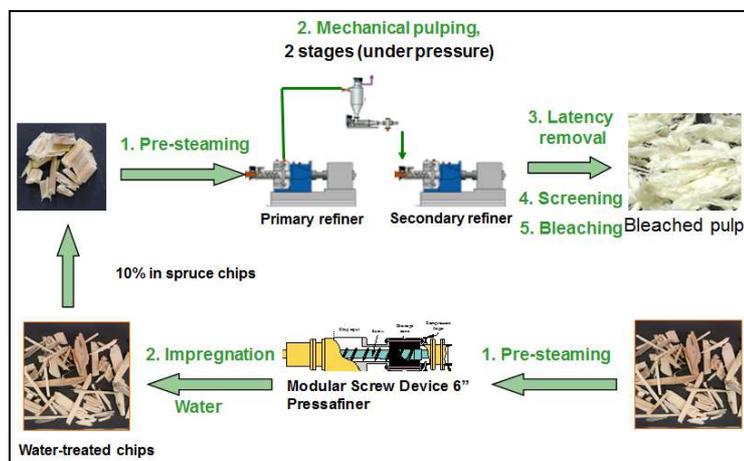


Figure 3: Protocole de production de pâte TMP à l'échelle pilote avec les copeaux produits avec le deuxième lot de palettes.

Les pâtes TMP raffinées sont blanchies soit avec le dithionite de sodium :

- 4,5 kg/t $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, 10% concentration en pâte, 85°C, 30 min sous atmosphère d'azote

ou avec le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin :

- Stade de chélation Q: 0,4 % DTPA, 10 % concentration en pâte, 70°C, 30 minutes
- Stade de blanchiment P: 3 % H_2O_2 , 1,9 % NaOH, 2 % silicate, 30 % concentration en pâte, 70°C, 2 heures

Les propriétés mécaniques et optiques des pâtes TMP blanchies sont évaluées sur des formettes de 75 g/m² selon les normes ISO de référence.

2. - Production de pâte TMP avec des bois récupérés

2.1. - Impact de l'utilisation de bois de fenêtres en Meranti

Le bois de récupération composé de fenêtres de Meranti peintes est introduit dans les copeaux frais d'épicéa à hauteur de 9% et 17% (figure 4).



Figure 4 : Photographie des copeaux de bois de fenêtre en Meranti avec des particules de peintures et de mastic.

Ces essais sont considérés comme des essais préliminaires et les principales conclusions sont :

- Aucun impact sur la consommation énergétique du procédé TMP lorsque ce bois de récupération est introduit dans les copeaux conventionnels
- Une augmentation de 25% de la teneur en bûchettes (éléments grossiers ayant un impact négatif sur la qualité de la pâte TMP).
- Une diminution de la résistance au déchirement de la pâte, due à une diminution de la longueur des fibres. Les fibres de méranti, bois feuillus exotique sont nettement plus courtes que les fibres d'épicéa.
- Une perte de blancheur de 10 points du fait de la présence de particules de peintures colorées dans le bois de récupération.

De ce fait, les résultats obtenus avec ce premier échantillon de bois de récupération montrent qu'il est difficile d'envisager l'utilisation d'une telle qualité dans la production de pâte TMP pour papier journal.

2.2. - Impact de l'utilisation de bois de fenêtres en épicéa

Les copeaux produits à partir du bois de fenêtre en épicéa récupéré sont de meilleure qualité mais ils contiennent de gros éléments qu'il a fallu éliminer avant l'utilisation dans la fabrication des pâtes TMP (figure 5). On peut quant même observé des copeaux avec de la peinture et du mastic. Le mastic représente 17% du bois de fenêtre récupéré. Les plus gros éléments ont été retirés avant mise en pâte pour ne pas endommager le pilote.

La composition chimique des copeaux de bois de récupération est proche de celle du bois d'épicéa. La seule différence est la plus faible teneur en matières extractibles, du fait que le bois est plus vieux. Cela peut être intéressant pour la qualité des eaux du procédé TMP.

Tableau 3: Comparaison de la siccité et des compositions chimiques des copeaux d'épicéa et des copeaux de cadres de fenêtre.

Essence	Bois de récupération	Epicéa
Siccité, %	88	43
Teneur en cellulose, %	45,4	42,5
Teneur en lignine, %	26,5	27,9
Teneur en hémicelluloses, %	25,2	25,7
Teneur en extractibles, %	1,9	3,5
Teneur en cendres, %	0,96	0,36

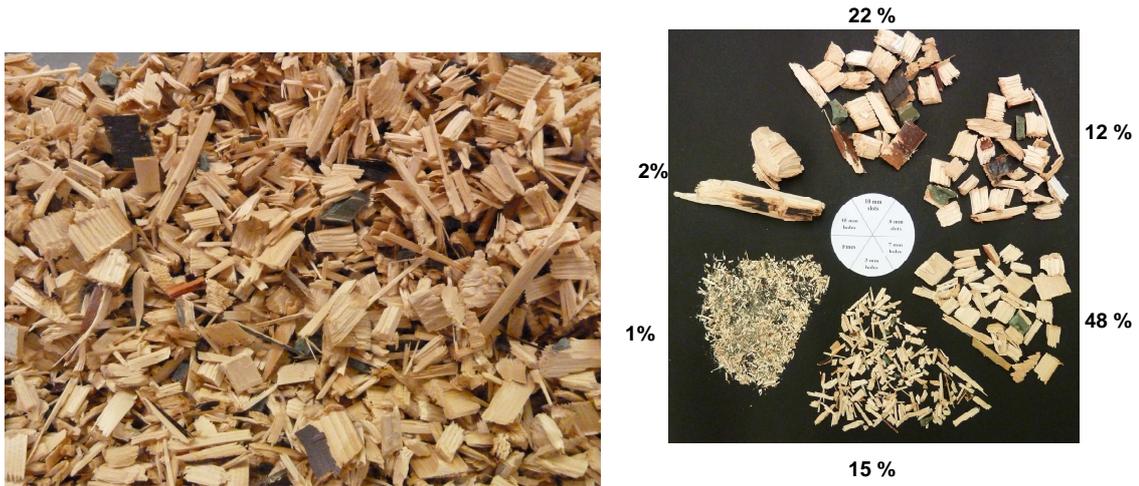


Figure 5 : Photographie des copeaux de bois de fenêtre en épicéa avec des particules de peintures et de mastic. Distribution des fractions en taille de ces copeaux.

2.2.1. - Impact sur la consommation énergétique

Des pourcentages de 17, 29 et 40% de bois de récupération ont été introduits dans les copeaux d'épicéa. Ces mélanges ont été utilisés pour produire de la pâte TMP et sont comparés aux copeaux 100% épicéa frais.

L'introduction de bois de récupération a un effet bénéfique sur la consommation énergétique du procédé TMP (figure 6). Plus la teneur en bois de récupération est élevée, plus les économies d'énergie sont élevées. Des économies d'énergie allant de 18 à 30% sont observées lorsque la teneur en bois de récupération augmente dans les copeaux d'épicéa normalement utilisés par l'usine pour la production de la pâte TMP.

Ces économies d'énergie semblent essentiellement être le résultat de l'utilisation d'un matériau ayant une siccité nettement plus élevée. En effet, les copeaux conventionnellement utilisés pour la production de pâtes mécaniques doivent être le plus frais possible, c'est-à-dire avec une humidité d'environ 50%. Le bois de récupération utilisé dans ces essais provient de fenêtres dont le bois est parfaitement sec. De ce fait, le bois est plus fragile sous l'effet du traitement mécanique des raffineurs et se casse ainsi plus facilement en bûchettes et fibres.

Ainsi plus on utilise de bois de récupération, plus la consommation énergétique du procédé TMP va diminuer. Mais cela ne laisse rien présager sur la qualité de la pâte.

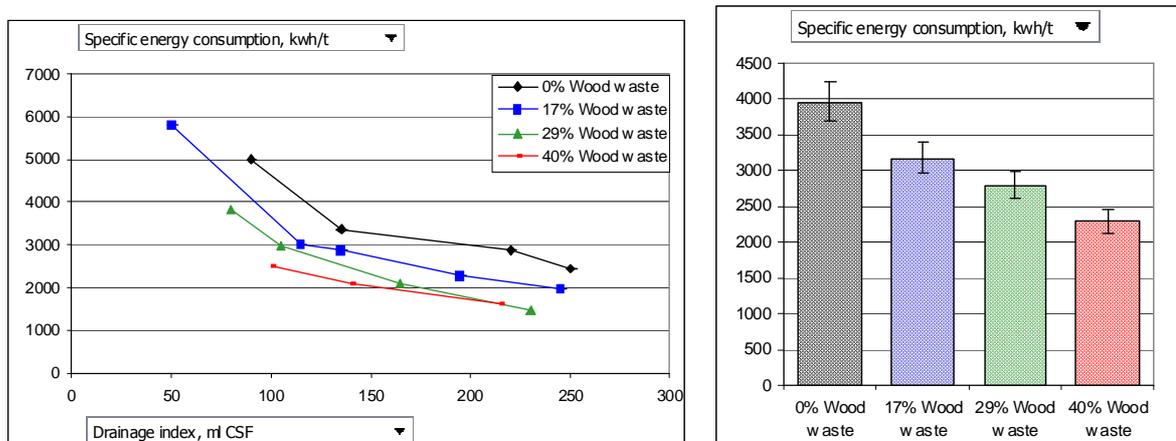


Figure 6 : Evolution de l'énergie spécifique en fonction du degré de raffinage de la pâte TMP en fonction de la quantité de bois de récupération introduite dans les copeaux d'épicéa et comparaison de cette énergie à 120 ml CSF.

2.2.2. - Impact sur les caractéristiques des constituants de la pâte TMP

Les caractéristiques morphologiques et dimensionnelles des fibres sont des paramètres importants de la qualité des pâtes mécaniques. Parmi ces caractéristiques, la teneur en bûchettes et la longueur des fibres sont des paramètres qui vont directement impacter les résistances mécaniques du papier produit avec cette pâte.

La teneur en bûchettes (faisceaux de fibres non individualisées) augmente avec la teneur en bois de récupération utilisé dans les copeaux d'épicéa (figure 7). Cela confirme l'hypothèse que le bois de récupération, étant plus sec, est plus fragile et se fragmente plus facilement sous l'action mécanique des disques des raffineurs. Il semble qu'il y ait une stabilisation de la teneur en bûchettes pour une teneur en bois de récupération de 30%. Au delà de cette valeur, la teneur en bûchettes reste la même, quelque soit l'indice de raffinage freeness considéré.

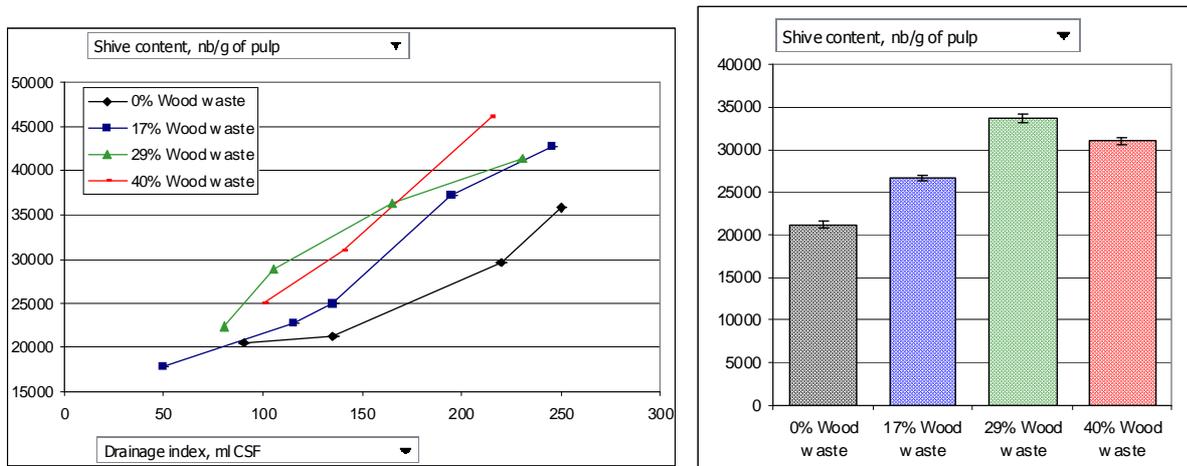


Figure 7 : Evolution de la teneur en bûchettes en fonction du degré de raffinage de la pâte TMP en fonction de la quantité de bois de récupération introduite dans les copeaux d'épicéa et comparaison de cette teneur en bûchettes à 120 ml CSF.

Il est aussi intéressant de noter que la différence de teneur en bûchettes pour les mélanges épicéa-bois de récupération est plus importante pour les pâtes les moins raffinées (indice freeness supérieur à 150 ml CSF) que pour les pâtes les plus raffinées. Ainsi en dessous d'un indice freeness de 100 ml CSF, la teneur en bûchettes est sensiblement supérieure pour les pâtes produites avec du bois de récupération mais cette différence a tendance à disparaître. Etant donné que les pâtes TMP sont généralement produites à des indices freeness de 100 ml CSF voire moins, il y aura donc moins d'impact sur l'étape de classage/épuración et donc de raffinage de ces éléments grossiers.

La longueur moyenne des fibres est sensiblement supérieure pour les pâtes TMP produites avec du bois de récupération (figure 8). Quelque soit la teneur en bois de récupération, la longueur moyenne des fibres varie de façon identique pour toute la gamme d'indice freeness étudiée. Même pour les pâtes les plus raffinées et le taux le plus élevé en bois de récupération, la longueur moyenne des fibres n'est pas négativement affectée.

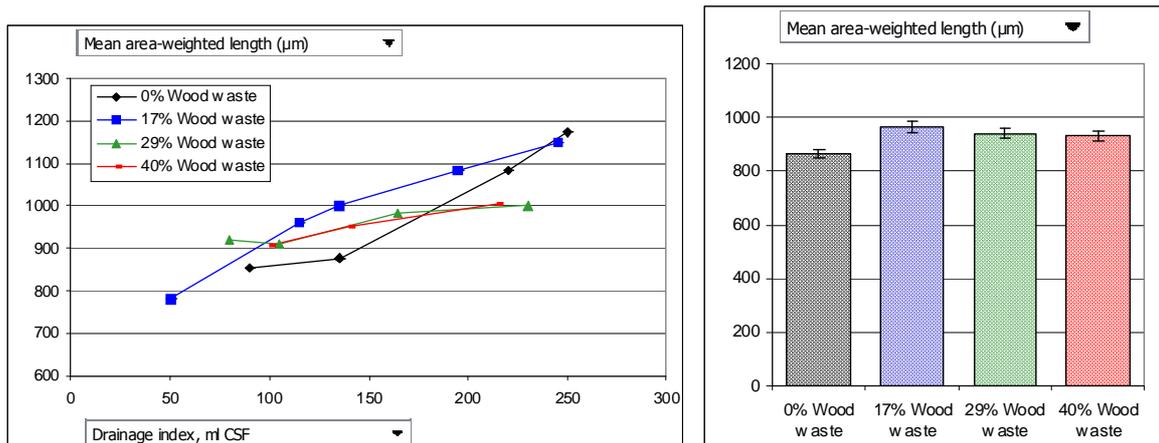


Figure 8 : Evolution de la longueur moyenne pondérée en surface des fibres en fonction du degré de raffinage de la pâte TMP en fonction de la quantité de bois de récupération introduite dans les copeaux d'épicéa et comparaison de cette longueur moyenne des fibres à 120 ml CSF.

Parmi toutes les caractéristiques morphologiques et dimensionnelles des éléments de la pâte TMP, l'indice de courbure et la teneur en éléments fins sont intéressants.

L'indice de courbure est une indication de la flexibilité des fibres. Avec l'analyseur de fibres utilisé, il a été démontré que plus l'indice de courbure était faible, plus les fibres étaient flexibles. Dans le cadre de ces essais, l'indice de courbure des fibres augmente légèrement avec la teneur en bois de récupération (figure 9).

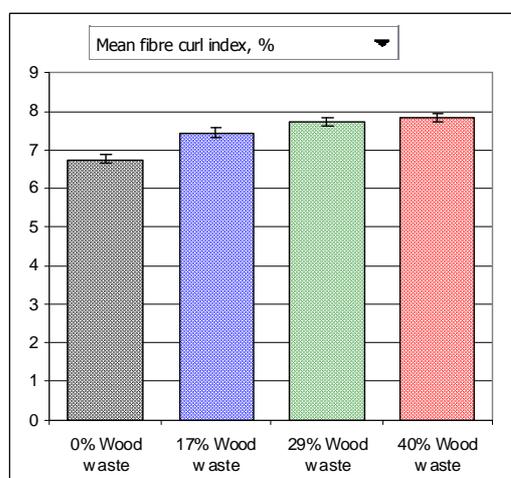


Figure 9 : Comparaison de l'indice de courbure des fibres des pâtes TMP produites avec différents teneurs en bois de récupération et à 120 ml CSF.

Les fibres provenant du bois de récupération sont sensiblement plus rigides car elles ont été séchées et ont subi le phénomène d'hornification, qui engendre une rigidification de leur structure (agglomération des microfibrilles de cellulose constitutives de la paroi des fibres). De ce fait, plus la teneur en bois de récupération augmente, plus les fibres de la pâte TMP produite sont rigides. Ce résultat aura un impact sur les résistances à la traction et à l'éclatement.

La teneur en éléments fins des pâtes TMP doit être suffisamment élevée pour améliorer les résistances mécaniques et développer les propriétés optiques. En effet, les éléments fins assurent des pontages entre les fibres, apportant des liaisons hydrogène supplémentaires dans la feuille de papier, permettant ainsi d'augmenter les résistances mécaniques. De plus,

de part leur taille, ces éléments fins ont une grande surface spécifique permettant de développer les propriétés optiques, notamment l'opacité en augmentant la diffusion de la lumière.

La teneur en éléments fins de la pâte TMP diminue avec la teneur en bois de récupération (figure 10). Plus la teneur en bois de récupération augmente, moins il y a d'éléments fins. Ce résultat provient certainement de la plus forte teneur en bûchettes et de la longueur légèrement supérieure des fibres. Le traitement mécanique des raffineurs est sans doute moins agressif vis à vis des fibres du bois de récupération.

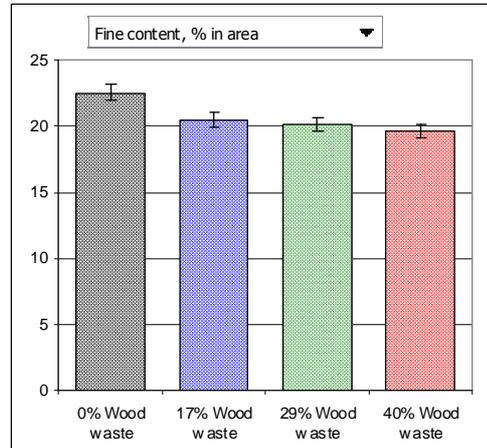


Figure 10 : Comparaison de la teneur en éléments fins des pâtes TMP produites avec différentes teneurs en bois de récupération et à 120 ml CSF.

2.2.3. - Impact sur les propriétés de la pâte TMP

Il est important de considérer les principales propriétés mécaniques et optiques de la pâte TMP que sont la main, l'indice de traction, l'indice de déchirement et la blancheur.

La main ou volume massique permet de déterminer le bouffant et la texture de la feuille de papier. Généralement il est recherché une main élevée associée à des propriétés mécaniques et optiques élevées mais en principe la main diminue lorsque les propriétés augmentent. C'est également une indication de la flexibilité des fibres. Plus la main est élevée, plus les fibres sont rigides.

L'introduction de bois de récupération dans les copeaux d'épicéa pour la production de pâte TMP a un effet positif sur la main, confirmant que les fibres de bois de récupération sont plus rigides que celles d'épicéa (figure 11). La différence n'est pas très importante et la teneur en bois de récupération a un effet limité sur cette propriété.

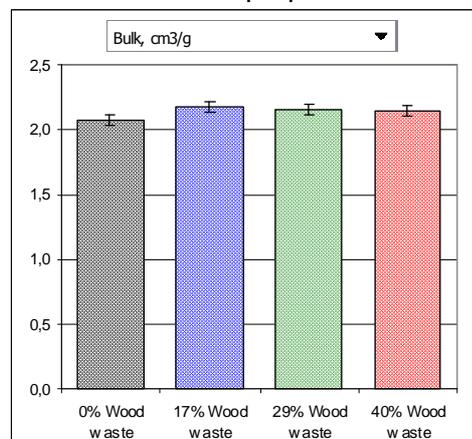


Figure 11 : Comparaison de la main des pâtes TMP produites avec différentes teneurs en bois de récupération et à 120 ml CSF.

L'indice de traction est légèrement diminué lorsque du bois de récupération est utilisé dans les copeaux d'épicéa (figure 12). Cette teneur en bois de récupération n'a pas d'effet significatif sur cette propriété. La longueur légèrement supérieure des fibres des pâtes TMP contenant du bois de récupération semble compenser la perte de flexibilité due à ces nouvelles fibres. D'autre part, la teneur en bûchettes plus élevée dans les pâtes TMP contenant du bois de récupération peut également expliquer cette légère diminution.

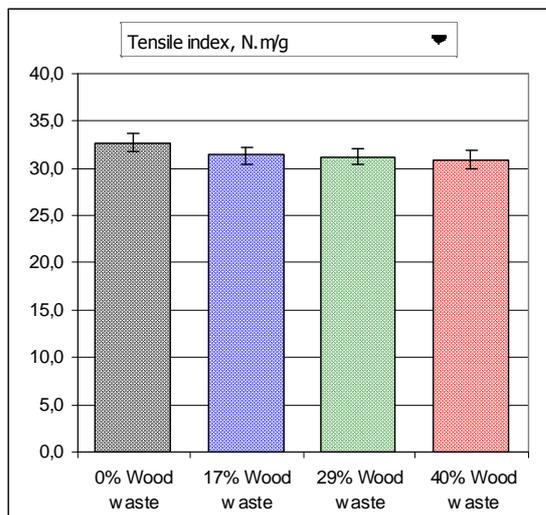


Figure 12 : Comparaison de l'indice de traction des pâtes TMP produites avec différentes teneurs en bois de récupération et à 120 ml CSF.

L'indice de déchirement des pâtes TMP produites avec du bois de récupération est supérieur à celui de la pâte TMP de référence (figure 13). La teneur en bois de récupération n'a pas d'effet significatif sur cet indice. Cette augmentation est principalement expliquée par la longueur moyenne des fibres sensiblement supérieure pour les pâtes TMP produites avec du bois de récupération. D'autre part, la plus forte teneur en bûchettes n'affecte pas négativement cette propriété et le séchage du bois de récupération ne semble pas affecter la résistance intrinsèque des fibres, paramètre prépondérant pour la résistance au déchirement du papier.

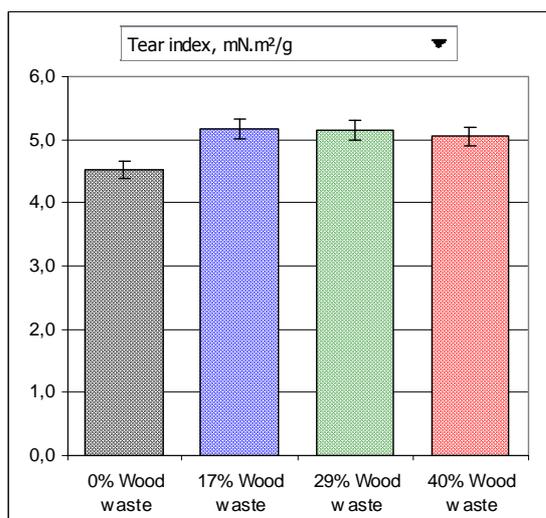


Figure 13 : Comparaison de l'indice de déchirement des pâtes TMP produites avec différentes teneurs en bois de récupération et à 120 ml CSF.

Si les résultats ne sont pas négatifs pour les propriétés mécaniques de la pâte TMP, la blancheur de la pâte TMP diminue fortement avec la teneur en bois de récupération (figure 14). De 5 à 10 points de blancheur sont perdus, principalement dus aux éléments de peinture et de mastic encore présents sur les copeaux produits à partir des cadres de fenêtre. Plus la teneur en bois de récupération augmente, plus la blancheur de la pâte TMP écrue diminue.

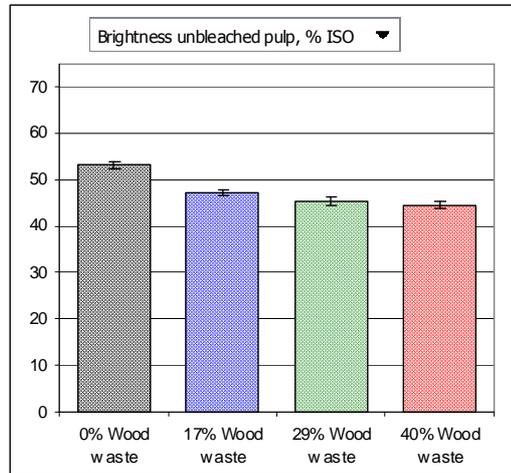


Figure 14 : Comparaison de la blancheur des pâtes TMP écrues produites avec différentes teneurs en bois de récupération et à 120 ml CSF.

Comme les pâtes TMP ne sont généralement pas utilisées écrues dans la fabrication des papiers pour magazine, il est important d'étudier leur comportement au blanchiment. Dans le cadre du projet Demowood, la tâche sur la production de pâte TMP est faite en collaboration avec Norske Skog – Usine de Golbey. Un blanchiment comparable à celui de l'usine a été fait à base de dithionite de sodium. De plus, comme généralement les pâtes mécaniques sont blanchies avec du peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin, un tel blanchiment dans des conditions standard a été également testé sur les pâtes à 120 ml CSF (figure 15).

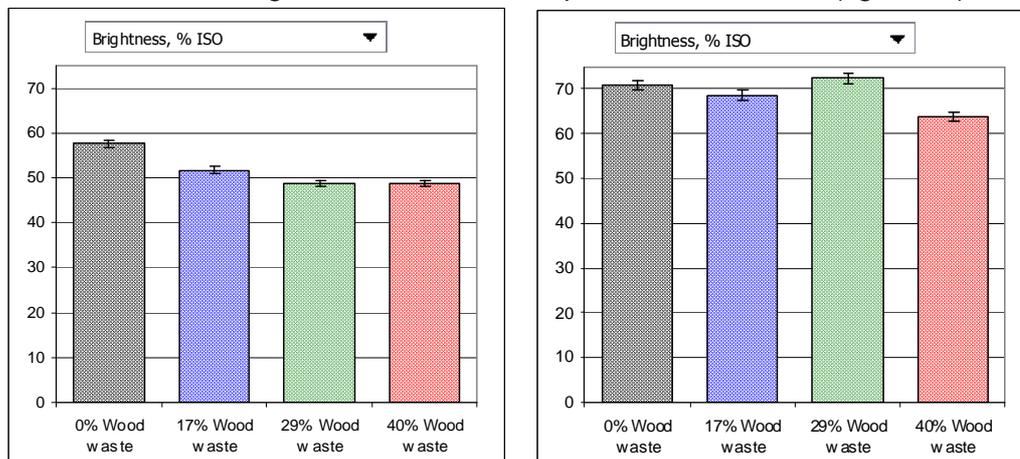


Figure 15 : Comparaison de la blancheur des pâtes TMP produites avec différentes teneurs en bois de récupération et à 120 ml CSF, après blanchiment par le dithionite de sodium (gauche) et le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin (droite).

Le blanchiment par le dithionite de sodium permet d'éclaircir la pâte TMP mais ne permet pas d'atteindre de hauts niveaux de blancheur. Pour la pâte de référence, une blancheur proche de 60 % ISO est obtenue. Ce blanchiment ne permet pas de compenser la perte de blancheur induite par l'utilisation du bois de récupération. L'aptitude au blanchiment est acceptable mais c'est le niveau initial de blancheur qui affecte la blancheur finale de la pâte. Avec le peroxyde d'hydrogène, le niveau de blancheur de la pâte de référence est nettement amélioré, atteignant 70% ISO. Pour les pâtes TMP produites avec une teneur en bois de

récupération inférieure à 30%, il est possible de compenser la perte de blancheur observée sur la pâte écrue avec ce type de blanchiment. Par contre, pour des teneurs en bois de récupération supérieures à 30%, la blancheur finale restera inférieure à celle de la pâte de référence car les particules de peinture et de mastic sont trop nombreuses.

2.2.4. - Impact sur les effluents générés lors de la production de la pâte TMP

Compte tenu que les bois de récupération sont des bois contaminés, il est intéressant d'analyser la qualité des effluents générés par le procédé TMP. La demande chimique en oxygène (COD) et la demande biologique en oxygène (BOD) permettent de déterminer le degré de biodégradabilité des effluents.

Contrairement à ce que l'on pouvait attendre, l'utilisation de bois de récupération n'a pas d'effet négatif sur la charge polluante des effluents de pâte TMP (figure 16). La demande chimique en oxygène est sensiblement moins élevée pour les effluents des pâtes TMP produites avec du bois de récupération. La teneur en bois de récupération n'a pas d'effet significatif sur la quantité de particules oxydées dans les effluents. Même avec une teneur de 40%, la charge polluante est comparable à celle des effluents de la pâte avec 9% de bois de récupération.

De plus, la biodégradabilité des effluents est positivement affectée par la teneur en bois de récupération. Si une teneur de l'ordre de 10% n'a pas d'effet significatif, pour des teneurs supérieures, la biodégradabilité des effluents est fortement augmentée avec des demandes biologiques en oxygène nettement supérieures pour une même DCO. Cette augmentation est certainement due au vieillissement et au séchage du bois de récupération, qui contient nettement moins de matières extractibles, difficiles à dégrader que le bois frais. Plus la teneur en bois de récupération est élevée, meilleure est la biodégradabilité des effluents.

Ces résultats sont plutôt favorables au fonctionnement de la station d'épuration des eaux de l'usine de production de pâte TMP, pour une charge à traiter pratiquement identique.

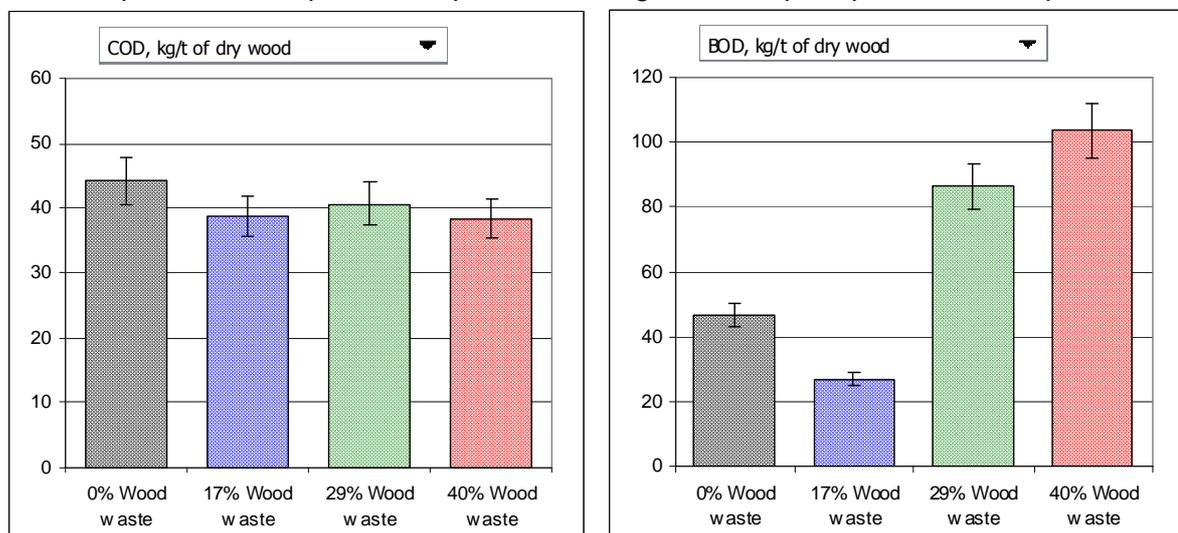


Figure 16 : Comparaison de la demande chimique en oxygène (COD) et de la demande biologique en oxygène (BOD) des effluents générés lors de la production de pâtes TMP produites avec différentes teneurs en bois de récupération et à 120 ml CSF.

2.2.5. - Comparaison avec les données industrielles

Dans le cadre de ce projet Demowood, les essais de production de pâte TMP sont réalisés en partenariat avec la société Norske Skog – Usine de Golbey. Il est donc important de prendre en considération les objectifs de l'usine et ses spécifications.

Cette usine produit de la pâte TMP à partir de copeaux d'épicéa issus de rondins d'éclaircie transformés sur le site et de plaquettes de scierie achetées. Pour une analyse des propriétés de la pâte, il est nécessaire de faire varier l'indice freeness de 250 à 50 ml CSF. La pâte est blanchie par le dithionite de sodium, agent de blanchiment suffisant pour la production de papier journal, qui ne nécessite pas de hauts niveaux de blancheur. Mais l'usine est intéressée par connaître l'aptitude au blanchiment de la pâte avec le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin pour de nouveaux papiers.

Les propriétés cibles de la pâte TMP de l'usine sont :

- Blancheur de la pâte écrue : 55% ISO
- Blancheur de la pâte après blanchiment par le dithionite de sodium : 60% ISO
- Indice de traction à 100 ml CSF : 39 Nm/g
- Points noirs : 959 /m²

Si l'on analyse les résultats obtenus au pilote pour la pâte TMP de référence, il en ressort les conclusions suivantes :

- La blancheur de la pâte écrue de référence est sensiblement plus faible que celle ciblée
- Le blanchiment par le dithionite de sodium permet de pratiquement atteindre la valeur cible
- Le blanchiment par le peroxyde d'hydrogène permet d'atteindre une blancheur de 70% ISO.
- L'indice de traction est plus faible que la valeur cible. Ce résultat est dû à la présence de bûchettes dans la pâte pilote (pas de classage/épuration comme en usine).

L'introduction de bois de récupération ne permet pas d'atteindre la blancheur cible de la pâte écrue, ni la blancheur visée après blanchiment par le dithionite de sodium. Il est impératif d'utiliser un blanchiment par le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin pour pouvoir utiliser du bois de récupération.

Il est possible d'utiliser du bois de récupération sans affecter l'indice de traction si on arrive à la valeur cible de l'usine. Dans le cas contraire, il faudra utiliser de la pâte blanchie pour améliorer l'indice de traction.

Enfin, les pâtes produites, y compris la pâte TMP de référence, contiennent trop de contaminants (points noirs).

2.3. - Impact de l'utilisation de bois de palettes (premier lot)

Le premier lot de bois de palettes fournis par Sita était composé de copeaux de taille très différente (figure 17). De plus, ces copeaux étaient fortement colorés, indiquant qu'il y avait un risque de ne pas atteindre les niveaux de blancheur requis pour la pâte TMP à destination de papier journal et magazine.



Figure 17 : Photographie des copeaux de bois produits avec le premier lot de palettes.

Ce lot de bois de récupération est également plus sec que le bois d'épicéa utilisé par l'usine (tableau 4). Comme pour le premier lot de bois de récupération issus de cadres de fenêtres,

la teneur en matières extractibles est nettement plus faible, indiquant qu'il y aura moins de ces composés dans les eaux générés par le procédé. Les autres composants sont en quantité similaire.

Ce lot de bois de palettes est composé d'un mélange de différentes essences de bois résineux avec des traces de bois de feuillus. La couleur de ce lot est assez foncée, ce qui peut engendrer des problèmes de blancheur de la pâte TMP.

Tableau 4: Comparaison de la siccité et des compositions chimiques des copeaux d'épicéa et des copeaux du premier lot de palettes.

Essence	Bois de récupération	Epicéa
Siccité, %	65	43
Teneur en cellulose, %	42,1	42,5
Teneur en lignine, %	26,3	27,9
Teneur en hémicelluloses, %	27,3	25,7
Teneur en extractibles, %	1,3	3,5
Teneur en cendres, %	0,32	0,36

Une nouvelle stratégie de production de pâte TMP a été utilisée avec ces bois de récupération. Du fait de la siccité nettement plus élevée, le bois de récupération est pré-imprégné avec de l'eau avant la mise en pâte TMP. Au lieu de mélanger le bois de récupération avec les copeaux d'épicéa, des pâtes TMP sont produites séparément avec ce bois de récupération et avec l'épicéa. L'objectif est de pouvoir ajuster les charges d'agents de blanchiment en fonction de la blancheur de la pâte écrue. Le mélange est effectué sur les pâtes après blanchiment.

2.3.1. - Impact sur la consommation énergétique

Ce bois de récupération (premier lot de bois de palettes) a un comportement à la fabrication de pâte TMP différent de celui du bois d'épicéa frais (figure 18). Du fait de sa siccité élevée et grâce au prétraitement de compression en présence d'eau, l'énergie spécifique varie moins que celle observée pour l'épicéa. Le prétraitement mécanique dans le MSD Pressafiner transforme les copeaux en grosses particules qui sont plus facilement transformées en fibres. De plus, le raffineur fonctionne avec moins de pics de puissance car la taille des copeaux est plus homogène.

Pour des indices freeness supérieurs à 100 ml CSF, le bois de palette consomme plus d'énergie. Par exemple, à 120 ml CSF, l'énergie spécifique est supérieure de 600 kWh/t. Pour des indices inférieurs à 100 ml CSF, le bois de palette consomme moins d'énergie.

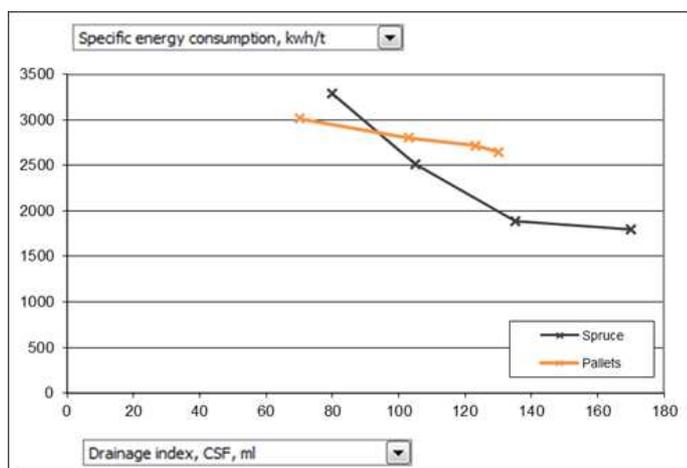


Figure 18: Evolution de l'énergie spécifique avec l'indice d'égouttage freeness de la pâte TMP produite avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot)

2.3.2. - Impact sur les propriétés de la pâte TMP

Les pâtes TMP à 120 ml CSF sont sélectionnées pour être blanchies avec le dithionite de sodium ou le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin. Les blancheurs initiales sont :

- Pâte TMP d'épicéa frais : 50% ISO
- Pâte TMP de bois de récupération (premier lot de bois de palettes) : 39% ISO.

La propreté du bois de palettes est un paramètre important pour produire la pâte TMP avec le niveau de blancheur requis. Avec ce lot, il est impossible d'atteindre ce niveau pour la pâte écrue. Une différence de 12 points de blancheur est observée, du fait de la forte coloration de ces copeaux. Une différence de 16 points de blancheur est notée avec la blancheur cible de l'usine. Même avec l'épicéa frais, la pâte TMP pilote a une blancheur inférieure d'environ 5 points, du fait du stockage du bois ou d'un lot de copeaux d'épicéa moins blanc que normalement.

Du fait de la plus faible blancheur des pâtes TMP écrues du bois de récupération, une charge en agent de blanchiment plus élevée est utilisée pour le blanchiment afin d'essayer de compenser la différence observée. Comme indiqué dans le tableau 5, il est très difficile d'atteindre un haut niveau de blancheur pour la pâte TMP de bois de récupération. Avec le dithionite de sodium, la blancheur cible de 60% ISO n'est pas atteinte, même avec l'épicéa frais. Avec le peroxyde d'hydrogène, il est possible d'atteindre une blancheur finale plus élevée, même avec le bois de récupération. Pour cette pâte TMP, tout le peroxyde d'hydrogène est consommé, indiquant que la charge en peroxyde d'hydrogène doit être supérieure à 5% pour atteindre un plus haut niveau et éviter des réactions de jaunissement du fait de l'absence de peroxyde d'hydrogène résiduel.

Tableau 5: Aptitude au blanchiment avec le dithionite de sodium ou le peroxyde d'hydrogène des pâtes TMP produites des copeaux d'épicéa et des copeaux du premier lot de palettes.

Essence	Bois de récupération		Epicéa	
	Na ₂ S ₂ O ₄	H ₂ O ₂	Na ₂ S ₂ O ₄	H ₂ O ₂
Type de blanchiment				
Blancheur finale, % ISO	42,9	55,8	52,7	67,6
Gain de blancheur, % ISO	3,5	16,8	3,0	18,0
Teneur en H ₂ O ₂ résiduel, %		4		23

La pâte TMP blanchie de bois de récupération est mélangée avec la pâte TMP blanchie d'épicéa avec une teneur variant jusqu'à 30%. L'impact de cette pâte sur les propriétés mécaniques et optiques est évalué sur des formettes conventionnelles.

L'indice de traction de la pâte TMP de bois de récupération est légèrement supérieur lorsqu'un blanchiment avec le peroxyde d'hydrogène est effectué car le milieu alcalin permet de développer les propriétés de liaison des fibres (figure 19). La plus faible valeur obtenue pour la pâte TMP d'épicéa indique que des éléments fins sont perdus pendant le blanchiment (étape de lavage de la pâte). L'indice de traction est légèrement plus faible pour la pâte TMP blanchie avec le dithionite de sodium.

L'introduction de pâte TMP de bois de récupération dans la pâte TMP d'épicéa n'a pas d'effet négatif sur l'indice de traction quand la teneur de cette pâte est inférieure à 10%. Quand un blanchiment avec le peroxyde d'hydrogène est utilisé pour blanchir la pâte TMP de bois de récupération, une teneur plus élevée peut être introduite dans la pâte TMP d'épicéa : il est possible d'introduire jusqu'à 20% de pâte TMP blanchie de bois de récupération.

L'indice de déchirement des pâtes TMP de bois de récupération est significativement plus faible que celui des pâtes TMP d'épicéa, pour les deux stratégies de blanchiment (figure 20). De ce fait, l'introduction de pâte TMP de bois de récupération dans la pâte TMP de référence a un effet négatif sur la résistance au déchirement, surtout si la teneur de cette pâte TMP est supérieure à 20%.

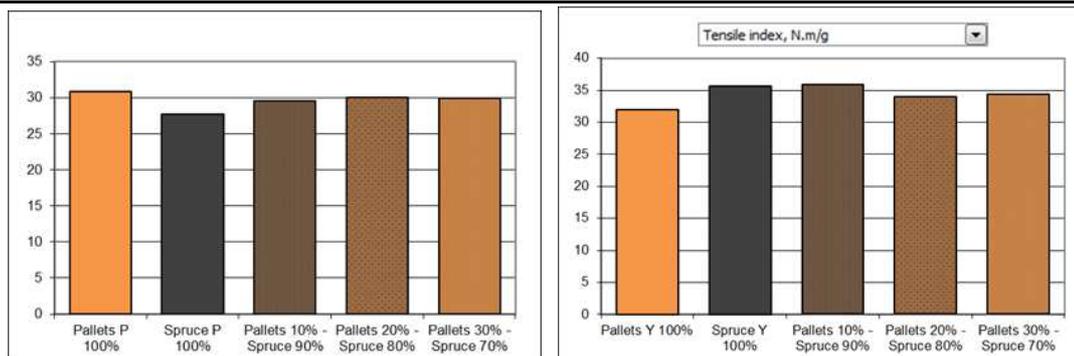


Figure 19: Comparaison de l'indice de traction des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot) et des mélanges des pâtes TMP blanchies (P pour peroxyde d'hydrogène, Y pour dithionite de sodium).

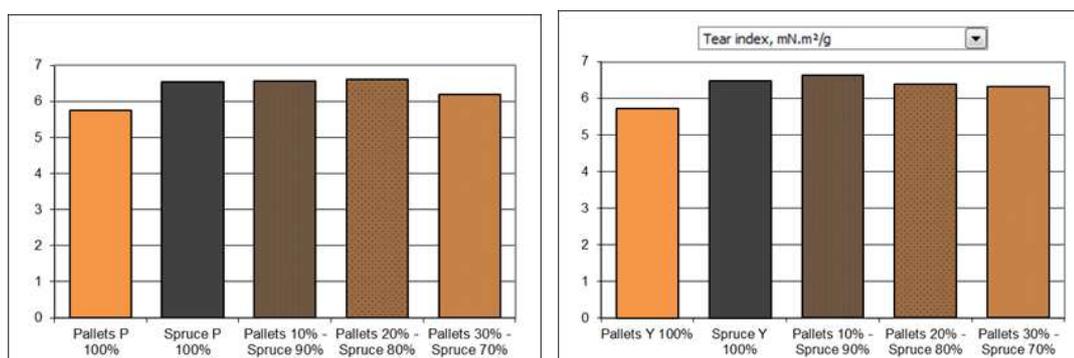


Figure 20: Comparaison de l'indice de déchirement des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot) et des mélanges des pâtes TMP blanchies (P pour peroxyde d'hydrogène, Y pour dithionite de sodium).

Comme la blancheur finale de la pâte TMP de bois de récupération est nettement plus faible que celle de la pâte TMP d'épicéa, la blancheur des mélanges est négativement affectée (figure 21). Seulement, 10% de pâte TMP blanchie de bois de récupération pourrait être introduite dans la pâte de référence pour ne pas trop affecter la blancheur.

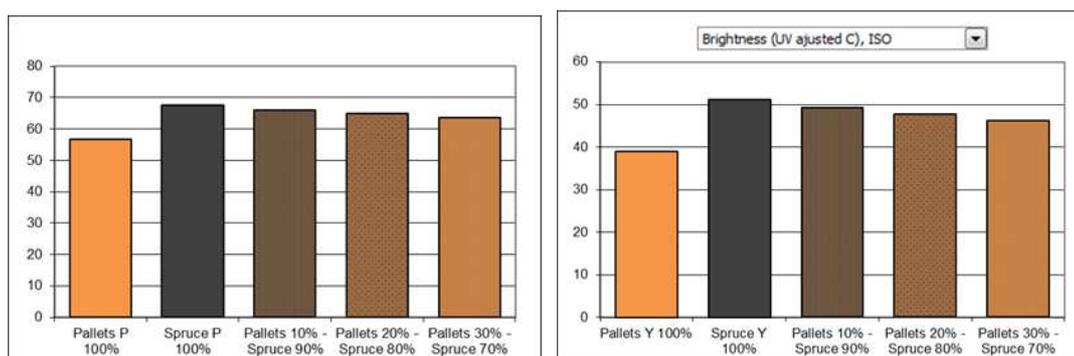


Figure 21: Comparaison de la blancheur des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot) et des mélanges des pâtes TMP blanchies (P pour peroxyde d'hydrogène, Y pour dithionite de sodium).

2.3.3. - Impact sur les caractéristiques des constituants de la pâte TMP

Il est intéressant de comparer les principales caractéristiques des fibres, des bûchettes et des éléments fins des pâtes TMP avant blanchiment produites avec soit de l'épicéa frais, soit du bois de récupération (premier lot de palettes). Comme observé dans la figure 22, le bois de récupération génère moins de bûchettes que l'épicéa, quel que soit l'indice freeness. Ce

résultat est dû au traitement mécanique dans le MSD Pressafiner et à la plus forte siccité du matériau. Le traitement mécanique de compression des copeaux permet de commencer la destructuration des copeaux en plus petits éléments, facilitant la séparation des fibres lors du défibrage.

La diminution de la teneur en bûchettes produira moins de refus lors du classage de la pâte, permettant ainsi une économie d'énergie lors du raffinage de ces refus dans le procédé industriel. De plus, la diminution de la teneur en bûchettes est aussi une indication du meilleur comportement du bois dans le procédé TMP.

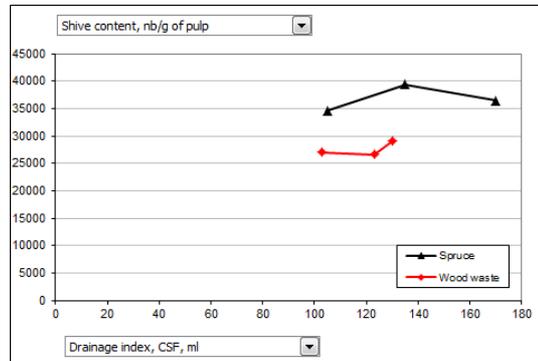


Figure 22: Evolution de la teneur en bûchettes avec l'indice d'égouttage freeness de la pâte TMP produite avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot)

Au contraire, le bois de récupération génère plus de fibres courtes que le bois d'épicéa frais (figure 23). La longueur moyenne des fibres diminue plus vite pour le bois de récupération que le bois d'épicéa avec l'énergie appliquée dans les raffineurs. Ce résultat est dû à la qualité du bois de récupération et au prétraitement mécanique qui fragilise les fibres. Cette diminution de la longueur moyenne des fibres explique la diminution de l'indice de déchirement des pâtes.

Aucune différence significative n'est observée pour l'indice de courbure des fibres entre les pâtes TMP de bois de récupération ou d'épicéa.

Finalement, le bois de récupération issu de palettes génère plus d'éléments fins que le bois d'épicéa (figure 23). Comme un phénomène de coupe plus marqué est observée sur les fibres de bois de récupération lors du défibrage et du raffinage, il est logique que plus d'éléments fins soient produits et présents dans la pâte TMP de bois de récupération.

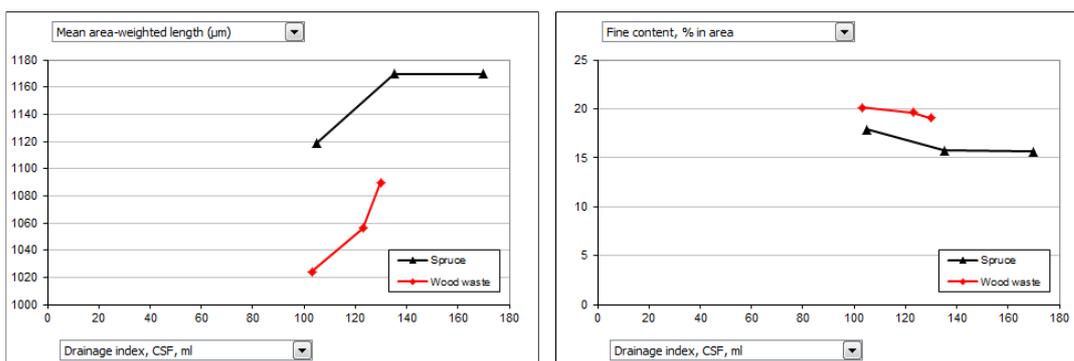


Figure 23: Evolution de la longueur moyenne pondérée en surface des fibres et de la teneur en éléments fins avec l'indice d'égouttage freeness de la pâte TMP produite avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot)

Il est également intéressant de comparer les caractéristiques des constituants des pâtes TMP après blanchiment et après mélange des deux pâtes TMP en proportion variable.

Le blanchiment par le dithionite de sodium ou le peroxyde d'hydrogène affecte légèrement la teneur en bûchettes, mais plus particulièrement le blanchiment avec le peroxyde d'hydrogène (figure 24). Comme ce type de blanchiment est effectué dans un mixeur dynamique pour faciliter le mélange des réactifs de blanchiment avec la pâte à haute concentration, les bûchettes les plus fragiles peuvent être transformées en fibres. Cette diminution est moins visible avec le blanchiment par le dithionite de sodium car il n'y a pas de mélange mécanique. Comme il a été observé pour les propriétés mécaniques, plus la teneur en pâte TMP de bois de récupération est élevée, plus la teneur en bûchettes est faible dans le mélange.

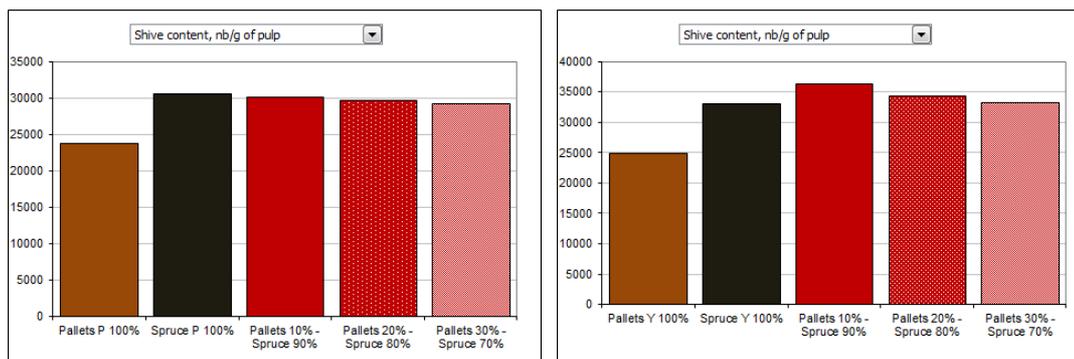


Figure 24: Comparaison de la teneur en bûchettes des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot) et des mélanges des pâtes TMP blanchies (P pour peroxyde d'hydrogène, Y pour dithionite de sodium).

La longueur moyenne des fibres n'est pas affectée par le blanchiment (figure 25). L'introduction de pâte TMP de bois de récupération avec des fibres plus courtes dans la pâte TMP d'épicéa diminue automatiquement la longueur moyenne des fibres des mélanges. Cette diminution est plus importante avec la pâte TMP blanchie avec le peroxyde d'hydrogène qu'avec la pâte TMP blanchie avec le dithionite de sodium. La teneur en pâte TMP en bois de récupération blanchie au peroxyde d'hydrogène affecte immédiatement la longueur moyenne des mélanges de pâtes TMP. Pour la pâte blanchie au dithionite de sodium, la diminution est observée uniquement pour la plus forte teneur en TMP de bois de récupération.

S'il n'y a pas de différence significative pour l'indice de courbure des fibres pour les pâtes écruës, une différence notable peut être observée après blanchiment (figure 26). Les fibres des pâtes TMP de bois de récupération sont plus flexibles que celles des pâtes TMP d'épicéa. L'introduction de pâte TMP blanchie de bois de récupération dans la pâte TMP blanchie d'épicéa améliore la flexibilité moyenne des mélanges, expliquant les meilleures propriétés de résistance à la traction.

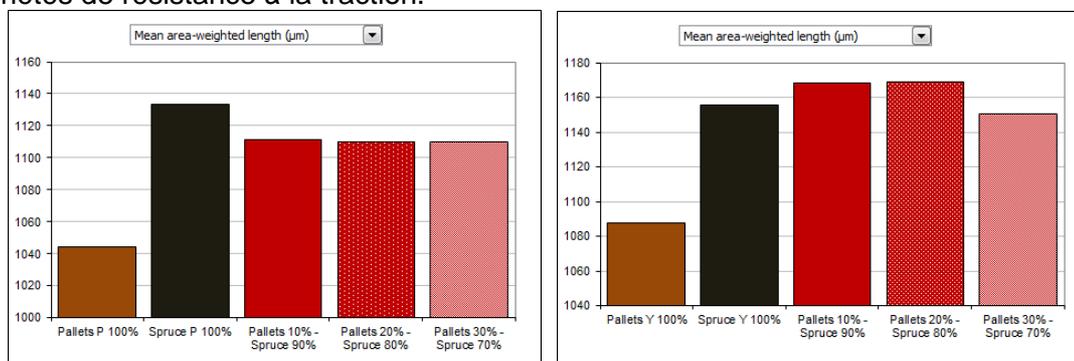


Figure 25: Comparaison de la longueur moyenne des fibres des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot) et des mélanges des pâtes TMP blanchies (P pour peroxyde d'hydrogène, Y pour dithionite de sodium).

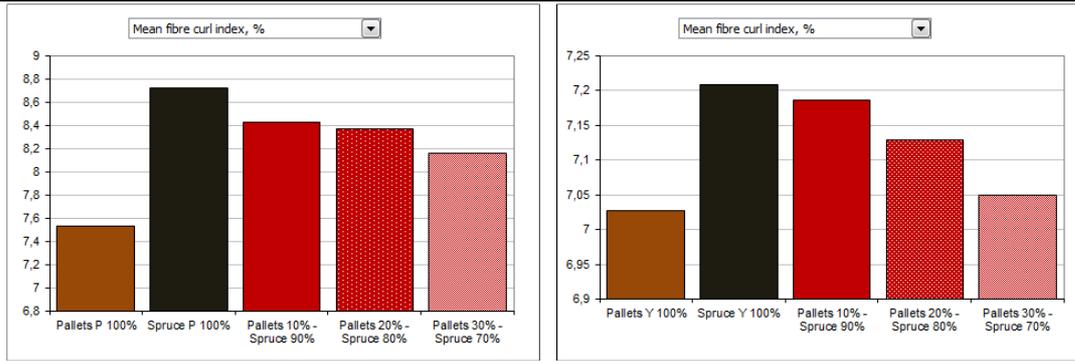


Figure 26: Comparaison de l'indice de courbure moyen des fibres des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot) et des mélanges des pâtes TMP blanchies (P pour peroxyde d'hydrogène, Y pour dithionite de sodium).

Finalement, la teneur en éléments fins n'est pas affectée par le blanchiment (figure 27). Aucune perte en fines n'est observée pendant le blanchiment au peroxyde d'hydrogène ou au dithionite de sodium. Une teneur plus élevée en éléments fins dans la pâte TMP de bois de récupération affecte aussi la valeur pour les mélanges, si la teneur est supérieure à 30%.

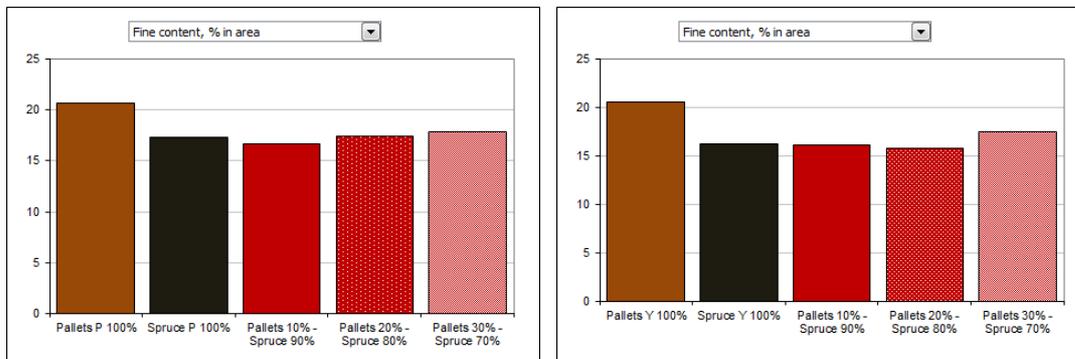


Figure 27: Comparaison de la teneur en éléments fins des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais ou des copeaux issus de palettes (premier lot) et des mélanges des pâtes TMP blanchies (P pour peroxyde d'hydrogène, Y pour dithionite de sodium).

2.3.4. - Impact sur les effluents générés lors de la production de pâte TMP

La DCO est mesurée sur les effluents générés par le procédé TMP pour les deux matières premières :

- Bois d'épicéa frais : 36 kg/t de pâte TMP
- Bois de récupération (1^{er} lot de palettes) : 37 kg/t de pâte TMP

Il n'y a pas de différence significative dans la qualité des effluents générés entre l'utilisation d'épicéa frais et de bois de récupération. Compte tenu de la moindre teneur en matières extractibles du bois de récupération, on aurait pu s'attendre à une diminution de la charge polluante des effluents du procédé. Visiblement, ce n'est pas le cas car les matières extractibles sont peut-être libérées lors des stades de défibrage et de raffinage dans la vapeur générée.

2.4. - Impact de l'utilisation de bois de palettes (deuxième lot)

Un second lot de bois de récupération produit à partir de palettes a été demandé avec une meilleure coloration. Des copeaux de bois de palettes trié a été fournis par Sita, présentant une blancheur équivalente à celle des copeaux d'épicéa (figure 28).



Figure 28 : Photographie des copeaux de bois produits avec le deuxième lot de palettes.

Ce lot de bois de récupération est également plus sec que le bois d'épicéa utilisé par l'usine (tableau 6). Comme pour le premier lot de bois de récupération issus de palettes, la teneur en matières extractibles est nettement plus faible, indiquant qu'il y aura moins de ces composés dans les eaux générés par le procédé. Les autres composants sont en quantité similaire.

Tableau 6: Comparaison de la siccité et des compositions chimiques des copeaux d'épicéa et des copeaux du deuxième lot de palettes.

Essence	Bois de récupération	Epicéa
Siccité, %	86	43
Teneur en cellulose, %	44,5	42,5
Teneur en lignine, %	26,0	27,9
Teneur en hémicelluloses, %	27,4	25,7
Teneur en extractibles, %	1,7	3,5
Teneur en cendres, %	0,33	0,36

Une nouvelle stratégie de production de pâte TMP a été discutée avec Norske Skog, Usine de Golbey pour faciliter l'utilisation de ce bois de récupération. Ce bois de récupération est prétraité dans le MSD Pressafiner et imprégné avec de l'eau. Les copeaux sont collectés et mélangés aux copeaux d'épicéa avec un ratio 10% de bois de récupération prétraité et 90% d'épicéa. Ce mélange est alors utilisé pour produire la pâte TMP blanchie.

2.4.1. - Impact sur la consommation énergétique

L'introduction de 10% de copeaux de bois de récupération prétraité avec de l'eau entraîne une diminution de l'énergie spécifique lors de la production de pâte TMP à l'échelle pilote. L'utilisation de bois plus sec, donc plus cassant, facilite la séparation des fibres et permet d'économiser environ 400-500 kWh/t.

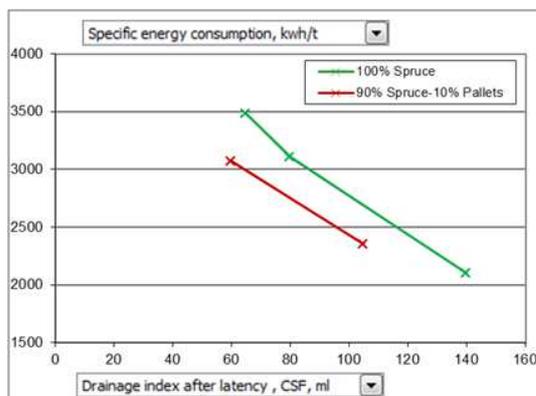


Figure 29: Evolution de l'énergie spécifique avec l'indice d'égouttage freeness de la pâte TMP produite avec des copeaux d'épicéa frais ou avec un mélange contenant 10% de copeaux issus de palettes (deuxième lot).

Lorsque l'on analyse l'énergie dépensée au défilage et au raffinage, il n'est observé aucune différence dans l'énergie de défilage lorsque 10% de copeaux de bois de palette est introduit dans les copeaux de référence.

2.4.2. - Impact sur les propriétés de la pâte TMP

Toutes les pâtes TMP produites sont blanchies soit avec le dithionite de sodium, soit avec le peroxyde d'hydrogène avant de fabriquer des formettes pour l'évaluation des propriétés mécaniques et optiques.

La blancheur de la pâte TMP est légèrement affectée par la présence du bois de récupération (figure 30). Une diminution inférieure à un point de blancheur est notée.

Après blanchiment avec le peroxyde d'hydrogène, la blancheur de la pâte TMP est significativement augmentée (figure 30). La pâte TMP produite avec 10% de bois de récupération présente même une blancheur supérieure après blanchiment avec le peroxyde d'hydrogène, indiquant que le bois de récupération était suffisamment clair. La petite différence observée sur les pâtes TMP écrues est compensée lors du blanchiment par le peroxyde d'hydrogène. De plus, la pâte TMP produite avec 10% de bois de récupération consomme légèrement moins de peroxyde d'hydrogène que la pâte de référence.

Avec le dithionite de sodium, la blancheur de la pâte TMP produite avec 10% de bois de récupération est comparable à celle de la pâte TMP de référence (figure 30). Ainsi l'introduction de 10% de bois de récupération prétraité avec de l'eau n'a pas d'influence négative sur la blancheur et l'aptitude au blanchiment de la pâte TMP.

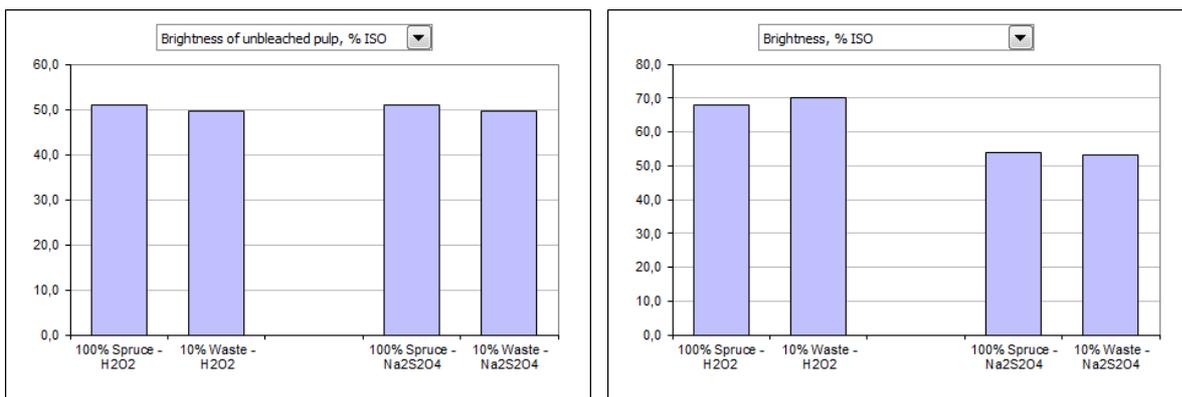


Figure 30: Comparaison de la blancheur des pâtes TMP écrues et blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais (Spruce) ou un mélange contenant 10% des copeaux issus de palettes (deuxième lot – Waste) (H2O2 pour peroxyde d'hydrogène, Na2S2O4 pour dithionite de sodium).

L'introduction de 10% de bois de récupération dans les copeaux d'épicéa n'a pas d'effet significatif sur la main de la pâte TMP (figure 31). Par contre, l'indice de traction est légèrement diminué, du fait de la siccité plus élevée du bois de récupération (figure 31). Comme déjà observé précédemment, lorsque le bois est plus sec, les fibres sont plus cassantes et donc plus sensibles aux traitements mécaniques de défilage et de raffinage. Une diminution de la longueur des fibres et de leur fibrillation peut avoir un effet significatif sur la résistance à la traction de la pâte TMP correspondante.

Les mêmes observations peuvent être faites pour l'indice de déchirement (figure 32). Une diminution de la résistance au déchirement est observée quand du bois de récupération de palette est introduit dans les copeaux d'épicéa.

Le blanchiment avec le peroxyde d'hydrogène ou le dithionite de sodium n'a pas d'effet significatif sur les différences de propriétés mécaniques de la pâte TMP. Il est quand même surprenant de noter que le blanchiment avec le dithionite de sodium semble mieux améliorer les propriétés mécaniques que le peroxyde en milieu alcalin.

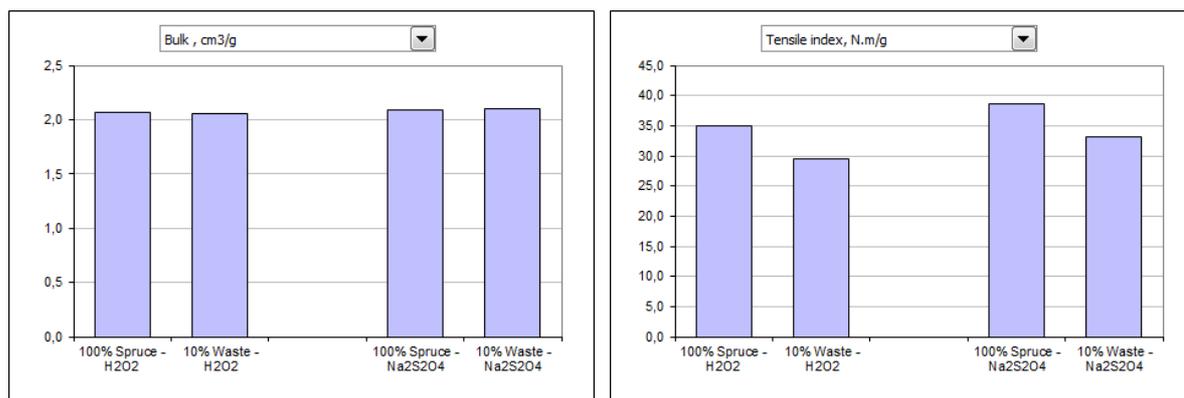


Figure 31: Comparaison de la main et de l'indice de traction des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais (Spruce) ou un mélange contenant 10% des copeaux issus de palettes (deuxième lot – Waste) (H2O2 pour peroxyde d'hydrogène, Na2S2O4 pour dithionite de sodium).

Les propriétés optiques et notamment l'opacité n'est pas affectée par le blanchiment ni par l'introduction de bois de récupération à hauteur de 10% avant la mise en pâte TMP (figure 32). Le blanchiment avec le dithionite de sodium semble également générer des pâtes TMP blanchies avec une meilleure opacité et de meilleures propriétés optiques (figure 33).



Figure 32: Comparaison de l'indice de déchirement et de l'opacité des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais (Spruce) ou un mélange contenant 10% des copeaux issus de palettes (deuxième lot – Waste) (H2O2 pour peroxyde d'hydrogène, Na2S2O4 pour dithionite de sodium).

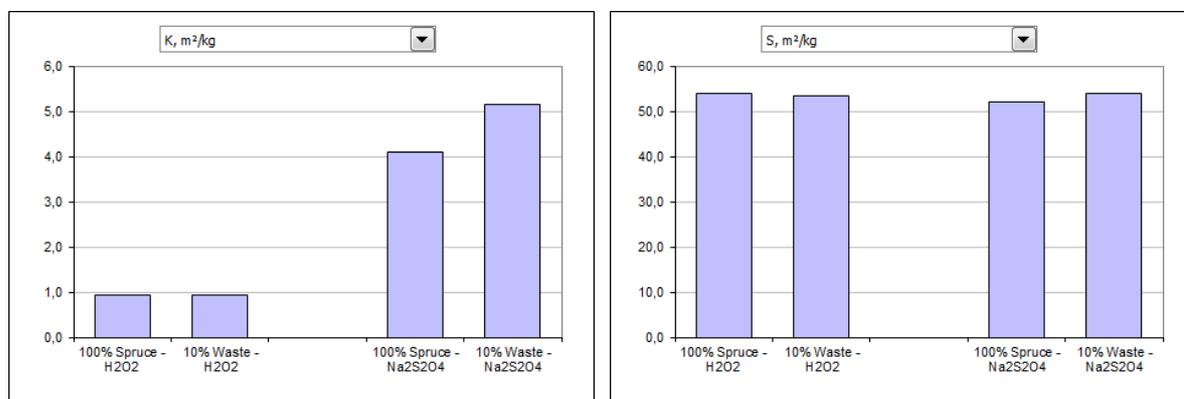


Figure 33: Comparaison des coefficients d'absorption (k) et de diffusion (s) des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais (Spruce) ou un mélange contenant 10% des copeaux issus de palettes (deuxième lot – Waste) (H2O2 pour peroxyde d'hydrogène, Na2S2O4 pour dithionite de sodium).

2.4.3. - Impact sur les caractéristiques des constituants de la pâte TMP

Comme réalisé pour le premier lot de bois de récupération de palettes, les caractéristiques des fibres, des bûchettes et des éléments fins sont analysées.

Comme attendu, la teneur en bûchettes diminue quand l'indice d'égouttage freeness diminue (figure 34). Une énergie supérieure appliquée lors du raffinage facilite la séparation des faisceaux de fibres et des bûchettes en fibres. L'introduction de bois de récupération prétraité à l'eau facilite la séparation des fibres, permettant une diminution de la teneur en bûchettes. L'aspect cassant du bois de récupération facilite la séparation des fibres lors des stades de défibrage et de raffinage.

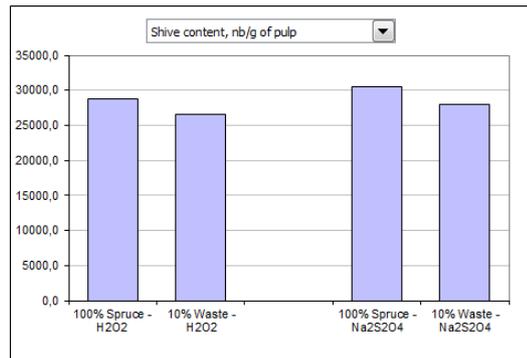


Figure 34: Comparaison de la teneur en bûchettes des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais (Spruce) ou un mélange contenant 10% des copeaux issus de palettes (deuxième lot – Waste) (H2O2 pour peroxyde d'hydrogène, Na2S2O4 pour dithionite de sodium).

L'introduction de bois de récupération dans les copeaux d'épicéa engendre une augmentation de la teneur en fibres, du fait de la séparation plus facile mais aussi de la coupe des fibres qui intervient sur ce bois plus cassant (figure 35). Le type de blanchiment ne modifie pas les caractéristiques dimensionnelles des fibres.

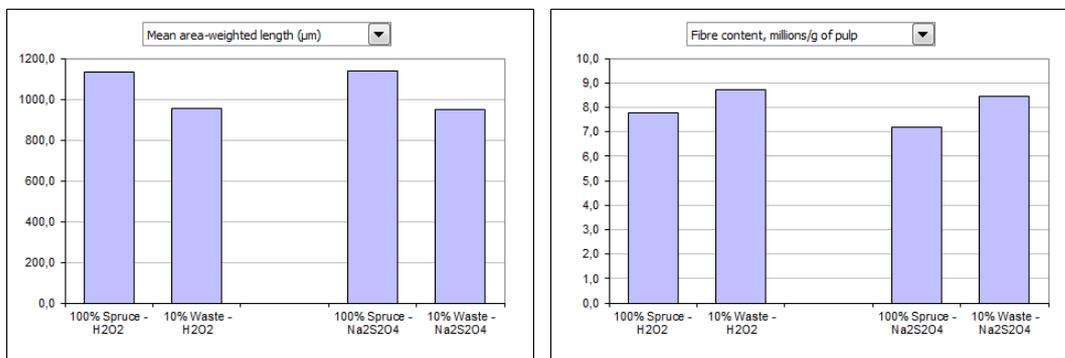


Figure 35: Comparaison de la teneur en fibres et de la longueur moyenne des fibres des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais (Spruce) ou un mélange contenant 10% des copeaux issus de palettes (deuxième lot – Waste) (H2O2 pour peroxyde d'hydrogène, Na2S2O4 pour dithionite de sodium).

Les autres caractéristiques des fibres, comme l'indice de courbure ou l'indice de microfibrillation ne sont pas affectées par l'introduction de bois de récupération avec une teneur de 10%.

Comme le bois de récupération est plus sec et donc plus cassant, la coupe des fibres qui a été observée, se traduit par une augmentation de la teneur en éléments fins (figure 36). Par contre, les éléments fins sont de dimension comparable. La teneur en éléments fins est un atout des pâtes TMP car ils sont responsables des propriétés optiques notamment l'opacité et la diffusion de la lumière.

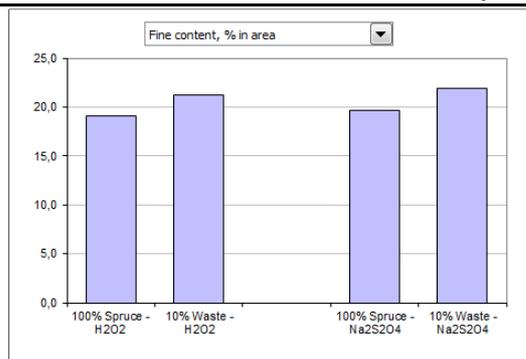


Figure 35: Comparaison de la teneur en éléments fins des pâtes TMP blanchies à 120 ml CSF produites avec des copeaux d'épicéa frais (Spruce) ou un mélange contenant 10% des copeaux issus de palettes (deuxième lot – Waste) (H2O2 pour peroxyde d'hydrogène, Na2S2O4 pour dithionite de sodium).

2.4.4. - Impact sur les effluents générés lors de la production de pâte TMP

La DCO est mesurée sur les effluents générés par le procédé TMP pour les deux matières premières :

- Bois d'épicéa frais : 31 kg/t de pâte TMP
- Mélange avec 10% de bois de récupération (2^{ième} lot de palettes) : 30,4 kg/t de pâte TMP

Il n'y a pas de différence significative dans la qualité des effluents générés entre l'utilisation d'épicéa frais et l'introduction de 10% de bois de récupération dans les copeaux d'épicéa. La plus faible teneur en matières extractibles du bois de récupération n'a pas d'effet significatif sur la qualité des effluents générés par le procédé TMP du fait de la teneur limitée à 10% en poids.

Conclusion et Perspectives

Différents lots de bois de récupération ont été évalués comme ressource en matières premières dans la production de pâte thermomécanique (TMP) :

- Bois de récupération issu de cadre de fenêtre en Meranti
- Bois de récupération issu de cadre de fenêtre en épicéa
- Bois de récupération issu de palettes (2 lots de qualité visuelle différente), dont un lot de couleur claire.

L'utilisation de bois de récupération issu de cadre de fenêtre n'est pas possible pour la production de pâte TMP à cause de l'impact important sur les propriétés optiques de la pâte, plus particulièrement la blancheur. La présence de peinture sur le bois et de particules de mastic a engendré des points noirs dans la pâte et des problèmes de blanchiment qui ne permettent pas d'atteindre les spécifications de l'usine.

Le bois de récupération issu de palettes (bois de classe A) peut être considéré comme une matière première potentielle pour la fabrication de pâte TMP. Le principal problème reste la siccité de ce bois de récupération qui génère des fibres plus courtes mais permet d'économiser de l'énergie électrique dans le procédé : jusqu'à 500 kWh/t.

L'introduction de 10% de bois de récupération issu de palettes dans la fabrication de pâte TMP peut être possible si le bois est correctement sélectionné et trié afin d'approvisionner l'usine de production de pâte TMP avec un bois clair qui n'impactera pas sur la qualité de la pâte et son aptitude au blanchiment.

Même si une légère diminution de l'indice de traction de la pâte TMP est observée quand du bois de récupération de palette est introduit dans les copeaux d'épicéa standard, son utilisation peut être envisagée si le bois de récupération est préalablement ré-humidifié en eau pour éviter l'augmentation de la coupe des fibres. L'utilisation d'un prétraitement de compression des copeaux associé à une imprégnation avec de l'eau peut être une solution technologique envisageable. Dans cette configuration, une teneur de 10% en bois de récupération peut être introduite dans les copeaux d'épicéa sans modification majeure du procédé et de la qualité de la pâte TMP. Une économie en énergie d'environ 400 à 500 kWh/t peut même être obtenue avec une diminution de la teneur en bûchettes qui engendrera une diminution supplémentaire de l'énergie électrique nécessaire pour les traiter.

L'introduction de bois de palette directement dans les copeaux standards sans aucun prétraitement n'a pas été étudiée.

Finalement, si un prétraitement chimique adapté et léger était utilisé sur les bois de récupération de palettes avant la mise en pâte TMP, comme dans le procédé AP-TMP (Alkaline Peroxide-ThermoMechanical Pulping), l'utilisation de bois de récupération pourrait être facilitée.

Les bois de récupération pourraient aussi être utilisés dans la fabrication de pâtes chimiques. Les procédés associés sont plus robustes car les traitements chimiques associés sont plus drastiques et devraient permettre d'éliminer certains contaminants et libérer les fibres du bois, même s'il est sec ou peint. Cette utilisation devrait être étudiée en partenariat avec un fabricant de pâte chimique intéressé par cette matière première.

Le tableau 7 résume l'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de cette étude et permet de voir les avantages et les inconvénients de l'utilisation de bois de récupération dans la fabrication de pâte TMP.

Tableau 7: Comparaison de différents bois de récupération utilisés dans la fabrication de pâtes TMP.

Type de bois de récupération	Cadres de fenêtre 17 à 40%	Palettes (1 ^{er} lot) 10 à 30%	Palettes (2 ^{ème} lot) 10%
Procédé TMP utilisé	Même ligne	Ligne séparée	Même ligne
Fraîcheur	Sec	Ré-humidifié	Ré-humidifié
Energie	😊	😞 à 😟	😊
Main	😊	😞	😞
Indice de déchirement	😊	😞	😟
Indice de traction	😞	😞	😟
Blancheur (QP)	😞 à 😟	😟	😞
Points noirs	😟	😞	😞
Qualité des effluents	😞	😞	😞

Références Bibliographiques

Cost Action E31, 2007, <http://www.cost.esf.org>

Forouzanfar R., Vaisy R., Rezaee T. V. Tietz M. (2010), " Producing corrugating medium board from wood waste", Appita 2010 conference, Proceedings pp195, Melbourne, Australia, 18-21 April 2010.