







De l'arbre sur pied à la plaquette livrée chez le client Étude technico-économique de la filière plaquette forestière









MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES Raphaël WISSELMANN

Ingénieur élève du corps du GREF, promotion 2006-2008

source : Raphaël Wisselmann

OFFICE NATIONAL DES FORÊTS ONF ÉNERGIE ÖSTERREICHISCHE BUNDESFORSTE AG AGROPARISTECH-ENGREF

De l'arbre sur pied à la plaquette livrée chez le client Étude technico-économique de la filière plaquette forestière

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES Raphaël WISSELMANN

Ingénieur élève du corps du GREF, promotion 2006-2008

Septembre 2008

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES DE LA FORMATION « FORÊT, NATURE ET SOCIÉTÉ »

TITRE:

De l'arbre sur pied à la plaquette chez le client

Étude technico-économique de la filière plaquette forestière

MOTS CLÉS:

Plaquette forestière Bois énergie Autriche Chaufferies Gestion site de stockage

AUTEUR: RAPHAËL WISSELMANN

PROMOTION FNS: 2007/2008

CARACTÉRISTIQUES: 1 volume; 202 pages; 21 figures; 23 tableaux; 14 annexes; 28 contacts; 46 références bibliographiques.

CADRE DU TRAVAIL : MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

ORGANISMES PILOTES OU CONTRACTANT:

ONF Énergie

ONF

NOM DU RESPONSABLE:

PHILIPPE GOUPIL, DIRECTEUR GÉNÉRAL D'ONF ÉNERGIE

PATRICK KUBLER, DIRECTEUR D'AGENCE ONF DE COLMAR

NOM DU CORRESPONDANT ENGREF: CHRISTOPHE VOREUX

SUITE À DONNER

Mémoire consultable et diffusable

Résumé

L'ONF a créé ONF Énergie, filiale spécialisée dans la production et la vente de plaquettes forestières. La logistique et les caractéristiques de ce combustible dépendent de la taille de la chaufferie. Il est fabriqué à partir de coproduits de l'exploitation forestière. Pour quantifier son prix de revient bord de route, cinq chantiers tests ont été réalisés. Une décomposition du coût de la plaquette forestière livrée au client a été calculée. Le *benchmarking* mené auprès des *Österreichische Bundesforste AG*, gestionnaires des forêts domaniales autrichiennes est présenté. Pour réduire les coûts de fabrication de la plaquette, une évolution des techniques de mobilisation des coproduits et de la gestion de la plate-forme de stockage est proposée. Des stratégies de partenariat commercial sont avancées.

Abstract

The National Forest Office (Office National des Forêts) has created a subsidiary, ONF Énergie specialised in wood chips business. The logistics and the characteristics of this fuel wood depend on the size of the boiler room. Wood chips are produced with logging residues. Five different experimental timber yards were carried out to quantify harvesting and unloading costs of logging residues. A decomposition of the production cost composition of wood chips has been calculated. A benchmark study realised through a comparison with the Austrian federal forests company (\ddot{O} sterreichische Bundesforste AG) is submitted. To decrease wood chips production cost, technical solutions are proposed, through the evolution of wood mobilisation procedure and wood storage site management. A strategy of new trade partnerships is suggested

Zusammenfassung

Die französische öffentlichen Forste (ONF) haben eine Tochtergesellschaft gegründet (ONF Énergie), die in der Herstellung und im Verkauf von Waldhackgut spezialisiert ist. Die Einheiten und die Logistik von diesem Brennstoff stehen in engen Zusammenhang mit der Grösse von den Heizkraftwerken. Das Waldhackgut wird aus Holz gemacht, das bisher im Wald liegen blieb. Die frei Strasse Erntekosten von diesen Nebenprodukten sind auf Basis von fünf Versuchsstellen geschätzt worden. Die Preiszerlegung von dem geliefertem Waldhackgut wurden ausgerechnet. Die Erfahrung von den Österreichischen Bundesforsten AG wird analysiert. Verschiedene technische Vorschläge um die Erntekosten der Mitprodukte zu senken und die Bewirtschaftung eines Lagerplatzes zu verbessern sind formuliert. Endlich sind auch neue kommerzielle Partnerschaften erwähnt.

Remerciements

L'auteur de ce mémoire tient à remercier l'ensemble des intervenants qui ont collaboré à son projet en soulignant particulièrement l'implication de

- Philippe Goupil, Directeur général d'ONF Énergie et co-maître de stage,
- Jean-Luc Dunoyer, Directeur territorial Alsace pour m'avoir accueilli au sein de sa structure,
- Patrick Kubler, Directeur de l'agence ONF Colmar et co-maître de stage,
- Daniel Kempf, Technicien et représentant d'ONF Énergie en Alsace,
- des agents de l'agence ONF de Colmar et notamment Jacques Mertz, chef du service travaux, Denis Schmitlin, entrepreneur de travaux à l'ONF, Pierre Sprauel et Patrick Tibiletti, responsables d'Unité Territoriale pour la mise à disposition de parcelles pour réaliser les chantiers tests ;
- du Forstbetrieb Waldviertel Voralpen des Österreichische Bundesforste AG et notamment son directeur, Dr Wolfgang Chaloupek qui m'a accueilli pendant cinq semaines,
- des exploitants forestiers des chantiers tests qui ont bien voulu se faire chronométrer.

Avertissement

Ce mémoire de fin d'études n'engage que son auteur. Les opinions émises doivent être considérées comme propre à l'auteur et ne reflètent pas celles de l'ONF, d'ONF Énergie ou des Österreichische Bundesforste AG. L'objet de sa diffusion est de stimuler le débat et d'appeler commentaires et critiques.

Page 2

Table des matières

Kemerciements	<i>I</i>
Avertissement	2
Table des matières	3
Liste des tableaux, figures et photographies	7
Index alphabétique des sigles	
Correspondance d'unités	
Introduction	
1. Le cadre général	
1.1. L'essor des énergies renouvelables	15
1.1.2. Le contexte en France	
1.2. Le bois énergie	19
1.2.1. Contexte européen	19
1.2.2. Le bois énergie en France	
1.2.2.1. Le bois énergie dans la stratégie énergétique française	
1.2.2.2. Programmes de dynamisation de la filière	
1.2.2.3. Différentes formes de bois énergie	
1.2.2.5. Atouts de la filière bois énergie	
1.2.2.6. Limites de la filière bois énergie	
1.2.3. Le bois énergie en Alsace	
2. La plaquette forestière et son utilisation	<i>3</i> 3
2.1. Caractérisation physique, chimique et énergétique de la plaquette forestière	
2.1.1. Caractéristiques énergétiques	33
2.1.1.1. Impact du taux d'humidité	
2.1.1.2. Autres facteurs de variation du PCI	
2.1.2. Caractéristiques chimiques	
2.1.3. Caractéristiques physiques de la plaquette	
2.2. Intérêts et limites de la plaquette forestière	
2.2.1. Intérêts de la plaquette forestière2.2.2. Limites de la plaquette forestière	
2.3. Marché de la plaquette forestière	
2.3.1. Contexte européen	
2.3.2. Contexte national 2.3.2.1. État des lieux	
2.3.2.1. Etat des fieux 2.3.2.2. Aspects quantitatifs	
2.3.2.3. Aspects économiques	
2.3.2.4. Perspectives	
2.3.3. Situation en Alsace	41
2.4. Quelle matière première pour les plaquettes forestières ?	42
2.5. Quelques éléments sur les chaufferies au bois	43
2.5.1. Fonctionnement d'une chaufferie au bois	43
2.5.2. Typologie des chaufferies	
2.5.3. Réglementation	44
2.6. Approvisionnement des chaufferies : interface amont-aval	45
2.6.1. Une multiplicité d'acteurs	45
2.6.2. Les imprécisions des cahiers des charges	45

	2.6.3. Garanties d'approvisionnement et contrats	45
	2.7. Système d'approvisionnement des chaufferies	46
	2.7.1. Principales méthodes de production des plaquettes	
	2.7.1.1. Déchiqueteuse automotrice	
	2.7.1.2. Déchiquetage hors parcelle	
	2.7.2. Quelques éléments sur le déchiquetage	
	2.7.3. Stockage	
	2.7.4. Transport	
	2.7.5. Filière d'approvisionnement selon la typologie des chaudières	
	2.7.5.1. Petites et moyennes chaufferies	
	2.7.5.2. Grandes chaufferies (1,5 a 6 MW)	
	2.8. Les programmes de recherche sur la plaquette forestière	
<i>3</i> .		
	3.1. L'ONF et les plaquettes forestières	
	3.1.1. Politique nationale de l'ONF en matière de bois énergie	55
	3.1.1.1. Stratégie de partenariat	
	3.1.1.2. Principaux objectifs de l'ONF en matière de bois énergie	
	3.1.1.3. Forces de l'ONF en matière de bois énergie	
	3.1.1.4. Risques	56
	3.1.2. Déclinaison au sein de la direction territoriale Alsace de l'ONF	56
	3.1.2.1. Présentation générale de la direction territoriale	
	3.1.2.2. Politique de la DT en matière de bois énergie	
	3.2. ONF Énergie	
	3.2.1. Présentation générale	
	3.2.1.1. Généralités	
	3.2.1.2. Raisons de la création d'une filiale	
	3.2.1.3. Missions d'ONF Énergie	
	3.2.1.4. Les relations entre la maison mère et la filiale	
	3.2.2. L'activité d'ONF Énergie en Alsace	
4.	<u> </u>	
	4.1. Problématique	
	4.1.1. Quelle ressource pour le bois énergie?	
	4.1.2. Particularité des chantiers mixtes : notion de surcoût	
	4.2. Méthodologie générale	62
	4.2.1. Pourquoi des chantiers tests ?	
	4.2.2. Critère de choix des chantiers	
	4.2.3. Présentation générale des chantiers tests	
	4.2.4. Protocole général des mesures	63
	4.3. Présentation des résultats des cinq chantiers tests	
	4.3.1. Aperçu global	
	4.3.2. Chantier à l'abatteuse et vidange au porteur	
	4.3.3. Chantier au câble-mât	
	4.3.4. Chantier avec abattage traditionnel et avec grappin billonneur	
	4.3.5. Chantier de type coupe rase	
	4.3.5.2. Ouverture d'une emprise	
	4.4. Discussion	
5.		
	5.1. Présentation du site	
	5.1.2. Fonctions du site	

5.2. Problématique	
5.2.1. Une comptabilité analytique inexistante	
5.2.2. Les besoins d'ONF Énergie	75
5.3. Méthodologie	76
5.3.1. Généralités	
5.3.2. Les différents postes du coût de revient de la plaquette forest	ière76
5.3.2.1. Achat de la biomasse bord de route	76
5.3.2.2. Transport du bord de route à la plate-forme	
5.3.2.3. Déchiquetage	
5.3.2.4. Livraison de la plate-forme au client	
5.3.2.5. Frais de personnels	
5.3.2.6. Frais liés à la plate-forme	
5.3.2.7. Frais affectables à un contrat	
5.3.4. Simulation de coût	
5.3.5. Perte de matière	
5.3.6. Estimation de la valeur du stock	
5.4. Résultats	
5.4.1. Coût de revient de la plaquette forestière	
5.4.2. Origine de la biomasse	
5.4.3. État des stocks	
5.4.4. Analyse de sensibilité	
5.5. Discussion	81
6. La filière plaquette forestière en Autriche	o a
6.1. Le contexte forestier autrichien	83
6.1.1. Généralités	
6.1.2. Politique forestière	84
6.2. La politique en matière de bois énergie en Autriche	85
6.2.1. Le contexte énergétique	
6.2.2. Une politique en faveur du bois énergie	
6.3. La filière plaquettes forestières	
6.3.1. L'environnement des chaufferies moyennes	
C	
6.4. Benchmarking chez les ÖBF dans le domaine des plaquet	tes forestières90
6.4.1. Présentation générale	
6.4.2. Les ÖBF et les plaquettes	
6.4.3. Outils et méthodes	
6.4.3.1. Environnement favorable	
6.4.3.2. Gestion du flux de bois	
6.4.3.3. Logique de contrat	
6.4.3.4. Filière logistique	
•	
7. Synthèse et propositions	99
7.1. Propositions pour optimiser la récolte de bois énergie boi	rd de route 90
7.1.1. Scénarios techniques et économiques de mobilisation	
7.1.1.1. Bois transportable	
7.1.1.2. Bois non transportable	
7.1.1.3. Synthèse des scénarios de mobilisation	
7.1.2. Consignes pour la récolte de bois énergie	
7.1.2.1. Aspects quantitatifs: identifier un chantier avec un giseme	
7.1.2.2. Aspects techniques : mobiliser le bon bois correctement	
7.1.2.3. Sensibiliser le gestionnaire de terrain	
7.2. Axes de progrès pour ONF Énergie	103
7.2.1. Aspects technico-économiques	
7.2.1. 1 topecto termico-economiques	102

7.2.1.1. Un démarrage difficile	
7.2.2.1. Des recrutements nécessaires au sein d'ONF Énergie	
7.2.2.2. Où faut-il développer l'activité ?	107
7.2.2.3. Quels marchés viser ?	107
7.3. ONF et ONF Énergie, des intérêts communs	108
7.3.1. La plaquette, la poule aux œufs d'or ?	108
7.3.5. Vers une filière intégrée?	
7.4 Les freins à vaincre ensemble dans la filière plaquette	112
7.4.2. Tirer la filière vers le haut	112
7.4.3. Sensibiliser les élus : produire de la plaquette en autarcie, un doux rêve !	113
Conclusion	115
Contacts	Jane nécessaire augmentation de capital 104 Jane priorité : investir dans la plate-forme de stockage de Bennwihr 104 Jane priorité : investir dans la plate-forme de stockage de Bennwihr 104 Jane priorité : investir dans la plate-forme de stockage de Bennwihr 106 Jane séconomies possibles 105 Senforcer le pilotage technique et économique 106 Ble politique de développement ? 106 Die faut-il développer l'activité ? 107 Duels marchés viser ? 107 Duels marchés viser ? 107 DNF Énergie, des intérêts communs 108 Plaquette, la poule aux œufs d'or ? 108 Plaquette es coûts de débardage 109 Pptimiser le déchiquetage 109 Pptimiser le déchiquetage 109 Pptimiser le déchiquetage 109 Pptimiser le déchiquetage 109 Tualiser les contrats, les équipements et les ressources 110 Tailière intégrée? 110 Tailière intégrée? 110 Tailière intégrée; 110 Tailière vers le haut 112 Ta
Annexe nº 1 : notion de pouvoir calorifique	125
Annexe n° 2 : PCI en fonction du taux d'humidité et de l'essence	126
Annexe nº 3 : masse volumique et essences des pays tempérés	127
Annexe n° 4 : étude d'un chantier à l'abatteuse et au porteur	129
Annexe nº 5 : étude d'un chantier au câble-mât	141
Annexe nº 6 : étude d'un chantier avec abattage traditionnel et avec grappin billonneur	157
Annexe nº 7 : coupe définitive sans semis acquis	173
Annexe nº 8 : ouverture d'emprise	187
Annexe nº 9 : hypothèses de calcul	193
Annexe nº 10 : résultats intermédiaires calcul	194
Annexe n° 11 : vue d'ensemble des services et des espaces gérés par les ÖBF	197
Annexe n° 12 : chiffrage des investissements à réaliser à Bennwihr	
Annexe n° 13 : calcul de rentabilité pour l'installation d'une balance automatique à Bennwihr	199
Annexe n° 14 : impact de la première tranche d'investissement sur le coût de revient de la plaquette	

Liste des tableaux, figures et photographies

1. Liste des figures

Figure 2 : Le « bouquet » énergétique primaire de la France en millions de tep (source : CEREN, ADEME, Figure 3 : Marché du bois énergie en France en fonction du type de bois (source : rapport provisoire (2006) -Figure 5 : Émission de gaz à effet de serre en fonction du combustible pour produire un kWh utile chez Figure 7 : Nombre de chaufferies collectives au bois installées en Alsace subventionnées par le programme Figure 12 : Emplacement des plates-formes gérées par ONF Énergie au 30 juin 2008 (source du fond de Figure 15 : Décomposition du coût de revient de la plaquette forestière passant par la plate-forme de Figure 16: Répartition de la surface forestière en fonction de la taille de la propriété ou du type de Figure 17 : Puissance cumulée en fonction du type de chaufferies installées entre 2001 et 2005 en Autriche87 Figure 18: Ventilation du chiffre d'affaires des ÖBF en 2007 (source : ÖBF Nachhaltigkeitsbericht, 2007)92 Figure 20 : Décomposition du prix de l'énergie en fonction du mode d'exploitation et du combustible 111 Figure 21: carte des espaces gérés par les ÖBF et implantation des services des ÖBF (source : ÖBF, 2004) 197

2. Liste des tableaux

Tableau 1 : Consommation de bois énergie en 2006 dans les pays de l'Union européenne	19
Tableau 2 : Comparatif coût des énergies et rendements (source MINEFI et ADEME, 2005)	25
Tableau 3: Bilan environnemental du chauffage domestique au bois (source: ADEME, 2005)	26
Tableau 4 : Positionnement des différents combustibles en termes de pollution générée pour produire	e un
kWh utile chez l'usager (source : ADEME)	
Tableau 5 : État des lieux des chaudières fonctionnant en Alsace en 2006	31
Tableau 6: Taux de cendres en fonction du type de bois [29]	
Tableau 7 : Volumes de bois transformé en plaquettes forestières en France (source : enquête annuell	le de
branche (exploitation forestière et scieries) du service central des études économiques et statisti-	iques
(SCEES) du ministère de l'Agriculture)	40
Tableau 8 : Indice d'évolution du prix de la plaquette forestière (source : CEEB)	40
Tableau 9 : Perspectives d'évolution de la plaquette forestière (source : plan national biocombustibles, 20	
	41
Tableau 10 : Volume de bois transformé en plaquettes forestières en Alsace (source : enquête annuell	le de
branche (Exploitation forestière et scieries) du SCEES du ministère de l'Agriculture)	41
Tableau 11 : Avantages et inconvénients des différents types d'achats	46
Tableau 12 : Extrait de la nomenclature ICPE	
Tableau 13 : Données générales sur les chantiers tests	
Tableau 14 : Proposition de nouvelle grille tarifaire pour le BE mobilisé au câble-mât	65
Tableau 15 : Proposition de grille tarifaire pour le BE mobilisé avec une exploitation traditionnelle	66
Tableau 16 : Montant en €/MWh des différents postes de coûts constitutifs de la plaquette forestière	79
Tableau 17 : Origine de la biomasse passant par la plate-forme de Bennwihr	80
Tableau 18 : Comparaison de l'état des stocks présents sur la plate-forme	80
Tableau 19 : Principales caractéristiques forestières de l'Autriche et de la France [39], [40], [41], [45]	83
Tableau 20 : Nombre de chaufferies à bois installées sur la période 2001-2005 en Autriche (sou	irce :
Biomasseverband)	
Tableau 21 : Organisation du groupe ÖBF au 31 décembre 2007 (source : ÖBF)	91
Tableau 22 : Essences dominantes dans les forêts des ÖBF (source : ÖBF, 2007)	
Tableau 23 : Propositions d'itinéraires techniques de mobilisation du bois énergie en fonction de la resso	ource
et coûts associés	. 102

3. Liste des photographies

Photographies 1 : Différentes qualités de plaquettes avec des fines, des éléments grossiers ou une granulométrie homogène (source : Raphaël Wisselmann)
Photographie 2 : Déchiqueteur de marque Jenz avec grue (source : Raphaël Wisselmann)
Photographie 3 : Vue du tambour et remplacement des couteaux (source : Raphaël Wisselmann)
Photographies 4 : produit avant criblage, cribleuse et plaquette forestière après criblage (fraction plus grossière et fraction fine)
Photographies 5 : Camion de type polybenne, fond mouvant ou tracteur avec remorque (source : Raphaëi Wisselmann)
Photographie 6 : Vue de l'auvent, de la zone de stockage extérieure de Bennwihr et du chargeur (source Raphaël Wisselmann)
Photographie 7 : Équipement servant à mesurer le taux d'humidité. Le bloc-notes mesure 31 cm (source Raphaël Wisselmann)
Photographies 8 : Déchiqueteurs en activité sur la plate-forme de Bennwihr (source : Raphaël Wisselmann)
Photographies 9 : Chaufferie à bois d'Öblan, hangar de stockage de plaquettes et chaufferie de 400 kW 88
Photographies 10 : Chaufferies au bois respectivement à Sachsenburg et à Ybbs. Le tapis convoyeur qui surplombe la route transfère les écorces vers la chaufferie à bois (source : Raphaël Wisselmann) 89
Photographies 11 : Site de Vienne Simmering avec vue sur la plate-forme de pesée, une partie du parc à bois et l'installation fixe de broyage (source : Raphaël Wisselmann)
Photographie 12 : Houppiers destinés à la fabrication de plaquettes (source : Raphaël Wisselmann) 95
Photographie 13 : Fabrication de plaquettes (source : Raphaël Wisselmann)
Photographies 14 : Camion porte-conteneur à basculement latéral (source : Raphaël Wisselmann) 96
Photographies 15 : Pesée du camion, prélèvement de sciure, séchage et pesée (source : Raphaël Wisselmann)
Photographies 16: Exploitation dans les taillis de la forêt domaniale de la Hardt (Haut-Rhin). Abattage mécanisé, vidange au porteur et stockage en tas au bord de route (source: Raphaël Wisselmann) 101

Index alphabétique des sigles

ADEME Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie AFOCEI. Association forêt cellulose AG Aktien Gexellschaft (SA) BE bois deregie BI bois d'œuvre CEEB centre d'études économiques sur le bois CFE certificat d'économie d'énergie CEMAGREF Centre d'études pour le machinisme agricole, le génie rural, les eaux et les forêts CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie COV composé organochloré volatile CRE Commission interprofessionnelle du bois énergie CV cheval vapeur DIB dééchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENGRE bécole nationale du génie rural, des eaux et des forêts EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale du bois INFM Holzflussmanagement (gestion du fluing (SARL)) HIFM Holzflussmanagement (gestion du fluis de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestière GAST Justien de diversion de l'ancestier ludistrie de commercial DIS Institut pour le développement forestière GOF groupe coopération forestière GOF groupe coopération forestière GOF groupe coopération forestière GOF groupe coopération forestière GOF linstallation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier GOF groupe coopération de génie rural, des eaux et des forêts NDS note de service OBF ou ÖBF AG Osterreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONF Endoure général du secute des des des des des des forêts on OFFICE SAS société par actions simplifiée	ADA	and a Maria manuart Alassa
AFOCEL Association forêt cellulose AG Aktien Gesellschaft (SA) BE bois énergie BI bois énergie BI bois d'industrie BO bois d'industrie CEEB centre d'études économiques sur le bois CEE certificat d'économie d'énergie CEMAGREF Centre d'études pur le machinisme agricole, le génie rural, les eaux et les forêts CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie COV composé organochloré volatile CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FIBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale du sois GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GGF groupe coopération forestière GGF groupe coopération frestière ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ONF ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes IONF ONF Energie PCI pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SAS société par actions simplifiée		
AG Aktien Gesellschaft (SA) BE bois énergie BI bois énergie BO bois d'industrie BO centre d'études économiques sur le bois CEE certificat d'économic d'énergie CEMAGREF Centre d'études pour le machinisme agricole, le génie rural, les eaux et les forêts CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie COV composé organochloré volatile CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationales du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationales du génier rural, des caux et des forêts EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale dus communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GMBH Gesellschaft mit beschränkter Haffung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF ênergie PCI pouvoir calorifique supérieur PCS pouvoir calorifique supérieur SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée		
BE bois énergie BI bois d'industrie BO bois d'cuvre CEEB centre d'études économiques sur le bois CEE certificat d'économie d'énergie CEMAGREF Centre d'études pour le machinisme agricole, le génie rural, les caux et les forêts CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie COV composé organochtoré volatile CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENGREF école nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Etablissement publie à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GGF groupe coopération forestière GGF installation classée au tire de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ONF ONF ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes FORD Finergie FCE programm for the endorsement of forest certification schemes FORD Formation des forêts SAS société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée		
BI bois d'industrie BO bois d'œuvre CEEB centre d'études économiques sur le bois CEE certificat d'économie d'énergie CEMAGREF Centre d'études pour le machinisme agricole, le génie rural, les eaux et les forêts CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie COV composé organochloré volatile CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB fécole nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB fécole nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC fitabilissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestère « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fedération nationale dus bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GMBH Gesellschaft mit beschränker Haftung (SARL) HFM Hofzlussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IDGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mère cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ONFE ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SAR société anonyme SARL société aresponsabilité limitée SAS société par actions simplifiée		
BO bois d'œuvre CEEB centre d'études économiques sur le bois CEE certificat d'économic d'énergie CEMAGREF Centre d'études pour le machinisme agricole, le génie rural, les eaux et les forêts CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie COV composé organochloré volatile CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caracière industriel et commercial FBE coopérative forestière «Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GMBH Geselkschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mêtre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service OBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONF Office national des forêts ONF ONF Poper amm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société aresponsabilité limitée SCEEs service central des enquêtes et études statistiques SKS short message service		
CEEB centre d'études économiques sur le bois CEE certificat d'économie d'énergie CEMAGREF Centre d'études pour le machinisme agricole, le génie rural, les eaux et les forêts CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie COV composé organochloré volatile CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FDE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale du seommunes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GGF groupe coopération forestière GGF desellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ONF ONF Office nationale des forêts ONF ONF ONF One pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PCF programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPP loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SAR société a responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SAS société par actions simplifiée		
CEE certificat d'économie d'énergie CEMAGREF Centre d'études pour le machinisme agricole, le génie rural, les eaux et les forêts CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie COV composé organochloré volatile CRE Commission de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT directive régionale d'aménagement DT directive régionale d'aménagement DT directive régionale d'aménagement DT directive régionale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES ga 2 à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut nour le développement forestier MAP mêtre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société a responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES SFVice central des enquêtes et études statistiques SKS short message service		
CEMAGREF Centre d'études pour le machinisme agricole, le génie rural, les eaux et les forêts CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie CV composé organochloré volatile CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB Ecole nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ONF		
CIBE Commission interprofessionnelle du bois énergie COV composé organochloré volatile CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale dus bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES ga à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des caux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mêtre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service OBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Olfice national des forêts ONF ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique spérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société a responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquetes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement		Ü
COV composé organochloré volatile CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GMBH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Hotzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques METOX métaux toxiques METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ONFE ONF Endr de de forêts ONFE ONF Endr adordine des forêts ONFE ONF Endr adordine des forêts ONFE ONF inergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SAS société aresponsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SAS schéma régional d'aménagement		
CRE Commission de régulation de l'énergie CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopérative forestière (Sestlichaff mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques METOX métaux toxiques METOX métaux toxiques MPW mégawatt NDS note de service ONF ONF Office national des forêts ONF ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programm fixant les orientations de la politique énergétique française SA société a responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement		
CV cheval vapeur DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT directive régionale d'aménagement DT directive régionale d'aménagement DT directive régionale d'aménagement DT directive régionale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale dus bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONFE ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS		
DIB déchets industriels banals DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GCF groupe coopérative florestière GCF groupe coopérative florestière GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
DRA directive régionale d'aménagement DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestière IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société ar esponsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
DT direction territoriale ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GMBH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HIFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the enforsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société a responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SKS short message service		
ENGREF école nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mêtre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF 00 ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONF ONF Énergie PCI pouvoir calorifique supérieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SAR société à responsabilité limitée SAS société an esponsabilité limitée SAS société as esponsabilité limitée SAS société as esvice ecretar des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		C C
ENSTIB École nationale supérieure des technologies et industries du bois EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestière INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
EPIC Établissement public à caractère industriel et commercial FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONFE ONFE ONF Energie PCI pouvoir calorifique supérieur PCS pouvoir calorifique supérieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société par actions simplifiée SCEES service entral des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
FBE coopérative forestière « Forêts et Bois de l'Est » FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestière IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
FCBA Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société aresponsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
FNB Fédération nationale du bois FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		i i
FNCOFOR Fédération nationale des communes forestières GES gaz à effet de serre GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		U A
GES groupe coopération forestière GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
GCF groupe coopération forestière GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONFÉ nergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung (SARL) HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement		C
HFM Holzflussmanagement (gestion du flux de bois) ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Energie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
ICPE installation classée au titre de la protection de l'environnement IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
IDF Institut pour le développement forestier IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
IGGREF ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
INRA Institut national de la recherche agronomique MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFÉ ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
MAP mètre cube apparent de plaquettes METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
METOX métaux toxiques MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
MW mégawatt NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		** * *
NDS note de service ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
ÖBF ou ÖBF AG Österreichische Bundesforste Aktien Gesellschaft ONF Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
ONFE Office national des forêts ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
ONFE ONF Énergie PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
PCI pouvoir calorifique inférieur PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
PCS pouvoir calorifique supérieur PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		ë
PEFC programm for the endorsement of forest certification schemes Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
Loi POPE loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
SA société anonyme SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		programm for the endorsement of forest certification schemes
SARL société à responsabilité limitée SAS société par actions simplifiée SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service	Loi POPE	loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique française
SAS société par actions simplifiée SCES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
SCEES service central des enquêtes et études statistiques SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		
SRA schéma régional d'aménagement SMS short message service		société par actions simplifiée
SMS short message service		
Ü	SRA	schéma régional d'aménagement
SWH Strom und Wärme aus Holz	SMS	short message service
	SWH	Strom und Wärme aus Holz

T	téra (10 ¹²)
t	tonne
tep	tonnes équivalent pétrole
UCFF	Union de la coopération forestière française
UTCF	Utilisation des terres, leur changement et la forêt
WEBBK	Wien Energie Bundesforste Biomasse Kraftwerk (société ayant construit et gérant la
	chaufferie de Vienne Simmering)

Correspondance d'unités

Pour convertir les différentes unités, on pourra retenir les coefficients de conversion suivants (source : ADEME) :

1 kcal = 0,001163 kWh 1 kJ = 0,000278 kWh 1 tep = 11 626 kWh 1 tonne (bois frais) = 1,7 stère = 0,257 tep = 2990 kWh 1 TWh = 1000 GWh = 1 000 000 MWh = 1 000 000 000 kWh

Introduction

Le contexte européen et français est extrêmement favorable au développement des énergies renouvelables. Parmi elles, le bois énergie et en particulier la plaquette forestière sont amenés à jouer un rôle prépondérant dans les prochaines années. L'Office national des forêts (ONF) a pleinement intégré ces enjeux et a créé en avril 2006 ONF Énergie, une filiale dédiée à la production et à la commercialisation de plaquettes forestières. À ce jour, en France, la filière de la plaquette forestière est en cours de structuration. Les différents acteurs cherchent à acquérir des données pour établir des référentiels techniques et économiques notamment sur le type de biomasse à mobiliser ou sur la structure du coût de revient de la fabrication de la plaquette forestière. Parallèlement, au bout de deux ans et demi d'existence, ONF Énergie dispose maintenant d'une certaine expérience.

À la demande de l'ONF et d'ONF Énergie, une étude a été lancée pour optimiser sur les plans techniques et économiques, les différentes étapes nécessaires pour passer de la biomasse en forêt à la plaquette forestière livrée. Cette analyse s'appuie également sur l'expérience de l'Autriche, pays qui a particulièrement développé la filière plaquette. Ce travail s'inscrit également dans le cadre d'un stage de fin d'études de la formation des ingénieurs du génie rural, des eaux et des forêts, voie d'approfondissement « forêt, nature et société ». Il a été réalisé entre avril et septembre 2008 au sein de ces deux structures et complété par une mission en Autriche d'une durée de cinq semaines au cours de l'été 2008

Dans ce mémoire, après avoir rappelé le contexte européen et national dans le domaine du bois énergie, la plaquette forestière et son utilisation dans les chaufferies bois ont été analysées. Un troisième chapitre présente les deux structures, ONF et ONF Énergie et notamment leur politique en matière de plaquettes forestières. Puis, nous avons commencé par nous intéresser à la partie amont de la filière : quel type de bois faut-il mobiliser pour faire de la plaquette et à quel coût ? Pour répondre à cette question, les résultats de cinq chantiers tests réalisés dans le cadre de cette étude ont été utilisés. Puis les différents postes de coût de fabrication de la plaquette forestière ont été évalués à partir d'une étude de cas en Alsace où la filière est particulièrement développée. ONF Énergie y gère notamment une plate-forme de stockage et de séchage dont le fonctionnement et les flux financiers ont été analysés. Ensuite, les conclusions du benchmarking menés auprès des Österreichische Bundesforste AG, gestionnaires des forêts de l'État autrichien sont présentés. Dans un dernier chapitre, des propositions d'amélioration sont formulées pour la mobilisation du bois par l'ONF et des axes de progrès pour ONF Énergie sont également avancés. Des synergies à développer entre les deux structures sont identifiées pour vaincre certains freins au développement de la filière plaquette forestière.

Mémoire de fin d'études de Raphaël Wisselmann	Étude technico-économique de la filière plaquette forestière

1. Le cadre général

1.1. L'essor des énergies renouvelables

Définition

Les énergies renouvelables sont le résultat de l'activité terrestre (géothermie), de l'activité lunaire (énergie marémotrice), mais surtout de l'activité du soleil, soit sous la forme de rayonnement direct (énergie solaire), soit par les cycles renouvelés de l'eau (énergie hydroélectrique), de l'air (l'énergie éolienne) et de la biomasse.

Le terme de biomasse désigne l'ensemble des produits organiques de l'activité biologique, y compris les déchets organiques. C'est la fraction biodégradable des produits provenant de l'agriculture (substances végétales et animales), de la sylviculture, des industries agro-alimentaires, des industries du bois et des déchets industriels et ménagers. Dans le domaine forestier, on entend par biomasse le bois et ses dérivés, les produits agricoles et forestiers mais aussi certains déchets de l'industrie.

1.1.1. Quelques éléments de contexte internationaux

La Conférence de Rio

La lutte contre le changement climatique a véritablement commencé au début des années 1990 avec la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement qui s'est tenue à Rio de Janeiro du 3 au 14 juin 1992. Elle établit un objectif général à atteindre, celui de « stabiliser (...) les concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique », ainsi que des principes directeurs de l'action internationale de lutte contre le changement climatique.

Le protocole de Kyoto

La troisième conférence des Nations Unies en décembre 1997 a permis l'adoption du protocole de Kyoto. Celui-ci vise à réduire les émissions de GES de 5,2 % durant la période 2008-2012 par rapport au niveau de 1990. La France a ratifié ce protocole et s'est engagée à ramener à l'horizon 2012 ses émissions de GES au niveau de 1990. Si l'on excepte les économies d'énergies, les deux principales voies de traitement des GES sont le développement des puits de carbone et la substitution sous conditions du carbone fossile par du carbone biomasse ou par de l'énergie nucléaire (mais celle-ci pose d'autres graves problèmes, par exemple en matière de sécurité ou de gestion des déchets radioactifs).

Le protocole de Kyoto ratifié à présent par 175 pays dont 38 pays industrialisés listés dans son annexe 1 (les États-Unis n'y figurent pas) ne fixait des objectifs de réduction que pour les pays développés. Les dernières données publiées par le secrétariat de la Convention Cadre et du protocole de Kyoto montrent qu'en 2005, les pays de l'annexe 1 n'avaient diminué que de 2,8 % leurs émissions par rapport à 1990, et ce, alors que l'objectif initialement fixé (-5,2 %) est faible. Un nouveau protocole incluant les pays en voie de développement comme la Chine et l'Inde est en cours de négociation mais l'échec de la conférence de Nairobi (2007) et le succès en demi-teinte de la conférence de Bali (2008) présagent de négociations difficiles pour aboutir à un nouvel accord à court terme.

Depuis, le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat a rendu son quatrième rapport en novembre 2007. Il qualifie de très probable le lien entre augmentation des gaz à effet de serre et l'activité humaine.

La position de l'Union européenne

En matière d'énergies renouvelables, deux faits majeurs méritent d'être soulignés :

- La directive européenne 2001/77/CE (2001) relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité fixe des objectifs par pays pour faire augmenter la part d'électricité d'origine renouvelable de 14 à 22 % entre 1997 et 2010. Cela se

traduira en France par une augmentation de la part renouvelable de l'électricité de 15 à 21 % en 2010. Les projets CRE participeront à ces objectifs (*cf.* 1.1.2);

- Le Conseil européen des 8 et 9 mars 2007 a adopté une résolution prévoyant d'ici à 2020 :
 - une réduction de 20 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990 (l'objectif de Kyoto étant pour l'Europe des 15 une baisse de 8 % à l'horizon 2012 par rapport à 1990),
 - de porter à 20 % la part des énergies renouvelables dans la consommation,
 - de réaliser 20 % d'économies d'énergies.

Toutes ces résolutions devraient se traduire en 2009 à travers une politique énergétique européenne.

On peut qualifier ces deux textes européens d'extrêmement ambitieux. Mais compte tenu des délais très courts et des objectifs très élevés, on peut parier que les objectifs ne seront vraisemblablement pas atteints. Le protocole de Kyoto en est un triste exemple puisque le bilan global masque en fait une forte disparité. Si les émissions ont baissé dans leur globalité notamment à cause de la récession en Europe de l'Est, les pays industrialisés de l'annexe 1 présentent fin 2005 des émissions de GES en hausse de 11 %.

En matière forestière, l'Union européenne n'a pas de politique. L'incidence sur la forêt se fait donc uniquement au travers d'autres politiques comme celle en matière d'énergie. À ce titre, l'European Landowners'Organization (ELO) a lancé en novembre 2006, le programme EUROFORENET ou « Réseau énergétique forestier européen ». Celui-ci fait écho à l'objectif annoncé par la Commission européenne d'atteindre 12 % de la consommation énergétique en Europe à partir de biomasse, notamment celle d'origine forestière. L'un des objectifs de l'action EUROFORENET est d'identifier les bonnes pratiques de mobilisation des ressources forestières, en provenance des forêts privées et communales, en vue de produire localement de l'énergie renouvelable.

Le contexte économique

La figure 1 résume assez bien le contexte économique. On constate actuellement une envolée du prix de toutes les énergies fossiles (elle est un peu moins importante en euros constants car amortie par la baisse du dollar). Cette tendance semble durable puisqu'elle est due à la forte demande des pays émergents, à l'épuisement des réserves actuellement disponibles en mer du Nord et à l'arrivée imminente du pic de production de pétrole [1].

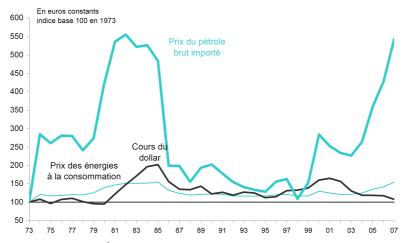


Figure 1 : Évolution du prix du pétrole brut en euros constants

(source : ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, août 2008)

1.1.2. Le contexte en France

Aspects législatifs

Définie par la loi de programme du 13 juillet 2005 (dite loi « POPE » pour loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique), la politique énergétique de la France s'articule autour de quatre objectifs : « la garantie de sécurité et la continuité à long terme de la fourniture d'énergie sous toutes ses

formes, l'offre d'une énergie à des prix très compétitifs, la construction d'un développement énergétique durable, et la garantie d'une cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès de tous à l'énergie. » Les énergies renouvelables constituant un moyen de répondre à ces cibles, le pays s'est fixé plusieurs objectifs en accord avec ses engagements internationaux et européens. Les deux principaux ayant un impact sur la biomasse sont les suivants :

- produire 21 % de la consommation d'électricité à partir de ressources renouvelables à l'horizon 2010 (en 2007, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité était d'environ 11 %);
- augmenter de 50 % la production de chaleur d'origine renouvelable d'ici 2010 soit passer de 10 à 15 millions de tep.

D'autres dispositifs ont été mis en place pour encourager la filière biomasse. La TVA sur les abonnements aux réseaux de chaleur, quels qu'ils soient, a notamment été abaissée de 19,6 % à 5,5 %, comme pour les abonnements aux réseaux de gaz et d'électricité. Pour les réseaux approvisionnés à plus de 60 % à partir de sources d'énergies renouvelables, la TVA sur la vente de chaleur a également été abaissée à 5,5 % (loi n°2006-872 du 13 juillet 2006).

La France a par ailleurs mis en place le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE) afin d'encourager la réalisation d'économies d'énergie dans l'habitat. Le principe consiste en ceci que toute personne physique ou morale (associations, collectivité, entreprise...) qui réalisera des économies d'énergie se verra délivrer un certain nombre de certificats en fonction des kilowatts-heures économisés et pourra les revendre aux énergéticiens. Des CEE peuvent donc être délivrés pour la mise en place d'une chaufferie bois.

Enfin, depuis 2006, le crédit d'impôt à hauteur de 50 % sur les équipements d'énergie renouvelables s'applique aux systèmes de chauffe fonctionnant au bois.

Conclusions du Grenelle de l'environnement (été à décembre 2007)

L'objectif est d'équilibrer la production énergétique française en adossant au réseau centralisé des systèmes décentralisés permettant davantage d'autonomie. Il s'agit aussi de réduire encore le contenu en carbone de l'offre énergétique française et, dans un premier temps, d'atteindre l'objectif de 20 % (voire 25 %) d'énergies renouvelables (énergie finale) en 2020, dans de bonnes conditions environnementales et de faisabilité. Actuellement, la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie est estimée à environ 8 %. Cela suppose d'augmenter de 20 millions de tonnes équivalent pétrole (tep) la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique à l'horizon 2020 en suivant deux lignes stratégiques, autonomisation et décentralisation, là où c'est possible.

Au plan qualitatif, les filières d'énergies renouvelables remplissent parfaitement ces objectifs. Pour faciliter leur développement, un plan de promotion de ces filières d'excellence écologique sera proposé dans les domaines suivants : géothermie, éolien, photovoltaïque, hydraulique et surtout biomasse (avec la hiérarchisation suivante des usages : alimentaire, matériaux, énergie, et dans ce dernier cas, aide à l'installation de chaufferies collectives en priorité et plan de mobilisation des ressources en bois combustible).

Selon le comité opérationnel « énergies renouvelables » du Grenelle de l'environnement, une valorisation accrue de la biomasse pourrait déjà fournir 7,5 millions de tep que ce soit en chaleur ou en électricité. La mobilisation de la ressource bois fait l'objet de nombreuses études car elle représente le plus gros potentiel. Mais cette mobilisation va nécessiter le déploiement de filières d'approvisionnement sur tout le territoire. Dans ce contexte, l'une des propositions du comité opérationnel « forêt » du Grenelle de l'environnement est de créer un fonds pour la mobilisation de la biomasse (aides à la création de dessertes forestières, aides à la mécanisation de l'exploitation forestière, etc.).

D'un point de vue législatif, un projet de loi a été présenté en Conseil des ministres le 11 juin 2008. Fin août 2008, il n'avait pas encore fait l'objet d'un débat parlementaire.

Les assises de la forêt

En novembre 2007, la filière forestière a tenu ses assises. Elle tient notamment à saisir la formidable opportunité que constituent les orientations du Grenelle. En effet, cet objectif de 20 % d'énergies renouvelables ne pourra être atteint qu'en faisant massivement appel à la capacité de la forêt à fixer du carbone et à produire du bois. C'est environ 12 millions de m³ supplémentaires qui devraient être mobilisés

d'ici 2012 et 20 millions de m³ à l'horizon 2020. À ce titre, la mise en place d'un plan national de mobilisation des bois est préconisé par l'association France - Forêts.

Les projets de la Commission de régulation de l'énergie

La France entend également produire de l'électricité à partir de biomasse. À ce titre deux appels d'offres (objectifs de 500 MW électriques) ont été lancés en 2003 et en 2006 par le gouvernement à travers la Commission de régulation de l'énergie (CRE) pour favoriser la mise en place d'installations de cogénération à partir de biomasse.

L'appel d'offre lancé par la CRE en 2003 n'a pas eu à ce jour le succès escompté dans le domaine des plaquettes forestières. Son principe était de produire (puissance supérieure à 12 MW) de la chaleur ou de l'électricité à partir de biomasse avec un prix d'achat garanti sur 15 ans à hauteur de $86 \mathbb{E}/\mathbb{M}$ Wh. Cinq projets utilisant des plaquettes avaient été retenus dans deux régions (Lorraine et Limousin). Ces projets auraient nécessité de mobiliser 600 000 t/an de plaquettes forestières supplémentaires. L'étude des projets a montré qu'il y aurait des conflits d'utilisation sur les trois sites. Il s'agissait par ailleurs de centrales de production électrique dont le rendement moyen est inférieur à 30 %. Ces trois projets conduisent donc à un fort gaspillage de la biomasse et à une faible quantité de CO_2 évitée comparée à la production de chaleur. Ils n'ont pas abouti.

En 2006, un nouvel appel d'offre a été lancé. Il imposait notamment la valorisation de la chaleur. En juin 2008, le gouvernement a retenu 22 projets de centrales de production d'électricité et de chaleur par biomasse sur les 56 dossiers déposés. La puissance électrique cumulée atteint 300 MW et devrait être mise en service avant 2010. Ils sont répartis dans 11 régions. La plupart sont situés sur des sites industriels : distillerie, laiterie, papetiers, usines de biocarburants, industriel du bois, etc. La biomasse utilisée sera donc variée : marc de raisin (60 000 t/an), sous-produits et résidus de l'industrie papetière (710 000 t/an), cultures énergétiques (50 000 t/an) ou biogaz (21 millions de m³/an). Mais le bois reste la principale ressource puisque 11 sites sur les 22 l'utiliseront à hauteur d'un million de tonnes par an. La chaleur produite par ces 22 nouveaux projets représente 450 000 tep et participe à l'augmentation de la production d'énergie à partir d'énergies renouvelables. Rappelons que la France doit augmenter sa production d'énergie renouvelable de 20 millions de tep d'ici 2020.

Enfin, un « CRE 3 » serait à l'étude puisqu'un nouvel appel d'offres devrait être lancé. Le cahier des charges intègrera cette fois des critères d'aménagement du territoire, pour favoriser la construction de telles centrales sur l'ensemble du territoire national.

Après avoir présenté le cadre général en faveur des énergies renouvelables, il convient à présent de concentrer notre attention sur l'une d'entre elles, le bois énergie. En effet, pour bien comprendre le développement de la filière plaquette forestière, il est nécessaire de faire le lien avec les politiques publiques mises en œuvre et de situer la plaquette dans un contexte plus global au sein des différentes formes de bois énergie.

1.2. Le bois énergie

Le bois énergie est au cœur de la stratégie française en matière de développement des énergies renouvelables. Les évolutions en la matière sont nombreuses et l'actualité est riche. Aussi, il a semblé intéressant de dresser dans ce mémoire un panorama des enjeux, des politiques publiques et de la filière tels qu'ils se présentent au cours de l'été 2008.

1.2.1. Contexte européen

Pays	Consommation de bois én énergie en milliers de tep Consommation de bois én en tep pour 1000 habitat	
Allemagne	6 907	84
Autriche	3 369	409
Belgique	808	77
Danemark	1 611	297
Espagne	4 177	96
Finlande	6 596	1 256
France	9 432	150
Grèce	957	86
Irlande	206	50
Italie	2 445	42
Luxembourg	15	33
Pays-Bas	817	50
Portugal	2 714	257
Royaume-Uni	1 238	21
Suède	7 938	879
Total UE à 15	49 230	127

Tableau 1 : Consommation de bois énergie en 2006 dans les pays de l'Union européenne (source : Agence Internationale pour l'Énergie)

En valeur absolue, la France est largement en tête dans l'Union européenne des 15 en termes de consommation de bois. C'est aussi l'un des pays les plus peuplés avec la ressource forestière la plus importante. En revanche, il est plus intéressant d'analyser la consommation en tep par habitant : cette fois la France est en sixième position, bien loin derrière les pays nordiques mais également l'Autriche et le Portugal. Le marché du bois de feu en France est pour une part importante un marché « gris » (en dehors de tout circuit commercial) et la quantité française est peut-être sous-estimée. Néanmoins, on retrouve en tête de classement les pays qui ont développé une véritable filière de bois énergie (Finlande, Suède, Danemark, Autriche).

1.2.2. Le bois énergie en France

Nous allons à présent nous intéresser à la filière bois énergie en France. Après avoir rappelé son importance, on s'intéressera aux politiques mises en œuvre avant d'analyser les atouts et les limites de la filière

1.2.2.1. Le bois énergie dans la stratégie énergétique française

Sur la figure 2, en 2006, selon que l'on parle d'énergie primaire ou d'énergie finale, l'ensemble des énergies renouvelables représente environ 6 % et 8 % de l'ensemble des sources d'énergies, largement en dessous du pétrole et de l'électricité. On mesure également l'ambition du Grenelle de l'environnement qui veut augmenter de 20 millions de tep la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique français pour atteindre 21 % de l'énergie finale.

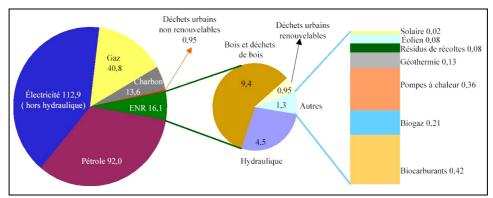


Figure 2 : Le « bouquet » énergétique primaire de la France en millions de tep (source : CEREN, ADEME, MINEFE, 2006)

Le bois énergie est la première source d'énergie renouvelable, avec 9,4 millions de tep (58 % des énergies renouvelables) en 2006 valorisés essentiellement sous forme de chaleur (plus de 95 %). Dans cette filière, le secteur domestique est au premier rang avec 7,5 millions de tep consommées en 2004, soit 85 % de la production globale du bois énergie (*cf.* figure 3).

Ce secteur est cependant en pleine mutation avec la modification des pratiques des consommateurs. Le chauffage de base diminue au profit du chauffage d'appoint. Pour l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), le chauffage central au bois (bûches, plaquettes forestières, granulés) conserve cependant un fort intérêt car il reste un mode de chauffage économique et performant qui procure une chaleur ambiante répartie dans toute la maison avec une sécurité accrue et une pollution de l'air intérieur proche de zéro.

La période 2000-2006 correspond à un renouveau pour la filière bois énergie. En effet, si l'on examine les ventes d'appareils de chauffage au bois, on distingue deux périodes :

- entre 1985 à 1999, les ventes d'appareils de chauffage au bois ont été divisées par deux, pour stagner autour de 235 000 unités par an. Sur la figure 1, cela correspond également à la période où le prix du baril de pétrole était stable et bas comparé à la période 1980-1985 ;
- entre 2000 et 2004, le nombre d'appareils vendus a augmenté en moyenne de 5 % par an. Avec + 23 % de ventes d'appareils en 2005 (+ 82 000 appareils) et + 40 % en 2006 (+ 160 000 appareils), le marché domestique du chauffage au bois connaît un fort développement. Cette évolution peut s'expliquer par les politiques publiques mises en œuvre pour favoriser cette énergie.

1.2.2.2. Programmes de dynamisation de la filière

Plan biocombustibles

À côté des plans « biocarburants » et « biomatériaux », un plan de développement des biocombustibles a été établi en 2006 par Claude Roy, coordonnateur interministériel pour la valorisation de la biomasse. Le plan biocombustibles a pour objet, à l'horizon 2010, de porter de 10 % à 15 % la part de la biomasse dans la chaleur finale consommée en France et de multiplier par trois la production d'électricité produite à partir de biomasse. Ce plan basé sur la loi POPE (cf. 1.3.1) prévoit d'augmenter de 5 millions de tep la production de chaleur à partir d'énergies renouvelables. Comme la biomasse représente 80 % de cette production, une augmentation de 3 à 4 millions de tep par rapport à 2005 est à viser pour 2010 soit une augmentation d'environ 4 millions de tonnes de bois frais. C'est bien dans cette optique que s'inscrivent les projets CRE et les programmes bois énergie de l'ADEME.

Programmes bois énergie de l'ADEME

L'ADEME a élaboré plusieurs programmes bois énergie.

Le premier couvrait la période 1994-1998 mais ne concernait que les équipements collectifs de treize régions françaises.

Le second programme [2] couvrait la période 2000-2006 et concernait l'ensemble des régions. Il a assuré en moyenne la substitution annuelle de 45 000 tep d'origine fossile soit environ 320 000 tep en 7 ans. L'ADEME a injecté 101,8 millions d'euros dans la filière pour subventionner 4 464 opérations dont

1 400 chaufferies collectives (50 % des tep substituées pour une puissance de 500 MW) et 400 chaufferies industrielles (50 % des tep substituées).

Au vu du succès du deuxième programme, un troisième programme a été adopté par le conseil d'administration de l'ADEME, le 14 février 2008. Il couvre la période 2007-2010 et a pour objectif la substitution de 290 000 tep d'énergies fossiles supplémentaires (soit 1,2 à 1,4 Mt de bois frais). Pour ce faire, l'une des orientations du nouveau programme vise à favoriser l'utilisation de la plaquette forestière et bocagère ainsi que les cultures énergétiques à la place de déchets industriels banaux (DIB). Ainsi, lorsque la chaufferie est approvisionnée avec du bois déchiqueté, ce biocombustible doit être constitué à hauteur minimum de 50 % (en énergie) de plaquettes forestières ou bocagères ou de cultures énergétiques lignocellulosiques. De même, pour que l'ADEME verse le solde de la subvention de la chaudière, il faudra fournir la copie du contrat d'approvisionnement sur 5 ans de la chaufferie.

Programme « 1 000 chaufferies bois pour le milieu rural »

L'ADEME et la fédération nationale des communes forestières (FNCOFOR) ont signé, le 31 janvier 2007, un accord de développement d'une durée de trois ans (renouvelable) pour développer 1 000 chaufferies sur la période 2007-2012. L'objectif de ce programme est de faciliter la réalisation de chaufferies bois par les acteurs des territoires à l'échelle d'une charte forestière de territoire, d'un pays, d'un parc naturel régional ou d'une intercommunalité. Ce programme devrait permettre de substituer au minimum 80 000 tep supplémentaires sur la durée de vie des installations.

Autres mesures ayant un impact indirect

Parmi les autres mesures, citons :

- les certificats d'économie d'énergie (CEE) [3], [4]. Ils font suite à la loi POPE. Les CEE reposent sur les décrets du 23 mai 2006 (n° 2006-600, n° 2006-603 et n° 2006-604). Le principe est d'obliger les vendeurs d'énergies fossiles à réaliser des économies d'énergies et à encourager d'autres acteurs (privés ou publics, individuels ou collectifs) à l'obtention d'un certificat qu'ils peuvent revendre aux producteurs d'énergie. Les actions éligibles sont celles générant des économies d'énergies ou substituant une énergie renouvelable par une énergie fossile comme le chauffage au bois ;
- les projets domestiques CO₂ ([5]). Le mécanisme des projets domestiques CO₂ s'appuie sur le principe de la mise en œuvre conjointe (mécanisme de projet prévu par le protocole de Kyoto) et vise à rémunérer les acteurs non couverts (70 % des GES en France) par le système européen d'échange de quotas, lorsqu'ils engagent volontairement des actions de réduction de leurs émissions. Les principaux secteurs concernés sont les transports, l'agriculture, le bâtiment, le traitement des déchets et les installations industrielles non couvertes par le système des quotas. Ce dispositif prévu par l'arrêté du 7 mars 2007 permet de faire émerger des projets de réduction d'émissions de gaz à effet de serre dans les secteurs d'émissions diffuses tels que le transport, l'habitat, l'agriculture et la forêt. Le 26 juin 2008, la Caisse des dépôts a communiqué les premiers résultats de l'appel à projets domestiques CO₂ qu'elle a lancé. Seize projets ont été retenus représentant potentiellement un volume total de plus de 2 millions de tonnes de réduction d'émissions de CO₂. La biomasse chaleur représente environ un tiers de ces réductions.

Quelques annonces

La création d'un « fonds chaleur renouvelable » avait été annoncée par le gouvernement en 2006. Il visait à donner un appui aux gros investissements favorisant notamment la mobilisation de plaquettes forestières. À ce jour, les prévisions budgétaires seraient estimées aux alentours de 300 M€ et le fonds ne devrait pas être mis en place avant 2012. La commission des affaires économiques, de l'environnement et du territoire de l'Assemblée nationale dans sa réunion du 8 juillet 2008 regrette d'ailleurs ces tergiversations en ces termes : « l'adoption de la loi " Grenelle " doit être l'occasion de mettre en place un fonds chaleur d'origine renouvelable afin de mobiliser les ressources forestières, revendication ancienne qui n'est évoquée dans le projet de loi de programme que de façon sibylline à propos d'un simple soutien à la production de chaleur issue de la biomasse ».

Les assises de la forêt ont fait certaines propositions qui s'inscrivent essentiellement dans le cadre du Grenelle [6]. Elles seront arbitrées lors de la rédaction de la loi.

En conclusion: des mesures qui vont dans le bon sens mais qui sont nettement insuffisantes

La loi POPE fixe plusieurs objectifs comme l'accroissement de la production de chaleur renouvelable de 50 % à l'horizon 2010 soit le passage d'environ 10 à 15 millions de tep par an. En comparaison, le plan 2000-2006 bois énergie de l'ADEME a permis de mobiliser du bois chaleur à hauteur de 45 000 tep par an. Le plan 2007-2010 prévoit en moyenne 75 000 tep par an. Les projets CRE tablent sur 450 000 tep/an etc. À la lecture de ces quelques chiffres, on constate que l'on plafonne à 1 voire 2 millions de tep par an, bien loin des objectifs initiaux.

Le même constat peut être fait en matière de production d'électricité d'origine renouvelable où l'objectif est de passer de 15 % en 1997 à 21 % en 2010. En 2000, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité tombait à 13,3 % et en 2006, la chute se poursuivait à 11,1 % : cela est essentiellement dû à une augmentation de la production d'origine nucléaire.

Les mesures gouvernementales permettent donc un développement de la filière bois énergie mais bien en-dessous de ce qu'il faudrait pour atteindre les objectifs de la France.

1.2.2.3. Différentes formes de bois énergie

Il est à présent nécessaire de détailler les différentes formes de bois énergie. Auparavant, il convient d'expliciter la notion de pouvoir calorifique inférieur (PCI). C'est la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de masse de ce corps à l'air libre. On pourra utilement consulter l'annexe n° 1 qui détaille cette notion.

Plus un PCI est élevé, plus le produit sera intéressant et dégagera de l'énergie lors de sa combustion. À titre d'exemple, les valeurs moyennes de PCI (en MWh/t) sont 11,9 pour le fioul et 5,1 pour le bois anhydre.

Le bois énergie, un combustible aux formes différentes

Chaque forme de bois énergie présente des caractéristiques différentes [1], [7], [8]. En effet, il existe plusieurs sources de bois à l'origine de produits variés et d'utilisations très diverses. Les différentes classes de qualité des combustibles et leurs spécifications techniques sont décrites dans la norme XP CEN/TS 14 961 de décembre 2005 [9]. Le tableau suivant issu de données publiées par l'ADEME, l'Institut des bioénergies (ITEBE), l'AFOCEL, le FCBA résume les principales caractéristiques de chaque source de bois utilisée pour produire de l'énergie. Les ordres de grandeur des prix des différents combustibles datent de l'année 2007.

Combustible	Origine	Utilisation	PCI	Avantage ou inconvénient principal du produit	Prix en € par MWh (PCI entrée chaufferie
Combustible issu de la forêt Les bûches	Rondins	 forme de combustible la plus utilisée en France (85 %), cheminées, poêles, cuisinière, chaudières. 	3,9 MWh/t à 20 % d'humidité	Réservé aux particuliers. Alimentation automatique difficile. 80 % de la consommation du bois énergie	20 à 30
 -La plaquette forestière dite -verte si elle contient du bois, de l'écorce et des feuilles; -grise si elle contient du bois et de l'écorce; - blanche si elle ne contient que du bois. 	Branches, cimes, résidus d'élagage, de défrichage, d'éclaircie	 les plaquettes sèches (20 à 25 % d'humidité) sont destinées aux chaufferies domestiques ou aux petites chaufferies collectives; la plaquette humide (40 %) est utilisée en cogénération, dans les réseaux de chaleur ou dans les grosses chaufferies collectives. 	2,2 à 2,8 MWh/t pour une humidité de 40 à 50 %	Nécessite un volume de stockage important. Coût assez élevé comparé à des produits de récupération. Taux de cendre en fonction de la ressource (houppier, grume)	16 à 25
Charbon de bois	Pyrolyse du bois	Poêle, cuisson	4,6 MWh/t pour une humidité proche de 0 % lors de la fabrication	Pour mémoire. Utilisé dans les pays en voie de développeme anecdotique en France (barbecue)	nt ou de façon
Combustible issu de la récupération					
Écorces	Écorçage des grumes en scierie	Utilisation dans les grosses chaufferies industrielles ou collectives	1,6 à 2,8 MWh/t pour un taux d'humidité compris entre 40 et 60 %	Réservé aux très grosses unités compte tenu de son taux d'humidité élevé et de la présence de cailloux Taux de cendres élevé (3 à 7 %).	6 à 15
Copeaux et sciures dits - « propres » s'ils proviennent de l'aspiration au-dessus de machines ;	Résidus de scierie	Sciures propres : - énergie directe, - compactage en granulés ou briquettes.	1,6 à 2,8 MWh/t pour une humidité de 40 à 60 %	Produit en général autoconsommé au sein de la scierie.	7 à 10
 « sales » s'ils sont récupérés au sol et risque donc d'être mélangées avec des corps étrangers. 		Sciures sales : - énergie directe, - litière animale (pour mémoire).	4 à 4,6 MWh/t pour une humidité de 10 à 15 %	Sciure sale impropre à la fabrication des pellets.	
Plaquette d'industrie (déchets industriels banals). On distingue 3 classes de DIB : - A (non traités), - B (traités), - C (traités avec métaux lourds, créosote ou organo-chlorés) . Ceux-ci ne peuvent être utilisés comme bois énergie.	Déchiquetage des rebus -usines de deuxième transformation du bois ; - déchetteries ; - bâtiment ; - collecte d'emballages en bois.	Grosses chaudières avec foyers à grille ou co- combustion avec foyer à lit fluidisé. Les DIB de classe A peuvent être utilisés dans tous les types de chaufferies. Les DIB de classe B nécessitent un système de traitement des fumées. Incinération pour les DIB de classe C.	2,7 MWh/t à 4 MWh/t pour une humidité comprise entre 20 et 40 %	Seuls les DIB de classe A peuvent être valorisés dans les petites chaufferies. Les DIB de classe B sont réservés aux chaufferies équipées d'un système de traitement des fumées adéquat mais une séparation parfaite entre les DIB de classe A et B est quasi impossible.	7 à 15
Combustible fabriqué à partir de bois issu	de forêt				
Briquettes ou bûches reconstituées	Fabriquées à partir de copeaux et de sciure propres	- chauffage domestique, - pizzeria, boulangerie, restauration.	4,6 MWh/t pour un taux d'humidité compris entre 8 et 10 %	Produit adapté aux particuliers car il nécessite peu de stockage. Fabrication énergivore et coût au kWh élevé. Moins de 1 % de cendres. Peu développé en France.	35
Granulés ou pellets	Fabriquées par compression à partir de copeaux, de sciure propre, de plaquettes forestières	Poêles et chaudières à alimentation automatique et de petite capacité	4,6 MWh/t pour un taux d'humidité compris entre 8 et 10 %	Produit adapté aux particuliers car il nécessite peu de surface de stockage. Conditionnement en sac de 15 kg. Fabrication énergivore et coût au kWh élevé. Moins de 1 % de cendres.	34 à 55

Ces différents types de bois énergie n'ont pas la même importance en volume et en flux comme le montre la figure 3. On constate que la filière est largement dominée par l'autoconsommation de bois de feu (plus de 85 % en volume) et que la plaquette forestière représente 0,5% en volume.

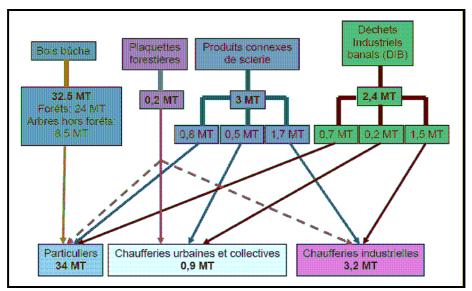


Figure 3 : Marché du bois énergie en France en fonction du type de bois (source : rapport provisoire (2006) - Biomasse Normandie, CTBA, AFOCEL)

Le rendement moyen des systèmes de chauffages des particuliers est de 30 à 40 %. Ils sont dominés par les foyers fermés (45 %) et les foyers ouverts (35 %). Les rendements d'une chaufferie collective avoisinent les 70 à 80 %. Les deux valeurs (rendement d'une installation privée et d'une installation collective) ne sont pas comparables car il faut tenir compte des pertes dans le réseau de chaleur collectif.

1.2.2.4. Ressource forestière disponible

L'estimation de la ressource forestière et les potentialités d'augmentation de récolte font régulièrement l'objet de rapports nationaux. Pas moins de six rapports ont été rédigés sur le sujet en 30 ans (Jouvenel en 1977, Méo-Bétolaud en 1978, Duroure en 1982, Bianco en 1998, Juillot en 2003). Le dernier en date intitulé *Pour mobiliser la ressource en forêt française* date d'octobre 2007 a été rédigé par Jean-Marie Ballu, ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts [10]. Globalement, la production brute annuelle française varie entre 103 et 145 millions de m³ par an selon que l'on raisonne sur le bois fort, le bois total, etc. La récolte commercialisée moyenne s'établit autour de 35 millions de m³/an. À cela s'ajoute le bois de feu qu'il est extrêmement difficile d'estimer. Les estimations sont comprises entre 15 et 30 millions de m³/an. On aboutit donc à un taux de prélèvement d'environ 55 à 60 %. Il reste donc une part non négligeable de ressource disponible mais le volume réellement mobilisable est largement inférieur à 50 %. En effet, plusieurs causes justifient cette sous-exploitation : les difficultés d'exploitation, le morcellement de la forêt privée, la forêt comme niche fiscale, le régime juridique de la forêt axé sur la lutte contre la surexploitation, etc.

Comme on a pu l'évoquer ci-dessus, l'estimation de la seule ressource forestière disponible est déjà un exercice fort difficile. Cerner les disponibilités en biomasse forestière pour des usages énergétiques et industriels en France est encore plus complexe. Une récente étude en trois tomes achevée fin 2006 par le CEMAGREF [11] vise à donner une estimation de ces volumes. Le premier tome analyse et synthétise les 288 études existantes déjà produites puis l'étude CEMAGREF développe sa propre méthodologie basée sur deux approches complémentaires : l'une sylvicole (tome 2), l'autre économique (tome 3).

Si l'on ne s'intéresse qu'aux volumes, l'étude évalue à environ 18 millions de m³/an la quantité supplémentaire de bois industrie (BI) et de bois énergie (BE) mobilisable. L'étude souligne l'extrême

variabilité des résultats en fonction des hypothèses, notamment sur l'autoconsommation du bois de feu. Ainsi la disponibilité en BI et en BE est en fait comprise entre 12,7 et 20,6 millions de m³/an.

La partie économique de l'étude montre la très forte réaction de l'offre de bois aux variations de prix. Selon les hypothèses les plus probables de comportement de l'offre et de la demande de bois par l'industrie et avec une augmentation de 50 % des prix de vente actuels du bois destiné au bois énergie, soit un prix de 30 €/m³, les volumes supplémentaires mobilisés pour les usages énergétiques seraient de 5 millions de m³/an, toutes choses égales par ailleurs sur le plan de la desserte, du comportement des propriétaires et de la technologie.

1.2.2.5. Atouts de la filière bois énergie

Intérêt économique du bois énergie pour la filière bois

L'un des intérêts de la filière bois énergie est d'apporter une rémunération supplémentaire au propriétaire. Celle-ci peut prendre deux formes :

- une augmentation du bénéfice du chantier à travers la mobilisation de bois qui n'était pas valorisé auparavant (houppiers, billons mitraillés, purges, etc.);
- la réduction du coût de certains travaux sylvicoles dont les sous-produits (première éclaircie) peuvent être vendus.

Le bois énergie est donc un outil pour dynamiser la sylviculture et valoriser des produits issus d'opérations sylvicoles.

	Électricité	Gaz propane	Granulé bois	Fuel	Gaz naturel	Bûche	Plaquette
Coût en entrée chaudière en euro par MWh	106	81	34 à 55	40	32	20 à 30	15 à 25
Rendement	100 %	90 %	90 %	80 %	90 %	50 %	85 %

Intérêt économique du bois énergie en termes énergétiques

Tableau 2 : Comparatif coût des énergies et rendements (source MINEFI et ADEME, 2005)

Le tableau 2 montre clairement l'intérêt économique du bois en tant que source d'énergie. Son coût au kWh est largement inférieur à celui des autres énergies sauf pour les granulés. Comme on l'a vu auparavant, ceux-ci sont essentiellement destinés au marché des ménages compte tenu de la forte densité énergétique du produit (faible surface de stockage) et des facilités de manutention (ensachage).

Enfin, comme le montre la figure 4, le coût de l'énergie issue du bois énergie est beaucoup moins sensible au coût de la matière première. La hausse générale du coût des matières premières aura donc un impact plus fort sur la chaleur produite à partir de gaz ou de fuel qu'à partir de bois.

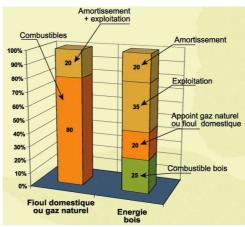


Figure 4 : Part du combustible dans le coût de l'énergie (source : Biomasse Normandie)

Bois énergie et aménagement du territoire

Le développement de la filière bois énergie participe à l'aménagement du territoire :

- en diminuant les coûts d'entretien du paysage (réouverture pastorale, etc.) ;
- en limitant certains risques environnementaux de la forêt (incendie, problèmes sanitaires) ;
- en dynamisant le tissu économique local avec le recours à des entreprises locales (*cf.* entreprises de déchiquetage pour la production de plaquettes). L'ADEME estime par exemple que le programme bois énergie 2000-2006 a permis de créer 10 000 emplois essentiellement locaux. Ainsi, la consommation de 1000 tep de bois génère entre 3 et 5 équivalents temps plein (ETP) selon le mode d'exploitation alors que pour les énergies fossiles (pétrole, gaz), ce ratio est compris entre 1.5 et 2.

Bois énergie et développement durable

Le bois est un combustible renouvelable. En effet, la forêt se reconstitue sur 30 (taillis) à 160 ans à comparer avec les millions d'années nécessaires au renouvellement du stock d'énergie fossile (gaz, pétrole, charbon). Pour les taillis à courte rotation, les rotations sont même de 3 à 5 ans.

De plus, la mise en œuvre du combustible consomme moins d'énergies non renouvelables comme le montre le tableau 3 qui présente le bilan de la consommation d'énergie primaire non renouvelable pour des scénarios de chauffage domestique au bois.

Combustible	Appareil de combustion	Unité d'énergie utile rendue par unité d'énergie non renouvelable consommée
Bûches	Poêle (rendement 65 %)	13
	Chaudière classique	14
	(rendement 70 %)	
Plaquettes	Chaudière classique	20
	(rendement 75 %)	
Granulés	Poêle à granulés (rendement 85 %)	6
Gaz		0,8
Fioul		0,7
Électricité		0,3

Tableau 3 : Bilan environnemental du chauffage domestique au bois (source : ADEME, 2005)

Les résultats montrent que le chauffage domestique au bois restitue plus d'énergie que ce qu'il consomme en termes d'énergie non renouvelable : une unité d'énergie non renouvelable consommée restitue entre 6 et 20 unités de chaleur. Le bilan dégradé de la filière granulés est lié à l'emballage en plastique qui permet un meilleur service rendu aux foyers disposant d'une faible surface de stockage pour le combustible.

On constate aussi que le chauffage basé sur l'utilisation d'énergies traditionnelles consomme plus d'énergie qu'il n'en restitue.

Enfin, les tableaux 2 et 3 proviennent de la même source (l'ADEME) mais n'affichent pas les mêmes rendements des appareils de combustions. Cela montre bien la difficulté de faire des comparaisons à grande échelle.

Le bois énergie, une « ressource propre »?

L'ADEME a réalisé un bilan environnemental du chauffage domestique au bois [12]. Il en ressort les éléments suivants :

en matière de gaz à effet de serre, la figure 5 montre le net avantage des filières bois comparativement aux énergies classiques. Les résultats du bilan environnemental du chauffage domestique montrent également une importante contribution de l'étape de mise à disposition du combustible dans le bilan en CO₂. Ainsi, entre 43 et 59 % des émissions en équivalents CO₂ sont dues à la mise à disposition du combustible. Ceci est lié à l'utilisation des engins intervenant pour la préparation et les transports du bois (bûcheronnage, débardage, etc.) ;

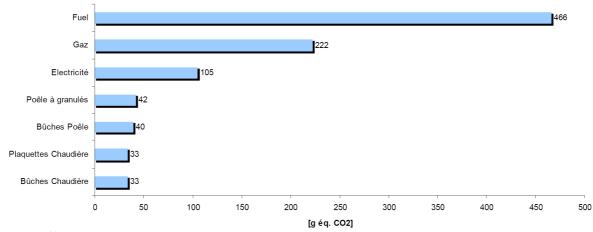


Figure 5 : Émission de gaz à effet de serre en fonction du combustible pour produire un kWh utile chez l'usager (source : ADEME)

- pour les autres polluants, le bilan en faveur du bois est moins net comme le montre le tableau n°4.

	Acidification de	Eutrophisation	Métaux toxiques	Métaux toxiques sols
	l'air (g éq.	(g éq PO ₄ /kWh utile)	air	(g/kWh utile)
	SO ₂ /kWh utile)		(g/kWh utile)	
Bûches (poêle)	0,388	0,061	0,0212	0,00160
Bûches	0,360	0,057	0,0110	0,00150
(Chaudière				
classique)				
Plaquettes	0,358	0,061	0,0083	0,00250
Granulés,	0,395	0,055	0,0090	0,00330
Gaz	0,128	0,016	0,0002	0,00005
Fioul	0,904	0,037	0,0070	0,000001
Électricité	0,669	0,031	0,0014	0,000003

Tableau 4 : Positionnement des différents combustibles en termes de pollution générée pour produire un kWh utile chez l'usager (source : ADEME)

En termes d'acidification d'air, pour les scénarios bois, l'étape de combustion est prédominante (entre 80 % et 90 % de la pollution). Elle est essentiellement due aux émissions d'oxydes d'azote et de soufre. En matière d'eutrophisation des eaux ou d'émission de métaux toxiques, le bilan est nettement favorable au scénario gaz et défavorable au bois. Ceci est lié aux métaux contenus dans les cendres dont la moitié est épandue par les particuliers dans leur jardin.

1.2.2.6. Limites de la filière bois énergie

Caractéristiques énergétiques du bois énergie

Comparé aux autres énergies, le PCI du bois est relativement faible (2,8 MWh/t pour le bois à 40 %, 11,9 MWh/t pour le fioul). De même, à volume égal, le PCI du bois peut être jusqu'à 10 fois moins élevé que celui d'un combustible fossile. Le bois est donc un combustible volumineux et il est de ce fait nécessaire de disposer d'une surface de stockage importante ou d'avoir une fréquence de livraison adaptée.

Enfin, pour un élu ou un particulier, le cycle de réalisation d'un projet bois énergie nécessite au moins 3 à 4 ans et demande la réalisation d'un plan d'approvisionnement, la recherche de subventions pour financer l'investissement, etc.

Le bois énergie, source (potentielle) de conflits

Avec le développement du bois énergie, on voit apparaître de nouvelles tensions sur la ressource. On a vu précédemment que la forêt française était dans l'ensemble sous-exploitée mais localement, les gisements les plus facilement exploitables peuvent faire l'objet de conflits d'usages comme celui entre le BI et le BE. En effet, les fabricants de panneaux et de pâte à papier craignent une raréfaction de la ressource et une augmentation des prix. Rappelons que le BE de type plaquettes ne représentait en 2006 que 0,2 million de tonnes à comparer aux 15 millions de tonnes de BI utilisées par les industries précitées. Toutefois, malgré ces faibles quantités, le coût marginal du BI peut augmenter et avoir ponctuellement de fortes conséquences.

Le véritable risque de ce conflit est plutôt une mauvaise utilisation du bois. En effet, pour des raisons de facilité du bois de qualité BI peut être utilisé comme BE et il s'agit là d'un gâchis de matière première. Il convient donc d'être vigilant pour que le BE soit bien du bois mobilisé supplémentaire.

Quelques éléments sur une controverse, la récolte des rémanents

La récolte des rémanents est un sujet particulièrement sensible en France. Le développement de la filière bois énergie est régulièrement remis en cause par le risque d'appauvrissement des sols. En effet, les aiguilles et branches contiennent moins de 20 % de la biomasse mais plus de 50 % de certains éléments minéraux (azote, potassium, calcium, magnésium et phosphore notamment). Leur enlèvement de la coupe ne peut se faire sans réflexion. À ce titre une importante étude a été lancée par l'ADEME, en partenariat avec l'AFOCEL, l'IDF, l'UCFF et l'INRA. Elle a abouti à la publication, en 2006, d'un guide opérationnel intitulé *la récolte raisonnée des rémanents en forêts* [13].

Pour identifier le risque d'appauvrissement des sols, ce guide classe les sols en trois catégories et ce, en fonction de leur pH, du type d'humus, de la présence ou non de calcaire dans le sol et de la teneur en argile.

- Sur les sols peu sensibles à risques faibles, le guide préconise de récolter les rémanents au maximum deux fois dans la vie du peuplement avec au moins 15 à 20 ans d'espacement entre les 2 récoltes.
- Sur les sols moyennement sensibles à risque moyen, le guide préconise en général la récolte des rémanents au maximum une fois dans la vie du peuplement sauf dans certains cas de figure (épicéas, taillis, etc.).
- Sur les sols très sensibles à risque fort, la récolte est déconseillée.

Des récoltes supplémentaires sont possibles si l'on réalise une fertilisation de la forêt. L'ONF a pour sa part refusé la fertilisation des forêts (*cf.* chapitre 3).

En conclusion, pour réduire les exportations minérales, certaines mesures opérationnelles sont proposées :

- laisser sécher les rémanents quelques mois avant leur récolte ;
- récolter les rémanents des feuillus en hiver ;
- limiter le nombre de récoltes des rémanents au cours de la vie d'un peuplement ;
- ne pas récolter les arbustes.

Bois énergie et gaz à effet de serre

La forêt est très souvent présentée comme un important puits de carbone. Or l'utilisation de bois énergie, en augmentant le prélèvement de la ressource est susceptible de diminuer ce puits. Ce point mérite d'être discuté.

Il convient de rappeler que l'accroissement de la biomasse et la récolte forestière sont les postes prépondérants dans le calcul des puits et des émissions de CO₂. En effet, les forêts sont le principal puits. Celui-ci est passé de 81 % du puits total de l'utilisation des terres, leurs changements et la forêt (UTCF) en 1990 à 90 % en 2006. Cette augmentation traduit le potentiel et la jeunesse de la forêt française (accroissement continu des surfaces et de la productivité) mais également la sous-

exploitation de la ressource (la récolte demeure stable). Au bilan, les changements d'affectation des sols et la sylviculture conduisent à un puits net de CO_2 qui augmente de 29 Tg entre 1990 et 2006, passant de 44 Tg à 73 Tg. Rappelons qu'en France en 2006, l'émission totale en équivalent CO_2 s'est élevée à 547 Tg [14] (rappel : 1 Tg= 10^{12} g).

Avec le développement du bois énergie, ce puits pourrait bien baisser. Une étude réalisée à ce sujet [15] simule deux scénarios forestiers (« Tendanciel » et « Intensif ») représentés sur la figure 6. La mobilisation additionnelle de bois énergie à l'horizon 2020 (surtout sous la forme de plaquettes forestières) serait de 13 millions de m³/an pour le scénario tendanciel et de 25 millions de m³/an pour le scénario intensif. Les deux scénarios se caractérisent également par une augmentation annuelle des surfaces forestières d'environ 500 km²/an, rythme légèrement inférieur à celui observé les dernières années. Mais malgré l'expansion de la surface en forêt, le puits de carbone correspondant diminue sensiblement par rapport à 2005 du fait principalement de l'augmentation de la récolte et d'une mobilisation croissante de bois énergie. Comme le montre la figure 6, dans le scénario « Tendanciel », le stockage annuel de carbone passe ainsi de 77 Tg en 2005 à 70 Tg en 2020. La baisse est encore plus marquée dans le scénario « Intensif » avec un stockage annuel s'établissant à 73 Tg en 2010 et à 48 Tg en 2020.

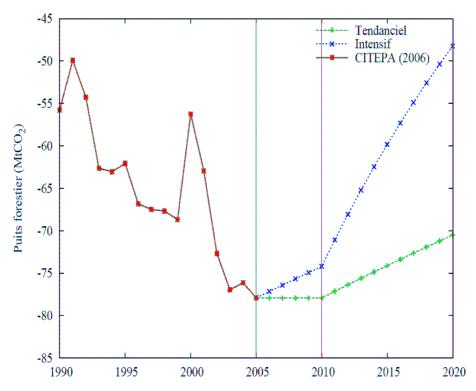


Figure 6 : Stockage de carbone aérien par les forêts (source : INRA, 2008 [15])

Le rôle joué par la forêt dans le recul des émissions françaises devrait donc s'amoindrir à l'horizon 2020. L'effet sur le bilan net français dépendra bien sûr de la réduction d'émissions permise par la substitution du bois énergie à des sources d'énergies fossiles.

1.2.3. Le bois énergie en Alsace

Avec 312 000 ha de forêts, soit 38 % de son territoire (moyenne nationale de couverture forestière : 27 %), l'Alsace est la troisième région forestière de France métropolitaine en taux de boisement. Les forêts sont publiques à 75 % et privées à 25 %. Elle comprend moins de 5 % de taillis, ce qui pourrait constituer un frein au développement du bois énergie et la mobilisation des bois s'effectue à plus de 70 % en produits façonnés.

Politique forestière en matière de bois énergie

Elle est définie dans le projet de directive régionale d'aménagement (DRA) ou dans le schéma régional d'aménagement (SRA). Celui-ci est en cours de modification après son passage à la commission régionale de la forêt et des produits forestiers en avril 2008. Il souligne que la tradition du bois de feu est ancienne et fort ancrée en Alsace avec un volume annuel de 200 000 m³/an (environ 14 % du bois récolté).

D'un point de vue sylvicole, le projet de DRA et de SRA préconise notamment de développer la valorisation énergétique des hêtraies sommitales et des taillis de châtaignier et robinier. Il souligne également la nécessaire adaptation des consignes d'exploitation pour maîtriser les exportations des rémanents.

Ressource disponible

Deux études générales sur le bois énergie ont été réalisées.

La première analyse l'évolution du bois énergie sur les cinq régions du Grand Est [16]. Il en ressort que pour l'Alsace le volume supplémentaire de bois frais pouvant être mobilisé à destination du bois énergie ou de bois industrie dans certaines conditions technico-économiques (zone d'accès facile avec une pente inférieure à 30 % et bois de diamètre supérieur à 7 cm) s'élève à 138 000 m³/an soit 124 000 t/an. Par ailleurs, à l'échelle du Grand Est, les produits connexes issus de l'industrie et du sciage sont déjà valorisés à plus de 99 % dont 13 % pour le bois énergie.

La seconde étude dresse le panorama de la filière bois énergie en Alsace [17]. Le tonnage forestier disponible pour le bois énergie s'élèverait à 137 000 t/an (71 000 t dans le Bas-Rhin et 66 000 t dans le Haut-Rhin). Ce tonnage est ventilé comme suit :

houppier, rémanents, purges : 60 000 t/an,

éclaircies non réalisées : 30 000 t/an,

dépressage à bois perdu : 23 000 t/an,

bois mitraillés: 11 000 t/an,

taillis: 9000 t/an.

autres 4000 t/an.

En termes de produits connexes de scierie, il reste environ 42 000 t disponibles par an dont 40 000 t d'écorces (scierie Siat-Braun dans le Bas-Rhin) qui avaient fait l'objet d'un projet CRE qui n'a pas été retenu lors du deuxième appel d'offre.

Les programmes bois énergie

En partenariat avec l'ADEME, la Région Alsace s'est lancée dans une politique volontariste. Le programme « bois énergie » 2000-2006 de l'ADEME fait partie intégrante du contrat de projet Étatrégion et s'élève à 7,07 M€ dont 3,69 M€ du conseil régional. Ce programme vient d'être reconduit pour les années 2007 à 2010. Il s'inscrit dans le dispositif régional d'aide aux énergies renouvelables baptisé « énergivie » (cf. www.energivie.fr).

Ces programmes ont subventionné:

- 718 chaufferies de particuliers pour une puissance cumulée d'environ 16,5 MW depuis 2003,
- 212 chaufferies collectives, pour une puissance cumulée d'environ 55,6 MW sur la période 1997-2007.

Cet engouement s'est accéléré au cours des dernières années comme le montre la figure 7.

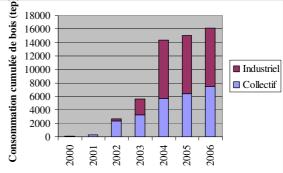


Figure 7 : Nombre de chaufferies collectives au bois installées en Alsace subventionnées par le programme énergivie et évolution de leur consommation en bois (source : ADEME)

Le parc des installations (en nombre et en puissance) s'établit fin 2006 comme indiqué dans le tableau 5. On constate l'effet du programme bois énergie.

			Nombre	Puissance	Consommation	Consommation
				(MW)	(t/an)	(tep/an)
Chaufferies collectives en fonctionnement		90	20	14 000	3 600	
Chaufferies industrielles en		18	64	70 500	18 120	
fonctionnement						

Tableau 5 : État des lieux des chaudières fonctionnant en Alsace en 2006 (source : Association des régions françaises du Grand Est, 2008 [16])

Comme au niveau national, les chaufferies collectives sont nettement moins puissantes que les chaufferies industrielles avec des puissances moyennes qui s'élèvent respectivement à 250 kW et à 3 500 kW. La consommation des chaufferies industrielles est également plus élevée car celles-ci fonctionnent quasiment toute l'année à pleine puissance, la chaleur intervenant dans le process alors que les chaufferies collectives servent essentiellement au chauffage domestique qui s'interrompt pendant la période estivale.

Après avoir étudié en détail le marché du bois énergie, intéressons-nous plus particulièrement à l'une de ses formes, la plaquette forestière.

Mémoire de fin d'études de Raphaël Wisselmann	Étude technico-économique de la filière plaquette forestière				

2. La plaquette forestière et son utilisation

Dans ce chapitre, après avoir caractérisé la plaquette forestière, l'intérêt, les limites de ce combustible et sa place dans le paysage français du bois énergie seront mis en évidence. À ce stade, il sera nécessaire de faire le point sur l'état de la ressource. Puis, l'utilisation de ce type de produit sera explicitée. Après avoir rappelé le fonctionnement d'une chaufferie à bois, l'interface entre le monde forestier et l'approvisionnement des chaufferies sera détaillée. Ensuite les différents systèmes qui permettent d'alimenter ces centrales à chaleur seront présentés. Pour finir, on fera un bilan des programmes de recherche actuellement en cours.

2.1. Caractérisation physique, chimique et énergétique de la plaquette forestière

Afin de pouvoir définir au mieux la qualité d'une plaquette forestière, il est nécessaire d'examiner aussi bien ses propriétés énergétiques que sa composition chimique ou sa qualité physique.

2.1.1. Caractéristiques énergétiques

2.1.1.1. Impact du taux d'humidité

Le facteur qui a le plus d'influence sur le PCI d'une plaquette est indiscutablement le taux d'humidité.

Lien entre le PCI et l'humidité

Le PCI d'un corps varie dans de fortes proportions suivant son degré d'humidité. Des rapports de 1 à 3 peuvent être observés. La quantité de chaleur fournie diminue quand la teneur en eau du bois augmente. Différentes formules ont été proposées [18]. On pourra retenir la formule suivante [19] :

$$PCI_{M} = \left(PCI_{O} \times \left(\frac{(100 - M)}{100}\right)\right) - (6 \times M)$$

où

- PCI_M (en kWh/t) est le PCI estimé du produit pour un taux d'humidité M
- PCI₀ (en kWh/t) est le PCI du produit à l'état anhydre
- *M* est le taux d'humidité exprimé en % sur le poids brut (bois et eau).

La maîtrise du taux d'humidité est donc essentielle dans la qualité d'un bois de chauffe. D'ailleurs les contrats d'approvisionnement de plaquettes requièrent très fréquemment que ce paramètre soit inférieur à un maximum comme condition d'acceptabilité du produit.

Évolution de l'humidité au cours du temps

L'humidité contenue dans le bois n'est pas constante dans le temps. En effet, une partie de l'eau est libre et peut s'éliminer très facilement par stockage. Si dans un bois vert, la proportion d'eau peut représenter 60 % de la masse, ce taux peut descendre à 35 voire 25 % pour un bois ressuyé et à 10 % pour un bois séché artificiellement [20].

De même, l'humidité dépend de la façon dont le stockage est mené : le site de stockage peut être couvert ou non ; le bois peut être libre ou compacté. Les variations peuvent atteindre une dizaine de pour-cent [21]. Or on peut retenir qu'un gain de 25 % d'humidité représente environ un gain de 50 kWh/MAP. Cette augmentation est indépendante de l'espèce pour les principaux feuillus ou résineux européens [22]. De façon simplifiée, on peut retenir les fourchettes suivantes :

- bois frais: 50 à 55 % d'humidité,
- bois ayant ressuyé un mois en forêt : 40 à 45 % d'humidité,
- bois ayant ressuyé plusieurs mois en forêt ou sur plate-forme : 35 à 40 % d'humidité,
- plaquette séchée 6 mois sous hangar : 20 à 30 % d'humidité.

Un deuxième paramètre est la période de coupe. L'AFOCEL a mené des essais [23] qui montrent que la période d'abattage a un effet sur la décroissance du taux d'humidité. Ainsi, un bois abattu en hiver, en printemps ou en été verra sa masse volumique baisser de 30 à 40 % en 3 ou 4 mois. Un bois abattu en automne garde une masse volumique stable pendant 3 mois puis il perd du poids mais de façon moins rapide que s'il avait été abattu lors des saisons précédentes. Cet effet est observé pour les feuillus et les résineux même si les valeurs de perte de masse sont moins importantes pour les feuillus durs. Enfin, une reprise de masse et donc une augmentation du taux d'humidité est possible pour toutes les essences quelle que soit la période d'abattage. La valeur reste cependant limitée à 5 à 6 %.

Humidité et origine du bois

Le taux d'humidité (et donc le PCI) dépend de la partie de l'arbre utilisée pour une valorisation énergétique. Ainsi, l'aubier contient beaucoup plus d'eau (40 à 60 %) que le cœur (20 à 25 % du poids brut). L'écorce est en général très humide avec des taux de 50 à 60 % [18].

Il convient de noter que les écorces sont des parties particulièrement difficiles à valoriser en bois énergie, non seulement parce que leur taux d'humidité et de cendres est élevé mais également car elles sont souvent souillées par de la terre ou des cailloux qui peuvent abîmer le système de chauffe.

2.1.1.2. Autres facteurs de variation du PCI

Impact de l'essence

Le taux d'humidité mis à part, le facteur intrinsèque qui influe sur le PCI est l'essence. On pourra retenir les valeurs moyennes de PCI à l'état anhydre suivantes ([24], [25]) :

- bois feuillus tempérés : 5 230 MWh/t,
- bois feuillus tropicaux : 5 520 MWh/t avec une forte variabilité,
- résineux tempérés : 5 580 MWh/t.

En annexe 2, on trouvera des valeurs de PCI pour les principales essences des pays tempérés. Par ailleurs, en général, le PCI du tronc est supérieur au PCI des branches pour les résineux. Pour les feuillus tempérés, c'est le contraire [24].

Influence de la lignine et de la cellulose

Un bois riche en lignine a un PCI plus élevé que celui d'un bois riche en cellulose. Or la constitution chimique des bois est variable puisque le taux de cellulose peut aller de 42 à 54 % et le taux de lignine de 19 à 29 % [26]. En moyenne, les feuillus ont un taux de lignine plus faible que les résineux.

Influence de la densité

Il n'y a pas de lien entre le PCI et la densité (si le PCI est bien exprimé par unité de masse et non de volume) [18]. En revanche l'utilisateur est davantage sensible aux aspects volumiques, essentiellement pour des raisons économiques. Il cherche à savoir quelle est la surface de stockage nécessaire pour conserver un volume tampon suffisant. Ce volume de combustible permettra de compenser une rupture temporaire d'approvisionnement. Il essaye de limiter les coûts de transport et donc de déplacer le maximum d'énergie dans un minimum d'espace.

C'est donc bien sur la base d'un pouvoir calorifique par volume qu'il convient de raisonner. Le charme est alors le meilleur bois de feu suivi par le hêtre, le chêne, les autres feuillus durs puis viennent les feuillus tendres et enfin les conifères [27]. Malgré un PCI massique plus élevé, leur masse volumique est relativement faible ce qui explique ce classement (*cf.* annexes n° 2 et 3).

Le coefficient de foisonnement a également une influence sur la surface de stockage. Ce coefficient représente le rapport entre la masse volumique réelle (c'est-à-dire sans vide entre les

éléments comme les plaquettes) et la masse volumique apparente. Il prend des valeurs entre 2 et 4 pour les sciures et les plaquettes [28]. Plus sa valeur sera faible, plus le coût du stockage et du transport sera réduit.

2.1.2. Caractéristiques chimiques

Teneur en cendres

Le taux ou la teneur de cendres représente le pourcentage de résidus issus de la combustion du bois par rapport à la quantité de bois avant combustion. Ces cendres sont composées de minéraux tels la chaux, la magnésie, la potasse, la silice, l'acide phosphorique ou les sels alcalins. Le taux de cendres varie suivant la partie de l'arbre considéré. Plus les plaquettes contiennent de l'écorce, des aiguilles ou des feuilles, plus le taux de cendres est élevé. On pourra retenir les ordres de grandeur figurant dans le tableau 6.

Taux de cendres (en % de masse brute)	Type de bois
0,2 à 1 %	Bois sans écorce
1 à 3 %	Bois de branches
3 à 7 %	Écorces

Tableau 6 : Taux de cendres en fonction du type de bois [29]

La teneur en cendres dépend également du type de sol, de l'espèce, de la taille de l'arbre et de la saison. Ainsi les arbres jeunes tendent à avoir un taux de cendres plus élevé que les arbres matures. Les feuillus ont également un taux de cendres plus élevé que les résineux [29]. Pour l'utilisateur, un bois avec peu de cendres a un meilleur PCI, toutes choses égales par ailleurs [18].

Actuellement, les cendres sont gérées de deux façons :

- pour les petites chaufferies, elles sont collectées comme un déchet ultime (volume de l'ordre de 125 l par mois) et évacuées par le service des déchets ménagers ;
- pour les chaufferies de taille plus importante (> 1 MW), les cendres sont souvent envoyées en centre de compostage et sont mélangées à des déchets verts. Après vérification de la qualité, le produit peut être épandu.

Pour les petites chaufferies qui ne disposent pas des systèmes de traitement adéquats, la présence d'un taux de cendres élevé génère des problèmes d'exploitation. Ainsi, le retour d'expérience des gestionnaires de chaufferies conduit à ne pas valoriser des produits de dépressage (inférieur à 5 cm de diamètre) en petite chaufferie.

2.1.3. Caractéristiques physiques de la plaquette

Comme pour les aspects énergétiques et chimiques, les caractéristiques physiques des plaquettes forestières peuvent être très différentes. En effet, la plaquette forestière résulte du déchiquetage d'arbres de forêts, de bocages ou d'alignement en site urbain. Les différents types de déchiqueteuses (cf. 2.7) produisent donc des plaquettes aux tailles variées comme le montrent les photographies 1.

Aspects dimensionnels - granulométrie







Photographies 1 : Différentes qualités de plaquettes avec des fines, des éléments grossiers ou une granulométrie homogène (source : Raphaël Wisselmann)

La granulométrie de la plaquette forestière doit être régulière afin de garantir le bon fonctionnement des dispositifs d'alimentation des chaufferies et une combustion optimale. Mais plusieurs tranches de granulométrie existent et 5 (voire 6) sont prévues dans le futur référentiel combustibles bois énergie sur lequel travaillent l'ADEME et le FCBA. La plus petite granulométrie se situe entre 3 et 16 mm (P3, P16) et correspond aux chaufferies individuelles ou au petit collectif. Les 2 suivantes atteignent respectivement 45 mm (P45) et 63 mm (P63) ; ce sont actuellement les plus communes. D'autres catégories, plus grosses, existent mais concernent plutôt des broyats grossiers ou des chutes de l'industrie (jusqu'à 300 mm pour la P300). Le référentiel prévoit que 80 % du poids doit entrer dans la classe de dimensions. On retiendra donc pour les chaufferies comprises entre 100 kW et 1 MW les ordres de grandeur suivants pour la dimension de la plaquette : longueur dans le sens de la fibre de 5 cm, largeur de 3 cm, épaisseur de 2 cm.

Le taux de fines, de longues, de grosses et d'autres plaquettes hors norme doit être le plus faible possible. Pour les petites chaufferies, seule une très faible proportion de plaquettes longues ou « queues de déchiquetage » sera tolérée. Ces fragments longs sont en effet connus pour provoquer des blocages dans les systèmes d'alimentation à vis sans fin généralement utilisés dans les petites installations [28]. Dans de grosses chaufferies, les dispositifs d'alimentation à poussoirs hydrauliques, à convoyeurs, etc. sont robustes et insensibles à ces queues de déchiquetage.

En revanche, la taille de la particule n'influence pas la qualité de la combustion [20].

Masse volumique apparente

Cette grandeur est couramment utilisée pour mesurer les volumes de plaquettes. Elle correspond à la masse d'un mètre cube apparent de plaquettes (MAP), soit la masse d'un volume cubique de plaquettes d'un mètre de côté.

Fortement liée à l'humidité, elle varie en moyenne de 2,5 t/MAP pour de la plaquette dont le taux d'humidité est compris entre 20 et 25 % à 4 t/MAP pour de la plaquette dont le taux d'humidité est compris entre 45 et 50 %.

Parmi les autres facteurs de variation, citons dans une moindre mesure l'essence et la taille des plaquettes. On observe également un tassement des plaquettes lors des transports en benne sur 50 à 100 km d'environ 3 %.

Importance de la propreté

La propreté du combustible est également un facteur important. Le bois mitraillé peut dégrader les couteaux de la déchiqueteuse, la chaîne de la tronçonneuse ou la scie à ruban. Des éléments grossiers peuvent entraver le bon fonctionnement de la vis sans fin des chaudières à alimentation automatiques. Ainsi, les chaudières collectives sont souvent équipées de détecteur de métaux. Comme pour le taux d'humidité, la propreté est très souvent une clause des contrats d'approvisionnement en plaquettes.

Le combustible « plaquette forestière » est à présent bien caractérisé. Intéressons-nous à présent aux avantages et aux inconvénients de cette ressource.

2.2. Intérêts et limites de la plaquette forestière

2.2.1. Intérêts de la plaquette forestière

La plaquette forestière bénéficie de tous les avantages du bois comme source d'énergie. On pourra ici simplement souligner que c'est la ressource forestière ramenée au kilowatt-heure la plus économique. La plaquette est également très bien adaptée à l'automatisation d'une chaudière et permet maintenant d'atteindre des rendements supérieurs à 80 %.

2.2.2. Limites de la plaquette forestière

Il convient toutefois de ne pas occulter certaines limites spécifiques à la plaquette forestière.

L'organisation de l'approvisionnement est encore compliquée, surtout pour des particuliers. Ainsi, il existe par exemple peu de camions souffleurs capable de livrer des plaquettes au premier étage d'une maison.

C'est un combustible volumineux qui nécessite une surface de stockage importante (4 m²/tep). De même, pour diminuer les coûts de livraison, le site doit être capable d'accueillir des semi-remorques. Ceux-ci ont des rayons de braquage important (de l'ordre de 18 m).

Le risque d'une rupture d'approvisionnement existe en cas de phénomènes météorologiques extrêmes (fortes chutes de neige) et si la capacité de stockage est sous-dimensionnée. Il faut cependant préciser que cette situation ne s'est jamais présentée en Alsace depuis que l'on y développe l'emploi de la plaquette forestière.

La plaquette est un combustible à durée de vie limitée. Au-delà d'un an et demi de stockage, le risque d'une reprise d'humidité existe. Une deuxième fermentation démarre, la plaquette se transforme en compost, et perd sa valeur énergétique.

Mais le principal risque du développement de la filière plaquette forestière reste les conflits d'usages pour la ressource. Pour la forêt publique, les deux risques majeurs sont de nature politique et économique.

Politiquement, le conflit le plus sensible est la concurrence avec l'affouage. Ce risque ne doit pas être sous estimé compte tenu de l'importance sociale des bois délivrés aux communes. La vente des fonds de coupe pour du bois de chauffage rentre également en conflit avec la plaquette forestière. À ce jour, en Alsace, on n'observe pas de conséquence sur les prix des rémanents de coupe. Ils sont d'ailleurs à la baisse après la hausse de 2007. Or sur la même période, le volume destiné à la plaquette a augmenté. À ce jour, ceux-ci ne sont pas encore suffisamment significatifs (environ 18 000 m³), à comparer avec un volume commercialisé de bois de chauffage supérieur à 210 000 m³ en forêt publique. Par ailleurs, les deux usages (plaquette forestière et bois bûche) sont complémentaires. Pour assurer la rentabilité d'un chantier de type BE comme coproduit, il est nécessaire de récolter au moins 15 m³/ha de BE. Tous les chantiers qui ne remplissent pas cette condition peuvent faire l'objet d'une vente de fonds de coupe. De même, les particuliers, pour les raisons citées précédemment préfèrent les feuillus aux résineux. Selon les régions et en fonction de la ressource disponible, on utilisera de façon privilégiée les houppiers des résineux pour fabriquer de la plaquette.

Économiquement, le conflit le plus important est celui avec les industries du papier et du panneau de particules, cette dernière étant particulièrement importante en France. En effet, il y a un recouvrement partiel de la ressource utilisable. Réciproquement, en cas de réduction de la production dans une usine de pâte à papier, la plaquette forestière peut être un débouché alternatif.

Pour la forêt privée caractérisée par son morcellement, la concurrence avec le bois bûche est encore plus forte. En effet, le bois bûche est un produit net pour le propriétaire qui n'engage aucun frais. Il est ainsi possible de faire de petits lots de quelques stères de rondins comme des lots plus importants dans les forêts de grande surface. Les produits peuvent être vendus sur coupe ou bord de route. Le mode de stockage en forêt ne pose pas de problème en particulier. De ce fait, la production de plaquettes forestières a du mal à prendre position dans la forêt privée.

Malgré ces tensions, la plaquette forestière est la forme de bois énergie qui a connu le plus fort développement ces dernières années comme nous allons le constater en analysant le marché de la plaquette forestière

2.3. Marché de la plaquette forestière

2.3.1. Contexte européen

À ce jour, les seules données européennes disponibles sont relatives à la filière bois énergie dans son ensemble (bûches, plaquettes, pellets, etc.). Les seules données fournies ici ne concernent que certains pays et ne peuvent donner qu'un ordre de grandeur du développement de la filière en Europe.

En Suède, pays qui a fortement développé le chauffage collectif au bois, 6 millions de tonnes de plaquettes étaient déjà produites en 1998.

En Italie qui tire une part importante de son énergie de la voie thermique, la production annuelle de plaquette forestière s'élevait à 1,5 million de tonnes en 2001.

Au Danemark où la filière bois énergie est particulièrement développée, le volume annuel de plaquettes forestières produites en 2003 était de l'ordre de 200 000 t.

En Autriche, en 2007, la production annuelle de plaquette forestière s'élevait à 4,5 millions de

2.3.2. Contexte national

En France, le marché de la plaquette forestière est en plein essor comme nous allons le voir dans ce paragraphe.

État des lieux 2.3.2.1.

Augmentation significative de la part de marché

Si les produits connexes de scierie sont le combustible le plus utilisé (26 % de l'énergie), leur part de marché régresse au profit de la plaquette forestière car ce gisement est plafonné. La plaquette représentait en part relative 6,9 % du bouquet énergétique en 2000 et représente en cumul fin 2006 18 % des prévisions de consommations sur le secteur collectif et tertiaire. Entre 2000 et 2006, l'utilisation de plaquettes forestières a été multipliée par 20 en volume. Selon l'ADEME, en 2006, la plaquette forestière représentait 5 500 tep soit environ 19 000 t.

Une filière qui se structure autour d'acteurs régionaux et nationaux

Face à cette montée en puissance du nombre de chaudières bois et de la demande associée en plaquette forestière, les acteurs de la filière ont commencé à s'organiser. Ainsi, en 2005, on comptabilisait environ 60 sociétés d'approvisionnement sur le secteur (chaque entreprise livrant annuellement des volumes de bois énergie supérieurs à 300 tonnes). Des régions se sont structurées, il y a déjà quelques années, soit sur la base d'événements conjoncturels telle que la fermeture d'usines de panneaux de particules consommant des quantités importantes de biomasse se retrouvant du jour au lendemain sans débouchés.

On peut citer le cas de Biocombustibles SA qui aujourd'hui approvisionne en Basse-Normandie une quinzaine de chaufferies collectives pour une livraison annuelle de 35 000 tonnes de bois. Biocombustibles SA possède 9 plates-formes et dispose d'une flotte de semi-remorques à fond mouvant permettant d'assurer entre 200 et 250 livraisons par semaine. Dans la plupart des cas, les structures d'approvisionnement créées rassemblent les acteurs de la filière bois (scieurs, menuisiers, etc.), les détenteurs de ressource agricole ou forestière ainsi que des acteurs spécialisés dans la logistique (Véolia). En 2006, de nouvelles structures ont vu le jour dans trois régions :

- Boisynergie en région Centre;
- BEMA (Bois Énergie Maine Atlantique) dans les Pays-de-Loire;
- ABC (Auvergne Biocombustibles) en Auvergne.

En 2006, l'ONF en partenariat avec la FNCOFOR a créé sa filiale ONF Énergie. D'autres acteurs, notamment ceux du déchet, tels Véolia et Suez ont pour ambition de fortement développer leurs marchés liés à la biomasse.

La montée en puissance de tous ces opérateurs permet de rassurer les maîtres d'ouvrage de chaufferies bois sur la pérennité de leurs approvisionnements.

Organisation en interprofession

L'association France Biomasse Énergie est créée le 5 juillet 2007. Elle constitue l'interprofession de la biomasse réunissant tous les représentants des secteurs concernés : des producteurs de biomasse aux utilisateurs énergéticiens, autour du développement des productions d'électricité, de chaleur, de biocarburant dits de deuxième génération et de biogaz, issues d'installations industrielles ou agricoles et utilisant toutes les formes de biomasse. Ses principaux objectifs les suivants : favoriser les échanges en matière d'adéquation entre les différentes qualités de biomasse, faire le bilan des études de recherche et développement, assurer un observatoire des marchés des énergies issues de la biomasse et des conditions de leur développement au niveau français, européen et mondial, et proposer aux pouvoirs publics l'appui d'un groupe d'experts. Les représentants de la propriété forestière et les gestionnaires forestiers (dont l'ONF) adhèrent à cette association.

La Fédération Nationale du Bois (FNB) n'a pas de fonction particulière dans le domaine de la plaquette forestière. Néanmoins, ses adhérents produisent de la plaquette et à ce titre, la FNB est amenée à appuyer la filière en coordonnant des études techniques ou en réalisant la mercuriale (indice de prix de la plaquette, *cf.* 2.3.2.3) par l'intermédiaire du centre d'études économiques sur le bois (CEEB).

La commission interprofessionnelle du bois énergie (CIBE) a été constituée en association le 21 juin 2006. Actuellement, la CIBE comprend 84 adhérents émanant des organisations professionnelles et des entreprises des secteurs de la forêt et du bois, du déchet et de l'énergie, des maîtres d'ouvrage publics et privés. En pratique, cette association représente plutôt les intérêts de l'aval de la filière et très peu les propriétaires forestiers (ONF, FNCOFOR, Union de la coopération forestière française) qui ne sont pas membres de l'association. On trouvera plus d'informations sur le site internet de l'association (www.cibe.fr).

Un marché en cours de structuration

Actuellement, il n'existe pas encore d'observatoire économique de la plaquette forestière. L'obtention de données quantitatives est encore difficile (*cf.* paragraphes ci-dessous). De même, la multiplicité des intervenants (*cf.* 2.5) rend la structuration de la filière difficile.

2.3.2.2. Aspects quantitatifs

Les données sur les plaquettes sont relativement jeunes. Avant 1990, les volumes du bois énergie n'étaient pas détaillés du tout (intitulé "bois de feu non autoconsommé"). Depuis les années 1990 et jusqu'en 2001, le bois de feu est détaillé selon les catégories suivantes : « bois de chauffage commercialisé », « bois rond pour carbonisation », « bois de chauffage cédé à titre gratuit ou autoconsommé ». Cette dernière rubrique ne représente qu'une minuscule partie de l'autoconsommation réelle. L'indicateur « plaquettes » comme partie du « bois de feu commercialisé » n'existe que depuis 2002. Les données existantes sont rassemblées dans le tableau 7. Depuis 2002, le volume commercialisé de plaquettes a plus que triplé.

Année	Volume de bois transformé en plaquettes
	forestières en m ³ sur écorce (France)
2002	81 144
2003	135 514
2004	217 541
2005	181 724
2006	231 094
2007	256 955

Tableau 7 : Volumes de bois transformé en plaquettes forestières en France (source : enquête annuelle de branche (exploitation forestière et scieries) du service central des études économiques et statistiques (SCEES) du ministère de l'Agriculture)

Les données du tableau 7 comportent les lacunes habituellement rencontrées dans les études statistiques. Les volumes sont uniquement basés sur la déclaration et certains échappent aux méthodes statistiques (autoconsommation, commerce clandestin, échanges entre voisins). Toutefois, même si beaucoup d'agriculteurs ont des petits déchiqueteurs, la fabrication de plaquette forestière, nécessitant un équipement précis, l'économie grise est beaucoup moins importante que pour le bois bûche qui est à la portée d'un détenteur de tronconneuse.

Il faudrait rajouter à ces volumes, le bilan de l'import et de l'export. Comme dans toutes les enquêtes portant sur la production des entreprises d'une branche, les importations ne sont jamais prises en compte dans les enquêtes annuelles de branche. Ces données relatives aux échanges sont classiquement comptabilisées par les douanes mais leur nomenclature n'est pas suffisamment fine (bois en plaquettes ou en particules). Un autre pourvoyeur potentiel d'information est l'organisation professionnelle mais elle est relativement jeune et ne dispose pas de ces données.

2.3.2.3. Aspects économiques

L'évolution du prix de la plaquette forestière ne fait pas encore l'objet d'une série INSEE. Le plus ancien indicateur existant de l'évolution des prix est la mercuriale publié par le CEEB dans la revue bois international (www.boisinternational.fr) depuis 2006. Ce n'est qu'une simple moyenne à partir de quelques fournisseurs. D'ailleurs, il est extrêmement difficile de fournir un prix pour la plaquette puisqu'il peut s'exprimer à la tonne (avec différents taux d'humidité), au mètre cube apparent de plaquette (idem), au kWh, etc. Cet indice issu des prix est donc à manier avec prudence et ne peut que donner une tendance. Les données disponibles sont reproduites dans le tableau 8.

Période	Indice (relatif au prix de la plaquette forestière au
	départ du producteur et par camion entier)
Octobre 2006	100
Avril 2007	102
Octobre 2007	102
Avril 2008	94,3

Tableau 8 : Indice d'évolution du prix de la plaquette forestière (source : CEEB)

Globalement, les prix des plaquettes forestières sont donc relativement stables. La baisse observée début 2008 est assez surprenante même si elle peut être liée à la baisse généralisée du cours du bois. Ce point sera à affiner lors de la publication des données en octobre 2008.

2.3.2.4. Perspectives

La plaquette forestière semble promise à un bel avenir si l'on se réfère à l'augmentation de sa part de marché comme combustible des chaufferies collectives. C'est également la tendance qu'avait dégagée Claude Roy, coordonnateur interministériel pour la valorisation de la biomasse, dans son plan pour les biocombustibles rendu en 2006. Le tableau 9 donne une prévision des besoins en plaquettes forestières à l'échelle 2010 et 2030.

Types de ressource	Valorisation énergétique	Prévision 2010	Perspectives 2030 à 2050	
	en 2005	en millions de tep par an)	(en millions de tep par an)	
	(en millions de tep par an)			
Plaquette	Moins de 0,1	~ 2	~ 4.5	
forestière	Mons de 0,1	~ 2	~ 4,5	
Total de tous les	~ 10	~ 13 à 14	~ 45 à 50	
biocombustibles	~ 10	~ 13 a 14	~ 43 a 30	

Tableau 9 : Perspectives d'évolution de la plaquette forestière (source : plan national biocombustibles, 2005)

Toutefois, à ce jour, ces prévisions semblent particulièrement optimistes. On peut fortement penser qu'à l'horizon 2010, l'objectif ne sera pas atteint. En effet, les projets CRE représentent environ 0,5 million de tep par an tandis que les programme bois énergie de l'ADEME représentent sur la période 2005-2010 environ 0,4 million de tep par an et que la production actuelle de plaquette s'élève à moins de 0,1 million de tep par an soit un total de 1 million de tep par an à l'horizon 2010 compte tenu des éléments dont on dispose mi-2008. À cela s'ajoutent les certificats d'économie d'énergie dont l'impact à long terme n'est pas quantifié. Toutefois, on a souligné que les projets dans le domaine du bois énergie s'établissaient sur 3 à 4 ans. D'ici 2010, il est peu probable que la valeur de 2 millions de tep par an sera atteinte.

2.3.3. Situation en Alsace

Préambule

En plus des deux études récentes déjà citées ([16], [17]), une étude intitulée *Le développement des filières d'approvisionnement en plaquettes forestières en Alsace : état des lieux et propositions* a été réalisée par Claire Helderlé en septembre 2006 [30]. Les données chiffrées présentées ci-dessous sont tirées de ces 3 documents, sauf précision contraire. Enfin, les tonnes s'entendent comme des « tonnes brutes » c'est-à-dire du bois frais coupé avec un taux d'humidité de 45 à 50 %.

Évolution du marché de la plaquette forestière

Avec le développement des chaufferies bois, le marché de la plaquette forestière a augmenté très fortement en Alsace pour atteindre 21 000 t en 2006 comme le montre le tableau 10. L'examen des données montre une valeur probablement aberrante en 2006. Globalement, on reste néanmoins sur une progression des volumes de plaquettes forestières. Ceci est à lier à l'augmentation du nombre de chaudières (celles financées par le programme « bois énergie » de l'ADEME sont alimentées à 72 % par des plaquettes forestières). Cette augmentation du tonnage de plaquettes forestières est toutefois à relativiser quand on sait que la chaufferie d'UPM Stracel à Strasbourg (puissance 43 MW et ne faisant pas partie du programme « bois énergie ») consomme environ 25 000 t dont 20 000 t de produits connexes de scierie ou de DIB.

Année	Volume de bois transformés en
	plaquette forestière en m ³ sur écorce
	(Alsace)
2002	négligeable
2003	3 458
2004	18 605
2005	17 428
2006	76 519
2007	26 831

Tableau 10 : Volume de bois transformé en plaquettes forestières en Alsace (source : enquête annuelle de branche (Exploitation forestière et scieries) du SCEES du ministère de l'Agriculture)

L'étude Fibois estime quant à elle qu'au cours de l'année 2006 environ 16 500 t de plaquettes ont été consommées en Alsace [17]. On peut rajouter à cela les 600 t exportées soit 17 100 t vendues ce qui est conforme à la tendance qui se dégage de l'enquête annuelle de branche, année 2006 exceptée. Les valeurs de l'étude Fibois militent pour une erreur dans les données du SCEES en 2007. Le SCEES a été contacté et des recherches étaient en cours à la mi-septembre 2008.

Enfin, l'origine de la ressource reflète la répartition des propriétaires en Alsace : 77 % des plaquettes proviennent des forêts communales et domaniales et 23 % de la forêt privée. Le développement de la plaquette n'a, à ce jour, pas eu de conséquence sur les prix moyens de bois d'industrie ou de bois de chauffage. Les prix sont d'ailleurs à la baisse en 2008 alors que la production de plaquette augmente.

Flux et débouchés

Les débouchés pour la plaquette forestière en Alsace sont les particuliers pour 43 % du volume, les industriels pour 31 % et les collectivités pour 26 %. Ces chiffres issu de l'étude Fibois sont assez surprenants surtout pour la part de marché des particuliers.

Les débouchés sont essentiellement locaux : 92 % des plaquettes produites en Alsace sont utilisées dans la région. Environ 6 % vont en Franche-Comté et 2 % vers l'Allemagne et la Suisse.

En termes de flux, l'Alsace est un importateur net de plaquettes forestière (environ 7800 t de Lorraine et 1400 t de Franche-Comté). Par rapport aux autres régions du Grand Est, l'Alsace est la première région exportatrice de copeaux et sciures, notamment car il n'y a pas d'industrie de panneaux de particules en Alsace.

Perspectives

Comme pour le reste de la France, la filière plaquette semble également avoir de beaux jours devant elle. Compte tenu des projets de construction de chaufferie lancés, la consommation est estimée à 58 000 t de plaquettes par an en 2009. Par ailleurs, les produits connexes de scierie non valorisés à ce jour étant essentiellement des écorces non adaptées aux petites chaufferies collectives, la ressource supplémentaire nécessaire est à mobiliser en forêt.

Comme nous allons le constater, la forêt française contient suffisamment de biomasse pour répondre à cette demande future.

2.4. Quelle matière première pour les plaquettes forestières ?

D'un point de vue technique, tout type de bois peut être transformé en plaquettes. Néanmoins, dans le cadre d'une gestion durable de la forêt, il convient d'adapter l'utilisation du bois à sa qualité. Le BE ne fait pas partie des modes de valorisation noble de la ressource. Il doit être vu comme du bois d'opportunité actuellement non exploité.

Les produits à privilégier pour la transformation en plaquettes sont :

- les rémanents de tailles, d'élagages et d'abattage d'arbres hors forêts ou sur des emprises diverses (lignes électriques et téléphoniques, création de voirie, etc.),
- les invendus et bois abandonnés ayant fait l'objet d'une résolution de vente et trop dépréciés pour une valorisation industrielle,
- les billons mitraillés,
- les purges (pied, bosses de gui) des exploitations traditionnelles après débardage en toute longueur des arbres et façonnage sur le chemin forestier,
- les perchis scolytés ou totalement écorcés inutilisables en bois matériau,
- les surbilles et grosses branches de bois tendres non recherchés pour le chauffage en bûches ou la trituration (peupliers, trembles, bouleaux),
- les taillis,
- les produits de l'éclaircie précommerciale ou de détourage non valorisables en bois bûche ou en BI,

- les houppiers lors d'une coupe rase, les houppiers issus des coupes à câble-mât sous réserve de compatibilité avec les préconisations de préservation des sols.
 - Enfin, deux nouvelles ressources peuvent également être développées :
- les arbres situés en bordure des routes et des chemins forestiers carrossables pour améliorer l'éclairement des chaussées et pour favoriser les lisières internes,
- les bois de lisières externes et de ripisylve (notamment les perchis) dans le cadre d'une politique de restauration de la richesse écologique de ces systèmes particuliers.

Après avoir examiné le produit « plaquette forestière », son utilisation va à présent être étudiée. Pour cela, il est nécessaire de rappeler le fonctionnement d'une chaufferie.

2.5. Quelques éléments sur les chaufferies au bois

2.5.1. Fonctionnement d'une chaufferie au bois

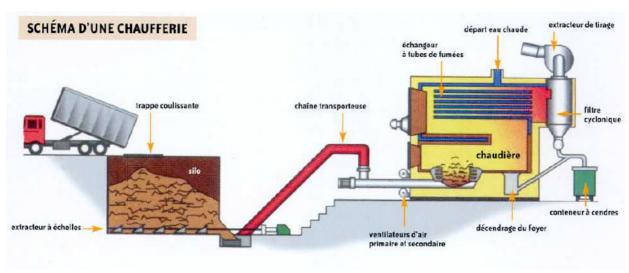


Figure 8 : Schéma de fonctionnement d'une chaufferie au bois (source : ADEME)

La chaufferie à bois automatique est un ensemble de production de chaleur comprenant quatre éléments essentiels représentés en figure 8 :

- un silo de stockage (enterré ou à ciel ouvert),
- un système d'extraction (fond racleur à échelles ou fond dessileur à pales rotatives) et de transfert (vis sans fin, tapis d'amenée, etc.) de bois vers le générateur de chaleur,
- un générateur de chaleur (chaudière),
- un système d'épuration des rejets gazeux et d'évacuation des cendres.

En fonction de la puissance de la chaudière, la technologie optée pour chaque élément sera différente.

2.5.2. Typologie des chaufferies

Le premier paramètre distinctif est la puissance en mégawatts (MW) que l'on peut convertir en tonnes de plaquettes consommées annuellement. Mais la plupart des chaufferies bois comportent également une ou plusieurs chaudières consommant un autre combustible, par sécurité ou pour produire l'eau chaude sanitaire en saison chaude (fuel, gaz) lorsque la chaufferie bois est arrêtée (ou en panne). Ceci peut fausser la relation entre la puissance et le tonnage. Lors de mon stage, j'ai constaté que l'on pouvait dégager quatre types de chaufferies :

- moins de 500 kW pour les chaufferies particulières ou les petits collectifs,
- entre 500 et 1500 kW pour les chaufferies de taille moyenne,

- entre 1500 et 6 000 kW pour les grosses chaufferies,
- les grosses installations de cogénération (CRE) ou adossées à d'importantes industries du bois (audelà de 6 MW).

À titre d'exemple, une chaufferie de 540 kW consomme annuellement environ 2400 MAP soit 600 t de plaquettes à 30 % d'humidité et produit 1500 MWh avec un rendement compris entre 70 et 80 %.

Les chaufferies des particuliers ou des très petits collectifs d'une puissance inférieure à 500 kW consomment moins de 500 t par an. La plaquette forestière doit être sèche (humidité de 20 à 25 %) et sa granulométrie doit être homogène et fine. En effet, les petites chaufferies sont souvent équipées de vis d'alimentation car c'est le système le moins onéreux à l'investissement. En contrepartie, elles n'acceptent pas de morceaux longs (8 à 10 cm) comme les queues de déchiquetage. Pour les particuliers, l'approvisionnement se fait soit directement chez des professionnels qui disposent d'une aire de stockage couverte, soit par livraison avec des camions souffleurs.

Les petites chaufferies à circuit d'approvisionnement court ont une puissance comprise entre 500 et 1500 kW. Elles consomment moins de 500 à 1 500 tonnes de plaquettes forestières par an. Le fonctionnement est saisonnier, de l'ordre de 6 à 7 mois par an. Leur système d'alimentation à vis impose une granulométrie homogène et fine (pas de queues de déchiquetage) et un taux d'humidité inférieure à 25 à 30 %. La capacité de stockage est en général limitée à quelques centaines de MAP et l'accès par gros camion est parfois difficile ou impossible. Une partie de l'approvisionnement est parfois assurée par des employés avec le matériel de la commune, des associations de réinsertion avec des matériels de type agricole etc. C'est typiquement la chaufferie d'une commune rurale qui alimente la mairie, l'école, l'église, le presbytère et les maisons autour de la place du village.

Les chaufferies moyennes ont une puissance comprise entre 1,5 et 6 MW et consomment de 1 000 à 10 000 tonnes de plaquettes forestières par an. Là encore, le fonctionnement peut être saisonnier mais l'approvisionnement est très souvent confié à un fournisseur de plaquettes ou à un groupe de fournisseurs. La chaufferie accepte un fuseau granulométrique étalé (l'alimentation se fait souvent avec un tapis convoyeur) et un taux d'humidité pouvant atteindre 30 à 35 % voire 40 à 45 %. La capacité de stockage est très variable. D'autres combustibles à base de bois sont parfois utilisés en mélange essentiellement pour des raisons de coût. Ces combustibles peuvent être des DIB de classe A ou B (si la chaufferie est équipée d'un système de traitement adapté des fumées).

Les grosses installations de cogénération ou adossées à d'importantes industries du bois ont une puissance supérieure à 6 MW et consomment plusieurs dizaines de milliers de tonnes de plaquettes forestières par an. Le fonctionnement est assuré tout au long de l'année. L'approvisionnement comporte plusieurs combustibles (bois et parfois d'autres produits comme par exemple la paille ou le miscanthus) dont les plaquettes forestières. Il est géré par l'unité, l'industriel ou une filiale spécialisée. Le mode de fonctionnement s'apparente à celui d'une usine de pâtes à papier ou de panneaux. La capacité de stockage est importante avec un parc à bois susceptible de recevoir différents produits. Ce parc peut être équipé d'une déchiqueteuse à poste fixe, de cribles, de dispositifs ou d'engins de manutention. Dans le cas des industries du bois, une partie de l'approvisionnement est assurée en propre par des produits connexes, liqueurs noires ou autres combustibles. Ce type d'installation est évidemment peu sensible à la qualité de la plaquette et accepte des taux d'humidité de 40 à 45 % et des grosses granulométries. Le coût reste l'élément déterminant au détriment de la qualité.

2.5.3. Réglementation

Les chaufferies sont des installations classées au titre de la protection de l'environnement. Elles sont soumises à déclaration si leur puissance est comprise entre 2 et 20 MW et à autorisation si leur puissance est supérieur à 20 MW. Les petites chaufferies sont donc exemptées de contraintes réglementaires et les contrôles des services régionaux du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement) se feront de façon privilégiée sur les installations de taille supérieure

à 2 MW. Pour les chaudières de puissance inférieure à 300 kw, il existe une norme européenne (EN 303.5) qui fixe des valeurs de références d'émission pour les particules, le monoxyde de carbone et les composés organochlorés volatils (COV). Pour les chaudières comprises entre 300 kw et 2 MW, il n'existe pas de référence de valeur limite d'émission.

Une information plus exhaustive sur les chaufferies est disponible dans l'ouvrage de l'ADEME *Mise en place d'une chaufferie au bois* [31].

Entre la chaufferie au bois, milieu des énergéticiens et des industriels et la production de plaquettes, milieu des forestiers, le dialogue est parfois difficile. L'interface entre ces deux milieux nécessite d'être examinée de près.

2.6. Approvisionnement des chaufferies : interface amont-aval

2.6.1. Une multiplicité d'acteurs

L'approvisionnement en bois énergie et plus particulièrement en plaquettes forestières, nécessite de maîtriser une importante chaîne d'opérations réalisée actuellement par une multiplicité d'acteurs. Cette complexité est renforcée par la diversité des détenteurs de la ressource (État, collectivités territoriales, propriétaires forestiers privés, gestionnaires forestiers, scieurs, industriels de seconde transformation, etc.) et qui ne souhaitent pas tous la mobiliser. Pour la plaquette forestière, la filière se complexifie davantage. La production des plaquettes nécessite un matériel particulier et les travaux sont le plus souvent réalisés par des prestataires spécialisés. Au niveau national, on enregistre entre 35 et 50 opérateurs spécifiques. Ceci constitue un frein à la structuration d'une filière.

2.6.2. Les imprécisions des cahiers des charges

L'approvisionnement d'une chaufferie biomasse est dépendant de plusieurs variables, aussi bien techniques (puissance de la chaufferie, paramètres de combustion, etc.) que du contexte local (acteurs de la filière, ressource disponible et sa nature, etc.).

Dans tous les cas, l'exploitant de la chaufferie (ou le maître d'œuvre) doit réaliser un cahier des charges précis pour la fourniture de biocombustibles. Celui-ci spécifie les caractéristiques (quantitatives et qualitatives) du combustible accepté par la chaufferie et l'ensemble des contraintes inhérentes au projet (contraintes d'accessibilité du site, volume de stockage etc.). Or, dans la pratique, les cahiers des charges rédigés par les maîtres d'œuvre sont peu précis, favorisent les prix bas (quitte à brûler des DIB de classe B) et sont en général d'une courte durée (un an). Ceci génère de nombreux aléas techniques dans les chaufferies compte tenu de l'hétérogénéité du bois en calibre et en humidité.

2.6.3. Garanties d'approvisionnement et contrats

La relation entre l'exploitant d'une chaufferie et l'approvisionneur doit être encadrée par un contrat qui doit notamment préciser les modalités d'achat (à la tonne, au MAP, au MWh entrée ou au MWh sortie chaudière). Le tableau 11 présente les avantages et les inconvénients de chaque modalité.

Unité de	Avantages	Inconvénients
transaction		
Achat à la tonne	C'est une méthode simple (il suffit de peser) et elle est possible avec un approvisionnement à partir de plusieurs fournisseurs	 nécessite d'avoir une balance industrielle; ne tient pas compte du PCI et risque donc d'avantager des produits avec un PCI faible (plaquettes très humides).
Achat au volume (MAP)	Le volume livré par camion est relativement facile à estimer. Cela permet d'avoir un approvisionnement à partir de plusieurs fournisseurs.	 ne tient pas compte du PCI du produit livré; pour un même volume apparent de plaquettes, l'humidité et le volume de matière peuvent varier selon le foisonnement du produit.
Achat au MWh entrée chaudière	Le prix payé reflète la quantité d'énergie livrée et permet d'avoir un approvisionnement à partir de plusieurs fournisseurs	C'est une approche contraignante car les contrôles (de la masse et de l'humidité) doivent être réalisés à chaque livraison selon un protocole rigoureux.
Achat au MWh sortie chaudière	C'est une mesure facile à réaliser (par le compteur de chaleur).	La facturation dépend partiellement du rendement de l'installation, sur lequel le fournisseur n'a aucune prise. Ceci ne permet pas d'avoir plusieurs fournisseurs.

Tableau 11 : Avantages et inconvénients des différents types d'achats

Après avoir étudié l'interface entre les chaufferies et le monde forestier, il convient à présent de s'intéresser aux différents systèmes d'alimentation de ces chaufferies.

2.7. Système d'approvisionnement des chaufferies

À chaque chaufferie correspond un type de plaquette, plus ou moins sec, plus ou moins calibré avec plus ou moins de teneur en cendres. De même, pour fabriquer ces différentes plaquettes au meilleur coût, les systèmes logistiques sont spécifiques. Nous allons les examiner dans leur ensemble avant de s'intéresser plus en détail aux différentes étapes (déchiquetage, stockage, transport).

2.7.1. Principales méthodes de production des plaquettes

2.7.1.1. Déchiqueteuse automotrice

Cette partie est tirée du retour d'expérience de la coopérative Forêts et Bois de l'Est (FBE).

En 2000, une coopérative papetière recherchait de la matière première à faible coût et en grande quantité. Le but était de mobiliser les chablis de la tempête de 1999. FBE a noué un partenariat avec un entrepreneur de travaux forestiers qui a investi dans une déchiqueteuse automotrice (Sylvatec 878 CH) valant environ 450 000 € HT. Après abattage manuel, la déchiqueteuse automotrice rentre dans la parcelle, broie la biomasse et stocke la plaquette dans sa benne. Un porteur vide la benne de la déchiqueteuse et assure la navette entre un chemin accessible aux camions et la déchiqueteuse automotrice. Les plaquettes pouvaient également être stockées en tas en bord de chemin avec tous les risques associés (pollution avec de la terre ou des cailloux lors du chargement, mauvais séchage). Les coûts constatés étaient de 30 €/t à 45 % d'humidité rendue chez le client.

Pour assurer la rentabilité de la déchiqueteuse, il est nécessaire de fabriquer 25 000 à 30 000 t de plaquettes par an. De même, elle ne peut intervenir que sur des coupes qui permettent de produire 800 à 1000 t de plaquettes compte tenu des frais de déplacement de l'engin et des frais fixes. La faire intervenir en ouverture de cloisonnement qui produisent 35 t/ha n'est donc pas suffisant. Son encombrement ne lui permet de travailler que sur des coupes rases avec des pentes inférieures à 15 % et son poids de 22 tonnes nécessite un sol avec une bonne portance surtout lors des journées humides.

Compte tenu des contraintes, du spectre de travail réduit, l'entrepreneur a fait faillite en 2006 et FBE a arrêté cette technique de fabrication des plaquettes. Ce système semble davantage adapté aux peuplements monospécifiques équiennes scandinaves qu'aux forêts mélangées françaises.

2.7.1.2. Déchiquetage hors parcelle

Cas du bois énergie de type « biomasse »

Après abattage manuel ou mécanisé, on débarde au débusqueur ou au porteur les tiges, cimes ou rémanents sur une place de dépôt ou au bord d'une route accessible aux camions où l'on procédera au déchiquetage à l'aide d'une déchiqueteuse mobile. Il est également possible de débarder des bois en long avec le houppier qui sera séparé sur le chemin forestier.

Travailler avec un porteur évite de traîner les bois à terre et d'accumuler de la terre et du sable qui vont émousser les couteaux de la déchiqueteuse. Cependant, le foisonnement des branchages est considérable et l'engin de débardage transporte rarement plus d'un tiers de sa capacité ce qui rend cette opération coûteuse. Il faut que l'engin ait suffisamment d'espace pour charger et manœuvrer. Cette solution est plutôt à réserver aux coupes rases ou aux dernières éclaircies présentant peu d'arbres par hectare.

Que l'on travaille sur coupe ou bord de route, l'alimentation de la déchiqueteuse n'est concevable qu'à la grue pour des questions d'ergonomie, d'économie d'effort des opérateurs et pour obtenir une productivité élevée. Si l'on déverse les plaquettes au sol, une partie devra être abandonnée sous peine d'inclure dans la livraison des branches, des pierres, de la terre, etc. Par ailleurs, une reprise sera nécessaire, généralement réalisable avec un chariot de manutention à godet et à bras télescopique. Divers moyens de transport sont utilisables mais coordonner l'activité de ces matériels n'est jamais simple car leur productivité varie en fonction de plusieurs paramètres (distance par rapport à l'usine, volume à l'hectare, etc.) qui ne sont pas les mêmes selon les opérations.

Une autre technique existe. Elle consiste à rassembler les branches en fagots à l'aide d'une fagoteuse (modèle *fiberpack*). Il existe très peu de matériels de ce type en France (2 ou 3 machines). Ces équipements sont essentiellement adaptés aux grandes coupes rases et utilisés dans les peuplements résineux. Les fagoteuses produisent des fagots ficelés de rémanents, tiges et branchages. Il s'agit pour l'instant de cylindres de diamètre de 60 à 70 cm, de longueur 2 à 2,50 m voire plus, pesant 400 à 500 kg.

Enfin, des nouvelles techniques d'abattage (modèle *feller buncher*) apparaissent où la tête d'abattage est doublée d'une pince capable de faire des bouquets de 3 à 5 arbres. Une fois les quelques arbres coupés, ils sont posés au sol et la reprise par le porteur est ainsi facilitée.

Cas du bois énergie de type « bois rond transportable »

On récolte des bois rond selon les divers processus habituels, que l'on déchiquette soit sur site soit sur plate-forme. En effet, ces bois en billons ou en grande longueur peuvent être transportés par camions sur le site de la chaufferie ou sur des plates-formes de séchage. D'un point de vue économique, il est préférable de transporter à la plate-forme le bois sous forme « grume » par rapport au bois sous forme « plaquette ». Une déchiqueteuse mobile de forte puissance, opérant sur le parc à bois, réalisera la mise en plaquettes.

2.7.2. Quelques éléments sur le déchiquetage

Ce paragraphe ne vise pas une description exhaustive des différents matériels existants mais fournit quelques éléments pour distinguer les grands modes de déchiquetage. Pour plus de détails, on pourra se référer à l'ouvrage *Bois énergie : le déchiquetage en forêt* [32]. Ainsi, les déchiqueteuses se caractérisent par leur mobilité, leur puissance, leur système d'alimentation, et leur organe de coupe.

Mobilité des déchiqueteuses

Il existe trois types de déchiqueteuses :

- la déchiqueteuse automotrice déjà présentée au paragraphe 2.7.1.1 ;
- les déchiqueteuses portées sur l'attelage « trois points » d'un tracteur agricole. Elles sont réservées à une utilisation d'appoint car elles ont une puissance et une productivité limitée,
- les déchiqueteuses sur roues tractées par un camion ou un tracteur ou montées sur un camion. Ce sont elles qui sont majoritairement utilisées par les professionnels.

Puissance

L'ADEME a développé des formules qui permettent de déterminer la puissance de déchiquetage nécessaire en fonction du diamètre de l'arbre, de l'essence et de l'humidité. On pourra retenir les ordres de grandeur suivants. Pour déchiqueter

- des branches de diamètre 10 cm, une puissance de 50 CV soit 37 kW est nécessaire ;
- des perches de plus de 15 cm, une puissance de 100 CV soit 74 kW est nécessaire ;
- des arbres de diamètre 40 à 50 cm, une puissance de 500 CV soit 368 kW est nécessaire.

Système d'alimentation

L'alimentation peut être manuelle ou mécanisée. En pratique, l'alimentation manuelle est réservée au déchiquetage occasionnel. L'alimentation mécanisée se fait à l'aide d'un grappin monté sur le tracteur, la déchiqueteuse ou le camion comme représenté sur la photographie 2.

Le système d'alimentation de la déchiqueteuse peut comprendre un tapis d'amenée de 1 à 3 m. Celui-ci est indispensable pour broyer des branches.



Photographie 2 : Déchiqueteur de marque Jenz avec grue (source : Raphaël Wisselmann)

Système de déchiquetage

Il en existe trois types.

La déchiqueteuse à vis comporte une grosse vis conique dont le filetage est coupant. On ne peut pas adapter de grille sur cet équipement et la granulométrie n'est donc pas homogène. Ce type de déchiqueteuse produit d'ailleurs des plaquettes de grosses dimensions. Ce matériel est peu utilisé en France.



Photographie 3: Vue du tambour et remplacement des couteaux (source: Raphaël Wisselmann)

La déchiqueteuse à tambour est équipée d'un cylindre tournant autour d'un axe horizontal sur lequel sont fixés 2 à 20 couteaux. La masse de ce cylindre est élevée et assure l'inertie de l'ensemble. Une grille avant le dispositif d'évacuation des plaquettes peut être montée pour garantir une granulométrie calibrée. Ce type de déchiqueteur est bien adapté à tous les diamètres (jusqu'à 1 m) et peut avoir une puissance jusqu'à 600 à 700 CV. C'est le type de déchiqueteuse le plus utilisé par les professionnels.

Les rendements s'établissent autour de 35 à 50 MAP par heure en fonction du type de biomasse et de la facilité de prise de la biomasse. Les coûts horaires sont compris entre 250 et 280 €/h soit environ 11 à 14 €/t.

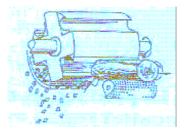


Figure 9 : Principe de fonctionnement de la déchiqueteuse à tambour (source : ADEME - FCBA)

Les déchiqueteuses à disque fonctionnent grâce à un disque épais de quelques centimètres sur une face duquel sont fixés 2 à 6 couteaux. Il comporte également des orifices munis d'éclateurs. L'autre face est dotée de pales destinées à la ventilation nécessaire à l'évacuation des plaquettes. Lors du passage du couteau au niveau de la perche à déchiqueter, une « tranche » de bois est sectionnée et éjectée. Ce type de déchiqueteuse est plutôt réservé aux petits bois et ne garantit pas une granulométrie constante compte tenu de l'absence de grille.

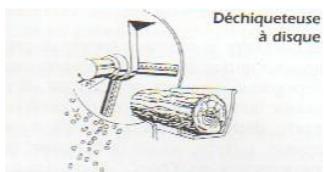


Figure 10 : Principe de fonctionnement de la déchiqueteuse à disque (source : ADEME – FCBA)

Déchiqueteuses et broyeurs

On confond souvent broyage et déchiquetage. Le déchiquetage dispose d'un outil de coupe alors que les broyeurs fragmentent seulement le matériau en morceaux relativement longs, non tolérés par les petites chaufferies.

Les broyeurs à marteaux sont souvent utilisés pour produire des plaquettes à partir des houppiers ou des haies. En effet, ces broyeurs sont équipés de tapis d'amenée longs (2 à 3 m) dont les déchiqueteuses disposent rarement. Il est bien sûr possible de mettre en place une grille dans le broyeur pour calibrer la taille de sortie. Cette grille a tendance à se colmater car les houppiers ou haies ont souvent traîné au sol, sont couverts de terres ou de boue, ce qui va colmater la grille. Dans ces cas, on fait passer la biomasse deux fois dans le broyeur ou on a recours à une cribleuse.

Criblage



Photographies 4 : produit avant criblage, cribleuse et plaquette forestière après criblage (fraction plus grossière et fraction fine)

Source : Raphaël Wisselmann

Pour garantir la granulométrie, il est possible de cribler le matériau comme représenté sur les photographies 4. La machine agit grâce à la force centrifuge et possède en périphérie une maille de taille réglable. Les petits éléments passent au travers de la maille. Le rendement d'un équipement de ce type est d'environ 5 t/h et représente un surcoût de 7 €/t. Cet équipement travaille en poste fixe sur une plate-forme.

Conclusion: à chaque produit son déchiqueteur

L'enjeu pour le producteur de la plaquette forestière est fournir le bon produit pour le bon client. Cela signifie :

- pour les grosses chaufferies : une granulométrie petite à grosse. En revanche, il faut peu de fines car elles risquent de colmater les filtres ou de faire dépasser les normes de rejet autorisées. En revanche, les systèmes d'alimentation ne sont pas sensibles aux gros éléments ;
- pour les petites chaufferies, les fines sont possibles sous réserve qu'elles ne bouchent pas l'alimentation mais surtout, les queues de déchiquetage sont à éviter car elles bloqueraient assurément les vis d'alimentation.

2.7.3. Stockage

Le stockage peut se faire soit en forêt soit sur des aires dédiées.

En forêt, il est nécessaire de construire des aires de stockage qui peuvent également être utilisées pour des grumes. En revanche, comme le sol ne sera pas bétonné, lors du rechargement des plaquettes, une part est abandonnée en forêt pour éviter la pollution par de la terre ou des cailloux.

Pour sécher les plaquettes, il existe trois solutions plus ou moins rustiques.

Le séchage en tas de 500 à 1000 MAP avec des hauteurs de 2 à 10 m. Actuellement, les dimensions optimales des tas font encore l'objet de recherches et une thèse est en cours à l'école nationale supérieure des technologies et industries du bois (ENSTIB) sur cette technique. Le séchage repose sur la fermentation des aiguilles et des feuilles comprises dans les plaquettes. Cette fermentation est une réaction exothermique (la température peut atteindre 100 °C) et permet d'évaporer l'eau contenue dans les plaquettes (augmentation du PCI). Parallèlement, la fermentation

consomme du carbone et génère donc une perte de matière et de PCI. Il existe peu de données qui quantifient cette perte de masse. Une étude suédoise [21] a mesuré des pertes de masse comprises entre 0 et 21 % pour des houppiers d'épicéas stockés mais non transformés en plaquettes. Les variations s'expliquent par des techniques de stockages (couvert ou non), les conditions météorologiques (pluie ou non) et le degré de compactage des houppiers. Ces résultats sont donc difficilement transposables en l'état. Une autre étude [33] a montré que la composition chimique du bois (teneur en carbone, en hydrogène) reste stable pendant la fermentation. La baisse de PCI n'est donc pas liée à une modification de la composition chimique.

Le séchage sous bâche TOPTEX ® laisse passer la vapeur d'eau de la fermentation mais est imperméable à la pluie. Elle est vendue en lés de largeur maximale 9,8 m et au prix de 4 €/m² livré. Sa mise en œuvre est assez complexe (recouvrement des lés).

Les deux systèmes (séchage en tas ou sous bâche) présentent des inconvénients. En effet, un grand soin doit être accordé lors du chargement des plaquettes. En général la croûte supérieure du tas, épaisse d'environ 50 cm est très humide. Il convient de ne pas la mélanger avec le cœur du tas. De plus, le processus de fermentation est mal maîtrisé (part de la fraction fermentescible difficile à quantifier) et on a déjà observé des tas qui se sont enflammés. Il est alors très difficile de les éteindre.

Pour garantir un taux d'humidité, la seule solution qui fonctionne actuellement est le stockage sous hangar pendant au moins 2 mois. Outre les ruptures de charge, cette solution est encore plus onéreuse compte tenu des coûts d'amortissement du hangar.

Les coûts de construction d'une plate-forme couverte sont de l'ordre de $50 \, \text{€/m}^2$ pour le sol et de l'ordre de $500 \, \text{€/m}^2$ pour le hangar si bien qu'une plate-forme ne peut être amortie que si elle voit transiter un tonnage élevé (10 000 à 15 000 t/an). La part du coût générée par la plate-forme dans la filière sera étudié au chapitre 5.

Enfin, d'un point de vue réglementaire, un site de stockage est susceptible d'être soumis à la réglementation sur les installations classées au titre de la protection de l'environnement (ICPE) et notamment aux rubriques nos 1530 (dépôts de bois, papier, carton ou matériaux combustibles analogues et 2260 (broyage, concassage, criblage de substances végétales). Dans le tableau 12, les seuils de ces deux rubriques sont indiqués.

Rubrique	Seuil de la déclaration	Seuil de l'autorisation
1530	Quantité stockée comprise entre 1 000 et	Quantité stockée supérieure à 20 000 m ³
	$20\ 000\ \mathrm{m}^3$	
2260	Puissance installée de l'ensemble des machines	Puissance installée de l'ensemble des
	fixes comprise entre 100 et 500 kW	machines fixes supérieure à 500 kW

Tableau 12 : Extrait de la nomenclature ICPE

2.7.4. Transport

En premier lieu, rappelons que le transport de la plaquette est plus onéreux que le transport de grumes. Si le type de bois le permet (purges, billon, etc.), on aura intérêt à l'amener sur une plateforme de stockage où il sera broyé, et non à le transporter sous forme de plaquettes à la plate-forme.

Pour transporter les plaquettes, il existe trois engins différents représentés par les photographies 5 :

- le tracteur agricole avec une remorque est capable de transporter un volume compris entre 30 et 35 MAP si la remorque est équipée de ridelles. C'est évidemment un système adapté à tous les types de terrain mais à réserver aux courtes distances (de l'ordre du kilomètre);
- le camion à fond mouvant est l'équipement qui a la plus grande capacité de transport, de l'ordre de 90 MAP soit 20 à 25 t de plaquettes selon leur taux d'humidité. Il est adapté au transport sur de longues distances. Par contre, il circule difficilement sur les mauvaises routes forestières. La vidange se fait grâce aux à coups donnés par le fond de la remorque (fond mouvant). Le déchargement de ce type de camion nécessite environ 15 minutes;

- le camion polybenne est un camion de type porte-conteneur qui contient de 30 à 40 MAP soit 10 à 12 t de plaquettes. Il peut tirer une remorque avec un conteneur de même taille. Ce camion est adapté aux routes forestières. Il existe deux types de conteneur :
 - le conteneur fixé sur le camion est vidé par basculement latéral,
 - le conteneur mobile est déposé au niveau du déchiqueteur pendant que le camion fait une rotation avec un autre conteneur.

Il est difficile d'affréter un très grand nombre de conteneurs, car le système d'accrochage et les dimensions n'en sont pas standard.



Photographies 5 : Camion de type polybenne, fond mouvant ou tracteur avec remorque (source : Raphaël Wisselmann)

Il existe une autre technologie actuellement peu répandue. Il s'agit d'un camion de type semiremorque équipé d'un dispositif de compactage. Ceci permet de transporter du houppier. Actuellement, cette technologie n'est pas encore complètement au point. En effet, le compactage des houppiers permet de transporter environ 14 t alors qu'un grumier permet de transporter 21 à 22 t et, une remorque d'un camion de type fond mouvant environ 20 à 25 t de plaquettes fraîches.

En termes de coût, pour un transport effectué en fond mouvant compris entre 40 et 80 km (distance habituellement observée en Alsace), le prix évolue assez peu comme le montre la figure 11, même si la perte due au retour à vide n'est pas intégrée.

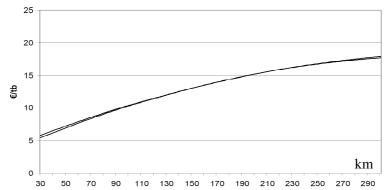


Figure 11 : Coût du transport routier en fonction de la distance (source : FCBA, 2007)

2.7.5. Filière d'approvisionnement selon la typologie des chaudières

Pour les quatre types de chaufferie identifiés au 2.5.2, j'ai pu me rendre compte au cours de mon stage que la filière d'approvisionnement était sensiblement différente. J'ai pu distinguer trois grands types.

2.7.5.1. Petites et moyennes chaufferies

On peut identifier les différentes étapes suivantes :

- bûcheronnage manuel ou mécanisé avec façonnage de bois transportable (billon mitraillé, purges de pied, grume) ;

- ressuyage des bois sur coupe pendant quelques mois avec passage du taux d'humidité de 50 % à environ 40 % ;
- débardage (porteur ou skidder) par un entrepreneur en bord de route empierrée ou sur une place de dépôt avec constitution de piles de 3 à 4 m de hauteur ;
- transport par un camion doté d'une grue sur une plate-forme de stockage ou de conditionnement ;
- déchiquetage par un ensemble composé d'un tracteur agricole, d'une grue et d'une déchiqueteuse à tambour avec projection des plaquettes au sol ou dans la remorque tirée par un deuxième tracteur
- rassemblement des plaquettes sous un hangar de stockage ou mise en tas à l'extérieur (avec ou sans dispositif de bâchage) par chariot de manutention à godet ou déchargement des remorques ;
- stockage sous abri avec diminution du taux d'humidité de 40 % à 25 ou 30 %;
- chargement avec un chariot à godet et livraison au client à la demande. Pour les chaufferies individuelles, soit l'usager va acheter sa plaquette auprès d'un revendeur équipé d'un camion souffleur, soit il va charger directement une remorque sur un site de stockage.

Ce système produit de la plaquette de très bonne qualité mais avec un prix élevé compris entre 22 et 25 €/kWh. En effet, le principal inconvénient est que l'on récolte de petits bois ronds de façon classique pour les déchiqueter sur une plate-forme, pour ensuite reprendre les plaquettes puis les livrer. Les coûts se cumulent associés à des ruptures de charge nombreuses. De même, on opère sur du bois souvent apte à d'autres usages donc à un prix du marché voisin de celui de la trituration ou du bois en bûche. Il est difficile d'utiliser des rémanents de coût faible (0 à 5 €/t), car ils conduiraient à une granulométrie plus grossière. Mais il est possible d'en introduire une certaine dose ainsi que des tiges sans autre emploi possible (taillis ou billons mitraillés, purges de pied).

Pour les chaufferies individuelles, il est fréquent surtout dans le monde agricole de fabriquer soi-même sa plaquette. Il n'y a alors pas vraiment de filière organisée aussi ce type de production ne sera pas décrit.

2.7.5.2. *Grandes chaufferies* (1,5 à 6 MW)

On peut identifier les différentes étapes suivantes

- abattage mécanisé par une abatteuse pour les petits bois, abattage manuel pour les gros bois, ébranchage manuel ou mécanisé de la partie bois d'œuvre et bois industrie,
- ressuyage des bois sur coupe pendant quelques mois avec passage du taux d'humidité de 50 % à environ 40 %,
- débardage par un porteur en bord de route empierrée ou sur une place de dépôt avec constitution de piles de perches de 4 m de hauteur. Si certaines perches sont trop longues, elles sont redécoupées en deux à l'aide d'un grappin tronçonneur monté sur la grue du porteur ou à l'aide d'une tronçonneuse. Si la pente est trop forte, le débardage est fait au skidder et la découpe sur le chemin de la grume en séparant le bois d'œuvre, le bois industrie et le houppier;
- déchiquetage par une déchiqueteuse de forte puissance (300 à 400 CV) avec projection des plaquettes directement dans un camion ou des conteneurs. La déchiqueteuse opère à poste fixe ou semi-fixe. Elle est montée sur un camion ou une remorque et dotée d'une grue. Lorsqu'elle est tractée par un tracteur, celui-ci peut recevoir la grue,
- transport des plaquettes en flux tendu vers la chaufferie par camion avec diverses variantes : camion à fond mouvant, à benne sur vérin, conteneur, etc. Pour de courtes distances (30 à 50 km), deux camions suffisent pour tenir le rythme de la déchiqueteuse. Pour de longues distances, il faut augmenter le nombre de camions ou déposer des semi-remorques sur la place de dépôt. En fonction du type de bois broyé (présence de beaucoup de feuillage ou non), les plaquettes pourront également être amenées à un site de stockage pour séchage.

Ce type de filière permet de fabriquer une bonne qualité de plaquette mais à fort taux d'humidité si elle ne passe pas par une plate-forme. Les coûts constatés sont très dépendants du type de biomasse (houppier ou billons) et de la part de bûcheronnage manuel. Ils varient de 18 à 22 €/kWh.

2.7.5.3. Grosses chaufferies (plus de 6 MW)

Il n'y a pas vraiment de système logistique particulier. Il s'agit plutôt d'une optimisation de la filière précédente à tous les niveaux :

- le bois utilisé pour les plaquettes sera de qualité moindre (essentiellement de houppier avec très peu de bois de type grume),
- l'abattage est forcément mécanisé et les coûts de débardage sont réduits au maximum. À ce titre, les houppiers issus des coupes au câble-mât sont une ressource idéale ;
- le déchiquetage se fait obligatoirement en forêt avec un calibrage sommaire (grille de grosse maille),
- les plaquettes sont obligatoirement livrées en flux tendu sans passage par une plate-forme de stockage. Les phases de stockage, séchage, reprise et livraison sont économisées, soit environ 20 €/tonne. Il est toutefois possible de passer par une plate-forme de stockage si le silo du client est sous dimensionné.

Ceci permet de fabriquer une plaquette « bas de gamme » avec des taux d'humidité de 40 % et avec une granulométrie plus étalée. Les coûts sont tirés vers le bas et sont de l'ordre de 16 à 18 €/kWh. Pour améliorer le PCI, les grosses chaufferies industrielles peuvent les mélanger avec des produits connexes de scierie secs voire des DIB.

2.8. Les programmes de recherche sur la plaquette forestière

On a constaté que la filière était en cours de structuration. Le passage à la dimension « industrielle » de la récolte de plaquettes forestières nécessite donc des études pour disposer de référentiels. En effet, les principaux programmes de recherche remontent au début des années 1980, après les chocs pétroliers des années 1970. Tous ces programmes ont été arrêtés vers la fin des années 1980 avec la baisse des prix pétroliers. Dans le cadre du programme national de recherche sur les bioénergies, plusieurs nouveaux projets de recherche ont été lancés récemment :

- REGIX (2005-2009): cet important programme de recherche sur la biomasse dans les domaines agricoles et forestiers est mené en partenariat avec le FCBA, l'UCFF, l'ONF, l'INRA, etc. Le volet « forêt » comprend par exemple des analyses technico-économiques de chantiers de fabrication de plaquettes mais également l'ajustement de modèles de croissance de biomasse. Pour les chantiers tests, les résultats ne sont pas encore disponibles ;
- ECOBIOM (2006-2008): ce programme vise à mieux connaître le marché de la plaquette forestière et notamment les interactions entre offre et demande, à analyser le développement du marché d'un point de vue macro-économique;
- OMICAGE (2006 2009): ce programme étudie la chaîne logistique de la production de plaquette destiné au marché industriel, et dans le but de développer un système d'information. Il vise également à développer un système d'acquisition des informations pertinentes (par exemple, quelles informations récupérer sur les ordinateurs de poche des forestiers de terrain);
- MOBIPE (2007-2009): ce programme est axé sur la mobilisation du bois en montagne et comprend un volet bois énergie.

Pour plus de détails sur ces différents programmes de recherche, une note de synthèse a été rédigée par l'AFOCEL [34].

Ce chapitre a permis d'étudier en détail la plaquette forestière et son utilisation. Il convient à présent de s'intéresser aux acteurs de la filière et plus particulièrement à deux d'entre eux, l'ONF et sa filiale, ONF Énergie.

3. Le rôle de l'ONF et d'ONF Énergie dans le marché des plaquettes forestières

En termes de surface, l'ONF est le plus important gestionnaire de forêt française. Sa filiale, ONF Énergie, est le plus important producteur de plaquettes forestières en France. C'est aussi la seule société présente sur tout le territoire fabriquant exclusivement de la plaquette forestière. Compte tenu de leur taille, ces deux structures seront présentées dans ce chapitre en mettant l'accent sur leur rôle au sein de la filière des plaquettes forestières.

3.1. L'ONF et les plaquettes forestières

L'ONF est un établissement public à caractère industriel et commercial créé en 1966 pour assurer la gestion des forêts françaises relevant du régime forestier. Il s'agit essentiellement de forêts communales (2,8 millions de hectares) et de forêts domaniales (1,7 million de hectares). Parallèlement, l'ONF assure des missions d'intérêt général (restauration des terrains de montagne, défense des forêts contre l'incendie, etc.) ainsi que des fonctions régaliennes (police des forêts).

3.1.1. Politique nationale de l'ONF en matière de bois énergie

L'implication de l'ONF dans le bois énergie est très ancienne si l'on pense au bois de feu, aux cessions gratuites ou aux liens étroits avec les affouagistes. En revanche, ce n'est que très récemment, depuis 2005 que l'usage énergétique du bois sous la forme de plaquettes a été développé.

3.1.1.1. Stratégie de partenariat

Un ensemble de textes ou de protocoles d'accord définissent la politique de l'établissement en matière de bois énergie. Parmi eux, peuvent être cités les documents suivants :

Contrat 2007-2011 entre l'ONF et l'État signé le 24 juin 2006

Ce contrat [35] est le document qui définit la stratégie quinquennale de l'ONF. En matière de bois énergie, l'article 3 précise : « L'ONF participera activement avec sa filiale ONF Énergie au développement des usages énergétiques du bois, conformément à la politique européenne et nationale de développement des énergies renouvelables et afin de mieux valoriser la ressource forestière grâce à de nouveaux débouchés. Il agira en liaison étroite avec la FNCOFOR et les représentants des organisations de propriétaires forestiers privés. »

Accord entre l'ONF et la FNCOFOR signé le 18 octobre 2006

Cet accord vise à développer à partir de 2007 un réseau de cinq projets pilotes représentatifs des différentes situations dans lesquelles peuvent se trouver des communes situées en milieu rural ayant vocation à utiliser des plaquettes forestières pour la production de chaleur. Les résultats sont attendus pour l'automne 2008, le réseau ayant eu du mal à démarrer. Néanmoins, ce protocole d'accord tout comme l'article 3 du contrat État-ONF a eu le mérite de renforcer et de développer le partenariat entre l'ONF et les communes forestières en matière de bois énergie. Cette dynamique s'est d'ailleurs traduite par l'entrée de la FNCOFOR dans le capital d'ONF Énergie (cf. 3.2).

Accord entre le groupe Coopération Forestière (GCF) et l'ONF signé le 5 juillet 2005

Il vise à mieux appréhender le marché des combustibles bois, à améliorer l'organisation et la production de plaquettes forestières, à partager les expériences techniques et à promouvoir le bois énergie.

Cet ensemble d'accords montre bien qu'en matière de bois énergie, l'ONF ne cherche pas à avancer seul mais à être un acteur d'un système. L'établissement vise à créer une dynamique et à la partager. À ce titre, les récentes conclusions du Grenelle de l'environnement n'ont fait que conforter la stratégie de développement du bois énergie.

En matière d'organisation interne, le développement de l'activité liée au bois énergie s'est traduit par la création d'un poste de chargé de mission au sein de la direction générale (direction marketing et du développement) et d'un réseau de 11 correspondants (un par direction territoriale et un pour le campus ONF).

3.1.1.2. Principaux objectifs de l'ONF en matière de bois énergie

Quatre objectifs principaux peuvent être identifiés :

- développer la mobilisation de bois. Le bois énergie permet de valoriser des types de bois jusqu'à présent abandonnés en forêt. Il s'agit principalement des purges, des houppiers, des arbres secs et des produits de dépressage. À ce titre, le bois énergie participe aux objectifs nationaux d'accroissement de la récolte;
- améliorer le bilan financier de certaines opérations. Certains travaux d'entretien comme les dépressages, peuvent être faits à coût de revient nul ou à moindre frais. Ce bois peut être vendu pour être transformé en plaquettes forestières ;
- développer l'activité commerciale en matière de prestations intellectuelles. L'ONF peut assurer des prestations (études de ressource, études et plans d'approvisionnement, études de filière, etc.) ;
- profiter de la vague verte. Le bois énergie est un sujet d'actualité qui intéresse les journalistes et le grand public.

3.1.1.3. Forces de l'ONF en matière de bois énergie

La grande force de l'ONF est de maîtriser la ressource grâce à la gestion de 1,7 million de hectares de forêt domaniale. Ce domaine représente une production potentielle annuelle de 800 000 t de plaquettes « fraîches » à 45 à 50 % d'humidité. Par ailleurs, l'ONF en tant que gestionnaire des forêts publiques, connaît très bien la ressource disponible et est à même de la quantifier et de la localiser. L'établissement est donc très bien placé pour la réalisation des études précitées. Enfin, toutes les forêts domaniales et plus de la moitié des forêts communales sont certifiées PEFC.

3.1.1.4. Risques

Comme pour les autres acteurs, la filière bois énergie présente pour l'ONF les risques déjà identifiés précédemment (faible rémunération du propriétaire, conflits d'utilisation de la ressource).

Enfin, comme évoqué au paragraphe 1.2.2.6, le développement du bois énergie doit être raisonné notamment vis-à-vis du risque de l'appauvrissement des sols. À ce titre, une note de service (NDS) n°06-T-254 [36] précise la politique de l'établissement. Elle s'appuie notamment sur le guide de l'ADEME [13] et exclut toute fertilisation compensatoire.

3.1.2. Déclinaison au sein de la direction territoriale Alsace de l'ONF

3.1.2.1. Présentation générale de la direction territoriale

La direction territoriale (DT) couvre les départements du Bas-Rhin et du Haut-Rhin. Elle est divisée en 5 agences. L'ONF emploie environ 740 personnes et gère 246 000 ha (30 % du territoire, 75 % de la forêt) répartis comme suit :

- 56 forêts domaniales et indivises réparties sur 81 000 ha,
- 655 autres forêts publiques faisant 165 000 ha,
- 291 hectares de forêts privées sous convention.

En 2007, la DT Alsace a vendu 1 233 800 m³ dont 48 % de feuillus et 52 % de résineux. Les modes de commercialisation se répartissent entre la vente en bloc et sur pied (20 % du volume) et les produits façonnés (80 % du volume). En termes de qualité, on pourra retenir la ventilation suivante :

- grume: 835 100 m³ soit 68 %,
- trituration: 197 400 m³ soit 16 %,
- chauffage : 201 300 m³ soit 16 % dont 169 780 m³ en « déchets de coupe » et 31 520 m³ en stères façonnés.

Le bois destiné à la fabrication de plaquettes forestières représente 7 500 m³compris dans les volumes ci-dessus.

3.1.2.2. Politique de la DT en matière de bois énergie

Au sein de la DT Alsace a été créée l'agence de développement Alsace (ADA). Celle ci se positionne sur les marchés des prestations de service et réalise notamment des études de ressources ou des plans d'approvisionnement. Compte tenu de la compétence de certains employés de l'ONF, il existe une convention de mise à disposition de personnel entre l'ADA et ONF Énergie (voir cidessous) movennant rétribution.

En matière de bois énergie, la politique de la DT est définie dans deux notes de services n^{os} 06-81 [37] et 07-98 [38]. Celles-ci insistent sur le nécessaire développement de la filière et sur la fourniture de bois à la filiale ONF Énergie à hauteur de 10 à 20 000 t par an. Elles précisent notamment les types de ressources mobilisables (rémanents d'arbres hors forêt, bois mitraillés, purges, perchis scolytés ou écorcés, taillis, produits de première éclaircie, bois de lisière ou de bord de chemin forestier). Toutefois, elles apportent quelques restrictions fortes comme l'interdiction de récolter les rémanents (cime et branches) de diamètre inférieur à 7 cm sur les sols sableux et limoneux acides. Sur les autres terrains, la note recommande de laisser sur coupe les rémanents de diamètre inférieur à 7 cm, et ce de manière dispersée (c'est-à-dire à l'endroit de l'exploitation de l'arbre).

3.2. ONF Énergie

Après avoir présenté la politique de l'ONF en matière de bois énergie, intéressons-nous à présent à sa filiale, ONF Énergie.

3.2.1. Présentation générale

3.2.1.1. Généralités

ONF Énergie (ONFE) est une société par actions simplifiée (SAS) créée en avril 2006 avec un capital initial de 400 000 € apporté par l'ONF. Fin 2006, ce capital a été porté à 430 000 € grâce à l'entrée dans le capital de la FNCOFOR. L'objet social est « la production et le négoce de bois d'industrie utiles au développement de la filière bois énergie et bio-carburant tant sous forme de bois rond que de plaquettes forestières ». À ce jour, la filiale emploie un salarié, le directeur général M. Philippe Goupil.

Au 31 décembre 2007, ONF Énergie a conclu 28 contrats pour 66 000 t à fournir et a commercialisé environ 40 000 t de plaquettes. Ceci représente environ un cinquième de la production française de plaquettes forestières.

D'un point de vue économique, le chiffre d'affaires est d'environ 1,7 million d'euros au 31 décembre 2007.

3.2.1.2. Raisons de la création d'une filiale

La création d'ONF Énergie par l'ONF répondait aux objectifs suivants :

- avoir un acteur privé capable d'intervenir sur le marché. En effet, le statut de l'ONF lui interdit d'acheter du bois ou de s'associer à des opérateurs susceptibles de lui en fournir. De même, le

statut privé d'ONF Énergie lui permet d'être beaucoup plus réactif et de s'affranchir de certaines lourdeurs administratives ;

- structurer l'organisation commerciale. ONF Énergie est l'interlocuteur unique pour des clients désireux de s'approvisionner en bois énergie. La filiale pourra également développer une méthodologie d'élaboration des prix de vente cohérente au niveau national comme les grands opérateurs du domaine (Dalkia, Elyo) qui interviennent tous au niveau national;
- être un interlocuteur fiable pour la filière, capable de nouer des partenariats durables avec les autres détenteurs de ressources ou avec des entreprises de travaux forestiers.

3.2.1.3. Missions d'ONF Énergie

Les principales missions sont de :

- répondre aux consultations, négocier et mettre en œuvre des contrats d'approvisionnement en plaquettes forestières, par exemple pour des chaudières collectives ou privées ;
- assurer la production de plaquettes forestières à partir de bois acheté sur pied ou bord de route. La fabrication des plaquettes est sous-traitée à des entreprises de travaux forestiers car la filiale ne possède aucun matériel;
- gérer des plates-formes de stockage ou de séchage de plaquettes forestières ;
- développer les partenariats avec d'autres acteurs de la filière. Ceci peut se traduire par des groupements temporaires d'entreprise (ONF Énergie et une coopérative par exemple) en vue de proposer une offre unique pour l'alimentation d'un site industriel.

3.2.1.4. Les relations entre la maison mère et la filiale

Très schématiquement, la répartition est la suivante :

L'Office national des forêts

- assure les études amont (étude de ressource, plan d'approvisionnement, etc.) ;
- vend le bois sur pied ou bord de route à la filiale par contrat de gré à gré. En forêt communale, l'ONF assure la maîtrise d'œuvre des travaux d'exploitation.

La filiale ONF Énergie

- contractualise l'achat de biomasse ;
- assure le déchiquetage et le transport des plaquettes. En cas de bois acheté sur pied, elle réalise également l'exploitation forestière ;
- gère les plates-formes de stockage.

Pour la réalisation de ces missions, la filiale peut acheter des prestations d'expertise ou du temps de personnel à l'ONF, notamment pour suivre les travaux de déchiquetage. La rémunération de ce personnel se fait à travers des contrats cadres négociés au niveau des directions territoriales.

3.2.1.5. Forces d'ONF Énergie

La grande force de la filiale est de pouvoir s'appuyer sur la maison mère. En effet, au travers de l'ONF, ONF Énergie est assuré de maîtriser la ressource. Elle peut donc s'engager, même sur le long terme, à approvisionner les chaufferies publiques et privées en volume et en qualité. En effet, la filiale s'est spécialisée dans la plaquette forestière de qualité (sans adjuvant ou corps étranger). Elle peut, par exemple, garantir une plaquette certifiée PEFC. À ce titre, elle a créé et déposé avec le groupe coopération forestière (GCF) une marque commerciale, Forêt Énergie ®. Actuellement, l'argument de la certification est surtout utilisé d'un point commercial mais il ne semble pas apporter une rémunération supplémentaire ou être un argument décisionnel.

En termes de volume, ONF Énergie est pleinement impliquée dans deux sites projets CRE 2. Elle a signé des lettres d'engagement d'apport à hauteur de 100 000 t/an. ONF Énergie est présente dans cinq projets « plaquettes forestières » sur onze et dans trois projets « paille » sur huit (ces projets CRE à dominante « paille » peuvent également accepter des plaquettes forestières).

Dans le domaine du bois énergie, filière en cours de structuration, les entreprises intervenantes ne sont pas forcément stables et ne présentent pas toutes les garanties financières. ONF Énergie, toujours compte tenu de son actionnariat, garantit la rémunération du bois au propriétaire et une réelle retombée de développement local sans risque pour les acteurs concernés. En effet, ONF Énergie privilégie toujours le travail avec les entrepreneurs forestiers locaux.

Les axes de progrès d'ONF Énergie seront mis en évidence au cours de ce rapport.

3.2.2. L'activité d'ONF Énergie en Alsace

En Alsace, l'activité d'ONF Énergie repose essentiellement sur les deux correspondants, Daniel Kempf pour le Haut-Rhin et la partie sud du Bas-Rhin et André Schmitt pour le Nord du Bas-Rhin. Le premier est pleinement affecté au développement du bois énergie alors que le second y consacre environ 20 % de son temps de travail.

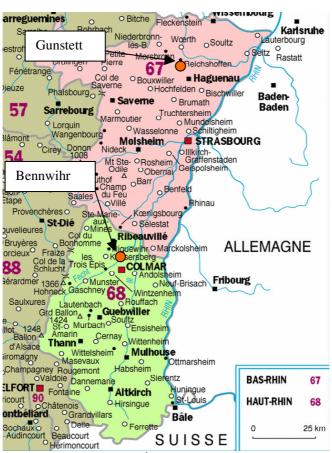


Figure 12 : Emplacement des plates-formes gérées par ONF Énergie au 30 juin 2008 (source du fond de carte : Quid, 2006)

La filiale loue actuellement deux sites de stockage comme indiqués sur la figure 12 :

- le premier à Bennwihr, à moins de 3 km de Colmar. Cette plate-forme fait environ 1,5 ha et dispose d'un hangar couvert de 1500 m² ce qui permet de garantir des plaquettes avec un faible taux d'humidité;
- le second à Gunstett, à 10 km au nord de Haguenau, d'une surface d'environ 0,7 ha avec un hangar de 600 m².

Deux autres sites de stockage sont à l'étude dans le sud du Haut-Rhin. Le bail de location en était en cours de signature à la mi-septembre. Ces deux plates-formes d'une surface de $6\,000~\text{m}^2$ chacune (dont $1000~\text{m}^2$ couverts) sont situées à Kingersheim, à 5~km au nord de Mulhouse et à Hecken, à 10~km au nord de Dannemarie.

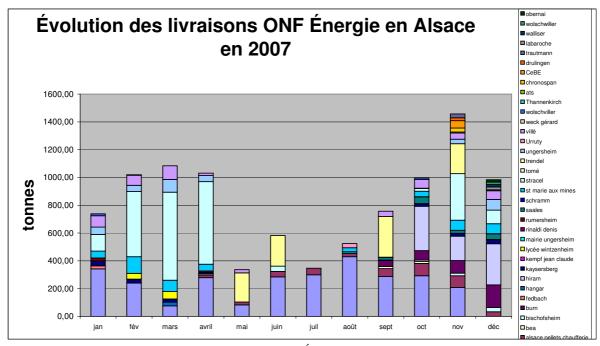


Figure 13: activité d'ONF Énergie en Alsace en 2007

L'Alsace est la région où l'activité d'ONF Énergie s'est le plus développée avec une dizaine de contrats signés. Comme le montre la figure 13 en 2007, 10 000 t de plaquettes ont été commercialisées soit 22 % du tonnage de la filiale. Les contrats portent aussi bien sur des chaufferies industrielles (43 mégawatts) que des petites chaufferies collectives d'une puissance de 250 kW voire des chaufferies de particuliers. ONF Énergie vend également des plaquettes à des particuliers qui peuvent charger le matériau directement sur l'une des deux plates-formes de stockage.

L'activité en Alsace est clairement tournée vers le bassin rhénan avec des contrats signés en Allemagne (environ 1 000 t) et des perspectives en Suisse. La livraison à des chaufferies industrielles ou à certains négociants permet de garantir une activité tout au long de l'année.

4. Étude des coûts de mobilisation bord de route du bois énergie dans les chantiers mixtes en Alsace

Le but du présent chapitre est de fournir à la direction territoriale Alsace de l'ONF des éléments pour un référentiel en matière d'exploitation de bois énergie : quelle ressource à quel coût ?

4.1. Problématique

4.1.1. Quelle ressource pour le bois énergie ?

Des ressources potentielles pour le BE ont été proposées au paragraphe 2.4. Elles peuvent être classées en trois catégories.

Les ressources où le bois énergie est un coproduit d'opportunité (chantiers mixtes)

Dans cette catégorie, le chantier est motivé par la récolte de BO ou de BI. Le BE n'est qu'un coproduit. Celui-ci peut être transportable sur grumier ou non :

- bois énergie transportable par grumier :
 - les billons mitraillés,
 - les purges (pied, dorges, bosses de gui, etc.) des exploitations traditionnelles après débardage en toute longueur des arbres et façonnage sur le chemin forestier,
 - les perchis scolytés ou totalement écorcés inutilisables en bois matériau,
 - les invendus et bois abandonnés ayant fait l'objet d'une résolution de vente et trop dépréciés pour une valorisation industrielle.
- bois énergie non transportable par grumier :
 - les surbilles et grosses branches de bois tendres ou non recherchés pour le chauffage en bûches ou la trituration (peupliers, trembles, saules),
 - les houppiers lors d'une coupe rase, les houppiers issus des coupes à câble-mât sous réserve de compatibilité avec les préconisations de préservation des sols,
 - les houppiers et surbilles des arbres situés en bordures de routes et de chemins forestiers carrossables. Ceci favorise l'éclairement des chaussées et les lisières internes.

Les ressources où le bois énergie est le produit principal

Ici, le chantier n'est pas réalisé pour récolter du BO ou du BI. Souvent le chantier est assimilé à un chantier de travaux et dans l'esprit du propriétaire il n'est pas rentable en soi. Le BE est alors une source de revenu complémentaire, le bois n'étant pas valorisable en tant que BO ou BI. Il s'agit notamment :

- des arbres de ripisylve (notamment les perchis) dans le cadre d'une politique de restauration de la richesse écologique,
- des produits d'éclaircie précommerciale ou de détourage, non valorisables en bûches ou en BI,
- les rémanents de taille, d'élagage et d'abattage d'arbres hors forêt ou sur des emprises diverses (lignes électriques et téléphoniques, création de voirie, etc.).

Les taillis

Ils occupent dans cette classification une place particulière. Le chantier est réalisé uniquement pour faire du BE. Là, le chantier doit être rentable.

4.1.2. Particularité des chantiers mixtes : notion de surcoût

Les chantiers mixtes

La plupart des chantiers d'exploitation forestière donnent lieu à la fabrication de plusieurs produits : grume destinée au sciage, bois pour la fabrication de palettes ou valorisation énergétique. Compte tenu du développement du bois énergie et afin d'optimiser au mieux l'économie des chantiers, l'ONF souhaite connaître les coûts relatifs à la mobilisation du BE dans le cas des chantiers mixtes. Ainsi, sur une même parcelle, quel est le coût de mobilisation d'un mètre cube de BE comparé à celui du BO et à celui du BI ?

En effet, il est relativement facile de connaître les coûts d'un chantier où tout le bois est valorisé comme BE. En revanche, dans le cas des chantiers mixtes, la question de l'affectation des coûts en fonction du type de produit se pose très rapidement.

La mobilisation de bois énergie participe aux objectifs nationaux de l'ONF que sont l'augmentation du volume mobilisé et la politique en faveur de la biomasse. Néanmoins, la récolte de BE ne doit pas dégrader la marge brute de chaque chantier et doit donc être payée à son juste coût de revient. En effet, actuellement les bûcherons ou débardeurs, lors de la réalisation de BE, ont tendance à facturer le même prix de mobilisation que pour le bois d'œuvre ou le bois d'industrie. Ceci ne reflète pas le coût de revient réel et constitue un handicap au développement de la filière.

Scénario de référence

Dans le cas des chantiers mixtes, le scénario de référence est toujours la récolte du BO et ou de BI. La ressource pouvant être valorisée en BE reste sur coupe. La récolte de BE génère donc essentiellement des surcoûts de travail. Si la quantité de travail augmente, pour l'ONF, le BE ne nécessite pas d'investissement particulier. Par ailleurs, on a pris l'hypothèse que les coûts horaires des machines sont les mêmes, qu'elles réalisent du BO, du BI ou du BE. La réalisation de BE n'entraîne pas une usure différente du matériel. De même, il n'y a pas d'intrants spécifiques.

En termes de substitution, la réalisation de BE entraîne parfois l'occupation des places de dépôt *a priori* construites pour le BO ou le BI. Sur les chantiers qui ont été suivis finement dans le cadre de ce mémoire, cette substitution n'a pas pu être quantifiée d'un point de vue financier car le BE n'a pas été stocké sur des places dédiées. D'ailleurs, il n'est pas certain que cela ait un véritable impact financier, ces places étant le plus souvent vides.

4.2. Méthodologie générale

4.2.1. Pourquoi des chantiers tests?

Dans la littérature, de nombreux résultats existent pour des chantiers tests où l'intégralité du bois est valorisé comme BE. En revanche, on trouve peu d'information sur les chantiers mixtes.

Nous avons donc suivi en détail plusieurs chantiers tests sur lesquels le surcoût (et donc le coût de revient) généré par la réalisation de BE a été quantifié. Ceci implique une décomposition des opérations élémentaires réalisée par le travailleur. Les opérations supplémentaires affectées au BE dépendent fortement du mode d'exploitation et du type de ressource mobilisé.

Au-delà de la simple valeur numérique que l'on calculera, les chantiers permettront également de connaître les ressources de BE les plus facilement mobilisables ou les techniques d'exploitation les plus adaptées à la mobilisation du BE.

4.2.2. Critère de choix des chantiers

Les deux principaux critères qui influent sur le coût de mobilisation de bois sont

- le mode d'exploitation (mode d'abattage et mode de débardage),
- l'environnement du site (pente, zone humide, réseau routier).

De nombreux autres facteurs peuvent également influencer le coût de revient comme le type de peuplement (perchis dense ou peuplement mûr avant la coupe définitive) ou l'intensité du prélèvement en BE. Ce paramètre n'a pas pu être pris en compte de façon directe, néanmoins, en fonction de l'âge du peuplement on passera d'une récolte mécanisée à un abattage manuel compte tenu du diamètre moyen escompté. Il y a donc un lien entre le mode d'exploitation et le type de peuplement.

Enfin, des contraintes de calendrier pesaient sur ces chantiers puisqu'ils devaient avoir lieu pendant la période de recueil de données de cette étude (entre début avril et fin juin). Ceci n'est pas optimal pour la réalisation des coupes car le bois est en sève. Il a été envisagé de sous-traiter la prise de données à un stagiaire ou à un apprenti bûcheron pour prendre ces mesures en dehors de cette période ou assurer le suivi précis de plusieurs chantiers en simultané. Il a été décidé d'y renoncer pour deux raisons. La détermination des surcoûts et des temps de travail supplémentaire est liée au mode opératoire différent pour chaque chantier. Il a fallu bâtir un nouveau protocole de prise de données pour chaque chantier. Il n'y avait donc pas de généralisation possible. Enfin et surtout, l'analyse quantitative des chantiers se doublait d'une analyse qualitative qu'il n'était pas possible de soustraiter.

Pour finir, la durée du stage a rarement permis d'aller jusqu'à la fabrication de la plaquette. Sauf pour l'un des chantiers, l'étude s'est arrêtée aux coûts de mobilisation bord de route de la biomasse. Celle-ci ressuie en forêt ou est transportée sur une plate-forme de stockage mais n'est pas encore transformée en plaquette à la date de rédaction du mémoire.

4.2.3. Présentation générale des chantiers tests

Compte tenu des contraintes évoquées précédemment, cinq chantiers ont pu être analysés en détail. Ils couvrent des situations très différentes :

- exploitation à l'abatteuse et au porteur dans un petit bois et réalisation de BE en billons,
- exploitation au câble-mât et mobilisation de BE de type purge et houppier,
- abattage traditionnel, débardage au câble, tri des produits avec un grappin billonneur et mobilisation de BE de type purge ou grumes complètes (épicéas secs ou scolytés),
- travaux d'ouverture d'une grande emprise (18 ha) à l'abatteuse et au porteur. L'intégralité du bois a été transformé en plaquettes. Ce chantier n'est donc pas un chantier mixte mais il a paru intéressant de l'étudier pour analyser la notion d'« effet d'échelle » fréquemment avancée,
- un dernier chantier a permis d'étudier deux coupes définitives d'une surface inférieure à un hectare sans présence de semis. Une découpe fin bout a été réalisée à 15 cm. La cime (diamètre inférieur à 15 cm) a été transformée en plaquettes. Ce chantier était déjà terminé au début du stage mais les données existantes ont permis de calculer le coût de revient du bois énergie. Le scénario de référence y est un peu différent.

Ces chantiers couvrent les différents modes d'exploitation mais ne concernent pas les différents types d'environnement. Il manque notamment un chantier de plaine. De même, en termes de peuplement, aucun chantier mixte n'a été suivi dans du taillis ou du taillis sous futaie.

4.2.4. Protocole général des mesures

Pour chaque chantier, les temps mis pour l'abattage, la vidange et le cubage ont été chronométrés en essayant de séparer les temps affectés au BE de ceux affectés au BI et au BO. Cette estimation du temps sert de base au calcul de coût de revient. Parallèlement, les volumes de chaque catégorie de bois ont été estimés afin de proposer un coût de revient au m³ mobilisé et ce par catégorie de produit.

Pour trois chantiers, deux niveaux de mesures ont été réalisés :

Mesures globales. L'entreprise a noté le nombre d'heures de travail ainsi que la nature de l'activité par grande catégorie (préparation de chantier, abattage, débardage, cubage). Parallèlement, le volume mobilisé par catégorie de produit (BO, BI, BE) a été quantifié ;

- Mesures détaillées. Pendant une partie du chantier, le temps mis pour chaque opération élémentaire a été chronométré :
 - bûcheronnage (temps d'abattage, de façonnage, de démontage du houppier s'il y a lieu),
 - débardage (chargement, sortie de l'arbre de la parcelle, déchargement),
 - rangement des produits sur le chemin,
 - cubage.

Ce protocole de mesure a été préféré à celui proposé par le programme de recherche REGIX (*cf.* 2.8). En effet, REGIX a été conçu pour des chantiers mono-produits et a donc une approche beaucoup plus globale. La ventilation des temps de bûcheronnage n'est par exemple pas pris en compte.

4.3. Présentation des résultats des cinq chantiers tests

4.3.1. Aperçu global

Le tableau 13 donne une première indication de la variété des situations rencontrées dans les chantiers tests. En termes de volume, la part de BE mobilisé va de 16 à 100 %. De même, l'intensité de prélèvement de bois énergie passe de 7 à 165 m³/ha.

Chantier	Surface parcourue en ha	Volume total mobilisé en m ³	Volume de BE en m ³	Part du BE en %	Intensité de la coupe de BE en m³/ha
Abattage mécanisé et vidange au porteur	22,3	1031,8	743,1	72	33
Câble-mât	14,0	600,0	95,0	16	7
Abattage traditionnel, débardage au câble et utilisation du grappin billonneur	9,0	393,8	104,2	26	12
Coupe définitive avant transformation	1,3	329,6	145,0	44	111
Ouverture de grande emprise	18,9	3 130,0	3 130,0	100	165

Tableau 13 : Données générales sur les chantiers tests

Ces chantiers ne sont pas statistiquement représentatifs des forêts gérés par l'ONF. Toutefois, dans le cas des chantiers mixtes, on constate que la part de BE comme coproduit n'est pas négligeable en volume puisqu'elle représente toujours plus de 15 %. Chaque chantier est présenté dans l'une des annexes n^{os} 4 à 8.

4.3.2. Chantier à l'abatteuse et vidange au porteur

Sur ce chantier, l'abattage, l'ébranchage et le façonnage en billons ont été réalisés à l'abatteuse. Les houppiers et autres rémanents ont été abandonnés sur coupe. Les billons ont été vidangés au porteur. Trois types de billons ont été réalisés :

- des billons de résineux de longueur 2,5 m valorisés en palettes,
- des billons de résineux de longueur 4 m (longueur minimale 2 m) valorisés en BE,
- des billons de feuillus de longueur 4 m qui seront vendus à des particuliers comme bois de chauffage.

D (1

Ce chantier n'a pas permis d'identifier un surcoût ou un « sous-coût » pour le bois énergie de type billon. En revanche, trois éléments méritent d'être soulignés :

- pour le BE, il convient de faire les billons les plus longs possible (5 à 6 m) car leur volume unitaire est en général faible. Pour pouvoir transporter le même volume sur le porteur, il faut donc des billons plus longs ;
- la réalisation de billons est coûteuse en temps d'abattage. Le billon de BE ne devrait donc pas être ébranché et il ne faudrait pas le séparer de son houppier. Ceci risque néanmoins de diminuer le rendement du porteur. Ceci n'a pas pu être quantifié sur ce chantier ;
- le coût de la vidange est expliqué à plus de 85 % par l'intensité du prélèvement en m³/ha.

Toutes les données relatives à ce chantier ainsi qu'une analyse détaillée peuvent être consultées en annexe n° 4.

4.3.3. Chantier au câble-mât

Sur ce chantier, l'abattage a été réalisé de façon manuelle, l'arbre a été débardé dans son intégralité à l'aide du câble-mât. Il a été façonné, par une tête d'abattage montée sur la grue du camion, en 3 produits :

- les feuillus de mauvaise qualité façonnés en long pour en faire du bois de chauffage en stères,
- les feuillus et résineux de qualité moyenne seront valorisés sous forme de palette,
- du bois énergie composé :
 - de grumes de résineux de mauvaise qualité et de diamètre médian inférieur à 25 cm,
 - de purges de pied (longueur minimale de 2 m), de zones malades,
 - de houppiers. Après une découpe fin bout vers 14 cm, il n'y a plus d'ébranchage pour diminuer les coûts.

L'étude du chantier a permis de montrer que le coût de mobilisation de ces trois types de BE est très différent. Ainsi, ce mode d'exploitation permet de valoriser :

- les grumes complètes (arbres secs) à un coût comparable au BO,
- les bois ronds de type purges à un coût moindre,
- le houppier et les branches à un coût nul.

En raisonnant à coût de chantier constant, les prix de vente figurant dans le tableau 14 peuvent être proposés. Ils sont représentatifs des temps de travail affectés à chaque type de bois.

Type de bois	Prix de vente pratiqué	Nouveau prix de vente		
	(en €/m³)	proposé (en €/m³)		
BO et feuillus	34	35 à 36		
BE de type grume	34	35 à 36		
BE de type purge	20	4		
BE de type houppier	0	0		

Tableau 14 : Proposition de nouvelle grille tarifaire pour le BE mobilisé au câble-mât

Par ailleurs au plan qualitatif, deux points méritent d'être soulignés.

Pour faciliter la fabrication des plaquettes forestières, il convient de ne pas ébrancher les houppiers. De même, l'idéal serait de faire un tas avec la cime côté parcelle et le côté découpé à 14 cm orienté vers le chemin. La prise de la biomasse par la grue du déchiqueteur sera plus aisée.

Ce type de chantier nécessite une bonne gestion des flux de grumier. En effet, toute la quantité de bois mobilisée ne peut pas être stockée dans le rayon de la grue et il est donc nécessaire d'assurer une évacuation continue des grumes. La bonne coordination avec le conducteur du grumier chargé du transport du bois est capitale.

Toutes les données relatives à ce chantier ainsi qu'une analyse détaillée peuvent être consultées en annexe n° 5.

4.3.4. Chantier avec abattage traditionnel et avec grappin billonneur

Sur ce chantier, l'abattage et l'ébranchage ont été réalisés de façon manuelle jusqu'à un diamètre fin bout de 14 à 16 cm. Le houppier a été démonté et est resté sur coupe. La grume a été débardée en long à l'aide d'un skidder à câble qui circule sur le chemin forestier. À l'aide du grappin billonneur, la grume a été découpée en fonction de sa qualité et les produits ont été triés et mis en tas à l'aide du grappin. Parmi les produits, on a donc :

- des grumes de feuillus qui seront valorisées en stères (bois bûche),
- des résineux qui sont destinés :
 - au sciage pour les arbres de qualité moyenne (classe B ou C) et de diamètre médian supérieur à 25 cm (conditionnement en longueur 16 m, 16 cm de diamètre fin bout),
 - au sciage pour les arbres de moindre qualité (classe D) et de diamètre médian supérieur à 25 cm (conditionnement en billons de 4 m, diamètre 16 cm en fin bout),
 - à la fabrication de palettes pour les arbres de diamètres médians inférieurs à 25 cm,
 - au bois énergie pour les purges, surbilles et les épicéas scolytés secs.

L'analyse de ce chantier a montré qu'une grille de répartition basée sur le volume n'était pas forcément pertinente. Le prix au m³ de mobilisation du BE avec cette technique d'exploitation est inférieur de 50 % à celui du BO. Le bilan de cette analyse conduit à proposer, à coûts d'exploitation constants, les prix de revient (en €/m³) indiqués dans le tableau 15. Au vu des coûts de cubage, pour le BE, un prix à la tonne pourrait être négocié ce qui supprimerait le coût du cubage.

	Prix pratiqués actuellement en €/m³		Proposition de grille tarifaire en €/m ³					
	BE	ВО	BE			ВО		
Bûcheronnage	10	15	4	à	5	15	à	17
Débardage	10	10	5,8	à	6,60	10	à	11,3
Cubage	1,2	1,2	1,5	à	1,68	1,07	à	1,2
Total	21,2	26,2	11,3	à	13,28	26,07	à	29,5
Total €/t fraîche résineuse	24,4	30,1	13	à	15,30	30	à	33,9

Tableau 15 : Proposition de grille tarifaire pour le BE mobilisé avec une exploitation traditionnelle

D'un point de vue plus qualitatif, trois points méritent d'être soulignés.

Certaines purges valorisées comme BE ont un coût de revient plus élevé que d'autres. Si la purge de pied ne nécessite aucune opération complémentaire, l'ébranchage de la cime est coûteux en temps de bûcheron pour un volume beaucoup plus faible que la purge de pied.

La récolte du bois énergie permet d'avoir un meilleur tri de la qualité. En effet, si les purges sont abandonnées sur coupe, les exploitants forestiers ont l'impression de perdre de l'argent s'ils sont payés au m³. Ils auront alors tendance à essayer de faire passer du BE en BI. Si le BE est rémunéré à sa juste valeur, l'exploitant forestier aura tendance à faire un tri plus « honnête » car il est rémunéré pour cette prestation.

Lors du débardage, la valorisation de bois sous forme BE impose la découpe sur le chemin. Ceci permet de sortir des grumes longues qui font moins de dégâts au peuplement que des billons courts.

Toutes les données relatives à ce chantier ainsi qu'une analyse détaillée peuvent être consultées en annexe n° 6.

4.3.5. Chantier de type coupe rase

4.3.5.1. Coupe définitive avant transformation

Ce chantier a consisté à faire deux coupes définitives (0,5 et 0,8 ha) avant transformation (reboisement en douglas en remplacement du sapin pectiné). L'abattage a été manuel. L'ébranchage, également réalisé par le bûcheron, s'est limité à la partie sciable de la grume. La grume et le houppier

ont été débardés avec un skidder à câble. Sur le chemin forestier, à l'aide d'un grappin billonneur, les purges ont été réalisées et le houppier séparé de la grume sciable. Le BE (houppier, purges) a été mis en tas.

Le chantier était déjà terminé avant le début du stage aussi aucune mesure détaillée n'avait été réalisée. Par ailleurs, pour ce chantier, deux scénarios de référence ont été testés pour calculer le surcoût généré par la mobilisation de BE :

- le scénario classique à savoir le BE laissé sur coupe (simple démontage du houppier),
- un scénario spécifique aux coupes suivies de transformation. Le houppier est démonté, laissé sur coupe et mis en andain pour faciliter la plantation.

Le coût de revient du BE bord de route sur ce type de coupe est compris entre

- 1 €/t si l'on compte l'économie réalisée par la non-mise en andain des branches,
- 9 €/t dans les autres cas.

Sachant que les coûts de débardage pour le BE s'élèvent à $10.5 \ \ \ell$ t, le coût de mobilisation du BE peut être assimilé aux coûts de débardage. La différence entre le coût de revient (autour de $9 \ \ \ell$ t) et le prix de vente $(10.5 \ \ \ell)$ t permet de rémunérer le propriétaire pour la valeur de la biomasse. Ces chiffres doivent néanmoins être manipulés avec précautions car la surface du chantier test était très petite.

D'un point de vue plus qualitatif, les deux points suivants méritent d'être soulignés.

La sortie des bois en long avec les houppiers est susceptible de blesser les peuplements en place. Aussi, ce type d'exploitation doit être réservé à des cas particuliers comme les coupes définitives sans présence de semis ou les coupes rases réalisées pour l'ouverture d'une emprise.

Les produits destinés aux BE doivent être placés sur deux tas :

- un tas avec les purges,
- un tas avec les houppiers dont la découpe doit être placée côté chemin et la cime côté parcelle pour faciliter la prise.

Si les volumes le justifient, cela permettra d'utiliser le bon déchiqueteur pour le bon produit. Pour la même raison, ces deux tas doivent être perpendiculaires au chemin ou légèrement de biais. Si cela est possible, ces tas doivent être placés au niveau d'une surlargeur de la route qui fait au moins 7,5 m. Ceci permet de mettre le déchiqueteur et le camion transportant les plaquettes côte à côte ce qui facilite le chargement et la rotation des bennes pleines.

Toutes les données relatives à ce chantier ainsi qu'une analyse détaillée peuvent être consultées en annexe n° 7.

4.3.5.2. Ouverture d'une emprise

Ce chantier a consisté à déboiser intégralement 18,9 ha pour ouvrir l'emprise nécessaire à la future ligne à grande vitesse pour le TGV Est. Compte tenu des délais imposés par le propriétaire, Réseau ferré de France, la seule valorisation possible du bois était la plaquette forestière. Ce n'est donc pas un chantier mixte, néanmoins son étude semblait intéressante pour essayer de quantifier l'effet d'économie d'échelle fréquemment avancé.

Pour ce chantier, des mesures de détail n'ont pas pu être réalisées faute de temps. En revanche, il a été possible de calculer les coûts de revient de la plaquette jusqu'à la livraison chez le client.

L'abattage a été fait essentiellement de façon mécanisée. Les arbres de diamètre supérieur à 60 cm ou situés en bord de route ont été abattus manuellement. Les bois n'ont pas été ébranchés. Ils ont été débardés au porteur jusqu'à l'une des places de dépôt.

Les calculs menés ont montré que le prix de revient du bois livré sur la place de dépôt était relativement élevé et s'établissait à 31 €/m³ de grume. Plusieurs facteurs explicatifs peuvent être avancés :

faute de temps, les contrats passés avec les entreprises l'ont été sur la base d'un coût horaire (travail quasiment en régie). Une négociation plus serrée aurait permis d'obtenir des prix au

rendement (au m³, à la tonne) qui auraient peut-être permis d'optimiser le bilan financier du chantier :

de l'avis même des agents de l'ONF, l'ampleur du chantier a été sous-estimée et la préparation a été trop légère. Ceci aurait peut-être permis d'optimiser également l'exploitation.

Pour la fabrication de plaquettes, les coûts de fabrication et de livraison sont très compétitifs et comparables à la moyenne annuelle d'ONF Énergie. Mais ceci n'a pas permis de rattraper les frais d'exploitation élevés.

En conclusion, au vu des coûts de revient calculés, ce chantier n'a donc pas permis d'identifier une « économie d'échelle » qui aurait permis de faire baisser significativement le coût de mobilisation du bois bord de route. Enfin, ce chantier n'a pas été rentable par la seule vente de bois énergie, les frais d'exploitation et de fabrication de la plaquette étant trop importants.

Toutes les données relatives à ce chantier ainsi qu'une analyse détaillée peuvent être consultées en annexe n° 8.

4.4. Discussion

La partie relative aux propositions tirées de l'analyse de ces chantiers sera développée au chapitre 7. Il convient toutefois d'apporter dès maintenant quelques remarques.

Limite de la méthode des chantiers tests

En premier lieu, rappelons que les résultats numériques sont intimement liés à la parcelle et difficilement transposables *stricto sensu*. Néanmoins certains ordres de grandeur restent et c'est bien cela qui peut être exploité.

En second lieu, rappelons qu'il manque un chantier mixte dans un peuplement de type taillis où les volumes unitaires sont plus faibles. Ceci aurait mérité d'être analysé.

Pour finir, certains coûts d'opportunité n'ont pas pu être quantifiés. Il s'agit notamment des coûts de stockage en bord de route du BE qui occupe un espace. Celui-ci aurait pu être utilisé différemment. C'est particulièrement vrai dans le cas d'aires de stockage construites à cet effet.

Points communs à l'ensemble des chantiers

Un certains nombre de conclusions communes à tous ces chantiers peuvent néanmoins être tirées.

D'abord, on peut s'interroger sur l'opportunité de cuber en forêt le volume de BE. En effet, au regard du coût de la biomasse, le temps passé au cubage (et les coûts induits) semble superflu. Une rémunération à la tonne serait à préconiser.

Ensuite, le bois énergie doit avoir un coût de mobilisation faible. Il convient d'éviter au maximum tout travail manuel. Ainsi, le façonnage, s'il est nécessaire, doit être limité au strict minimum et doit être réalisé si possible sur le chemin forestier où les conditions de travail et les rendements sont nettement meilleurs que dans une parcelle en pente.

Enfin, sur chaque chantier, il convient de vérifier qu'une quantité minimale de bois énergie sera mobilisée. Pour un grand massif forestier où il sera possible de grouper des chantiers de déchiquetage, chaque exploitation doit permettre de remplir au moins deux conteneurs de 35 MAP chacun soit un volume sur pied minimal d'environ 25 m³. Dans le cas d'une forêt isolée, ce volume est porté à environ 80 m³ pour occuper le déchiqueteur pendant au moins une journée. Dans le cas de chantiers spécifiques réalisés uniquement en vue de produire du BE, la littérature donne également un critère supplémentaire de récolte de 30 m³/ha au minimum [1].

Conclusion sur les coûts

Ces chantiers ont permis de montrer qu'il existe des ressources de type coproduit dont le prix de mobilisation est compris entre 0 et 12 €/t fraîche selon le type de biomasse (houppier, bois rond). À cela, il convient de rajouter la valeur de la biomasse pour fournir une rémunération au propriétaire (5 €/t pour le bois rond), soit un prix de vente bord de route aux alentours de 17 €/t. Nous verrons au chapitre 5 dans quelle mesure ce coût est supportable par ONF Énergie.

Le plus difficile reste à venir puisque cette nouvelle grille tarifaire doit être discutée avec les exploitants forestiers, qui dans leur immense majorité ont tendance à facturer le même prix au m³ bord de route que cela soit du BE, du BI ou du BO.

Approche des difficultés et de la qualité de l'exploitation

Au-delà de la plaquette forestière, le suivi de ces chantiers m'a permis de discuter avec un grand nombre d'exploitants forestiers et de comprendre les difficultés d'exploitation. J'ai ainsi été surpris par la quantité d'électronique embarquée dans une abatteuse et qui en fait un équipement très fragile.

Ces chantiers m'ont également permis de comprendre ce qui fait la qualité d'une bonne exploitation comme par exemple la largeur des cloisonnements (*cf.* annexe 4).

Memoire de fin d'études de Raphael Wisselmann	Etude technico-economique de la filiere plaquette forestier

5. Étude d'une plate-forme de stockage de plaquettes forestières

Le deuxième volet du stage s'intéresse au coût de fabrication de la plaquette. Nous avons vu au chapitre 2 qu'il y avait plusieurs filières logistiques possibles. Plusieurs d'entre elles prévoient le passage par un site de stockage ou de séchage. À ce jour, il existe très peu de données sur les conséquences financières d'un passage par un tel site. Le but du présent chapitre est d'étudier en détail ce type de filière en analysant plus particulièrement une plate-forme de stockage gérée par ONF Énergie.

5.1. Présentation du site

ONF Énergie dispose à l'heure actuelle de deux plates-formes en Alsace. La plus grande d'entre elles est située sur le ban de la commune de Bennwihr (Haut-Rhin). En 2007, 6000 t, soit 13 % du tonnage national d'ONF Énergie, ont transité par cette plate-forme. Celle-ci joue donc un rôle majeur pour la société.

5.1.1. Installation existante

Situation

La plate-forme est située au lieu dit « Bennwihr-gare », à 3 km au nord de Colmar comme indiqué sur la figure 14. Cette position est stratégique compte tenu de sa proximité (moins de 1 km) de l'autoroute A 35, la colonne vertébrale alsacienne. Bennwihr se trouve également au débouché des vallées de la Fecht et de la Weiss. Au fond de ces vallées fortement boisées se trouvent deux des plus importants cols vosgiens, le Bonhomme et la Schlucht. D'un point de vue climatique, Bennwihr se situe dans l'une des zones les moins arrosées de France avec une pluviométrie annuelle inférieure à 550 mm.

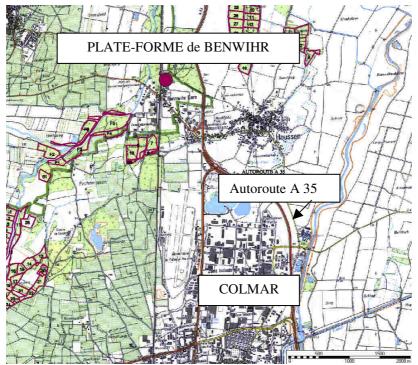


Figure 14: Plan de situation de la plate-forme de Bennwihr (Haut-Rhin)

Le site est attenant au sud à une scierie, au nord à un cours d'eau, à l'est à la voie ferrée Strasbourg-Bâle, à l'ouest à une voirie communale. La voirie permet d'accéder à un parc botanique de 35 ha, le parc de Schoppenwihr situé de l'autre côté du cours d'eau.

Description de la plate-forme et de ses équipements

La plate-forme s'étend actuellement sur une surface totale de 1,52 ha dont environ 1600 m² sont couverts par un auvent et un hangar comme le montre la photographie 6. Une petite partie de la surface de stockage extérieure est bétonnée.



Photographie 6 : Vue de l'auvent, de la zone de stockage extérieure de Bennwihr et du chargeur (source : Raphaël Wisselmann)

En termes de viabilisation, les branchements aux différents réseaux (électricité, téléphonie, eaux potable et usées) n'ont pas été réalisés. Il n'y a aucun local fermé et chauffé pouvant servir de bureau. Ceci explique également un loyer particulièrement modeste de 1500 €/mois.

En termes d'équipements techniques, le site n'est pas équipé d'une balance. Les grumiers ou les camions à fond mouvant sont pesés chez une entreprise de démolition située à 15 min en camion de la plate-forme. En revanche, ONF Énergie a loué un chargeur pour pouvoir remplir les semi-remorques de fond mouvant. Il sert également au quotidien pour mettre les plaquettes en tas, nettoyer le site, effectuer de petits transports. Ce chargeur est conduit par un personnel de l'ONF rémunéré par ONF Énergie et également chargé de l'entretien du site et de la réception des matériaux. ONF Énergie a également acquis un outil capable de mesurer le taux d'humidité et surnommé le « seau autrichien » ou « Hackschnitzel-Feuchtemesser FS_3 Biomasse ». Cet équipement représenté à la photographie 7 est produit par la société autrichienne Messtechnik Schaller. On trouvera plus d'informations à l'adresse suivante : www.support.schaller-gmbh.at/fr/fs 3bio.php.



Photographie 7 : Équipement servant à mesurer le taux d'humidité. Le bloc-notes mesure 31 cm (source : Raphaël Wisselmann)

Pour finir, le site n'est pas clos ce qui laisse peser un risque de vandalisme ou d'incendie. Des traces de petits feux ont déjà été découvertes sur un tas de plaquettes.

Historique

Le site a été loué dès juin 2006 compte tenu de sa proximité avec un important client d'alors. À l'origine, la plate-forme faisait partie de la scierie Haas. Le hangar était d'ailleurs utilisé par cette entreprise pour le sciage de ses gros bois et les zones de stockage extérieures servaient à entreposer des avivés. En 2006, la scierie Haas a cessé son activité. Une partie de la scierie (banc de scie des petits bois) a été louée à un scieur local. La zone de stockage extérieure a été louée à ONF Énergie. Entre 2006 et début 2008, les besoins d'ONF Énergie ont augmenté si bien que M. Haas a démoli le banc de scie des gros bois et a loué l'intégralité de ce hangar à ONF Énergie.

Réglementation

La plate-forme de Bennwihr relève de la réglementation des installations classées au titre de la protection de l'environnement (rubrique n° 1530). Elle est donc soumise à déclaration. À ce jour, le dossier de déclaration est en cours d'élaboration.

Le site se situe en zone inondable par débordement en cas de crue centennale de la Fecht. La hauteur d'eau serait inférieure à 50 cm d'eau d'après le plan de prévention des risques inondation de la Fecht.

Perspectives

La brève description de l'existant révèle que le site est opérationnel mais extrêmement fragile aussi bien d'un point de vue réglementaire que technique. Il nécessitera assurément des investissements que nous présenterons au chapitre 7.

En terme d'agrandissement, les perspectives sont extrêmement minces au vu des limites physiques (voie ferrée, cours d'eau, route communale). La scierie voisine à la santé économique fragile est la seule possibilité.

5.1.2. Fonctions du site

Stockage

Le site est à même de recevoir des bois ronds (grumes, billons mitraillés, purges de pied, surbilles), des plaquettes et des produits connexes de scierie (dosses). Ceci représentait fin 2007 environ 2 600 t de bois.

La plate-forme permet également de constituer des stocks tampons de plaquettes. Ceux-ci peuvent avoir deux fonctions

- stock de sécurité dans le cas d'une rupture de la chaîne d'approvisionnement en flux tendu,
- stock tampon dans le cas où une chaufferie n'aurait pas de capacité de stockage suffisante. En effet, un chantier de fabrication de plaquettes pourrait, en fonction de sa localisation et du type de biomasse, fournir un produit particulièrement adapté à une chaufferie donnée. Il pourrait alors être intéressant d'approvisionner celle-ci en flux tendu sous réserve qu'elle dispose d'une capacité de stockage suffisante. Le cas échéant, un passage par la plate-forme est nécessaire.

Fabrication de plaquettes

Les bois ronds sont broyés sur le site à l'aide de déchiqueteurs mobiles loués à cet effet comme l'illustrent les photographies ci-dessous. En fonction de la nature du matériau, un déchiqueteur plus ou moins puissant est loué. Il permet de fabriquer différentes qualités de plaquette en fonction de la taille de la maille choisie. Les photographies ci-dessous montrent des déchiqueteurs de 320 à 600 CV à l'œuvre.



Photographies 8 : Déchiqueteurs en activité sur la plate-forme de Bennwihr (source : Raphaël Wisselmann)

Séchage

S'il y a lieu, les plaquettes peuvent être séchées. Deux méthodes sont utilisées.

On stocke simplement les plaquettes sous le hangar ou l'auvent. Les murs du hangar s'arrêtent à environ 1 m sous la sablière ce qui permet un courant d'air continu. Les plaquettes y sont stockées au moins 2 mois ce qui permet de faire passer leur taux d'humidité de 35 ou 40 % à un taux compris entre 25 et 30 %. Environ 5 000 MAP peuvent ainsi être stockées sous ce hangar. Ce système est réservé en priorité aux plaquettes utilisées par les petites chaufferies.

On stocke les plaquettes en tas de 1 000 MAP à l'extérieur. Ceci nécessite de bien mélanger de la plaquette issue de dosse avec de la plaquette contenant de la matière fermentescible (écorce ou aiguilles ou feuilles). À ce jour, il n'existe pas de préconisation technique sur la forme du tas ou la nature du mélange. C'est là qu'intervient le savoir-faire du gestionnaire. Ces tas sont laissés là pendant 4 à 6 mois. Il se forme à l'extérieur du tas une croûte humide d'environ 50 cm d'épaisseur, l'intérieur du tas a séché et le taux d'humidité y atteint *in fine* environ 30 %. Compte tenu de la pluviométrie, il n'est pas nécessaire de couvrir les tas avec une bâche. Lors du rechargement, il convient de veiller à ne pas charger la croûte humide qui sera perdue. Environ un quart des zones extérieures sont sur un sol bétonné ou recouvert d'enrobé. Ceci garantit l'absence de corps étranger dans les plaquettes stockées sur ces zones. Pour les autres zones, on sacrifie une couche de 50 cm de plaquettes que l'on laisse au sol. C'est plutôt la plaquette destinée aux chaufferies de tailles moyennes qui est stockée à l'extérieur.

Les produits disponibles à Bennwihr

On retrouve à Bennwihr les trois catégories de plaquettes identifiées pour les différents types de chaufferies (*cf.* typologie des chaufferies et filières au 2.5).

- la plaquette adaptée aux petites chaufferies et séchée à 25 à 30 % de taux d'humidité, calibrée très strictement.
- la plaquette adaptée aux chaufferies de taille moyenne et séchée à 25 à 30 % de taux d'humidité. Elle est calibrée moins finement, et contient moins de fines qui peuvent encrasser les filtres. Des morceaux grossiers de 10 à 15 cm de long peuvent être présents mais ceci ne pose pas de problème aux dispositifs d'alimentation ;
- la plaquette adaptée aux chaufferies industrielles de granulométrie moins homogène et avec un taux d'humidité pouvant aller jusqu'à 40 à 45 %. Il est cependant souhaitable que le produit ne comporte pas plus de 5 % de fines compte tenu des normes de rejets des chaufferies industrielles. les deux précédentes plaquettes peuvent être utilisées par les chaufferies industrielles mais cela ne serait économiquement pas viable. Les plaquettes destinées aux grandes chaufferies ne transitent

en général pas par une plate-forme (sauf en cas de nécessité de stock tampon). Ce type de produit est également utilisé à Bennwihr pour réaliser des mélanges de plaquettes et permettre la fermentation en tas.

5.2. Problématique

Après avoir vu l'importance du site de stockage, penchons-nous sur la gestion du site.

5.2.1. Une comptabilité analytique inexistante

Aspects comptables

Actuellement, les produits qui transitent par Bennwihr servent à alimenter plusieurs chaufferies sur plusieurs contrats. Du point de vue des recettes, il est très facile d'affecter à chaque contrat les ventes de plaquette correspondantes. On sait précisément chaque mois quelle quantité a été livrée puisque chaque camion est pesé après chargement et une mesure du taux d'humidité est réalisée.

Pour les dépenses, il n'est pas possible d'affecter certaines factures d'achat de bois à certains contrats. La plate-forme est assimilée à un centre de dépenses, c'est-à-dire que toute facture en lien avec des produits qui transiteront par Bennwihr sera affectée à la plate-forme. Aucune traçabilité des dépenses n'est donc possible.

Nature des dépenses imputées à la plate-forme

La plus grande part des dépenses est l'achat de matière première. Celle-ci peut être achetée sur pied, bord de route ou livrée à la plate-forme (billons mitraillés, produits connexes de scierie).

Parallèlement, il n'existe pas une seule unité d'achat, bien au contraire. Le bois acheté peut être payé au m³, à la tonne (sans taux d'humidité), voire au MAP dans le cas de plaquette de scierie.

Les autres dépenses sont les coûts de transport de la biomasse vers la plate-forme, de livraison au client ou de déchiquetage. Ces prestations sont rémunérées à l'heure, au MAP, à la tonne, voire au forfait. Une même entreprise peut réaliser deux types de prestations.

Enfin, les autres dépenses couvrent les frais de personnel, les petits équipements (mesure d'humidité), les frais de pesée, d'écorçage, etc.

Flux matière entrant à la plate-forme

Il n'existe pas une seule unité de matière entrant sur le site. En effet, la biomasse est achetée dans diverses unités et le flux entrant dans la plate-forme n'est pas mesuré. C'est la facture et l'unité retenue par le propriétaire de la biomasse qui sert à déterminer les quantités.

Pour finir, les tonnes, les m³ ou les MAP ne sont pas constants au cours du temps. En effet, le taux d'humidité varie entre le moment où le bois est coupé et le moment où la plaquette est vendue. Quand on achète une tonne de bois frais, on ne revend que la moitié de la tonne, le reste s'est évaporé!

Tout ces points expliquent qu'une comptabilité analytique par contrat n'est pas possible. En revanche, ONF Énergie souhaiterait pouvoir disposer d'un outil permettant d'avoir une vision globale, même *a posteriori*, des coûts de revient de la filière plaquette forestière transitant par la plate-forme et de connaître en temps réel l'état des stocks.

5.2.2. Les besoins d'ONF Énergie

L'objectif est:

- d'établir le coût moyen de la plaquette forestière qui transite par la plate-forme et d'identifier les principaux postes de coûts. Cette analyse sera développée à partir des données du premier exercice comptable de la filiale (juin 2006 à décembre 2007);
- de développer à cette occasion un outil informatique capable d'évaluer le stock matière disponible en valeur monétaire et en quantité. On comparera le résultat obtenu à l'état du stock mesuré de façon empirique au 31 décembre 2007.

5.3. Méthodologie

5.3.1. Généralités

Pour calculer le prix de revient de la plaquette forestière, les principes suivants ont été retenus :

- chacune des 447 factures de l'exercice a été imputée à l'un des grands postes de coûts (achat de la biomasse bord de route, transport du bois bord de route à la plate-forme, déchiquetage, livraison de la plaquette au client, frais de personnels, frais liés à la plate-forme, frais affectables à un contrat). Le cas des factures comprenant deux postes de coût est détaillé ci-dessous ;
- une unité commune a été retenue : le mégawatt-heure. En effet, les autres unités utilisées (MAP, tonnes, m³) ne sont pas stables dans le temps et ne correspondent pas à ce qui est vendu. ONF Énergie vend de l'énergie et non pas un volume de bois ;
- enfin, pour pouvoir faire un calcul de stock, il a fallu identifier l'emplacement de chaque matériau au 31 décembre 2007. Ceci a été fait à l'aide d'un technicien de l'ONF qui suit la biomasse. Celleci peut-être soit en forêt, soit transportée au hangar soit livrée au client. Il a été fait de même pour les billons mitraillés, les dosses et les achats de bois long (livré au client ou en stock au hangar).

Toutes des données ont été saisies dans un tableau excel à 447 lignes. Pour chaque ligne, on a calculé le nombre de mégawatts-heures correspondant à la biomasse. Les coefficients de passage sont explicités ci-dessous. Pour tenir compte du taux d'humidité de la biomasse, des coefficients différents ont par exemple été utilisés pour le bois en forêt et les plaquettes de scieries achetées.

5.3.2. Les différents postes du coût de revient de la plaquette forestière

5.3.2.1. Achat de la biomasse bord de route

Pour apprécier la part de la biomasse dans le coût de revient et pour évaluer le stock, on a, pour chaque facture d'achat de biomasse payée par ONF Énergie, estimé le nombre de mégawatts-heures. Pour ce faire, on l'a réparti dans les différentes catégories définies ci-dessous.

1^{ère} modalité. Achat de plaquettes de scierie. Elles sont achetées à la tonne ou au MAP. En fonction de la date d'achat, (été, hiver), le taux d'humidité retenu est de 35 ou 50 %. Ces plaquettes sont toutes livrées au client à ce jour. Ceci fait donc quatre possibilités. Pour convertir les tonnes ou les MAP en mégawatts-heures, les calculs ont été menés sur la base de :

- 2,211 MWh/t et 0,33 t/MAP pour les plaquettes à 50 %,
- 3,077 MWh/t et 0,25 t/MAP pour les plaquettes à 35 %.

2^{ème} modalité. Achat de bois à déchiqueter. On distingue :

- les dosses de scierie à 40 % d'humidité (taux moyen annuel),
- les billons mitraillés à 35 % d'humidité car ils ressuient en général plus longtemps,
- les bois longs divers (billons, grumes) achetés en fonction des opportunités auprès de scieurs. Un taux d'humidité de 35 % a été retenu car ils ressuient en général assez longtemps,
- les bois achetés bord de route ou sur pied. Pour réaliser un suivi du stock, les deux critères suivants ont été couplés :
 - les bois des forêts domaniales, communales ou privées.
 - les bois qui se trouvent en forêt, sur la plate-forme ou qui sont déjà livrés.

Pour simplifier, pour chaque catégorie, un taux d'humidité moyen de 40 % a été retenu et les coefficients de conversion suivants ont été utilisés : 0,75 t/m³ (dominante résineuse dans la ressource) et 2,789 MWh/t.

Toutes ces données permettent de calculer une estimation du nombre de kilowatts-heures en stock en forêt, au hangar ou livré au client ainsi que la valeur économique associée.

Les valeurs énergétiques par tonne ou par MAP sont issues de choix faits par l'auteur au sein de valeurs publiées par l'AFOCEL (cf. annexe 3) et l'ADEME [31]. Les taux d'humidité sont basés sur des mesures faites sur le site de Bennwihr lors d'opérations de déchiquetage ou lors de l'arrivée sur

site d'un camion de plaquettes venant d'être déchiquetées en forêt. L'annexe 9 récapitule ces hypothèses sur les taux d'humidité.

5.3.2.2. Transport du bord de route à la plate-forme

Pour estimer la part du transport dans le coût de revient, pour chaque facture de transport payée par ONF Énergie le nombre de mégawatts-heures transportés a été estimé avec l'hypothèse que ce sont les mêmes taux d'humidité que ci-dessus.

5.3.2.3. Déchiquetage

Pour estimer la part du déchiquetage dans le coût de revient, pour chaque facture payée par ONF Énergie le nombre de MWh déchiquetés a été estimé avec les hypothèses suivantes :

- les billons, et autres bois long ont ressuyé avant d'arriver sur la plate-forme et ont un taux d'humidité moyen de 35 % au moment du déchiquetage ;
- les dosses et bois à déchiquetés issus de forêt ont un taux d'humidité de 40 %. Cette valeur offre une marge de sécurité. En effet, des essais ont pu être menés par l'auteur du mémoire sur des bois de type grume ayant séjourné 6 à 8 mois à Bennwihr et les taux d'humidité variaient entre 35 et 40 %.

5.3.2.4. Livraison de la plate-forme au client

Pour estimer la part de la livraison dans le coût de revient, les factures émises par ONF Énergie sur lesquelles figurent les quantités (tonne ou MAP) de plaquettes vendues ont été utilisées. Connaissant les clauses contractuelles du contrat, on connaît le taux d'humidité du produit livré. Ceci permet de calculer un nombre de MWh.

Les frais de pesage rentrent dans cette catégorie puisque tout camion quittant le site est pesé.

5.3.2.5. Frais de personnels

Dans cette catégorie, on retrouve les coûts :

- de l'ouvrier qui assure la gestion quotidienne du site,
- du technicien ONF qui assure le suivi des contrats à l'échelle de l'Alsace,
- du directeur général pour le temps qu'il a passé à la gestion de ces contrats.

5.3.2.6. Frais liés à la plate-forme

Ce sont essentiellement les frais de location de la plate-forme, le chargeur, le petit matériel et le petit entretien.

5.3.2.7. Frais affectables à un contrat

Lorsque certaines factures imputées sur le site étaient affectables à des contrats, elles ont été sorties du calcul. Il s'agit notamment des frais d'écorçage qui étaient spécifiques au contrat avec le fabriquant de granulés.

5.3.3. Le cas des factures mixtes

Certaines factures relevaient de plusieurs des postes de coûts identifiés ci-dessus. On a distingué trois catégories que l'on a ventilées dans les six postes de coûts précités selon les règles suivantes :

- achat à 28 €/t de plaquettes bord de route. On a séparé la part relative à la biomasse de la part déchiquetage selon un ratio suivant : 11 €/t pour le déchiquetage (coût habituellement constaté en forêt) et 17 €/t pour la biomasse ;

- onze factures libellées « transport » sans qu'il soit possible de savoir si c'est de la livraison de plaquette ou de l'acheminement de grumes. Nous avons réparti le montant en fonction des ratios observés sur les 70 factures où l'on a identifié le destinataire (plate-forme ou chaufferie) ;
- achat et livraison de dosses à 35 €/t. La part relative à la biomasse a été séparée de la part livraison selon le ratio suivant : 11 €/t pour le transport (coût habituellement constaté) et 17 €/t pour la biomasse.

5.3.4. Simulation de coût

Pour chaque grand poste, les dépenses ont été divisées par le nombre de MWh afférent (transport, déchiquetage, livraison).

Pour les frais de personnels et les frais de plate-forme, les dépenses ont été divisées par le nombre de MWh ayant transité par la plate-forme (c'est-à-dire livrés ou en stock au 31 décembre 2007).

Pour la biomasse, l'énergie correspondant à toutes les formes de biomasse a été sommée sauf celle qui est en forêt au 31 décembre 2007. Les factures d'achat correspondantes ont été divisées par ce nombre de MWh.

5.3.5. Perte de matière

Lors du processus de fabrication de la plaquette forestière, de la biomasse est perdue selon les hypothèses suivantes :

- 1 % en forêt (billons oubliés, non chargés, houppiers salis),
- 1 % lors du broyage (queues de déchiquetage non broyées, couche inférieure du tas broyé souillée, morceaux qui restent en forêt car le broyeur n'arrive pas à les attraper avec sa grue),
- 5 % sur la plate-forme (perte de PCI due à la fermentation, croûte humide qui se forme sur les tas, plaquettes souillées lors des opérations de chargement ou de déchargement).

Ces valeurs ont été retenues à dire d'expert. Aucune donnée applicable n'a été trouvée dans la littérature (cf. 2.7.3).

Une analyse de sensibilité sera réalisée sur ce paramètre.

5.3.6. Estimation de la valeur du stock

Le stock a été estimé aussi bien en quantité d'énergie (MWh) qu'en valeur (€).

En quantité, le nombre de mégawatts-heures livrés a été retranché au nombre de mégawatt-heure achetés.

En valeur, on a distingué :

- le stock en forêt. Sa valeur est calculée en sommant les factures d'achat de bois avec le critère « en forêt » ;
- le stock estimé à la plate-forme. Ceci a été fait en multipliant la quantité de mégawattheure par la valeur moyenne du coût de fabrication de la plaquette (achat de biomasse, déchiquetage et coût du transport de la biomasse à la plate-forme).

La méthodologie développée permet d'estimer le coût de revient de la plaquette, l'origine de la biomasse et de fournir des éléments sur le stock de la plate-forme comme nous allons le voir dans le paragraphe 5.4.

Les données brutes en valeur et en quantité aux différentes étapes de la filière sont indiqués en annexe 10.

5.4. Résultats

5.4.1. Coût de revient de la plaquette forestière

Compte tenu des hypothèses formulées précédemment, l'énergie qui a transité par la plate-forme ou qui y était stockée au 31 décembre 2007 a été estimée à environ 36 500 MWh (soit 13 100 t à 40 % d'humidité).

Ceci a permis de calculer un prix de revient de la plaquette forestière qui s'établit à 21,7 €/MWh rendue chez le client soit 60,5 €/t à 40 % d'humidité ou 73 €/t à 30 % d'humidité. Le montant des différents postes de coûts est détaillé dans le tableau 16. Ce coût de revient couvre uniquement les frais de fonctionnement et ne permet aucun investissement.

Poste	Coût en €/MWh
Valeur bord de route de la biomasse (livrée au client ou en stock à la plate-forme)	7,9
Transport (amenée de la biomasse à la plate-forme)	2,7
Déchiquetage	5,7
Frais de livraison (de la plate-forme au client)	2,9
Gestion de la plate-forme	0,8
Personnel	1,7
Total	21,7

Tableau 16 : Montant en €/MWh des différents postes de coûts constitutifs de la plaquette forestière

La figure 15 reprend ces mêmes données en part relative. Deux postes de coût ressortent très nettement :

- les frais d'achat de biomasse bord de route qui s'élèvent à 22 €/t à 40 % d'humidité,
- les frais de broyage compris entre 15 et 17,5 €/t pour un taux d'humidité compris entre 35 et 40 %.

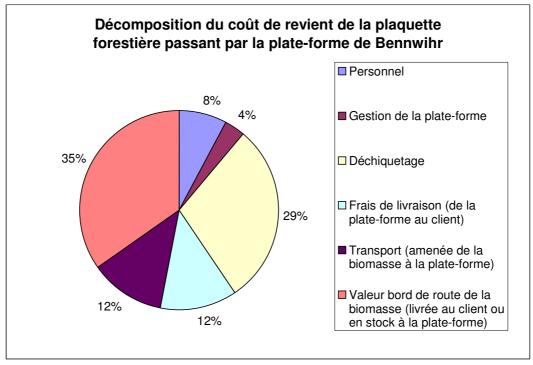


Figure 15 : Décomposition du coût de revient de la plaquette forestière passant par la plate-forme de Bennwihr

5.4.2. Origine de la biomasse

Le tableau 17 indique la provenance de la biomasse. Celle-ci est très largement originaire des forêts publiques avec une répartition sensiblement égale entre les forêts communales et domaniales. La forêt privée représente 10 % de l'approvisionnement. *In fine*, plus de 90 % de la biomasse provient directement de la forêt ce qui garantit un complément direct pour le propriétaire et optimise le bilan carbone de la filière puisqu'il n'y a pas de passage par un tiers (transport supplémentaire). Seuls 9 % de l'énergie provient des produits connexes de scierie dont plus de 5 % sont des billons mitraillés non valorisables par un autre procédé.

Origine de la biomasse	Part relative des MWh
sphère privée	19 %
dont forêt privée	10 %
scierie (dosses, plaquettes)	9 %
sphère publique	81 %
dont forêt domaniale	42 %
forêt communale	39 %

Tableau 17 : Origine de la biomasse passant par la plate-forme de Bennwihr

5.4.3. État des stocks

Au 31 décembre 2007, une estimation empirique de la valeur du stock a été réalisée par le directeur général d'ONF Énergie aussi bien en quantité qu'en valeur. Le tableau 18 compare les résultats issus de cette approche empirique et de l'approche calculatoire explicitée au 5.3.6.

	Approche ca	alculatoire	Approche empirique		Écarts relatifs (référence : approche empirique	
Estimation du stock	En quantité (MWh)	En valeur (€)	En quantité (MWh)	En valeur (€)	En quantité	En valeur
biomasse en forêt	14 075	147 407	13 682	173 526	-3 %	15 %
biomasse en stock à la plate-forme et non livrée		240 016	13 457	256 391	-29 %	6 %
Total	31 442	387 423	27 139	429 917	-16 %	10 %

Tableau 18 : Comparaison de l'état des stocks présents sur la plate-forme

En valeur et en quantité, on constate tout d'abord que les deux méthodes donnent les mêmes ordres de grandeur ce qui est rassurant. Ceci cache tout de même des disparités :

- pour la biomasse qui est stockée en forêt, le stock est bien cerné en volume et moins bien en valeur. Ceci s'explique facilement par une erreur dans l'estimation empirique du stock due à une facture de 29 767 € comptée deux fois en valeur et une seule fois en quantité. En retranchant cette valeur, on trouve un écart relatif de moins de 3 %;
- pour la biomasse stockée sur la plate-forme, les deux méthodes donnent des valeurs de stock très proche.

En quantité, on ne peut donc pas conclure sur la pertinence de cet outil de mesure du stock de biomasse à Bennwihr. Cela montre bien la difficulté d'estimer l'énergie en stock sans une comptabilité des flux de matière couplée à une mesure de la teneur en eau. Les comparaisons en montants sont pertinentes car il y a un suivi financier des entrées et des sorties de la plate-forme. En revanche, comme il n'y a pas de suivi de l'énergie entrant sur le site, le résultat du stock d'énergie semble être très lié aux hypothèses comme nous allons pouvoir le constater.

5.4.4. Analyse de sensibilité

Sensibilité aux variations de taux d'humidité

Compte tenu des nombreuses hypothèses émises précédemment, trois tests ont été réalisés en faisant varier le paramètre « taux d'humidité » :

- première modalité : toute la biomasse a un taux d'humidité de 35 %,
- deuxième modalité : toute la biomasse a un taux d'humidité de 40 %,
- troisième modalité : toute la biomasse a un taux d'humidité de 50 %.

Le coût de revient de la plaquette forestière varie alors entre 20,8 et 24,9 €/MWh. En revanche, la décomposition des coûts n'est affectée que marginalement avec une variation maximale de plus ou moins 2 %. La part de la biomasse dans le coût de revient passe par exemple de 34 % à 33 ou 36 % selon la modalité.

La répartition de l'origine de la biomasse n'est pas affectée par la variation de ce paramètre.

Pour les stocks, le paramètre « taux d'humidité » a une importance capitale. L'écart relatif en quantité varie par exemple de 7 % à - 45 % pour la biomasse en stock sur la plate-forme. En valeur, les variations s'échelonnent de 1 % à 21 %. Ceci montre bien que le stock ne peut être suivi uniquement sur la base d'un outil informatique.

Sensibilité vis-à-vis des taux de pertes

Dans le scénario initial, le taux de perte total est de 7 %. Pour analyser la sensibilité à ce paramètre, nous avons retenu un scénario avec un taux de perte plus élevé :

- pertes en forêt de 5 % à la place de 1 %,
- pertes lors du déchiquetage de 5 % à la place de 1 %,
- pertes lors du stockage de 10 % à la place de 5 %.

Le prix de la plaquette passe à 22,7 €/MWh (+ 4,5 %) mais la part relative de chaque poste de coût ne varie pas. Le prix de la plaquette est donc lié au taux de perte de matière de façon très étroite et dans des proportions similaires. Ceci justifie le soin à apporter à chaque étape de la chaîne pour perdre le moins de matière possible.

En matière de stock, l'écart en valeur est de + 7 % et l'écart en quantité est de - 12 %. Ce n'est qu'avec un taux de perte de 25 % sur la plate-forme et 15 % sur toute la chaîne de production que l'écart avec le stock empirique serait nul en quantité. Ces valeurs de taux de pertes ne sont pas réalistes et montrent bien que l'outil ou l'estimation empirique ne permettent pas d'estimer correctement ce stock de matière.

5.5. Discussion

Les propositions pour la gestion du site de stockage seront développées dans le chapitre 7. On peut néanmoins tirer quelques conclusions dès à présent.

Un nécessaire suivi des flux en unité énergétique

La biomasse est achetée dans des unités extrêmement variables (MAP, m³, tonnes, forfait). Or ONF Énergie ne vend pas de la matière mais de l'énergie. Il est donc nécessaire d'acheter ou *a minima* de mesurer le flux entrant et sortant sur la plate-forme en unité énergétique (tonne anhydre, mégawattheure). Il est extrêmement difficile de mesurer des mégawatts-heures. La grandeur physique la plus facile d'accès est la masse. Elle devra être couplée à une mesure du taux d'humidité. En effet, nous avons vu au chapitre 2 que le principal facteur influençant le PCI est le taux d'humidité. Pour des raisons techniques, il est plus facile et moins cher de mesurer le tonnage que le volume. Il suffit de

passer sur une balance à la place de cuber des bois. Parallèlement, le taux d'humidité de la biomasse transportée par chaque camion entrant ou sortant sur le site devra être mesuré. Ceci est le seul moyen de suivre l'état du stock en quantité d'énergie.

La plaquette forestière, une activité avec de fortes immobilisations

Le chiffre d'affaires de la société s'est élevé à $1,7 \, \mathrm{M} \in \mathrm{en} \, 2007$. Ce chiffre est à rapprocher de la valeur du stock qui représente $0,4 \, \mathrm{M} \in \mathrm{soit} \, 23 \, \%$ du chiffre d'affaires. Par ailleurs, en cas de développement d'activité, il est fort probable que la valeur du stock va encore augmenter puisque entre l'achat de la biomasse bord de route et la livraison au client, il se passe au moins 5 à 6 mois compte tenu des durées de fabrication et de séchage de la plaquette. Cette immobilisation nécessite une importante trésorerie ou génère des frais financiers.

La plaquette forestière de Bennwihr, un produit de qualité

On a constaté que 81 % de l'approvisionnement de la plate-forme provenait de forêts publiques. L'intégralité des forêts domaniales est certifiée PEFC. Pour les forêts communales, en Alsace, le taux de certification est de 86 % au 30 juin 2008. Il en ressort que l'approvisionnement de la plate-forme provient à plus de 70 % de forêts certifiées. La plaquette forestière issue du site de Bennwihr est donc certifiée PEFC. C'est un atout commercial à faire valoir.

Enfin, l'état des stocks et les installations existantes permettent de garantir une plaquette forestière avec un taux d'humidité de 25 à 30 %.

Perspectives

Ce stage aura également permis de nouer des contact entre ONF Énergie et l'ENSTIB. Ceux-ci ont débouché sur un partenariat. Le matériel mis au point par l'ENSTIB pour mesurer l'évolution du taux d'humidité dans un tas de plaquettes va être installé à Bennwihr. Il permettra de fournir des données à la thèse en cours et permettra à ONF Énergie d'avoir des mesures précises du taux d'humidité du tas de plaquettes sans avoir à l'ouvrir.

6. La filière plaquette forestière en Autriche

L'Autriche est un pays reconnu pour le développement de la filière bois énergie. S'il fallait un seul exemple, Vienne est partiellement alimentée en chaleur et en électricité par une chaufferie à bois de 65 MW entièrement alimentée par des plaquettes forestières. Cette installation a consommé en 2007 environ 600 000 MAP, soit environ l'équivalent de la production française de 2006.

Pour mieux comprendre le succès de la plaquette forestière en Autriche, une mission de cinq semaines a été réalisée pendant l'été 2008 auprès des Österreichische Bundesforste AG (ÖBF), qui est la société gestionnaire des forêts de l'État autrichien.

L'objet de ce chapitre est donc de présenter en premier le contexte forestier et énergétique autrichien avant de s'intéresser plus particulièrement à la filière plaquette forestière. Pour finir, nous présenterons la stratégie des ÖBF en la matière.

6.1. Le contexte forestier autrichien

6.1.1. Généralités

L'Autriche est un état fédéral de 8,3 millions d'habitants constitué de neuf *Bundesländer* (grandes régions) qui disposent d'une assez grande autonomie politique, économique et législative. L'agriculture et la sylviculture représentent environ 2 % du PIB.

	Autriche	France métropolitaine
Nombre d'habitants en millions	8,3	63
Surface du pays (km²)	83 853	552 000
Taux de boisement (%)	47	30
Surface de la forêt (millions d'hectares)	3,96	17
Part de la forêt publique (%)	18	25
Peuplements dominants	67 % de conifères	59 % de feuillus
Essence dominante	Épicéa (54 %)	Chênes (33 %)
Accroissement annuel (en millions de m³/an)	~ 31	~ 100
Capital sur pied (en millions de m ³)	~ 1 095	~ 2 400
Récolte moyenne de bois sciables (en millions de m³/an)	~ 12	~ 35
Volume de bois scié (en millions de m³/an)	~ 20	~ 10

Tableau 19 : Principales caractéristiques forestières de l'Autriche et de la France [39], [40], [41], [45]

Le tableau 19 fait ressortir trois caractéristiques :

- un des taux de boisement les plus forts d'Europe (juste derrière les pays scandinaves) en augmentation lente (44 % en 1961 et 47,2 % en 2002),
- une forêt dominée par les conifères et en particulier l'épicéa (54 % de la surface),
- une industrie du sciage particulièrement performante, surtout pour les résineux (en 2004, l'Autriche est le 4^e pays en volume de résineux scié dans l'Europe des 25).

Enfin, l'Autriche a, comme la France, la tradition d'une gestion durable de la forêt (*nachhaltige Waldbewirtschaftung*). La récolte totale (21 millions de m³ en 2007 dont 85 % de résineux) est nettement inférieure à l'accroissement, garantissant le maintien sur pied et même la hausse du volume sur pied. En 2006, les utilisations de bois se ventilent comme suit :

- 60 % de bois de sciages,
- 25 % de bois énergie,
- 15 % de bois pour l'industrie.

Organisation de la propriété forestière

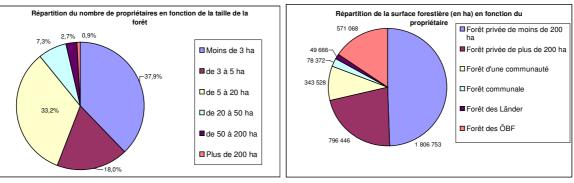


Figure 16 : Répartition de la surface forestière en fonction de la taille de la propriété ou du type de propriétaire, [40]

La gestion de la forêt en Autriche est surtout le fait de petits exploitants comme le montrent les figures 16. La majorité (plus de 99 %) de ces propriétaires forestiers sont des agriculteurs avec des surfaces boisées inférieures à 200 ha. Ils gèrent près de 50 % de la superficie forestière, grâce à la force de travail familiale. Ainsi, la superficie utile moyenne d'une exploitation agricole se décompose en 17,1 ha agricoles et 20,3 ha de forêt.

Les ÖBF gèrent la majeure partie de la forêt publique. Dans la figure 16, la forêt des ÖBF se décompose en forêt de l'État autrichien louée aux ÖBF (96,5 %) et en forêt propriété des ÖBF (3,5 %).

Économie de la filière bois

Le secteur forestier, bien qu'en perte de vitesse, contribue à hauteur de 2 % au PIB en 2006 (3 % en 1998). En 2005, la filière bois a un solde commercial excédentaire de 3,2 milliards d'euros à comparer avec le déficit français de 4,8 milliards d'euros.

Si l'industrie du sciage du résineux est très développée, le sciage des feuillus est anecdotique (environ 0,2 million de m³ en Autriche contre environ 1,9 million de m³ en France).

L'industrie du papier compte parmi les principales branches d'activités économiques en Autriche. En 2006, 23 entreprises produisaient près de 5,2 millions de tonnes de papier sur 27 sites de production. La production s'est développée et a doublé entre 1990 et 2006 (en France, on compte 13 sites de production et 10,3 millions de tonnes de papier produites).

6.1.2. Politique forestière

Dans le domaine forestier, la loi forestière (*Forstgesetz*) reste fédérale et date de 1975. Elle a été amendée à de nombreuses reprises par l'État et de façon mineure par certains *Länder*, comme le Tirol, compte tenu des enjeux particuliers des forêts de protection. La loi est appliquée au niveau cantonal (*Bezirk*) par des agents forestiers relevant des *Länder*. La loi forestière a fixé comme objectif la sauvegarde de la forêt tout en lui assignant quatre fonctions principales :

- la fonction économique qui doit garantir une production durable de matière première. D'après le plan de développement forestier (*Waldentwicklungsplan*), elle est prioritaire pour 64 % des surfaces :
- la fonction de protection pour minimiser les catastrophes naturelles, les dégradations de l'environnement et préserver les sols du lessivage, des coulées, des éboulements et des glissements de terrain. Ces rôles constituent l'objectif principal pour 31 % de la surface boisée ;
- la fonction environnementale, relative à l'influence exercée sur l'environnement. Elle vise à améliorer la qualité de l'air et de l'eau et à réduire les nuisances sonores. Cette fonction est dominante pour 4 % de la surface des forêts ;
- la fonction récréative concerne les forêts affectées aux loisirs et au tourisme, soit 1 % de la surface boisée.

La loi forestière s'applique dans les mêmes termes à la forêt publique et privée. Il n'y a pas de régime forestier comparable à ce qui existe en France pour les forêts publiques.

Après avoir présenté brièvement la forêt autrichienne, intéressons-nous à son contexte énergétique.

6.2. La politique en matière de bois énergie en Autriche

6.2.1. Le contexte énergétique

Généralités

En 2005, 23 % de l'énergie primaire en Autriche est d'origine renouvelable et environ 60 % de l'électricité est d'origine renouvelable grâce au fort développement de l'énergie hydraulique (57,2 % d'hydroélectricité et 2,8 % d'autres sources renouvelables). Mais l'Autriche reste à ce jour un pays importateur d'électricité (32 % de sa consommation). La part des énergies renouvelables est amenée à augmenter pour atteindre, en 2020, 34 % de l'énergie finale consommée. Ceci découle des objectifs fixés par l'Union européenne qui prévoit une moyenne, sur les 27 pays, de 20 % d'énergies renouvelables. Pour passer de 23 à 34 %, la chaleur d'origine renouvelable est amenée à jouer un rôle clé puisqu'elle représente environ 50 % du potentiel.

Bois énergie et plaquettes forestières

En 2005, le bois énergie représentait 2,2 millions de tep (55 % de la biomasse) soit 15 millions de m³ de bois dont 33 % de plaquettes forestières. À l'horizon 2020, le volume passerait à 25 millions de m³ de bois avec toujours 33 % de plaquettes forestières [42]. Cette ressource ne serait pas disponible en forêt sauf s'il y avait un transfert du bois d'industrie vers le bois énergie.

Actuellement, sur les 5 millions de m³ de plaquettes consommées, environ 0,6 million de m³ sont importés, essentiellement des pays frontaliers (Slovaquie, République tchèque). Comme pour le bois d'œuvre, l'Autriche est un pays importateur. Il y a déjà une tension sur la ressource.

En 2007, environ 17 % des ménages autrichiens (13 % en France) utilisent du bois énergie pour se chauffer et on recense environ 700 réseaux de chauffage urbain à base de bois énergie ayant des capacités de 1 à 65 MW.

6.2.2. Une politique en faveur du bois énergie

Un programme d'aides a été mis en place pour soutenir la filière bois énergie. Il comprend des mesures pour les particuliers et les entreprises.

Mesures pour les particuliers

L'achat de chaufferies à bois est encouragé par l'État à travers un système de subventions. Le montant dépend de la technologie retenue ($800 \, \epsilon$ si la chaufferie fonctionne aux pellets, $400 \, \epsilon$ si elle utilise des plaquettes). Cette subvention de l'État est cumulable avec des aides des *Länder* qui sont extrêmement variables (la Styrie verse $1400 \, \epsilon$, la Basse Autriche verse $2950 \, \epsilon$) [43]. Ainsi, fin 2006, on comptait 47 000 installations qui fonctionnaient avec des pellets et 15 000 poêles représentant une puissance de 940 MW [44].

Mesures pour les entreprises

La filière de production de plaquettes forestières est également aidée puisque les entrepreneurs de travaux forestiers peuvent bénéficier de subventions versées par les *Länder*, par exemple pour l'achat des déchiqueteurs.

La construction des chaufferies est également encouragée. Contrairement à la France, la maîtrise d'ouvrage est essentiellement privée et ce aussi bien pour les petites chaufferies de moins de 0,5 MW que pour celles de plus de 20 MW. Les petites chaufferies peuvent bénéficier de subventions de l'Union européenne, de l'État et du Land. Le total des subventions avoisine fréquemment les 35 % du montant du projet.

Les installations de cogénération ne sont pas subventionnées en tant que telles. Elles bénéficient d'un tarif de rachat de l'électricité très intéressant depuis une loi de 2002 (Ökostromgesetz), modifiée en juin 2006. Ces tarifs sont garantis 12 ans avec une décroissance les deux dernières années. Ces tarifs varient en fonction:

- du type biomasse utilisée (avec des distinctions par exemple entre les plaquettes forestières et les plaquettes de scierie),
- de la puissance de la chaufferie,
- de l'année de construction.

Ainsi pour une chaufferie de plus de 10 MW mise en service en 2006 et utilisant 100 % de plaquettes forestières, le tarif de rachat garanti est de 113 €/MWh. Celui-ci est à comparer aux tarifs moyens de rachat de CRE 1 (86 €/MWh) et CRE 2 (128 €/MWh) en France.

Les crédits annuels affectés à ce dispositif sont de 17 M€. Les projets sont acceptés au fur et à mesure de leur dépôt, toutes énergies renouvelables confondues. Enfin, pour respecter l'enveloppe, le tarif de rachat [45] est défini annuellement pour les nouveaux projets. L'objectif était d'atteindre en 2008, 4 % d'électricité « verte ». Le succès de cette mesure fut tel qu'en 2006, l'objectif a été atteint. L'année 2006 fut celle du basculement avec la mise en service des premiers projets dont la centrale de cogénération de Vienne Simmering (65 MW). Au 30 juin 2006, 235 MW d'installations de cogénération étaient en service et l'objectif est maintenant d'atteindre 10 % d'électricité « verte » en 2010. L'Autriche semble en bon chemin puisqu'au 30 juin 2008, des installations de cogénération d'une puissance cumulée de 168 MW étaient en construction [44]. Ces chiffres sont à comparer avec les projets français CRE qui prévoyaient une puissance installée de 235 MW pour CRE 1 (tous ne se feront pas) et 300 MW pour CRE 2.

Au dire de certains exploitants, le tarif de rachat est suffisamment intéressant pour rentabiliser la construction d'une unité de cogénération en valorisant seulement l'électricité. Comme le rendement moyen est d'environ 40 %, l'énergie restante est dissipée au moyen d'aérothermes et sert « à chauffer les petits oiseaux ». Face à de telles aberrations, le gouvernement a décidé d'imposer la valorisation de la chaleur pour bénéficier des tarifs de rachat. Le texte était en cours de préparation au cours de l'été 2008.

L'Autriche, on l'a vu, est un pays en pointe en matière d'utilisation de biomasse. Ceci se traduit par un important réseau de chaufferies et une véritable filière que nous allons étudier.

6.3. La filière plaquettes forestières

En Autriche, trois grands types de chaufferies cohabitent avec des modes de fonctionnement très différents:

- les installations des particuliers de puissance inférieure à 100 kW (petites installations),
- les chaufferies des communes rurales de puissance comprise entre 100 kW et 1 MW (installations moyennes),
- les chaufferies industrielles de plus de 1 MW (grandes installations).

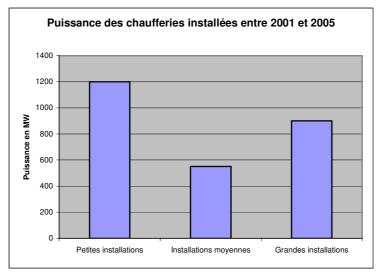


Figure 17 : Puissance cumulée en fonction du type de chaufferies installées entre 2001 et 2005 en Autriche (source : *Biomasseverband*)

	Nombre d'installations
Petites installations	43 573
Installations moyennes	1 878
Grandes installations	237

Tableau 20 : Nombre de chaufferies à bois installées sur la période 2001-2005 en Autriche (source : Biomasseverband)

La figure 17 et le tableau 20 illustrent parfaitement le fort développement du bois énergie avec de très nombreuses installations particulières. Parallèlement, les grandes installations ont une puissance moyenne de 3,8 MW contre 1,3 MW en France. Entre ces deux types, le nombre de chaufferies à bois de taille moyenne est assez modeste et inférieur en nombre aux équipements français.

Au cours de ma mission, je me suis surtout intéressé aux chaufferies collectives (moyennes et grandes). Ce sont elles qui consomment préférentiellement de la plaquette forestière. Les chaufferies des particuliers fonctionnent très souvent avec des pellets.

6.3.1. L'environnement des chaufferies moyennes

Les chaufferies de taille moyenne se trouvent essentiellement dans les communes rurales. Elles sont souvent couplées à un petit réseau de chaleur. Le réseau et la chaufferie appartiennent en général à des petites structures de droit privé. Ces structures ont été créées spécialement pour le financement, la construction et la gestion de l'installation. D'un point de vue juridique, elles ont en général le statut de coopératives, d'associations ou de SARL. Les membres ou actionnaires sont très souvent des agriculteurs. Le financement de l'installation se fait par l'emprunt, les droits de raccordement au réseau de chaleur (autour de 6 000 € pour une maison particulière), le capital propre (en général faible) et les subventions.

Les agriculteurs en tant que membres fournissent la ressource ce qui assure un débouché pour les petites forêts privées. Très souvent l'agriculteur autrichien est polyvalent et dispose d'un tracteur de débardage. Le cas échéant ou pour le déchiquetage, il pourra faire appel au *Maschinenring*, assimilable à une coopérative d'utilisation de matériel agricole (CUMA). À la différence de la CUMA française, cette structure permet de mutualiser les machines mais également des moyens humains. Les membres mettent à disposition une part de leur temps de travail pour réaliser des prestations chez d'autres agriculteurs ou pour une structure privée. En 2006, 77 055 exploitations agricoles (52 % des

exploitations) adhéraient à un des 95 *Maschinenringe*. Ces structures emploient 159 personnes qui sont chargées de la gestion. Ces 95 structures sont fédérées au niveau national dans 8 grandes coopératives de *Maschinenring Service*, elles-mêmes filiales des grandes coopératives agricoles. Celles-ci ont un poids très puissant à travers leurs centrales d'achats et sont liées à des grands groupes bancaires nationaux (*cf. Österreichischer Raiffeisenverband* dont une filiale est un *Maschinenring* et une autre une banque de type « crédit agricole », la *Raiffeisenbank*).





Photographies 9 : Chaufferie à bois d'*Öblan*, hangar de stockage de plaquettes et chaufferie de 400 kW (source : Raphaël Wisselmann)

Les photographies n° 9 montrent une partie des installations de l'association *Bioenergie Ennstal* à *Öblan (Land* de la Styrie). Cette association de 11 membres créée en 1998 a construit quatre chaufferies d'une puissance totale de 1,45 MW avec un réseau de chaleur de 1,75 km. Cette association gère les chaufferies, vend de la chaleur (contrats de 20 ans) et des plaquettes forestières (22 €/MAP).

L'essentiel du travail (bûcheronnage, débardage et déchiquetage) est fait par les membres de l'association. Seul un contrat a été souscrit auprès d'un chauffagiste pour une partie de l'entretien annuel des chaufferies.

Le prix de vente de l'énergie est de 66 €/MWh auquel s'ajoute des frais fixes d'abonnement (108 € par an pour le compteur et 15 €/kW de puissance souscrite). Ce prix de vente permet d'acheter le bois (dosses de scierie, grumes de mauvaise qualité) autour de 38 €/m³ livré soit 12 €/MWh. L'achat se fait prioritairement auprès des membres qui assurent 25 % de l'approvisionnement. Les coûts de déchiquetages sont comparables au coûts français (12 €/t). Les coûts de livraison du hangar (situé sur la commune) aux silos sont réduits. La prestation est réalisée par les membres de l'association avec leur tracteur agricole. Cette prestation est facturée 4 €/MAP soit 10 €/t soit moins qu'une livraison en fond mouvant de 90 m³ en France.

Ce type de chaufferie ne peut pas acquérir de balance pour peser les camions. De même, aucun taux d'humidité n'est mesuré. L'achat de bois se fait au m³ et les autres prestations (déchiquetage, transport, vente de plaquettes) se font au MAP. Il n'y a donc pas de véritable mesure de l'énergie entrant dans le système. De même, ces chaufferies ont rarement des chaudières fioul ou bois qui peuvent prendre le relais en cas de panne ou de demande faible (été). Elles investissent donc dans des ballons tampons et sont en général assurées en cas de dégâts lourds pour faire venir une chaudière mobile. Ceci peut poser des difficultés d'exploitation puisque l'installation n'est jamais à l'arrêt et fonctionne en été bien en dessous de ses capacités avec des rendements assez mauvais.

En conclusion, le monde agricole est très présent dans les projets de chaufferies moyennes en Autriche. C'est un marché assez fermé qui fonctionne en autarcie avec l'appui en moyens des coopératives agricoles et notamment des *Maschinenringe*.

6.3.2. Les grandes chaufferies

À côté de ces petites installations de taille communale, on trouve les chaufferies industrielles au bois dont la puissance moyenne est de l'ordre de 4 MW. En général ces chaufferies sont intimement liées aux usines de transformation du bois et en particulier aux scieries. Elles constituent un moyen intéressant de valoriser les produits connexes surtout depuis la mise en place de tarifs de rachat (Ökostromgesetz).

En général, l'électricité est revendue et la chaleur est utilisée pour le processus industriel de la scierie. On a vu précédemment que l'Autriche avait une grande capacité de sciage de résineux. En moyenne, une scierie autrichienne transforme 7 500 m³ de bois (contre 4 500 m³ en France). Ces chiffres cachent en fait une grande disparité. En Autriche, les petites scieries familiales sont sur des marchés de niches (pièces de construction sur mesures). L'essentiel du bois est scié par des industriels dont la production annuelle dépasse les 100 000 m³. Ces industries sont souvent de véritables lieux de transformation du bois : unité de séchage, réalisation de lamellés-collés. Ces processus nécessitent de la chaleur d'où leur intérêt d'investir dans une chaufferie à bois pour produire de la chaleur. Ainsi la scierie Stora Enso à Ybbs scie environ 1 400 000 m³ de bois et a sur son site 4 chaufferies au bois de 10 MW chacune. La scierie Hasslacher à Sachsenburg scie environ 700 000 m³ et dispose de deux centrales de cogénération d'une puissance cumulée de 8,5 MW électrique et 25 MW de chaleur.





Photographies 10 : Chaufferies au bois respectivement à Sachsenburg et à Ybbs. Le tapis convoyeur qui surplombe la route transfère les écorces vers la chaufferie à bois (source : Raphaël Wisselmann)

Les écorces de la scierie Stora Enso à Ybbs sont valorisées dans une cinquième chaufferie représentée sur les photographies 10 (à droite). Celle-ci utilise 330 000 MAP d'écorces pour une puissance de chaleur installée de 20 MW et une puissance électrique de 5 MW. La chaleur est revendue à une fabrique de pellets située dans le prolongement et qui valorise les sciures de Stora Enso.

Ces deux exemples montrent le fort développement des scieries et leurs conséquences en matière de bois énergie. Là, les deux installations n'utilisent pas de plaquette forestière et ont donc un tarif de rachat de l'électricité moins intéressant.

L'Autriche a également des chaufferies industrielles qui fonctionnent uniquement aux plaquettes forestières. C'est notamment le cas de la chaufferie de Vienne Simmering d'une puissance de 65 MW et qui consomme annuellement environ 600 000 MAP soit 75 MAP/h (presque un camion semi-remorque de type fond mouvant par heure). Cette centrale de cogénération (40 MW de chaleur et 25 MW d'électricité) fonctionne depuis l'été 2006 et alimente une partie de Vienne en chaleur et en électricité. L'aboutissement de ce projet est le résultat d'une volonté politique forte. Il a été cofinancé à parts égales par la ville de Vienne, les ÖBF et la société Wienenergie. Le prix d'achat de la plaquette est de 79 €/t anhydre soit environ 15,5 €/MWh. Les prix sont extrêmement bas d'autant plus qu'un tiers de la ressource doit être du bois rond. Ces deux dernières années, compte tenu des forts chablis (ouragans *Kyrill, Paula, Emma*), le prix du bois a chuté et a permis d'approvisionner sans trop de

difficultés le site (environ 3 ha). Toutefois, pour équilibrer les coûts, une partie de la matière première provient de la République tchèque (100 km) ou de la Slovaquie (60 km).



Photographies 11 : Site de Vienne Simmering avec vue sur la plate-forme de pesée, une partie du parc à bois et l'installation fixe de broyage (source : Raphaël Wisselmann)

Le contrat d'approvisionnement de la centrale a été attribué aux ÖBF et sera analysé plus en détail après avoir présenté leur structure et leur stratégie dans le domaine des plaquettes forestières.

6.4. Benchmarking chez les ÖBF dans le domaine des plaquettes forestières

6.4.1. Présentation générale

Gestionnaires des forêts de l'État autrichien, les ÖBF gèrent environ 855 000 ha dont environ 498 000 ha de forêt. À cela s'ajoutent 15 000 ha d'alpages ou de terres agricoles, la gestion d'une centaine de lacs, et de plus de 2000 km de rives. Les ÖBF louent également leur patrimoine immobilier, ce qui représente environ 25 000 contrats.

Historique

Les Österreichische Bundesforste AG étaient une administration forestière jusqu'en 1996. La loi fédérale n° 793 du 30 décembre 1996 a transformé ce service d'État en société anonyme (Aktiengesellschaft ou AG) dont le capital est détenu à 100 % par l'État. Cette importante réforme s'est traduite par une profonde réorganisation des services (passage de 2015 à 1200 employés et suppression d'échelons hiérarchiques). Avec le changement de statut, les ÖBF sont devenus propriétaires de 3,5 % de la surface gérée. Pour le reste, ils sont locataires de surfaces forestières appartenant à l'État. En contrepartie, les ÖBF reversent chaque année 50 % de leur bénéfice à leur actionnaire.

Organisation

Les ÖBF ont un siège (*Unternehmensleitung*) situé en banlieue de Vienne à Purkersdorf, douze agences territoriales (*Forstbetrieb*), deux agences travaux (*Forsttechnik*) et deux agences dédiées à la gestion de deux parcs nationaux (*Nationalparkbetrieb*). L'annexe n° 11 indique l'emplacement de ces structures et des forêts gérées par les ÖBF.

Mais l'activité des ÖBF ne se limite pas à la gestion forestière. Ils ont créé une filiale qui est la tête d'une véritable holding avec de nombreuses participations comme le montre le tableau 21. En effet, les ÖBF ont diversifié leur activité pour valoriser au mieux leur patrimoine. La participation dans une société de remontées mécaniques permet de valoriser au mieux certains espaces non boisés en les louant comme pistes de ski. *Regio Z* permet de développer avec d'autres partenaires des projets autour des lacs du *Salzkammergut*, propriété des ÖBF.

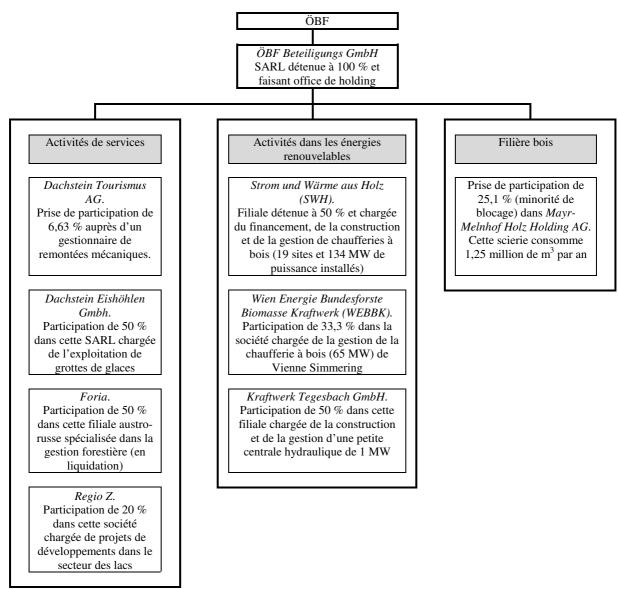


Tableau 21: Organisation du groupe ÖBF au 31 décembre 2007 (source : ÖBF)

Présentation de la forêt des ÖBF

La forêt des ÖBF se répartit en deux grandes catégories : la forêt de protection (*Schutzwald*) pour 147 300 ha et la forêt de production (*Wirtschaftswald*) pour 350 800 ha. Les forêts des ÖBF sont essentiellement des peuplements purs. Trois essences dominent et représentent plus de 85 % de la surface et du capital sur pied comme le montre le tableau 22. Les autres essences représentent chacune moins de 4 % en surface et en capital sur pied.

Essence forestière	Part de la surface boisée (en %)	Part du capital sur pied (en %)
Épicéa	58	65
Hêtre	19	19
Mélèze	8	6
Ensemble des trois essences	85	90

Tableau 22 : Essences dominantes dans les forêts des ÖBF (source : ÖBF, 2007)

C'est aussi une forêt de montagne : plus de 350 000 ha ont une pente supérieure à 35 % (limite d'intervention de l'abatteuse).

La possibilité annuelle de récolte s'élève à 1 800 000 m³. Celle-ci a été fréquemment dépassée ces dernières années compte tenu des forts chablis. En janvier 2007, l'ouragan *Kyrill* a mis à terre environ 1,5 million de m³ de bois. En janvier et février 2008, *Paula* et *Emma* ont mis à terre environ 300 000 m³ de bois.

Enfin, la récolte de bois est facilitée par la densité des routes forestières. En moyenne, on compte 38 m de route forestière par hectare. Par comparaison, en France, les forêts domaniales ont une moyenne de 25 m/ha en France et de 34 m/ha en Alsace. La desserte forestière est donc très bonne.

Aspects économiques

Le cœur de métier des ÖBF reste la vente de bois comme le montre la figure 18. Le chiffre d'affaires s'est élevé à 279,2 M€ en 2007 soit 100 M€ de plus qu'en 2005. Ceci est essentiellement dû à la vente de bois et aux stocks compte tenu des chablis précités.

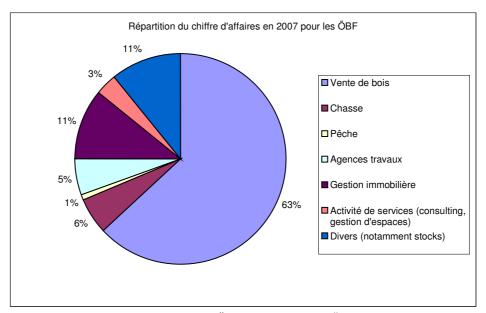


Figure 18 : Ventilation du chiffre d'affaires des ÖBF en 2007 (source : ÖBF Nachhaltigkeitsbericht, 2007)

En 2007, les ÖBF ont vendu 2 678 366 m³ de bois (soit 874 000 m³ de plus qu'en 2006) dont 89 % de résineux et 11 % de feuillus. Le bois de sciage représente 70 % du volume, le bois d'industrie 18 % et le bois énergie 12 % soit 325 000 m³ (+ 66 000 m³ par rapport à 2006).

Le bois est vendu à plus de 80 % *frei Werk*, c'est-à-dire livré à l'usine. Ceci garantit un prix de vente moyen du bois assez élevé, autour de 50 €/m³. Le reste est vendu bord de route (*frei Strasse*). Seuls les fonds de coupe sont parfois vendus en bloc et sur pied (*auf Stock*).

Enfin, cinq clients des ÖBF (soit 12 scieries) représentent 80 % du volume vendu. Rappelons également que ces scieries sont alimentées en billons de 3 à 5 m de long. Les ÖBF ne produisent quasiment pas de bois en long. De même, le tri en qualité se fait à l'usine de façon automatisée. Les deux scieries visitées peuvent distinguer, avec quatre essences différentes, environ 80 produits différents (diamètre moyen du billon, qualité).

6.4.2. Les ÖBF et les plaquettes

Données générales

Les ÖBF commercialisent annuellement, un volume 1,2 million de MAP de plaquettes forestières (20 % du marché autrichien). Ceci représente environ 400 000 t de bois à 40 % d'humidité soit 240 000 t anhydre ou 1 100 000 MWh. La moitié de ce volume est produit en interne et l'autre est

achetée par un service dédié, la *Holzlogistik*. Ce service central (centre de profit) est spécialisé dans l'achat de bois en Autriche et à l'étranger et dans l'affrètement de camions et de trains.

Il n'a pas été possible d'accéder dans le détail au nombre des contrats mais globalement les ÖBF se sont positionnés sur les gros consommateurs :

- la filiale WEBBK consomme 500 000 MAP provenant des ÖBF auxquels s'ajoutent 150 000 MAP de la forêt privée,
- le *Forstbetrieb Waldviertel Voralpen* livre 55 000 m³ soit 165 000 MAP à 4 clients (dont 120 000 MAP pour WEBBK).

Le fort développement de la filière plaquette forestière est relativement récent au sein des ÖBF. En 2005, la *Holzlogistik* n'achetait que 10 000 MAP/an et les *Forstbetriebe* produisaient environ 100 000 m³ de bois énergie soit 360 000 MAP.

Stratégie des ÖBF

Avec la création de SWH et la prise de participation dans WEBBK, la stratégie des ÖBF est clairement verticale. Il s'agit de maîtriser toute la filière, de la ressource brute (arbre en forêt) à sa valorisation finale (vente d'énergie ou de chaleur).

Le Forstbetrieb est chargé de produire et de livrer de la plaquette.

La *Holzlogistik* est chargée d'acheter de la plaquette ou du bois rond à destination de bois énergie pour le compte de SWH et de WEBBK.

La société SWH est chargée de financer, de construire et d'alimenter les chaufferies. Cette société se rémunère à travers la vente d'électricité (*Ökostrom*) et de chaleur. Les ÖBF sont actionnaires à 50 % de cette filiale. Ils disposent de deux membres sur quatre dans le conseil d'administration. Pour s'approvisionner en plaquettes, SWH doit en premier lieu s'adresser à la maison mère (*Forstbetrieb* ou *Holzlogistik*) qui lui vend des plaquettes au prix du marché. SWH paye également les services de la *Holzlogistik* à hauteur de 0,5 €/t anhydre achetée. En 2007, les chaufferies au bois de SWH ont consommé 1,3 million de MAP dont 600 000 MAP provenant des ÖBF. Le complément (environ 700 000 MAP) provient d'entrepreneurs privés voire d'industries. En effet, certaines chaufferies comme celle d'Amstetten sont construites à côté d'une scierie ce qui permet de valoriser les connexes.

Cette maîtrise s'accompagne par ailleurs d'une sécurisation dans le temps. En effet, les approvisionnements de chaufferies sont tous contractualisés. Celui avec la WEBBK a une durée de 13 ans

Pourquoi les ÖBF ont-ils développé la plaquette forestière ?

Les plaquettes forestières génèrent du chiffre d'affaires supplémentaire même si les marges sont faibles (1 à $2 \in$ par tonne anhydre vendue). Elles présentent également d'autres avantages collatéraux qu'il ne faut pas sous-estimer.

Plus de 75 % des peuplements forestiers des ÖBF (en surface et en capital) sont constitués de résineux. La valorisation du bois sous forme de plaquettes permet de réduire les coûts de l'éclaircie précommerciale surtout lorsqu'elle est mécanisable. Parallèlement, environ 20 % de la récolte de bois se fait au câble-mât. Cette technique de mobilisation permet de sortir les houppiers bord de route à coût nul. La plaquette forestière permet donc d'améliorer la marge du chantier.

À l'image de la forêt autrichienne, l'épicéa est l'essence dominante des ÖBF (plus de 58 %). Ceci pose de nombreux problèmes sanitaires et les attaques de scolytes sont nombreuses. En 2007, 457 000 m³ d'épicéas scolytés ont été récoltés (16 % des volumes). La production de plaquette forestière permet de valoriser toute la biomasse, y compris les houppiers. Il n'y a donc plus de bois qui reste en forêt ce qui permet de limiter le risque de propagation.

Enfin, le bois énergie est un produit qui permet de maintenir une tension sur le marché du bois. Suite aux trois épisodes de chablis, le prix du bois d'œuvre s'est effondré alors que celui du bois industrie est resté stable ce qui permet aux ÖBF de limiter leur perte dans la vente de bois.

6.4.3. Outils et méthodes

Dans ce dernier paragraphe, on s'intéressera aux points clés qui ont permis le développement de la filière plaquette forestière

6.4.3.1. Environnement favorable

Les ÖBF disposent d'une excellente desserte forestière de leur domaine. Leurs chemins peuvent tous être empruntés par des camions à fond mouvant ou des porte-conteneurs et on a vu que la densité de la desserte est élevée.

La problématique de l'exportation des rémanents se pose comme en France. À ce titre, toutes les parcelles ont été cartographiées et caractérisées en fonction de la typologie des stations forestières. Le guide des stations a classé les sols en trois catégories, comme en France. Les sols des forêts des ÖBF sont majoritairement sur roche calcaire. Il y a peu de granites pauvres. L'exportation des rémanents ne pose donc pas de véritable problème. D'ailleurs compte tenu des attaques de scolytes, dans les peuplements purs, cet exportation est quasi systématique, les agents de terrain étant actuellement plus sensibilisés aux aspects sanitaires qu'à l'appauvrissement des sols.

6.4.3.2. Gestion du flux de bois

La gestion du flux de bois ou *Holzflussmanagement* (HFM) est un outil qui permet à tout moment de savoir où se trouve le bois. Ce système est originaire des pays scandinaves et a été développé sous SAP (*systems*, *application and products for data management*), un progiciel de gestion intégré, en informatique et management. Il a été déployé chez les ÖBF en 2002. Actuellement, il permet de gérer tous les bois ronds y compris ceux à destination de bois énergie. Pour la biomasse (houppier), le système n'est pas encore totalement opérationnel.

Le principe de fonctionnement est représenté figure 19. Chaque coupe reçoit un numéro de projet qui permet de suivre le bois, de la forêt à son destinataire. Le projet se caractérise par une action limitée dans le temps dans une zone géographique bien délimitée et avec une technique d'exploitation définie.

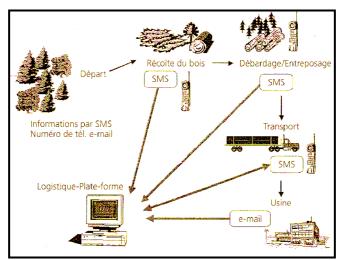


Figure 19 : Principe de la gestion des flux de bois (source : ÖBF, 2006)

Chaque soir, le bûcheron ou le chauffeur de l'abatteuse envoie un SMS ou un courriel qui indique une estimation du volume de bois abattu dans la journée et le numéro de projet. Le débardeur en fait autant. Le transporteur envoie également un SMS. Ces SMS sont retraités informatiquement, contrôlés automatiquement et validés par le *Revierleiter* (fonction à mi-cheval entre le chef de triage et le responsable d'unité territoriale à l'ONF). Le transporteur remplit en outre un bordereau de transport et reporte le numéro de projet. Sur le site de la chaufferie, le camion est pesé et le poids anhydre du chargement est déterminé. Ce poids est reporté sur les bordereaux de livraisons qui sont transmis deux

fois par mois aux ÖBF. Ce bordereau qui contient le numéro de projet et la quantité de bois anhydre qui sert à établir la facture finale. En effet, ce sont ces données qui servent à rémunérer les prestataires car les bois ne sont pas cubés en forêt.

Pour la biomasse de type houppier, le système est le même, le camion étant pesé avec des plaquettes. Ces données permettent de rémunérer le transport et le déchiquetage payés à la tonne anhydre. Pour le débardage, quand il y a lieu de le payer, un arrangement local convertit les MAP en m³ *a posteriori* (les ÖBF payent le débardage au m³ sur la base de 1 MAP pour 0,75 m³ de houppier débardé).

Le HFM permet également de suivre les flux de bois et donc de vérifier que tous les intervenants de la chaîne respectent les délais fixés.

6.4.3.3. Logique de contrat

Sauf pour de « petites » livraisons n'excédant pas 1000 MAP par an, chaque approvisionnement de chaufferie fait l'objet d'un contrat pour une durée minimale d'un an mais 50 à 60 % des contrats sont sur des durées de 13 ans. Cette pérennité de l'approvisionnement est en général une condition imposée par les banques lors d'un projet monté par la SWH.

Ces contrats prévoient toujours une vente à la tonne anhydre. Chaque chaufferie de la SWH qui consomme plus de 40 000 MAP (soit 13 000 t à 40 % d'humidité) dispose de sa propre installation de pesée. Pour les plus petites installations, les ÖBF vendent la plaquette au MAP. Ce facteur n'est pas très pénalisant car ils livrent toujours de la plaquette relativement humide (40 à 50 %).

De même, pour l'achat de bois, des contrats pluriannuels sont passés par la *Holzlogistik* avec la forêt privée (grands propriétaires privés, couvents et monastères).

6.4.3.4. Filière logistique

Le marché de la plaquette forestière visé par les ÖBF est celui des grandes centrales (supérieures à 2 MW). Le taux d'humidité est important pour la rémunération mais n'est pas un facteur de refus du produit par la chaufferie (au maximum les taux d'humidité acceptés sont de l'ordre de 45 à 50 %). Les ÖBF n'ont donc pas besoin de site de stockage ou de séchage et privilégient le flux direct. Ceci est particulièrement vrai dans la région de Vienne où l'approvisionnement est garanti toute l'année. Dans les zones plus montagneuses, il est fréquent qu'une chaufferie ait un stock tampon de 1 à 2 mois. La centrale de Vienne Simmering a deux sites tampons qui lui permettent de stocker 2 à 3 mois de biomasse. Pour les chaufferies qui ne disposeraient pas de stock tampon, les *Forstbetriebe* louent une plate-forme bétonnée mais non couverte où ils peuvent stocker 12 000 m³, prioritairement du bois rond qui sera déchiqueté en hiver.

Ressource utilisée

On distingue trois types de ressources :

- les houppiers des coupes câbles rémunérés 0,5 €/MAP. Cette ressource n'est en général accessible que de mai à octobre,
- les houppiers des éclaircies mécanisables des jeunes peuplements préparés comme sur la photographie 12. Seul le débardage est rémunéré à hauteur de 6,5 €/MAP,
- le bois rond issus d'épicéas scolytés payé 60 € par tonne anhydre livrée sur le site de déchiquetage.



Photographie 12 : Houppiers destinés à la fabrication de plaquettes (source : Raphaël Wisselmann)

Transport

A priori, il n'y a pas de transport de biomasse sur une plate-forme. Le cas peut se présenter pour des houppiers de coupe au câble-mât. Ceux-ci ne peuvent pas être déchiquetés sur place à cause du fréquent manque de place en montagne. Ils sont alors chargés dans des remorques à fond compactant de 40 m³ (de type camion à ordures ménagères). Ces camions transportent environ 10 à 14 t de biomasse. Celle-ci est déchargée au pied de la montagne sur un site provisoire où se fera le déchiquetage.

Déchiquetage

Il se fait toujours en forêt grâce à l'excellente desserte forestière. En hiver, quand l'accès en forêt n'est pas possible, le déchiquetage est fait sur une des plates-formes louées par les ÖBF. Pour réduire les coûts, cette plate-forme n'a ni balance, ni électricité. Le bois est déchiqueté et est directement gerbé dans le camion à fond mouvant comme représenté sur la photographie 13.



Photographie 13 : Fabrication de plaquettes (source : Raphaël Wisselmann)

Livraison

L'utilisation du camion à fond mouvant est généralisée car il a la plus grande contenance. Comme en France, il est parfois fait appel à des camions porte-conteneur quand les routes forestières ne permettent pas le passage d'un camion à fond mouvant (cas des routes de montagne aux nombreux virages). En Autriche, on trouve également des conteneurs à basculement latéral comme sur les photographies 14. La vidange est instantanée alors qu'il faut un quart d'heure pour un camion à fond mouvant. En revanche, ces camions ne peuvent benner les plaquettes que sur une aire de stockage et non dans un silo.





Photographies 14 : Camion porte-conteneur à basculement latéral (source : Raphaël Wisselmann)

6.4.3.5. Gestion d'une plate-forme

Les ÖBF sont actionnaires à 33,3 % de la société WEBBK. À ce titre, ils sont chargés de l'approvisionnement de la centrale de Vienne Simmering soit 650 000 MAP/an. Ces volumes proviennent :

- de trois *Forstbetriebe* pour 200 000 MAP,
- des achats de la *Holzlogistik* pour 300 000 MAP,
- d'une association qui regroupe des propriétaires de la forêt privée pour 150 000 MAP.

Un tiers des produits arrive sous forme de bois rond. Celui-ci est stocké sur une plate-forme d'environ 3 ha (un deuxième site existe à 10 km de là). Les livraisons se font à 90 % par la route et à 10 % par le train. La plate-forme sert également à stocker des plaquettes. En effet, la chaufferie construite en ville a des silos de stockage d'une capacité de trois jours.

À l'entrée du site, chaque camion s'identifie par badge puis est pesé et un prélèvement d'échantillon est réalisé. Pour les camions de billons, un agent des ÖBF donne trois traits de scie et récupère la sciure. Celle-ci est mise dans des barquettes qui sont pesées puis séchées 24 h au four puis pesées à nouveau comme illustré par les photographies 15. On en déduit le taux d'humidité. La rémunération de la biomasse se fait à la tonne anhydre. Cette opération est donc indispensable.



Photographies 15 : Pesée du camion, prélèvement de sciure, séchage et pesée (source : Raphaël Wisselmann)

Les bois ronds sont déchiquetés sur site à l'aide d'un équipement fixe d'une puissance de 360 CV et d'un rendement annoncé de 350 MAP/h. Ils sont stockés sur une aire bétonnée qui sert de stock tampon pendant une semaine. Les camions à fond mouvant sont ensuite chargés à destination de la chaufferie située à 8 km. Avant de sortir du site, le camion est pesé et il y a un prélèvement de plaquettes pour déterminer le taux d'humidité.

Le coût de fonctionnement de la plate-forme avec le déchiquetage est estimé selon le responsable du site à environ 4 €/MWh. Je n'ai pas pu vérifier la véracité de ce chiffre.

À la lumière de l'expérience autrichienne et des chantiers tests, nous allons dans le chapitre suivant formuler des propositions qui peuvent être des axes de progrès pour l'ONF et pour ONF Énergie.

Mémoire de fin d'études de Raphaël Wisselmann	Étude technico-économique de la filière plaquette forestière

7. Synthèse et propositions

L'objet de ce dernier chapitre est de synthétiser les données et les expériences acquises au cours de ce stage pour formuler des propositions à l'intention d'ONF et d'ONF Énergie. Tout d'abord, nous nous intéresserons à la ressource pour optimiser la récolte de bois énergie. Puis nous dégagerons des axes de progrès possibles pour ONF Énergie. Enfin, nous montrerons que l'ONF et ONF Énergie ont de nombreux intérêts en commun qu'il faut renforcer pour vaincre certaines difficultés au sein de la filière plaquette forestière.

En préambule, il convient d'insister sur la grande force de l'ONF, à savoir la maîtrise de la matière première en qualité et en quantité. Dans un secteur où les tensions sur la ressource vont apparaître à plus ou moins long terme, à l'image de ce qui s'est passé en Autriche, l'ONF, gestionnaire de la forêt domaniale, détient là un atout formidable à valoriser au mieux.

7.1. Propositions pour optimiser la récolte de bois énergie bord de route

Dans ce paragraphe des itinéraires techniques pour mobiliser le bois énergie au meilleur coût seront proposés. Ces propositions reposent sur une classification en fonction du type de bois énergie mobilisé. On distinguera deux catégories :

- le bois rond et transportable (c'est-à-dire sans houppier ou branches). Il sera déchiqueté sur une plate-forme,
- la biomasse non transportable à un coût acceptable par le marché de la plaquette. Elle doit impérativement être déchiquetée en forêt.

7.1.1. Scénarios techniques et économiques de mobilisation

7.1.1.1. Bois transportable

Ce type de bois est *a priori* le plus cher à mobiliser mais compte tenu de sa qualité, ONF Énergie peut le rémunérer entre 15 et $17 \in /m^3$ (*cf.* 7.2). Au sein des bois transportables, on distingue à nouveau deux cas :

- soit le bois énergie est un coproduit,
- soit l'exploitation forestière est uniquement motivée par la récolte de bois énergie.

Le bois énergie comme coproduit

La ressource est essentiellement constituée de purges, de surbilles ou de cimes. Ces produits doivent néanmoins avoir une longueur minimale de 2 m pour faciliter la prise par la grue de la déchiqueteuse. En fonction du mode d'exploitation, ces trois coproduits seront valorisés ou non.

Dans le cas d'un bûcheronnage manuel, la purge de pied ne génère aucun surcoût. En revanche, la surbille nécessite en général de l'ébranchage et la cime encore davantage. Dans le bûcheronnage, c'est surtout le temps consacré au façonnage qui est pénalisant. La surbille de résineux est souvent naturellement ébranchée. Son façonnage est donc rapide. En revanche, à l'heure actuelle, la cime doit être laissée sur coupe aussi longtemps que la rémunération des bûcherons pour le bois énergie est identique à celle du bois d'industrie ou du bois d'œuvre. Pour le bois énergie, un ébranchage sommaire (donc sans araser soigneusement les nœuds) n'est pas conseillé si la vidange se fait au débusqueur : on risque de blesser les tiges du peuplement en place. Cette technique n'est utilisable que si la vidange se fait au porteur mais dans ce cas, l'abattage doit également pouvoir être mécanisé.

Quand l'abattage est mécanisé, si la vidange peut se faire au porteur, on aura intérêt à ne pas ébrancher le houppier et à laisser la surbille si les tiges sont suffisamment gainées. Le surcoût lié au bûcheronnage sera alors nul. Le bois énergie ne coûtera alors que les frais de vidange. Si l'abattage est mécanisé et que la vidange se fait au débusqueur, alors on aura intérêt à ébrancher complètement l'arbre. On débardera le bois en long si bien que les coûts du bois énergie se limiteront à des frais de manipulation sur le chemin.

À ce stade, il n'est pas recommandé de faire du bois énergie de type billons. En effet, ceci génère des coûts d'abattage et de vidange comme pour n'importe quelle autre qualité de bois. Les coûts les plus bas observés sont obtenus avec une mécanisation du système (abatteuse et porteur) soit 18 à 21 €/m³ bord de route. Ces coûts approchent et souvent dépassent la limite des prix du marché pour ce type de ressource, le chantier est donc déficitaire. Si ce type d'exploitation devait tout de même être retenu, on choisira des coupes à prélèvement plutôt fort (supérieur à 15 m³ de bois énergie par hectare dans tous les cas). On augmentera dès que possible la longueur des billons (4 m ou 6 m au lieu de 2 m).

Le bois énergie comme produit principal

Ce cas n'a pas été rencontré et c'est normal. En effet, cela signifierait que le bois énergie est exclusivement constitué de grumes. Or la partie noble du bois doit être valorisée comme bois d'œuvre ou bois d'industrie. Néanmoins, ce cas de figure peut se présenter après un incendie ou si une parcelle était constituée d'arbres complètement secs.

Dans les autres cas, si on récolte le bois pour en faire du bois énergie, on le récolte avec les branches et le houppier pour à la fois diminuer les frais d'exploitation et augmenter la quantité de biomasse. Le bois n'est alors plus transportable et doit être déchiqueté en forêt comme nous allons le voir dans le paragraphe suivant.

7.1.1.2. Bois non transportable

Dans ce paragraphe, nous examinerons le cas du bois énergie non transportable et devant être déchiqueté en forêt. Ce type de produit s'inscrit dans une filière en flux tendu où le bois passe de la forêt au client. En effet, passer par une plate-forme de stockage génèrerait des coûts de rupture de charge non supportables dans le temps car le bois non transportable comprend une part importante de houppier, donc de matériau fin qui n'est pas apprécié par les petites chaufferies (risque de colmatage de la vis d'alimentation). Or c'est ce marché qui est le plus rémunérateur et qui est capable de payer une rupture de charge.

Le bois énergie comme coproduit

La principale ressource de coproduit non transportable est le houppier. Le mode d'exploitation du câble-mât permet de mobiliser du houppier à coût nul. Malheureusement, cette technique n'est pas encore assez développée en France.

Pour les chantiers mécanisables et particulièrement dans les jeunes futaies résineuses, le houppier sera sorti de la parcelle à l'aide du porteur. Dans ce cas, la découpe fin bout sera faite dès que le diamètre atteindra 16 à 18 cm sur écorce et la partie supérieure ne sera pas ébranchée. Les seuls coûts de mobilisation sont les coûts de porteur. Les houppiers seront mis en tas comme sur la photographie 10.

Dans les petites coupes rases (avant transformation ou sans semis acquis), il est également intéressant de débarder le bois avec le houppier. La grume sera ébranchée seulement sur la partie bois d'œuvre et bois d'industrie. On séparera le houppier de la grume sur le chemin. Le coût de cette opération équivaut aux coûts de débardage sous réserve d'utiliser un grappin billonneur ou au moins un débusqueur avec grappin.

Les exploitations mécanisées (abatteuse et porteur) réalisées dans les taillis sont en général rentables. L'arbre est abattu, ébranché sommairement puis débardé dans son intégralité et stocké en bord de route où il sera déchiqueté. La filière logistique est illustrée par les photographies n° 16.







Photographies 16 : Exploitation dans les taillis de la forêt domaniale de la Hardt (Haut-Rhin). Abattage mécanisé, vidange au porteur et stockage en tas au bord de route (source : Raphaël Wisselmann)

Le bois énergie comme produit principal

Dans certains cas, le bois énergie est le seul produit d'une exploitation. Ce cas de figure a été peu traité dans ce mémoire néanmoins, les éléments suivants peuvent être fournis.

Dans le cas de l'ouverture d'une emprise, le bois énergie ne suffit pas à équilibrer le chantier. Ceci a pu être constaté même sur de grandes opérations (18,9 ha). D'autres opérations comme des réouvertures pastorales ont été réalisées par l'ONF en Alsace. Le bois énergie n'a pas permis d'en couvrir les coûts. En général pour ces opérations, il est nécessaire de créer une infrastructure ou alors le volume de bois énergie récolté à l'hectare est trop faible.

Les éclaircies précommerciales ne sont pas valorisables sous une autre forme que le bois énergie. Toutefois, ce chantier avant le développement du bois énergie était assimilé à des travaux. Le bois énergie permet de réduire les frais mais l'équilibre financier du chantier reste difficile car la quantité de biomasse récoltée n'est en général pas suffisante (10 à 15 m³/ha).

7.1.1.3. Synthèse des scénarios de mobilisation

Le tableau 23 synthétise les scénarios précités et donne un ordre de grandeur du coût de la mobilisation du bois énergie. Il ne tient pas compte d'une éventuelle rémunération de la matière au propriétaire.

	Abattage manuel				
	Type de peuplement	Type de ressource	Itinéraire technique	Coût de mobilisation	
Vidange au débusqueur (équipé si	Futaie résineuse ou feuillue	Purge de pied, surbille d'une longueur minimale de 2 m	Abattage, débardage de la grume en long et découpe sur la route forestière ou la place de dépôt.	10 €/t	
possible d'un grappin)	Futaie résineuse ou feuillue	Houppier dans le cas d'une coupe rase (découpe fin bout vers 16 cm)	Abattage et ébranchage de la partie bois d'œuvre et bois d'industrie sur coupe, débardage de la grume avec le houppier, découpe du houppier sur le chemin et mise en tas.	Environ 10 €/t	
Vidange au	Futaie résineuse	Houppier	Abattage et vidange de l'arbre complet, ébranchage et découpe fin bout vers 14 à 16 cm et mise en tas.	0 €/t	
câble–mât	Futaie résineuse	Purge d'une longueur minimale de 2 m	Abattage, vidange de l'arbre complet, ébranchage à la tête d'abattage et mise en tas.	5 €/t	
Vidange au porteur	Futaie résineuse ou feuillue	Purge de pied, surbille ou cimes d'une longueur minimale de 2 m	Abattage, découpe fin bout vers 16 cm en parcelle, ébranchage très sommaire de la partie bois énergie (la cime reste sur coupe dans le cas de gros houppiers de feuillus compliqués à démontés), débardage de la partie BE.	Aucun chantier test n'a pu être mené. Un ordre de grandeur de 15 €/t (dont 5 pour le bûcheron) peut être avancé	

	Abattage mécanisé				
	Type de peuplement	Type de ressource	Itinéraire technique	Coût de mobilisation	
	Taillis	Arbre entier	Abattage, ébranchage très sommaire, vidange de l'arbre complet en bords de chemin.	16 à 18 €/m ³ Négocier un prix à la tonne car le cubage est difficile.	
Vidange au porteur	Jeune futaie résineuse	Houppier avec une découpe fin bout vers 16 à 18 cm	Abattage et façonnage de la partie bois d'œuvre, bois d'industrie puis découpe à 16 cm sans ébranchage du houppier. Vidange de la parcelle et mise en tas.	Environ 15 €/t (cela correspond seulement aux coûts de débardage qui sont plus élevés que pour le BO ou le BI compte tenu du foisonnement des cimes)	

Tableau 23 : Propositions d'itinéraires techniques de mobilisation du bois énergie en fonction de la ressource et coûts associés

En règle générale, pour diminuer les coûts de revient du bois énergie (et simplifier la gestion des plates-formes), on aura intérêt à négocier un prix à la tonne. En effet, le temps perdu pour le cubage a pu être estimé sur un chantier test à plus d'un euro par mètre cube ce qui dans le cas de certaines ressources (purges) représente 10 % de leur coût de revient. Un prix à la tonne permet de s'affranchir de cette étape.

7.1.2. Consignes pour la récolte de bois énergie

Pour favoriser la mobilisation de bois énergie comme coproduit, il est nécessaire de diffuser auprès des gestionnaires de terrain des consignes opérationnelles comme celles proposées dans ce paragraphe.

7.1.2.1. Aspects quantitatifs : identifier un chantier avec un gisement suffisant de bois énergie

Il ne faut pas vouloir faire du bois énergie partout. Si le chantier est motivé uniquement par la récolte de bois énergie, il faut une intensité de coupe au moins égale à 30 m³/ha. En tant que coproduit, cette valeur tombe à 15 m³/ha. Parallèlement, il faut un volume minimal de bois pour rentabiliser le déplacement d'une déchiqueteuse. Ce volume minimal doit être atteint sur la seule parcelle en cas de forêt isolée ou pour un groupe de parcelles suffisamment proches (15 à 30 minutes de route). Ce volume minimal est d'environ 80 m³. Toutefois pour chaque parcelle, on cherchera à remplir au moins un conteneur soit un volume minimal par parcelle de 15 m³ de bois énergie.

7.1.2.2. Aspects techniques: mobiliser le bon bois correctement

Quelques réflexes à acquérir

Certaines essences ne sont actuellement pas valorisables autrement qu'en bois énergie. Il s'agit principalement de feuillus tendres comme le saule ou le tremble

Les marges sur le bois énergie sont encore très faibles. Dans le cas de chantiers où la mobilisation est difficile, il vaut parfois mieux laisser les arbres sur coupe. C'est par exemple le cas pour des tiges situés au milieu d'une parcelle difficile à débarder.

Actuellement, en dessous d'un diamètre de 16 cm, il n'existe pas de valorisation possible du bois. La découpe fin bout pourra toujours être faite au moins à ce niveau là.

Bois énergie et arbres morts

Pour faire du bois énergie, le bois peut être sec, scolyté ou atteint par une maladie. En revanche, les arbres morts et pourris ne sont pas valorisables en bois énergie. Comme ils sont souvent en cours de décomposition, la teneur en carbone a baissé et c'est justement elle qui est à l'origine du pouvoir calorifique.

Consignes pour l'abattage et la vidange de bois énergie

Le bois à déchiqueter ne doit en aucun cas comporter des corps étrangers comme des fragments de métal, des pierres ou des chaînes qui pourraient occasionner des dégâts coûteux à la déchiqueteuse. De même, le bois à déchiqueter ne doit pas être sali. Il convient de ne pas rouler dessus avec des véhicules de débardage.

Dans le cas d'une ressource de type houppier, on placera la cime perpendiculairement à la route. Le côté découpé sera orienté côté route et non côté parcelle.

7.1.2.3. Sensibiliser le gestionnaire de terrain

Le personnel d'ONF Énergie n'a pas le temps de suivre tous les chantiers. Ceux-ci doivent être confiés à des agents de l'ONF. Il convient donc de leur donner une fiche de consignes claire sur les actions à réaliser. En effet, par manque d'expérience, ils commettent parfois des erreurs techniques (ébrancher les houppiers, salir les rémanents) ou ne se sentent pas responsable du chantier car il est réalisé pour le compte de la filiale. Parallèlement, les entrepreneurs de travaux forestiers sont de petites structures qu'il est nécessaire d'encadrer surtout dans le domaine du bois énergie car c'est un produit qu'ils connaissent peu.

Le développement de la filière bois énergie doit donc s'accompagner d'une sensibilisation et d'une formation des personnels et ce jusqu'à l'agent de triage. Les modes opératoires à mettre en œuvre pour le bois énergie sont très différents de ceux prescrits pour le bois d'œuvre et même pour le bois d'industrie.

Cette formation sera également l'occasion de rappeler que le bois énergie n'est pas une ressource noble. Les marges dans la filière sont encore extrêmement minces et ne seront probablement jamais comparables avec celles du bois d'œuvre ou du bois d'industrie. Le personnel de terrain doit être informé de cette situation pour qu'il ne soit pas démotivé. Le bois énergie doit donc être vu comme un coproduit. Il permet de mobiliser davantage de volume pour un même nombre d'arbres abattus. Il participe donc aux engagements pris par l'ONF d'augmenter la quantité de bois récoltée.

Le bois énergie s'inscrit dans la démarche de l'ONF de valoriser au mieux tous ses produits. Sauf dans le cas de taillis, le bois énergie est un produit bien particulier peu compatible avec une vente en bloc et sur pied. On passe de la logique « faire pousser un arbre » à la compréhension du besoin d'un client pour lui proposer le bon produit. Ceci peut aussi expliquer que des tas de bois énergie peuvent rester stockés en bord de route pendant plusieurs mois avant d'être transformé en plaquettes. En effet, il faut décrocher le bon contrat avec une chaufferie située à une distance acceptable et qui puisse recevoir ce type de produit.

Après s'être intéressé à l'amont de la filière, concentrons notre attention sur la partie aval. C'est là le domaine d'activité d'ONF Énergie. Des actions peuvent être proposées pour cette société.

7.2. Axes de progrès pour ONF Énergie

Dans ce paragraphe, des propositions sont formulées pour améliorer sur les plans techniques et économiques les performances d'ONF Énergie. Elles passent notamment par des investissements sur le site de Bennwihr. Puis, la politique de développement de la société sera discutée aussi bien en interne qu'en externe.

7.2.1. Aspects technico-économiques

7.2.1.1. Un démarrage difficile

Le démarrage de la filiale s'est fait dans des conditions difficiles pour plusieurs raisons.

La concurrence des DIB a été largement sous-estimée au démarrage. La structure de coût des vendeurs de DIB est très différente puisqu'ils n'achètent pas la matière première. Parfois même, ils sont payés pour la reprendre. Ce produit concurrence donc directement la plaquette forestière avec un prix de vente de 15 €/MWh. Ce montant a été retenu pour être inférieur au prix de revient de la plaquette forestière. Il ne reflète pas les coûts de production des DIB, largement inférieur à 15 €/MWh. Les prix de la plaquette forestière sont donc tirés vers le bas.

La production de plaquette forestière était également un nouveau métier où la logistique a une importance capitale or l'ONF a assez peu de recul en la matière puisqu'il vend son bois sur pied ou façonné bord de route.

Les premiers contrats signés en Alsace l'ont été au-dessus du prix du marché, ONF Énergie se plaçant dans le créneau de la plaquette de qualité. Ce choix commercial lui a valu de nombreux contrats perdus mais s'est avéré payant à long terme. De nombreux maîtres d'ouvrage non satisfaits de leur fournisseur en ont changé et ont sollicité ONF Énergie. La stratégie a donc payé. Ceci permet à ONF Énergie de rémunérer le mieux possible le propriétaire forestier.

7.2.1.2. Une nécessaire augmentation de capital

Au chapitre 5, l'accent a été mis sur la valeur du stock. Celui-ci a été approché par deux méthodes différentes qui ont abouti au même ordre de grandeur. Le stock représente environ 23 % du chiffre d'affaires soit 400 000 €. Celui-ci est amené à augmenter avec le développement de l'activité. En effet, entre le moment où la biomasse est achetée et le moment où elle est vendue, il s'écoule 5 à 6 mois compte tenu de l'itinéraire technique et des durées de séchage incompressibles.

Si la filiale se développe encore davantage, le stock va augmenter de façon proportionnelle. Par exemple si ONF Énergie décrochait un nouveau contrat de vente de 10 000 t par an de plaquettes devant passer par une plate-forme, il serait nécessaire de créer un nouveau stock de 5 000 tonnes. Or le coût de la biomasse livré à la plate-forme est estimé à $11 \in \text{par MWh}$ soit environ $33 \in \text{par tonne}$ d'où une immobilisation supplémentaire de $165\ 000 \in \text{Les}$ frais bancaires pour avance de trésorerie s'élèveraient à environ 4% soit $6\ 500 \in \text{par an}$.

Compte tenu des marges minces dans la filière, cette somme est significative et serait la bienvenue pour réaliser des investissements. Une augmentation de capital servirait à financer ce stock nécessaire.

7.2.1.3. *Une priorité : investir dans la plate-forme de stockage de Bennwihr*

Pourquoi investir dans la plate-forme de Bennwihr?

La plate-forme est un élément structurant de la filière. Elle sert bien sûr de tampon, de lieu de stockage et de fabrication de la plaquette mais également de vitrine commerciale. En moyenne au cours de ce stage, elle a été visitée deux fois par mois par des techniciens, des élus ou des futurs partenaires commerciaux.

Actuellement, le site de Bennwihr n'est pas en totale conformité avec la réglementation ICPE. De même, cette plate-forme est sous équipée compte tenu du flux actuel et prévisible de plaquettes. Il est donc nécessaire soit d'investir à Bennwihr soit de rechercher un autre site.

Après analyse, il s'avère que l'emplacement existant est le meilleur compromis pour plusieurs raisons :

Il est géographiquement stratégiquement situé : l'axe routier majeur de l'Alsace, l'autoroute A 35 est à moins d'un kilomètre. Au débouché des vallées boisées de Munster et de Kaysersberg, il

bénéficie, dans la poche de Colmar, d'une très faible pluviométrie annuelle de l'ordre de 550 mm permettant de s'exonérer de l'utilisation de bâches TOPTEX pour le séchage en tas à l'extérieur.

Les conditions d'achat proposées par le propriétaire sont extrêmement favorables. Le prix de vente est basé sur un prix de 1835 € par are (hangar compris) ce qui est particulièrement compétitif. À titre de comparaison, deux terrains nus se sont vendus dans la périphérie colmarienne avec des prix de 2 700 € par are (17 ha vendus en décembre 2007) et 3 500 € par are (3,6 ha vendus en juin 2008). En estimant la valeur résiduelle du hangar à 150 000 € (1500 m²), l'économie globale réalisée est de 266 000 € ce qui devrait compenser les surcoûts liés à la démolition de certaines parties ou aux difficultés de chantiers liés à un site en activité. Enfin, il convient également de rappeler que le foncier est rare en Alsace (plus de 400 habitants par km² en plaine). Une telle opportunité est donc à saisir.

Ouels investissements réaliser?

Les investissements à réaliser sont détaillés en annexe 12 et s'élèvent à 740 000 € HT. Ils peuvent être détaillés en trois grands postes :

- achat de terrain pour 270 000 € HT
- première tranche d'investissement (clôture, bureaux, équipement de pesée, création d'aire de stockage bétonnée, matériel de manutention) : 270 000 € HT,
- deuxième tranche d'investissement (extension des aires de stockage, deuxième tranche d'équipements de bureaux) pour 200 000 € HT.

Parmi les investissements de la première tranche, on trouve l'achat du chargeur qui est actuellement loué et l'installation d'un équipement de pesée. L'annexe 13 montre que l'investissement d'un équipement de pesée ne génère pas d'augmentation du prix de revient de la plaquette forestière. En effet, le temps perdu par les transporteurs pour aller peser leur chargement chez l'entreprise voisine est de l'ordre de 10 minutes. L'économie de temps réalisée suffit à amortir en 7 à 10 ans l'achat de l'équipement de pesée estimé à 30 000 € HT. Rappelons également qu'il est indispensable pour suivre l'état des stocks comme cela a été démontré dans le chapitre 5.

L'annexe 14 évalue l'impact de cet investissement de 570 000 € sur le coût de revient de la plaquette forestière. Il peut être estimé à 1 €/MWh soit une augmentation de 5 %. Si le site est acheté par l'ONF et mis à disposition d'ONF Énergie pour une somme symbolique, l'augmentation du prix de la plaquette est ramenée à 0,5 €/MWh. Le coût de revient de la plaquette forestière passerait donc en théorie de 22 à 23 €/MWh. Mais des économies peuvent encore être réalisées comme nous allons le constater.

7.2.1.4. Des économies possibles

Revoir le contrat cadre avec l'ONF

Actuellement, le bois rond transportable est acheté par ONF Énergie à l'ONF au prix unique de 23 €/m³. Sur la base d'une densité moyenne de 0,9 t/m³ (bois frais) et d'un PCI de 2,5 MWh/t à 45 % d'humidité (PCI anhydre moyen de 5,1 MWh/t) le prix d'achat du bois est de 8,28 €/MWh.

Le prix de vente de la plaquette est de 22 €/MWh, et on a vu que la biomasse représentait 34 % du coût soit 7,5 €/MWh. Le prix d'achat du bois à l'ONF est donc trop élevé et doit être ramené à 7 voire 7,5 €/MWh. Ce prix doit être converti en unité facilement mesurable, la tonne. Ceci permettra également de supprimer le cubage du bois énergie en forêt. Le nouveau prix d'achat proposé s'établit donc autour de 17 à 19 €/t. Il est proposé dans un premier temps et pour simplifier de ne pas tenir compte du taux d'humidité. Une fois que la balance sera installée sur la plate-forme et qu'un local technique aura été créé, pour chaque camion entrant sur le site, un prélèvement de sciure pourra être réalisé à l'image du fonctionnement de la plate-forme de Vienne Simmering et un prix d'achat de la tonne anhydre pourra être négocié entre 35 et 40 €/t anhydre.

Il ne faut pas sous estimer l'importance de cette baisse de coût pour l'ONF. En effet, le coût de revient de l'exploitation à l'abatteuse et au porteur est souvent de l'ordre de 15 à 20 €/t. Ce type d'exploitation peut donc s'avérer non rentable avec les nouveaux prix d'achat.

Pour la biomasse non transportable, un prix d'achat de 1 à 10 €/t soit 0,25 à 4 €/MWh est compatible avec des prix de vente de 16 à 18 €/MWh. Le déchiquetage, le transport et les frais de personnel avoisinent les 11 €/MWh d'après le chapitre 5.

Réduire les coûts de personnel et de déchiquetage

A priori, des économies peuvent être réalisées sur ces deux postes. En effet, actuellement la plate-forme emploie un ouvrier à temps plein. Le tonnage qui transite sur le site ne justifie pas ce volume horaire, aussi, le coût marginal en personnel lié au tonnage supplémentaire sera nul. Le prix du personnel ramené au mégawatt-heure vendu devrait donc mécaniquement baisser.

Les coûts de déchiquetage qui s'élèvent à 5,7 €/MWh (15,9 €/t à 40 % d'humidité) devraient également baisser. Le récent partenariat avec une nouvelle firme de broyage équipée d'un broyeur plus puissant va dans ce sens. Un gain d'un euro par mégawatt-heure peut être escompté. Ceci permettrait de ne pas répercuter l'augmentation de 0,5 à 1 €/MWh liée aux travaux d'investissement.

7.2.1.5. Renforcer le pilotage technique et économique

À ce jour, il n'existe pas de suivi en temps réel de l'état des stocks de la plate-forme. Il est donc extrêmement difficile de vérifier la rentabilité des contrats alimentés par le site de Bennwihr. Au cours de cette étude, nous avons essayé de développer un outil informatique pour permettre ce suivi.

Si l'outil développé permet d'approcher la valeur du stock, il ne permet pas d'en connaître avec précision la quantité. La seule unité acceptable pour faire ce suivi est le mégawatt-heure. Toutes les autres unités (MAP, tonne, m³) évoluent dans le temps. Une mesure des mégawatts-heures en entrée et en sortie du site est donc nécessaire. Ceci passe par l'installation d'un équipement de pesée et la prise d'échantillons sur chaque camion entrant ou sortant du site.

Pour faciliter la gestion comptable, il est donc recommandé de se limiter dans un premier temps à deux unités, le mégawatt-heure ou la tonne, si le vendeur de bois a besoin d'être « rassuré » par une grandeur physique qui lui est familière.

7.2.2. Quelle politique de développement ?

Nous formulerons des propositions respectivement pour la politique interne et externe de la société.

7.2.2.1. Des recrutements nécessaires au sein d'ONF Énergie

Actuellement, la société ne dispose pas de personnel administratif. Pour l'instant, c'est donc le directeur général qui fait les photocopies, saisit les factures, rédige les bons de commande ou remplit les chèques. Compte tenu du développement de la société, il est souhaitable qu'il se consacre pleinement au pilotage de la structure, à la rencontre de nouveaux clients identifiés par son commercial ou à l'organisation de la production. Il est donc recommandé d'embaucher, au moins à mitemps un personnel administratif ayant également des compétences comptables.

Enfin, en cas d'absence prolongée ou de congés, il est nécessaire de trouver une personne qualifiée qui pourra suppléer le directeur général dans ses fonctions.

En revanche, pour l'instant, il ne semble pas nécessaire d'embaucher du personnel de terrain pour suivre les chantiers de fabrication car le volume d'activité dans une région ne le justifie pas encore. Il vaux mieux recourir par convention aux agents de l'ONF.

7.2.2.2. Où faut-il développer l'activité?

Actuellement, ONF Énergie cherche à se développer dans tout l'hexagone. Ceci génère très souvent des temps de déplacements très important. Il semble préférable d'axer le développement en tenant compte des paramètres suivants :

- la proximité de la ressource. ONF Énergie peut s'appuyer sur les forêts domaniales comme source de matière première. Un temps de route d'une heure en camion à partir de ces forêts peut être retenu. La façade est du pays doit également être privilégiée compte tenu de l'importance de la forêt publique. car très souvent les chaufferies à bois sont réalisées sous maîtrise d'ouvrage d'une collectivité territoriale ;
- la concurrence sur la ressource. Il existe plusieurs formes de bois qui permettent de réaliser de la plaquette forestière. Toutefois, le bois rond présente de nombreux avantages déjà évoqué. Les plates-formes de stockage devraient être choisies dans un secteur où il n'y a pas de fabrique de panneau à proximité. À ce titre, le développement d'ONF Énergie en Alsace et particulièrement dans le Haut-Rhin est révélateur. Les premières usines de panneaux de particules sont à plus de 1 h 30 de route, à Lure (Haute-Saône), à Rambervillers (Vosges) ou à Phalsbourg (Moselle). Ainsi, dans le Nord du Bas-Rhin, la proximité de ce fabriquant de panneaux de particules génère une tension sur la ressource en bois rond et tire les prix vers le haut (prix d'achat autour de 50 €/m³).

Les régions Rhône-Alpes, Provence-Côte-d'Azur sont avec l'Alsace celles qui remplissent le mieux ces conditions de proximité de la ressource et de l'éloignement des usines de panneau.

7.2.2.3. Quels marchés viser?

Stratégie commerciale : quels clients démarcher ?

Quatre grands types de chaufferies ont été identifiés : les chaufferies des particuliers, les chaufferies collectives de petite et moyenne puissance et celles des industriels. Les ÖBF ont clairement pris le parti de la chaudière à grande puissance (plus d'un MW de puissance). Cette démarche n'est pas transposable en France compte tenu de la structure de l'actionnariat de la SAS (participation de la FNCOFOR) et du statut de l'ONF.

On peut néanmoins avancer que le marché du particulier est très consommateur en temps, nécessite du matériel de livraison adapté (camion souffleur) et avec peu de volumes vendus. Il serait donc préférable de nouer un partenariat avec un entrepreneur local qui investirait dans l'équipement adéquat, ONF Énergie fournissant la matière première. Une prise de participation dans la société achetant le camion peut également être envisagée.

Les autres marchés sont complémentaires et ne doivent donc pas être négligés. En effet, les petites et moyennes chaufferies ont besoin de produit sec qui passe donc par une plate-forme de stockage et de séchage. Les industriels cherchent des produits à bas coût ce qui implique une livraison en flux direct mais la plate-forme permet d'avoir un stock tampon de sécurité qui rassure le client.

Stratégie commerciale : quel produit proposer ?

Actuellement, ONF Énergie ne vend qu'un seul produit, la plaquette forestière. Ceci peut être vu comme une force mais également comme une faiblesse. En effet, certains maîtres d'ouvrage souhaitent parfois disposer d'offres alternatives avec un mélange de plaquettes forestières et de DIB de classe A. Ce dernier produit est très difficile à trouver car le tri ne peut jamais être garanti à 100 %. Dans un DIB de classe A, on retrouve fréquemment des morceaux de bois peints ou de panneaux de particules. Il s'agit alors d'un DIB de classe B non autorisé dans les chaufferies qui n'ont pas de dispositif de traitement des fumées. C'est souvent le cas pour les installations d'une puissance inférieure au mégawatt.

Par ailleurs, ONF Énergie s'est positionné sur le marché de la plaquette de qualité certifiée PEFC. La commercialisation de produits mélangés pourrait brouiller la bonne lisibilité dont bénéficie la société.

De même, la filière du recyclage en France est un secteur spécialisé, souvent aux mains de grands groupes. Pour proposer un produit mélangé, ONF Énergie devrait nouer des partenariats avec ces groupes qui sont des concurrents directs puisqu'ils proposent des produits qui tirent le marché de la plaquette vers le bas. Cela n'est donc pas souhaitable.

Ce dernier exemple illustre bien la difficulté de s'imposer dans le marché de la plaquette forestière. Comme nous allons le souligner dans le paragraphe suivant, pour lever ces difficultés, l'ONF et ONF Énergie partagent très souvent les mêmes intérêts. Il s'agit donc de développer les synergies.

7.3. ONF et ONF Énergie, des intérêts communs

Même si l'ONF et ONF Énergie interviennent sur des marchés différents, il existe tout de même un certain nombre d'intérêts communs qu'il convient de renforcer.

7.3.1. La plaquette, la poule aux œufs d'or ?

Tout d'abord, il convient de rappeler que le bois énergie est un secteur où les marges sont extrêmement faibles, même dans des pays ayant développé la filière comme l'Autriche. Les marges avancées par les ÖBF sont de l'ordre de un à deux euros par tonne anhydre soit moins de 0,5 €/MWh ou 1 €/t de bois frais. Si la plaquette génère peu de revenus directs, elle présente quatre avantages collatéraux.

Le classement des produits est mieux fait. Auparavant, le bûcheron avait parfois tendance à ne pas faire une purge alors que le bois était de mauvaise qualité. En payant la purge, à un prix certes moins élevé, le bûcheron n'a pas l'impression de perdre de l'argent puisqu'il est maintenant également rémunéré pour le volume de purges.

La valorisation des rémanents laisse les parterres de coupe propre, à la satisfaction des ouvriers forestiers et des entrepreneurs de travaux forestiers, ainsi que du grand public.

La plaquette forestière constitue une alternative à certains débouchés traditionnels (papeterie, panneaux de particules). Dès que son marché se sera suffisamment développé, il induira une tension sur la ressource susceptible de maintenir les prix en cas d'événement climatique (chablis) comme le montre le retour d'expérience de l'Autriche.

La plaquette forestière, comme source d'énergie renouvelable permet aux deux structures de bénéficier d'une bonne image auprès du grand public.

7.3.2. Développer de nouveaux outils de pilotage et de récolte

Développer la technique du câble-mât

Une grande partie de la forêt française est sous-exploitée notamment à cause des difficultés d'exploitation. La technique du câble-mât est une alternative intéressante pour les deux structures :

- elle rend accessible à l'ONF des zones actuellement inexploitées,
- ONF Énergie peut aussi récolter de la biomasse à coût nul,
- le développement du bois énergie permet de valoriser les branches. Auparavant, ce produit posait des difficultés puisqu'il devait souvent être broyé pour faire place nette,
- elle est intéressante pour la sécurité des personnels puisqu'il n'y a en général qu'un seul bûcheron sur coupe et que celui-ci ne réalise que l'abattage (pas d'ébranchage ou de façonnage).

Valoriser la connaissance de la ressource

L'ONF a développé un outil de prévision de récolte. Un module bois énergie pourrait être couplé à ce logiciel afin d'avoir une vision territorialisée et annualisée des gisements de bois énergie mobilisable. Il pourrait être utilisé par ONF Énergie pour rassurer les maîtres d'ouvrage sur la disponibilité de la ressource.

Si un outil de gestion de flux de bois comme le *Holzflussmanagement* (cf. 6.4.3.2) était développé, il permettrait à l'ONF et à ONF Énergie de connaître en permanence l'état et l'emplacement des produits et de piloter ainsi à distance l'activité encore plus facilement.

7.3.3. Améliorer la performance du système de production

Dans le prix de revient de la plaquette forestière, les deux principaux postes de coûts identifiés sont l'achat de biomasse et le déchiquetage. Pour le premier, les différents scénarios de mobilisation de bois énergie montrent que le coût du bois énergie provient surtout des coûts de débardage. Nous allons donc essayer de proposer des pistes pour réduire les coûts de ces deux postes. Au-delà du processus de fabrication, nous nous pencherons également sur le suivi du chantier.

7.3.3.1. Réduire les coûts de débardage

Le débardage constitue un coût difficile à cerner : plusieurs facteurs entrent en compte tels que la présentation du produit, le volume moyen, la distance, la pente, etc. Les entreprises interviennent donc la plupart du temps à l'heure ou avec les mêmes prix de vente que pour le bois d'œuvre.

Le débardage des perches et des cimes revient autour de 15 €/t, ceci parce que les bois foisonnent énormément et que la charge transportée est faible (environ 4 tonnes pour un porteur de capacité 14 tonnes). On peut réduire ce coût en optant pour des parcelles :

- à fort prélèvement,
- à faible distance de débardage et sans obstacle notable,
- comportant en plus des cimes et des petites perches une fraction de bois marchand, ce qui permet d'augmenter la charge débardée. La découpe fin bout sera donc faite entre 16 et 18 cm de diamètre voire plus.

De plus, le porteur peut être équipé de ranchers rehaussés et même élargis s'il opère dans des coupes rases afin d'augmenter sa capacité.

7.3.3.2. Optimiser le déchiquetage

Le déchiquetage a un bien meilleur rendement que le débardage (jusqu'à 30 t/h contre 5 à 10 t/h). Il faut absolument constituer un gros stock de perches et de rémanents bord de route et si possible tout débarder avant de faire intervenir la déchiqueteuse. Cela nécessite de l'espace pour recevoir des piles de 3 à 4 m de haut mesurant 10 m de long, voire plus.

Pour que la déchiqueteuse débite directement dans des camions ou conteneurs positionnés à côté d'elle, il faut une route empierrée ou goudronnée et des abords suffisamment stables : bonne route forestière ou grande place de dépôt aménagée. En général, même lorsque les parcelles sont bien desservies, la place manque. La circulation des camions ou le dépôt des conteneurs pose problème et conduit parfois à des enlisements dès que les conditions météo sont défavorables.

La livraison en flux tendu a généralement tendance à limiter la performance de l'ensemble (déchiqueteuse et camions) car très souvent le conteneur est rempli avant le retour du camion porte-conteneur. Elle nécessite une très bonne coordination, l'idéal étant que l'entreprise qui déchiquète assure également le transport ou travaille en bonne entente avec un collègue transporteur.

7.3.3.3. Simplifier la réception des produits et la facturation

Actuellement, le bois rond est cubé en forêt par l'entreprise ou l'agent patrimonial. Cette opération est coûteuse en temps car ce sont souvent des purges d'une longueur de 2 m. Le coût a été évalué sur un chantier test (annexe 6) à 1,5 €/m³ soit environ 10 % du prix de revient du bois énergie.

Il est proposé de supprimer la facturation au m³ pour la remplacer par la tonne. Pour l'instant, il est conseillé de ne pas la coupler avec un taux d'humidité. Une fois que la plate-forme de Bennwihr sera équipée, on pourra réaliser un prélèvement sur chaque camion entrant et un prix au mégawattheure pourra être retenu. Il sera alors nécessaire d'établir un protocole de réception. Il peut être

relativement simple : faire trois traits de scie à trois hauteurs différentes du camion et au début, au milieu et à l'extrémité du chargement. La sciure est mélangée et c'est ce mélange qui sera séché et pesé.

7.3.4. Mutualiser les contrats, les équipements et les ressources

Vendre simultanément du bois d'industrie et de la plaquette forestière

Des contrats groupés de fourniture de bois d'industrie et de plaquettes forestières pourraient être proposés. En effet, très souvent les usines produisant des panneaux de particules ou les papeteries sont équipées de leur propre chaufferie. La production en connexes de ces établissements n'est pas toujours suffisante. La vente de bois d'industrie pourrait donc s'accompagner de la vente de plaquette.

Vers des plates-formes de stockage polyvalentes

ONF Énergie dispose de plusieurs plates-formes de stockage de plaquettes et de grumes avant déchiquetage. Elles pourraient également être utilisées pour stocker du bois d'œuvre ou du bois d'industrie. Une continuité de l'approvisionnement surtout en période hivernale ou lors des barrières de dégel serait alors garantie. Cet argument peut être avancé auprès des unités qui travaillent en flux tendu ou qui ne disposent pas d'une aire de stockage suffisante. Par contre, ce stockage induit des coûts de rupture de charge qu'il conviendra de répercuter au client.

Mutualiser les compétences spécifiques

La filière plaquette forestière exige de fortes compétences logistiques. Si l'ONF développait comme les ÖBF la vente de bois livré à l'usine ou le passage par des plates-formes de stockage, des compétences en logistique seraient à acquérir. L'embauche d'un logisticien pourrait donc être mutualisée.

Dans le même ordre d'idée, l'ONF dispose d'un important patrimoine foncier. ONF Énergie sera amenée à investir dans certains sites. Une gestion commune via une filiale dédiée (par exemple une société civile immobilière) pourrait être envisagée.

Vendre du bois sciable et récupérer des produits connexes

L'ONF cherche à contractualiser le majeure partie de ses ventes de bois à des scieries. Lors de la négociation du contrat de vente, une clause pourrait prévoir la restitution d'une certaine quantité de produits connexes de scierie à l'ONF. Ces produits seraient alors vendus à la filiale qui pourrait les sécher et les commercialiser comme un produit de qualité. C'est l'une des rares pistes qui permettrait de proposer un produit différent de la plaquette forestière mais ne contenant pas de DIB de classe B. Cette proposition doit néanmoins être étudiée plus en détail car elle brouille la lisibilité d'ONF Énergie et surtout, elle risque de faire baisser le prix d'achat du bois. Par contre, si cette solution était retenue, l'ONF et sa filiale deviendraient des acteurs incontournables puisque cela augmenterait leur mainmise sur la ressource.

7.3.5. Vers une filière intégrée?

L'expérience des ÖBF est extrêmement intéressante. La même société mobilise la ressource et fabrique la plaquette. Elle les valorise au sein de chaufferies appartenant au même groupe. Compte tenu du statut de l'ONF, une telle organisation n'est pas possible en France. La création d'ONF Énergie a permis à l'ONF d'entrer sur la marché du négoce de bois et de plaquettes. Pour assurer un débouché, il resterait maintenant à prendre des participations dans des chaufferies ou à créer une société qui financerait et construirait des chaufferies à bois. Cette dernière solution ne semble pas devoir être retenue compte tenu de la forte implication des collectivités territoriales dans la construction des chaufferies.

La prise de participation est donc préconisée. Celle-ci peut prendre plusieurs formes.

La première solution serait d'entrer dans le capital de sociétés chargées de la maîtrise d'ouvrage d'un projet (société d'économie mixte par exemple). Compte tenu du développement du partenariat public-privé, cette solution est « dans l'air du temps ». Elle a d'ailleurs été retenue à Bâle pour la construction d'une chaufferie de 10 MW. Les propriétaires forestiers sont regroupés en association. Celle-ci détient 51 % du capital de la société chargée de la construction et de l'exploitation de la chaufferie. En échange, ils bénéficient d'un prix garanti d'achat de la plaquette forestière sur une durée de 10 ans. En France, cette solution mériterait d'être étudiée en détail et d'être concrétisée sur un site par exemple en Alsace. En effet, ONF Énergie y dispose d'une importante plate-forme de stockage, l'ONF maîtrise la ressource compte tenu de l'importance de la forêt publique et la concurrence sur la ressource (fabricants de panneaux) est limitée.

Une deuxième solution serait de faire un groupement momentané avec une entreprise chargée de l'exploitation d'une chaufferie. Dans ce cas-là, compte tenu du manque d'expérience d'ONF Énergie en la matière, il serait plus simple de s'associer avec un chauffagiste local qu'avec un des grands groupes nationaux qui dominent le marché (ce sont aussi des concurrents d'ONF Énergie dans la fourniture de combustible). Cette solution permettrait de proposer une offre groupée (fourniture de plaquettes et exploitation de la chaufferie) au maître d'ouvrage. L'ONF pourrait alors s'engager sur un prix de vente de l'énergie à la sortie de la chaufferie. En effet, les coûts de fonctionnements pourraient être réduits en faisant fonctionner la chaufferie avec une plaquette de qualité (taux d'humidité et granulométrie adaptée). Ceci garantit également la meilleure rémunération possible au propriétaire.

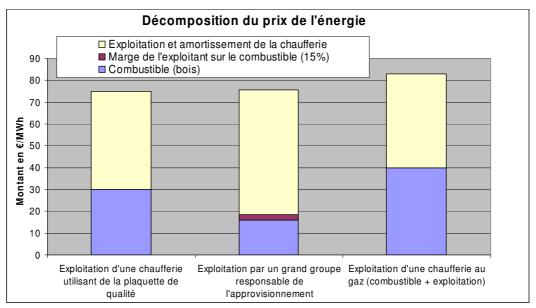


Figure 20 : Décomposition du prix de l'énergie en fonction du mode d'exploitation et du combustible (source : Raphaël Wisselmann)

La figure 20 donne des estimations de coûts. Le prix de l'énergie issue de la chaufferie bois pourrait être maintenu 10 % en dessous de celle issue d'une énergie fossile. Le partenariat avec un exploitant local permet de réduire les coûts d'exploitation. Par ailleurs, il n'y aurait pas de conflits sur le type de produit à utiliser dans la chaufferie puisque cet exploitant n'aurait pas de matière à écouler. Ceci permet de garantir l'utilisation d'un produit de qualité. Ce schéma a déjà été testé en Allemagne où il fonctionne depuis plusieurs années.

On constate avec cet exemple qu'il reste encore des marges importantes de développement. Dans le paragraphe suivant nous verrons qu'il reste plusieurs obstacles à franchir ensemble pour favoriser le développement de la filière.

7.4. Les freins à vaincre ensemble dans la filière plaquette

7.4.1. Le bois énergie, un monde non forestier

Pour l'encadrement de l'ONF, il faut garder à l'esprit que le monde du bois énergie n'a rien à voir avec le monde forestier. Si actuellement, le monde des scieries et des entrepreneurs de travaux forestiers est dominé par des petites structures où beaucoup d'arrangements sont oraux, le monde de l'énergie est dominé par des grands groupes. Ceci nécessite une attention particulière dans la rédaction des contrats.

Le marché de l'énergie est un marché très fermé avec de grands opérateurs où ONF Énergie et l'ONF doivent se faire une place. Pour l'instant, ce ne sont pas encore des acteurs incontournables ou des référents comme dans le domaine de la forêt.

Parallèlement, le bois énergie utilise des unités peu fréquentes dans la forêt. La tonne et le mètre cube sont remplacés par les mégawatts-heures. Il est nécessaire d'avoir quelques ordres de grandeur en tête et de savoir jongler entre les unités.

7.4.2. Tirer la filière vers le haut

Associer fournisseur de plaquettes et concepteurs de chaufferies

La filière de production de la plaquette forestière est actuellement peu structurée et peu d'information circule. Les utilisateurs de la plaquette forestière manquent d'éléments sur les contraintes du fournisseur. Illustrons-le simplement avec deux exemples.

Les silos des chaufferies sont souvent mal dimensionnés. Ainsi, un silo de 100 m³ est une aberration technique puisque le gestionnaire de la chaufferie voudra le faire remplir quand il sera vide aux deux tiers ou aux trois quarts. Mais actuellement le transport de la plaquette ne peut se faire que par tranche de 45 m³ (conteneur) ou 90 m³ (camion à fond mouvant), cette dernière solution étant plus économique. Les dimensions optimales des silos sont donc des multiples de 90 m³ auxquels on ajoute un volume tampon (sécurité, zones du silo qui ne se vident pas) d'une cinquantaine de mètres cubes ce qui donne des volumes de silo de 150 m³ ou 240 m³ ou 330 m³.

Les cahiers des charges devraient systématiquement prévoir des contrats de vente au mégawattheure ou à la tonne avec un taux d'humidité. Si les caractéristiques demandées ne sont pas remplies, la livraison doit être refusée ou des pénalités doivent être appliquées. Actuellement le montant de ces pénalités n'est pas dissuasif. La marge du fournisseur restera meilleure en livrant un produit trop humide et en étant pénalisé qu'en proposant un produit séché sous un hangar.

La récente création de France Biomasse Énergie est donc une bonne chose. Elle permettra de diffuser de l'information comme des modèles de cahier des charges par exemple.

Utilisation de DIB ou rémunération du propriétaire forestier ?

Les DIB sont les principaux concurrents de la filière plaquette forestière. Un DIB de classe A issu de bois broyé est extrêmement difficile à obtenir. L'utilisation de DIB de classe B nécessite un traitement des fumées adapté. Ce type d'équipement est rarement présent dans les petites chaufferies. On a vu précédemment que le prix de revient du DIB était de l'ordre de 15 €/MWh. La plaquette forestière pour les petites chaufferies a un prix de revient de 22 à 25 €/MWh. Elle n'est donc économiquement pas compétitive. La différence est majoritairement due au prix d'achat de la biomasse bord de route (environ 7 à 8 €/MWh). Les maîtres d'ouvrage de ces petites chaufferies sont souvent des communes également propriétaires forestières. En choisissant les DIB, elles ne participent donc pas à la filière dont elles font également partie. Un travail de sensibilisation des élus peut également être fait par l'ONF et ONF Énergie.

Les deux structures ont donc intérêt à tirer la filière vers le haut pour promouvoir un produit de qualité et ainsi pouvoir rémunérer les propriétaires forestiers. Les deux structures ont à nouveau là un intérêt commun et doivent utiliser tous leurs réseaux pour sensibiliser les maîtres d'ouvrage à ces aspects. Des travers peuvent également apparaître du fait de la volonté de certaines collectivités de fonctionner en autarcie.

7.4.3. Sensibiliser les élus : produire de la plaquette en autarcie, un doux rêve !

Plusieurs collectivités territoriales peuvent souhaiter réaliser leur plaquette forestière avec leurs propres moyens et le bois de leur forêt. Si l'idée semble *a priori* séduisante, une analyse approfondie révèle que cette solution n'est pas optimale. Plusieurs schémas d'organisation peuvent être envisagés :

- l'ONF délivre à la commune du bois d'usage de sa forêt. La collectivité l'exploite avec ses ouvriers communaux, le fait déchiqueter, le stocke sous hangar avant de le livrer à sa chaufferie ;
- la commune s'organise en intercommunalité sous la forme d'un « syndicat de chaleur » et mutualise les compétences au sein de cette structure.

Le premier cas de figure amène très souvent à produire de la plaquette forestière à partir de bois qui pourraient être vendus comme bois d'industrie voire comme bois d'œuvre. Ceux-ci valent plus de 45 €/m³ à comparer avec les 17 €/m³ du bois énergie. En effet, le bois énergie doit être vu comme un coproduit d'exploitation et la commune n'a souvent pas la compétence pour classer les bois et les commercialiser. Pour produire de la plaquette forestière, il faut donc une structure qui mobilise suffisamment de bois d'œuvre et d'industrie pour générer suffisamment de coproduits.

Dans le même ordre d'idée, la construction d'une plate-forme de stockage et de séchage nécessite des investissements. Pour les amortir, le volume qui transite par la plate-forme doit être de l'ordre de 10 000 t/an de plaquettes à 35 % d'humidité soit une puissance installée de l'ordre de 9 MW. Très souvent, même à l'échelle de l'intercommunalité, on n'atteint pas ces valeurs. Une autre solution serait de ne pas construire de hangar de stockage et de faire un séchage en tas. Cette méthode nécessite une certaine technicité et également des volumes minimaux pour que la fermentation puisse se produire. Le tas doit avoir une taille minimale d'environ 1000 à 1500 MAP à comparer aux besoins annuels de 2400 MAP (à 35 % d'humidité) d'une chaufferie à bois de 500 kW. Ceci entraîne des coûts de stock que la collectivité doit supporter.

Enfin, la structure intercommunale semble *a priori* séduisante mais le projet est compliqué. Une bonne entente politique est indispensable. Il est également nécessaire de régler les modalités de fourniture de bois par les communes à cette structure et de suivre l'énergie transitant par cette plateforme.

On constate que la fabrication et l'utilisation en autarcie de la plaquette forestière ne permet pas d'optimiser l'utilisation des fonds publics. Chaque type de chaufferie a ses besoins propres et il est bien préférable de faire appel à un professionnel tout en restant très exigeant sur la qualité du produit.

Memoire de fin d'études de Raphael Wisselmann	Etude technico-economique de la filiere plaquette forestier

Conclusion

Après avoir resitué la plaquette forestière dans le contexte du bois énergie, cette étude réalisée pour le compte de l'ONF et d'ONF Énergie, a permis de montrer qu'il est préférable de parler non pas de la plaquette forestière, mais des plaquettes forestières. Leurs caractéristiques et les filières logistiques dépendent du type de chaufferie dans laquelle elles seront utilisées. À ce titre, une typologie des chaufferies bois a été proposée et les conséquences pour la filière plaquette en sont analysées.

La matière première des plaquettes forestières est majoritairement constituée par des coproduits de l'exploitation. Les coûts de revient bord de route de ces matériaux ont été évalués à la lumière de cinq chantiers tests. Ils ont permis de montrer que le type de coproduit à mobiliser est étroitement lié au mode d'exploitation. Une décomposition du coût de revient de la plaquette forestière livrée chez le client a également été calculée à partir de l'étude d'une plate-forme de stockage située en Alsace. Cette analyse a démontré la nécessité d'un suivi des stocks en mégawatts-heures.

Les conclusions du *benchmarking* mené auprès des *Österreichische Bundesforste AG*, gestionnaires des forêts de l'État autrichien ont été présentées. Elles montrent que la maîtrise de la logistique et l'intégration verticale (prise de participation dans des chaufferies) est la clé de la réussite du système. Cette comparaison a également souligné les faibles marges financières de l'activité, compensées par les nombreux avantages collatéraux pour le gestionnaire forestier.

Des propositions applicables à plus ou moins long terme ont été formulées. À court terme, il est suggéré à ONF Énergie d'investir dans un équipement de pesée sur la plate-forme de Bennwihr et d'embaucher un personnel administratif à mi-temps. Pour l'ONF, une campagne de sensibilisation des gestionnaires de terrain accompagnée de consignes opérationnelles pour la mobilisation de bois énergie doit être lancée. Parallèlement, une négociation doit être entamée avec les exploitants forestiers pour définir un prix de vente pour l'exploitation des coproduits. Celui-ci doit nécessairement être inférieur aux prestations facturées pour la mobilisation du bois d'œuvre et du bois d'industrie. À moyen terme, à l'image de l'expérience autrichienne, l'ONF pourrait prendre des participations dans des chaufferies à bois ou nouer des partenariats avec des exploitants locaux de chaudières pour proposer aux maîtres d'ouvrage une prestation complète comme la fourniture de plaquettes et l'entretien de la chaufferie avec une rémunération basée sur l'énergie produite par la chaudière. À plus long terme, l'ONF et ONF Énergie doivent favoriser la diffusion de l'information et de leur expérience en matière de plaquettes forestières. Les propriétaires forestiers verront là l'intérêt de mobiliser certains bois pour produire de la plaquette forestière. Parallèlement, les maîtres d'ouvrages de chaufferies à bois pourront être sensibilisés à l'importance de la qualité du combustible.

Ces actions seront d'autant plus pertinentes si elles sont menées au niveau de l'interprofession. L'ONF et ONF Énergie, compte tenu de leur importance, sont amenés à y jouer un rôle moteur pour professionnaliser la filière. Ceci passera notamment par la redéfinition de la place des déchets industriels banals dans les chaufferies à bois.

Enfin, comme le montre l'expérience autrichienne, le développement des énergies renouvelables ne peut se faire sans une politique énergétique volontariste. Les politiques publiques mises en œuvre actuellement (projets CRE, programme bois énergie de l'ADEME, etc.) sont sous-dimensionnées au regard de nos engagements européens. Aussi, l'élaboration du plan d'actions issu des propositions du Grenelle de l'environnement est une opportunité à saisir pour traduire les ambitions de la France dans le domaine des énergies renouvelables.

Mémoire de fin d'études de Raphaël Wisselmann	Étude technico-économique de la filière plaquette forestière

Bibliographie

- [1] CHASSET Clément. Perspectives de mobilisation de bois-énergie à la Société Forestière de la Caisse des Dépôts. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur civil du GREF. Nancy: ENGREF, 2007, 131 p.
- [2] POUËT Jean Christophe. Coord. ÉVALUATION DU PROGRAMME BOIS-ÉNERGIE 2000-2006. Synthèse. Avril 2007. Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par Tercia consultants et Etrie international, Angers : ADEME, 2007, 18 p. [En ligne].

Disponible sur

http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=67939CD8295A3B0D83DAAF79C92886CD11907255 64971.pdf (accédé le 27 août 2008).

[3] Guide ADEME. Certificat d'économies d'énergies pour les entreprises. [s.l.] : ADEME, 2008, 19 p. [En ligne].

Disponible sur http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15024 (accédé le 27 août 2008).

[4] Guide ADEME. Certificat d'économies d'énergies pour les collectivités et les établissements publics. [s.l.]: ADEME, 2008, 19p. [En ligne].

Disponible sur

http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=C1BA146E78524E532E3ACB4911540E85121327836 9877.pdf (accédé le 27 août 2008).

[5] BODIGUEL A., ANDRE Y., LEGUET B. *Projets domestiques. Rendre concret le protocole de Kyoto*. Paris : ADEME - Caisse des Dépôts et des Consignations, 2008, 8 p. [En ligne].

Disponible sur

http://www.caissedesdepots.fr/IMG/pdf_08-05-14_Note_commune_ABBL_ADEME-CDC_VF.pdf (accédé le 27 août 2008).

[6] ASSOCIATION France FORÊT. Contribuer aux Assises de la forêt. [En ligne].

Disponible sur http://agriculture.gouv.fr/sections/magazine/focus/assises-foret-du-bois/groupe-climatenergie/downloadFile/FichierAttache_5_f0/contribution_FF_1.pdf?nocache=1134040585.85 accédé le 27 août 2008).

- [7] JAUPART-CHOURROUT N. 2002. Du bois à l'énergie. La forêt privée, n° 268, p.57-61.
- [8] FRANÇOIS, Damien. Contribution à l'élaboration de la charte forestière de territoire « Bois énergie Région d'Épinal » et à l'évaluation du potentiel bois énergie des forêts lorraines ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur forestier. Nancy : ENGREF, 2005, 86 p.
- [9] Norme expérimentale XP CEN/TS 14961 Biocombustibles solides. *Classes et spécifications des combustibles*. Paris : AFNOR, décembre 2005, 40 p.
- [10] BALLU Jean-Marie. *Pour mobiliser la ressource de la forêt française*. Rapport du Groupe de travail du CGAAER sur l'insuffisante exploitation des forêts françaises. Paris : Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux, 2007, 30 p. [En ligne].

Disponible sur http://agriculture.gouv.fr/sections/publications/rapports/pour-mobiliser-ressource/downloadFile/FichierAttache_1_f0/ballu_sousex_final.pdf?nocache=1134040585.85 (accédé le 27 août 2008).

[11] GINISTY Christian; VALLET Patrick; CHABE-FERRET Sylvain *et al. Biomasse forestière disponible pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels*. Paris : Direction générale de la foret et des affaires rurales (DGFAR) - CEMAGREF, 2007, 255 p. [En ligne].

Disponible sur http://agriculture.gouv.fr/sections/publications/etudes/biomasse-forestiere (accédé la dernière fois le 27 août 2008).

[12] ADEME. Bilan environnemental du chauffage domestique au bois. Note de synthèse. Angers : ADEME, 2005, 14 p. [En ligne].

Disponible sur

http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=82701FA617B0D2D4BA537F2E5280F859115764183 7661.pdf (accédé la dernière fois le 27 août 2008).

[13] CACOT, Emmanuel. Coord. *La récolte raisonnée des rémanents en forêts*. Angers : ADEME, 2006, 37 p. [En ligne]

Disponible sur

http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=4E7EC2AD002BB99C7800BA6E3C76022111539213 83574.pdf (accédé le 27 août 2008)

[14] BEGUIER, Sébastien. *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques*. CITEPA / CORALIE format CCNUCC. Paris : Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique, 2007, 74 p. [En ligne].

Disponible sur http://www.citepa.org/publications/CCNUCC France dec2007.zip (accédé le 27 août 2008).

- [15] DE CARA Stéphane. et THOMAS, Alban, Coord., *Projections d'émissions et d'absorptions de gaz à effet de serre dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010 et 2020. Rapport final pour le ministère de l'Agriculture et de la Pêche.* Paris : Inra, 2008, 197 p.
- [16] ASSOCIATION DES RÉGIONS FRANÇAISES DU GRAND EST. Suivi de l'évolution du bois énergie sur les 5 régions du Grand Est. Schiltigheim : FIBOIS-Alsace, 2008, 65 p. [En ligne].

Disponible sur

[17] FIBOIS Alsace. *Panorama de la filière bois énergie en Alsace*. Schiltigheim : FIBOIS-Alsace, 2007, 91 p. [En ligne].

Disponible sur http://www.fiboisalsace.com/fibois/etudes/etudeboisenergie2007/etude_file (accédé le 27 août 2008).

- [18] BRIANE D., DOAT J. Guide technique de la carbonisation. Aix-en-Provence : Edisud, 1985, 180 p.
- [19] CLUB BOIS DÉCHIQUETÉ ITEBE, 2004. Vendre du bois déchiqueté sur la base de son contenu énergétique. *Bois Énergie*, n°1, p.36-38.
- [20] BERNARD C., RABOT-QUERCI M.L., ROYAUME Yann. et al. Optimiser la combustion pour un développement durable du bois énergie. *Oil and Gas Science and Technology*, 2006, Vol 61, n°2, p.203-211.
- [21] PETTERSSON Magnus, NORDFJELL T. 2007. Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees. *Biomass and Bioenergy*, Vol 31, p. 782-792.

- [22] HOLZENERGIE SCHWEIZ. Energieeinhalt von Holzschnitzeln und Pellets /Graue Energie. [s.l.]: Holzenergie Schweiz, [s.d.], 2 p. [en ligne].
- Disponible sur http://www.holzenergie.ch/fileadmin/pdf/403energieinhalt_graueEnergie_DFI.pdf (accédé le 15 septembre 2008).
- [23] LAURIER, Jean Pierre. Comment évolue la masse volumique des bois d'industrie après abattage ? *Informations forêts* 1998, n°3, fiche n°573, 6 p.
- [24] BERTRAND G., BROOKS G. Sur le pouvoir calorifique des bois et des tissus lignifiés. Paris : Annales de l'Office National des Combustibles liquides, 1938, n°6.
- [25] KOLLMANN F. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. 2. Auflage. Berlin : Springer, 1955, 1183 p.
- [26] DA SILVA PEREZ Denilson. Caractérisation d'espèces résineuses et feuillues pour la mise en pâte kraft. *Informations forêts* 2006, n°3, fiche n°735, 6 p.
- [27] VAUTHERIN Pierre. Le bois de feu. Comment le mesurer ? Paris : Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, 1995, 21 p.
- [28] LEON Pascal, MAIRE Florence. Les différentes qualités de plaquettes forestières. *Forêt Entreprise*, 2003, n°152, p.34-36.
 - [29] HAKKILA P. Utilization of residual forest biomass. Berlin: Springer, 1989, 568 p.
- [30] HELDERLÉ, Claire. Le développement des filières d'approvisionnement en plaquettes forestières en Alsace : état des lieux et propositions. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur forestier. Nancy : ENGREF, 2006, 90 p.
- [31] POUËT Jean Christophe. Mise en place d'une chaufferie au bois. Étude et installation d'une unité à alimentation automatique. Les ULIS Angers ADEME Éditions, 2007, 170 p.
- [32] LAURIER Jean Pierre, POUËT Jean Christophe, BALLAIRE P. *Bois-énergie : le déchiquetage en forêt*. Paris : ADEME Éditions, Collection Connaître pour agir, 1998, 111 p.
- [33] NURMI Juha. 1999. The storage of logging residue for fuel. *Biomass and Bioenergy*, Vol 17, p. 41-47.
- [34] de MOROGUES Francis. Bioénergies : des actions de recherche pour donner sa juste place au bois ? *Informations forêts* 2007, n°2, fiche n°749, 6 p.
 - [35] CONTRAT 2007-2011 entre l'État et l'ONF. [En ligne].
- Disponible sur http://www.ofme.org/documents/ONF-COFOR/CONTRATETATONF.pdf (accédé le 27 août 2008).
- [36] OFFICE NATIONAL DES FORÊTS. Note de Service 06-T-254 du 7 novembre 2006 relative au bois énergie et à la gestion durable des sols. Paris, 2 p.
- [37] OFFICE NATIONAL DES FORÊTS. Direction territoriale Alsace. Note de Service 06-81 du 29 septembre 2006 relative au bois énergie. Strasbourg, 5 p.
- [38] OFFICE NATIONAL DES FORÊTS. Direction territoriale Alsace. Note de Service 07-98 du 18 juillet 2007 relative au bois énergie. Strasbourg, 4 p.

- [39] MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE. La forêt et les industries du bois 2006. Toulouse : AGRESTE, 2007,180 p.
- [40] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT. *Daten und Zahlen 2007*. Vienne: AMEDIA, 2008, 49 p.
- [41] MISSION ÉCONOMIQUE DE L'AMBASSADE DE FRANCE À VIENNE. Fiche de synthèse : la forêt et la filière bois en Autriche. Vienne : [s.e.], 2007, 4 p.
- [42] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT. Erneuerbare Énergie 2020. Teilprojekt « Biomasse Forst ». Vienne: BMLFUW, 2007, 60 p.
- [43] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT. Förderungen der Bundesländer. [En ligne].

Disponible sur http://www.holzwaerme.at/cms/cms.php?pageName=111 (accédé la dernière fois le 18 septembre 2008).

[44] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT. *Grüner Bericht* 2007. 2007, 322 p. [En ligne].

Disponible sur http://www.gruenerbericht.at/cms/download/gr-ner-bericht-sterreich/gr-ner-bericht-2007/download.html (accédé le 17 septembre 2008).

- [45] AUSTRIAN ENERGY AGENCY. Einspeisetarife gemäß Einspeisetarifverordnung 2006. [En ligne]. Disponible sur www.eva.ac.at/(de)/enz/einspeis_2006.htm (accédé la dernière fois le 18 septembre 2008).
- [46] Norme expérimentale XP CEN / TS 14918 Biocombustibles solides. *Méthode pour la détermination du pouvoir calorifique*. Paris : AFNOR, décembre 2005, 62 p.

Contacts

Nom	Fonction	Structure	Adresse	Coordonnées téléphoniques courriel
Erwan Autret	Chargé de mission Biomasse énergie			02 41 20 43 08 erwan.autret@ademe.fr
Johannes Bendl	Responsable des achats	Österreichische Bundesforste AG	terreichische Pummergasse 10-12 0	
Alain Boullay	Responsable Commercialisation des bois	ONF direction territoriale Alsace	14, rue du maréchal Juin 67084 Strasbourg	03 88 76 82 78 alain.boulay@onf.fr
Maurice Burger	Adjoint au maire de Soultz, responsable des énergies renouvelables	Commune de Soultz	Mairie pl République 68360 Soultz	03 89 62 25 40 maurice.burger@soultz68.fr
Wolfgang Chaloupek	Directeur d'agence	Österreichische Bundesforste AG	Langenloiser Strasse 117 A- 3500 Krems Autriche	0043 273 285 305 wolfgang.chaloupek @bundersforste.at
Thierry Charloux Benoît	Responsable bois énergie Directeur Bois et	Fédération nationale du bois ONF	6 rue François 1 ^{er} 75008 Paris 14, rue du maréchal Juin	01 56 63 35 90 thierry.charloux@fnbois.com 03 88 76 81 44
Cuillier Cédric Ficht	Travaux Chef du service forêt et bois	direction territoriale Alsace ONF agence de Schirmeck	67084 Strasbourg 2 rue de la Forêt BP 68 67131 Schirmeck cedex	benoit.cuillier@onf.fr 03 88 47 49 80 cedric.ficht@onf.fr
Benoît Fritsch	Chargé de mission bois énergie	Forêts et bois de l'Est	17, rue André Vitu 88026 Epinal cedex	03 29 29 11 20 contact@foretsetboisdelest.co m
Alice Gauthier	Chargé de mission	Institut pour le développement forestier (IDF)	23 avenue Bosquet - 75007 PARIS	02 38 71 91 53 alice.gauthier@cnppf.fr
Ambroise Graffin	Chargé de mission bois énergie	ONF	2 avenue Saint Mandé 75570 Paris Cedex 12	01.40.19.78.63 ambroise.graffin@onf.fr
Maurice Henry	Exploitant forestier (mât câble)	Entreprise Henry Maurice	9 rue du canal 68140 Gunsbach village	03 89 77 57 75
Albert Knieling	Directeur du pôle IV 3 « Waldressourcen, Kommunikation und Haushalts- angelegenheiten »	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt and Wasserwirtschaft	Marxergasse 2 A- 1030 Wien Autriche	0043 71 100 7326 albert.knieling @lebensministerium.at
Stéphan Koenig	Bûcheron	Entreprise Stéphane Koenig	12 B r Muhlele 68140 Gunsbach village	03 89 77 01 26
Jean-Pierre Laurier	Chercheur	Forêt, bois, cellulose, ameublement (FCBA)	10 avenue de Saint- Mandé 75012 Paris	01 40 19 49 19 courrier@fcba.fr
Marie Mamdy	Chargé de mission énergies renouvelables	ADEME délégation Alsace	8 rue Adolphe Seyboth 67000 Strasbourg	03 88 15 46 43 marie.mamdy@ademe.fr
Jacques Mertz	Chef du service travaux	ONF Agence de Colmar	13 rue du docteur Bucher BP 41 68500 Guebwiller	03 89 74 97 82 jacques.mertz@onf.fr
M. Meyer	Exploitant forestier	SARL Meyer espaces verts	2 r Haute 68620 Bitschwiller lès Thann	03 89 37 97 99
Andreas Pircher	Chargé de mission Bois énergie	Österreichische Bundesforste AG	Langenloiser Strasse 117 A- 3500 Krems Autriche	0043 273 285 305 andreas.pricher @bundersforste.at
Sophie Pittochi	Chargé d'études bois énergie	Union de la coopération forestière française (UCFF)	49, avenue de la Grande Armée 75116 Paris	01.44.17.57.49 sophie.pittochi@ucff.asso.fr
Romain Remond	Enseignant - chercheur	Agroparistech, centre de Nancy	14 rue Girardet CS 14216 54042 Nancy cedex	romain.remond @agroparistech.fr

Yann	Enseignant - chercheur	École nationale supérieure	27, rue du Merle Blanc	03 29 29 61 16
Rogaume	Responsable	des technologies et BP 1041		yann.rogaume
	Orientation énergie	industries du bois	88051 Épinal cedex 9	@enstib.uhp-nancy.fr
	environnement	(ENSTIB)		
Christian	Directeur général	Strom und Wärme aus	Oberfeldstrasse 22	0043 50 282 3900
Rohrmoser		Holz	A- 5082 Grödig	christian.rohrmoser@swh.co.at
			Autriche	
Claude Roy	Coordonnateur	Ministère de l'agriculture		01 56 79 21 02
	interministériel pour la	et de la pêche		claude.roy.biomasse@hotmail.
	valorisation de la			fr
	biomasse			
Josef Seer	Conducteur de travaux	Österreichische	Steinkoglstrasse 25	0043 61 338 725
		Bundesforste AG	A- 4802 Ebensee	josef.seer@bundersforste.at
			Autriche	
Erwin	Directeur de la force	Österreichische	Steinkoglstrasse 25	0043 61 338 725
Stampfer	technique Steinkogl	Bundesforste AG	A- 4802 Ebensee	erwin.stampfer@bundesforste.
_			Autriche	at
Laurent	Chef du service	ONF	2 rue de la Forêt	03 88 47 49 83
Tautou	travaux et	agence de Schirmeck	BP 68	laurent.tautou@onf.fr
	développement		67131 Schirmeck cedex	
M. Wirtz	Exploitant forestier	Bois Énergies Alsace	r Wittelsheim	03 89 39 81 28
			68700 Cernay	

Annexes

Annexe nº 1: notion de pouvoir calorifique	125
Annexe nº 2 : PCI en fonction du taux d'humidité et de l'essence	126
Annexe nº 3 : masse volumique et essences des pays tempérés	127
Annexe nº 4 : étude d'un chantier à l'abatteuse et au porteur	129
Annexe nº 5 : étude d'un chantier au câble-mât	141
Annexe nº 6 : étude d'un chantier avec abattage traditionnel et avec grappin billonneur	157
Annexe nº 7 : coupe définitive sans semis acquis	173
Annexe nº 8 : ouverture d'emprise	187
Annexe nº 9 : hypothèses de calcul	193
Annexe nº 10 : résultats intermédiaires calcul	194
Annexe n° 11 : vue d'ensemble des services et des espaces gérés par les ÖBF	197
Annexe nº 12 : chiffrage des investissements à réaliser à Bennwihr	198
Annexe n° 13 : calcul de rentabilité pour l'installation d'une balance automatique à Bennwi	hr 199
Annexe n° 14 : impact de la première tranche d'investissement sur le coût de revient de la pla	

Memoire de fin d'études de Raphael Wisselmann	Etude technico-economique de la filiere plaquette forestier

Annexe nº 1: notion de pouvoir calorifique

Le but du bois énergie est de dégager lors de sa combustion le maximum de chaleur. On appelle pouvoir calorifique d'un corps la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de masse de ce corps [18]. Le pouvoir calorifique s'exprime en joules (ou en kilocalories ou en kilowatts-heures) par kg. Le pouvoir calorifique est dit supérieur (PCS), s'il prend en compte la chaleur latente de la vapeur d'eau (cas des chaudières à condensation). Ces conditions sont celles des mesures de la bombe calorimétrique. Le pouvoir calorifique est dit inférieur (PCI), quand la pression est dite constante, c'est-à-dire à l'air libre. Dans ce cas, l'eau créée lors de la combustion n'est pas condensée et s'échappe, emportant avec elle de grosses quantités de chaleur. C'est ce qui se produit en pratique avec l'utilisation du bois lors d'une combustion dans un poêle. D'après [18], si H est le pourcentage pondéral d'hydrogène dans le bois, on a donc pour du bois anhydre:

$$PCI = PCS - 2508 \times 9 \times H$$

PCI et PCS sont exprimés en kJ/kg et 2508 kJ/kg est la valeur de la chaleur latente de condensation de l'eau à 0 °C.

En moyenne dans le bois H = 6 % d'où la relation simplifiée, en kilojoules par kilogramme :

$$PCI = PCS - 1354$$

La détermination expérimentale du pouvoir calorifique se fait conformément au protocole expérimental de la norme XP CEN/TS 14 918 de 2005 [46]. En annexe nº 2, on trouvera l'évolution du PCI en fonction du taux d'humidité.

Annexe nº 2 : PCI en fonction du taux d'humidité et de l'essence

Essence	PCI anhydre
Pin ou mélèze	5,40 MWh/t
Sapin ou épicéa	5,33 MWh/t
Chêne ou hêtre ou	5,10 MWh/t
châtaignier	
Charme	4,95 MWh/t
Bouleau ou aulne	4,97 MWh/t
Peuplier ou tremble	4,81 MWh/t

Évolution du PCI (moyenne toutes essences – base				
5,1 MWh/t anhydre)				
% humidité	PCI calculé			
25 %	3,655 MWh/t			
26 %	3,598 MWh/t			
27 %	3,540 MWh/t			
28 %	3,482 MWh/t			
29 %	3,424 MWh/t			
30 %	3,366 MWh/t			
31 %	3,309 MWh/t			
32 %	3,251 MWh/t			
33 %	3,193 MWh/t			
34 %	3,135 MWh/t			
35 %	3,077 MWh/t			
36 %	3,020 MWh/t			
37 %	2,962 MWh/t			
38 %	2,904 MWh/t			
39 %	2,846 MWh/t			
40 %	2,789 MWh/t			
41 %	2,731 MWh/t			
42 %	2,673 MWh/t			
43 %	2,615 MWh/t			
44 %	2,557 MWh/t			
45 %	2,500 MWh/t			
46 %	2,442 MWh/t			
47 %	2,384 MWh/t			
48 %	2,326 MWh/t			
49 %	2,268 MWh/t			
50 %	2,211 MWh/t			

Annexe nº 3 : masse volumique et essences des pays tempérés

	SOURCE : FCBA - AFOCEL:					
	M	ESURES FAITES A	A L'ENTREE U	SINE		
Essence	Infradensité Id	Taux de siccité Ts	Taux d'écorce	Taux d'humidité	Masse volumique	
	(source AFOCEL:	(entrée usine)	Te	bois entrée usine	bois frais	
	étude technique			(=100-Ts)		
	n° 8, 1993)					
Chêne	580 kg/m^3	61 %	19 %	39 %	951 kg/m ³	
Hêtre	615 kg/m^3	60 %	10 %	40 %	1025 kg/m^3	
Charme	580 kg/m^3	60 %	10 %	40 %	967 kg/m ³	
Peuplier	435 kg/m^3	55 %	17 %	45 %	791 kg/m ³	
Châtaignier	505 kg/m ³	59 %	12 %	41 %	856 kg/m ³	
Épicéa ou	370 kg/m^3	47 %	12 %	53 %	787 kg/m ³	
Sapin						
Douglas	425 kg/m^3	60 %	13 %	40 %	708 kg/m ³	
Pin sylvestre	435 kg/m^3	51 %	15 %	49 %	853 kg/m ³	
Pin maritime	395 kg/m ³	45 %	25 %	55 %	878 kg/m^3	
Calcul de la masse volumique à T % d'humidité= Id/(100-T%)						

Infradensité: masse de matière sèche/volume saturé : donnée permettant de calculer la masse volumique à taux d'humidité donné

Taux de siccité: masse de matière sèche/masse brute x 100

Taux d'humidité = 100 - taux de siccité

MESURES CORRIGEES AVEC HYPOTHESE DE RESSUYAGE PARTIEL EN FORET AVANT LIVRAISON

Essence	Infradensité Id	Taux de siccité Ts	Taux d'écorce	Taux d'humidité	Masse volumique
	(source AFOCEL:	(hypothèse forêt -	Te	bois frais	bois frais
	étude technique	5%)			
	n° 8, 1993)				
Chêne	580 kg/m^3	56 %	19 %	44 %	1036 kg/m^3
Hêtre	615 kg/m^3	55 %	10 %	45 %	1118 kg/m^3
Charme	580 kg/m^3	55 %	10 %	45 %	1055 kg/m^3
Peuplier	435 kg/m^3	50 %	17 %	50 %	870 kg/m^3
Châtaignier	505 kg/m ³	54 %	12 %	46 %	935 kg/m^3
Épicéa ou	370 kg/m^3	42 %	12 %	58 %	881 kg/m^3
Sapin					
Douglas	425 kg/m^3	55 %	13 %	45 %	773 kg/m^3
Pin sylvestre	435 kg/m^3	46 %	15 %	54 %	946 kg/m^3
Pin maritime	395 kg/m ³	40 %	25 %	60 %	988 kg/m ³
Calcul de la n	Calcul de la masse volumique à T% d'humidité= Id/(100-T%)*100				

D 107

SOURCE ADEME: document Bois énergie - Chaufferies à alimentation automatique				
Essence	Masse volumique anhydre	Calcul théorique de l'infradensité avec le ratio		
		Id=0,9 x Mva		
Chêne	650 kg/m^3	585 kg/m ³		
Hêtre	680 kg/m ³	612 kg/m^3		
Peuplier	400 kg/m^3	360 kg/m^3		
Châtaignier	590 kg/m^3	531 kg/m^3		
Charme	800 kg/m ³	720 kg/m^3		
Bouleau	610 kg/m ³	549 kg/m ³		
Aulne	500 kg/m^3	450 kg/m^3		
Épicéa	415 kg/m^3	374 kg/m^3		
Sapin	435 kg/m^3	392 kg/m^3		
Douglas	445 kg/m^3	401 kg/m^3		
Pin sylvestre	500 kg/m^3	450 kg/m^3		
Pin maritime	550 kg/m^3	495 kg/m ³		
Masse volumique anhydre: masse de bois anhydre/volume sec : ne permet pas de calculer la masse				
volumique brute				
(Le bois anhydre reprend du volume jusqu'à saturation des fibres à 20 % d'humidité)				

Signification du code couleur :

en noir : pas de comparaison de données possible

en vert : valeurs cohérentes à \pm 5 % en bleu : valeurs cohérentes à \pm 10 %

en rouge : valeurs de l'AFOCEL et de l'ADEME différentes de plus de 10 %

Remarque:

Les données sont parfois incohérentes avec tableau AFOCEL. Ainsi, la masse volumique anhydre du peuplier devrait être supérieure à l'infradensité. Le calcul théorique a pour base le ratio Id/Mva du Chêne.

Rappels sur l'infradensité:

C'est une donnée qui est propre aux matériaux sensibles à l'humidité, et au bois en particulier. Le volume de ce matériau végétal est indéterminable lorsqu'il est dans un état quelconque : la seule manière fiable de mesurer le volume d'un solide consiste en l'utilisation du principe d'Archimède. Or ce principe n'est pas applicable à un matériau poreux. Pour déterminer une grandeur volumique de manière unique pour un échantillon, il convient de mesurer son volume saturé en eau V saturé. De la même manière, la définition d'une masse unique pour un échantillon doit exclure toute possibilité de variation due à l'hygrométrie, on mesure donc la masse anhydre. On définit l'infradensité par:

Id = manhydre / V saturé

La saturation s'effectue dans une enceinte où l'on fait varier la pression de manière cyclique entre 40 mbar et 1 bar, de façon à expulser l'air emprisonné dans les pores du bois, ces cavités étant ensuite remplies par l'eau du récipient. On mesure ensuite le volume V saturé de l'échantillon qui a passé environ une semaine dans le saturateur à raison d'un cycle tous les 48 heures. La masse anhydre (manhydre) de l'échantillon est mesurée à l'aide d'une balance après étuvage à 103° C pendant une semaine environ.

Annexe nº 4 : étude d'un chantier à l'abatteuse et au porteur

Cette annexe analyse le chantier test réalisé sur les parcelles 18, 20 et 22 de la forêt communale de Westhalten (Haut-Rhin). Il est représentatif d'un mode d'exploitation mécanisé :

- abattage à l'abatteuse,
- débardage au porteur des billons.

1. Présentation des entreprises

1.1. Abattage par la société SYLVEX

C'est une société spécialisée dans l'abattage mécanisé basée à Sainte-Croix-aux-Mines (68). À ce titre, elle dispose d'une abatteuse. Elle réalise en complément des travaux d'abattage selon la méthode traditionnelle. La société emploie 3 personnes et un apprenti.



Tête d'abateuse de la sylvatec (source : Raphaël Wisselmann)

Description de l'abatteuse (Marque SYLVATEC, modèle Sleipner 866 Montainer:

- puissance 270 CV,
- réservoir de 400 l de fioul (2 jours d'autonomie),
- consommation d'un litre par m3 de bois abattu,
- pneus gonflés à l'eau (4 bars) pour plus de stabilité,
- possibilité de monter 4 chaînes,
- utilisation d'huile biodégradable,
- transmission hydrostatique
- caractéristiques dimensionnelles :
 - longueur du bras : 8,3 m,
 - largeur de la machine : 2,6 m,
 - longueur: 7,6 m,
 - hauteur: 3,3 m.
- coût : 165 € HT/heure d'abattage et 65 € HT/heure en mode « porteur » (pas d'utilisation de la tête pendant 10 min),
- entretien : de 0,5 à 1 h/j à laquelle s'ajoute 0,5 h/j d'abatage soit 1 h 30 par jour.
- arrêt de travail dû à un défaut technique (changement de flexible, problème de guide, etc.) en moyenne 1 fois tous les 15 jours,
- coût du matériel : 395 000€ HT (fin 2006) subventionnable au titre du contrat de projet État Région (taux : 30% avec un plafond de 320 000 € HT),
- horaires de travail :6 h à 18 h 30 pendant 6 jours.

1.2. Débardage au porteur

Le débardage a été fait par l'entreprise individuelle Eric Cattenoz.



Porteur John Deer Forestry Timberjack (source: Raphaël Wisselmann)

Description du matériel :

- porteur John Deer Forestry Timberjack 1110 équipé d'un grappin,
- coût horaire (matériel actuel environ 600 €/jour 70 € /h matériel neuf environ 80 € /h) d'où un prix au m³ de 5 à 8 € HT,
- huile non biodégradable,
- valeur du matériel actuel : 100 000 € HT, neuf : 240 000 € HT. En cas d'acquisition, il est possible de prétendre à une subvention à hauteur de 30 %,
- dimensions:
 - largeur 2,70m,
 - hauteur au niveau des ridelles : 3,15 m, au niveau du grappin, 3,70 m;
 - longueur du tracteur : 4 m, longueur de la remorque : 5 m soit une longueur totale de 9 m.

2. Description du chantier

2.1. Les produits

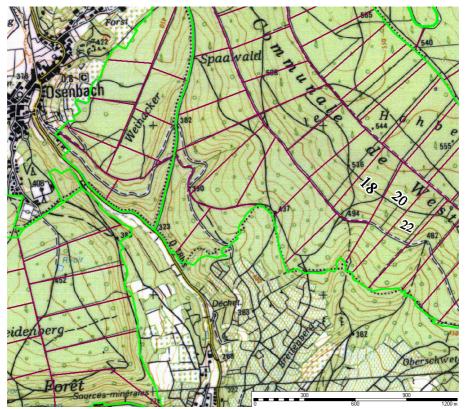
Trois produits différents sont générés :

- des billons de résineux de longueur 2,5 m valorisés en palettes appelé dans la suite BP,
- des billons de résineux de longueur 4 m (longueur mini 2 m) valorisés en bois énergie appelé dans la suite BE,
- des billons de feuillus de longueur 4 m qui seront vendus à des particuliers comme bois de chauffage appelé dans la suite BF.

Les billons sont fabriqués comme suit : l'arbre est abattu puis ébranché sur 2,5 m. Un premier billon est découpé puis l'arbre est ébranché sur 2,5 m et un deuxième billon est débité si le diamètre sous écorce reste supérieur à 16cm (diamètre minimal pour pouvoir valoriser le bois en palette). Le cas échéant, le bois est ébranché sur 4m puis découpé jusqu à ce que l'abatteuse n'arrive plus à tenir le tronc (environ 10 cm fin bout).

En effet, l'arbre n'est pas ébranché dans sa totalité puis billonné pour ne pas perdre le temps de l'aller-retour nécessaire à un ébranchage total.

2.2. Caractéristiques du site et du peuplement



Plan de situation des parcelles 18, 20 et 22 (source : IGN)

Le chantier se situe sur le ban de la commune de Westhalten, dans sa forêt communale sur les 3 parcelles contiguës 18, 20 et 22. L'essence dominante est le pin sylvestre. Les tiges ont été plantées, il y a 50 à 60 ans et c'est la deuxième ou troisième éclaircie. Des cloisonnements existent sur environ 60 % de la surface. Il y a quelques feuillus (chênes), mélèze et douglas.

	Parcelle 18	Parcelle 20	Parcelle 22
Pente	Pente de 15 %	7à 10 %	6 % sous chemin bas
	avec passage à		25 % entre chemin bas et
	25 %		chemin du milieu
Surfaces (en ha)			
- de la parcelle	8,48	8,81	9,07
- parcourue	6,50	8,81	7,00
Hauteur dominante	20 m	17m	19,5m (sous chemin bas)
			17,5m (entre les 2 chemins)
Surfaces terrières (m²/ha)			
Avant abattage	32	25	29
Après abattage	29	21	24
Volume martelé	30	36	34
(V aménagement en m³/ha)			

Accès au chantier: un chemin en bas de parcelle, un chemin en haut et une piste forestière au milieu.

<u>Place de dépôt :</u> les accotements des chemins du haut et du bas de la parcelle ont permis d'entreposer les tas de billons.

D 101

3. Protocole de mesure

Le chantier s'est déroulé en avril et mai 2008.

3.1. Mesures réalisées sur la partie abattage

Les données (volumes , nombre de tiges, nombre de billons) par type de produit (BP, BE, BF) et le temps abattage ont pu être récupérés grâce au système d'acquisition de la machine. Ces données sont disponibles par parcelles.

Pour la parcelle 22, on a mesuré pendant environ 4 heures, le temps mis pour l'abattage, le découpage des billons et le déplacement dans la parcelle en notant à chaque bois le type de bois découpé (énergie, feuillu, palette) et le nombre de billons fabriqués.

Ainsi pour environ 280 arbres, on a mesuré:

- le temps de déplacement entre 2 arbres
- le temps d'abattage, d'ébranchage et de découpe des billons résineux de 2,5 m ainsi que le nombre de billons de BP
- le temps d'abattage, d'ébranchage et de découpe des billons de feuillus ainsi que le nombre de billons de BF
- le temps d'ébranchage et de découpe des billons résineux de 4m ainsi que le nombre de billons de BE. Lorsque l'arbre ne permettait pas de fabriquer un billon de BP, le temps d'abattage a également été mesuré.

3.2. Mesures réalisées sur la partie débardage

Pour le porteur, trois niveaux de mesures ont été réalisés (du plus simple au plus complet)

- parcelle 20 : mesure du temps de vidange,
- parcelle 22 : mesure du temps de vidange pour le BE et le BF. On a ainsi compté le temps mis à charger le bois dans la parcelle puis le temps mis jusqu'à la place de dépôt puis le temps mis à décharger le bois et ce pour le BE et le BF. Les « limites » entre les 3 temps de mesures sont
 - sortie dans la parcelle,
 - arrivée à la place de dépôt,
 - départ de la place de dépôt,
 - entrée dans la parcelle.
- parcelle 18 : mesure du temps de vidange comme précédemment mais pour les 3 types de bois. En plus, on a compté pour chaque porteur chargé et déchargé le nombre de billons en identifiant le type de bois.

Les mesures sur les parcelles 20 et 22 ont été faites par l'entreprise. Les mesures de la parcelle 18 ont été réalisées par l'auteur du mémoire.

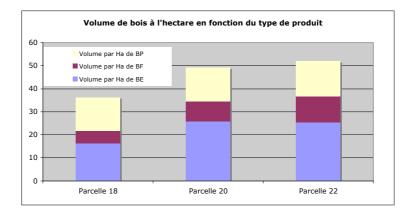
4. Analyse quantitative de l'exploitation et aspects économiques

4.1. Données globales

Intensité de prélèvement

Les volumes de bois ont été estimés à partir des données de l'abatteuse qui est étalonnée pour calculer un volume sous écorce. A partir de ces données, on a ajouté un taux d'écorce de 12 % pour le pin sylvestre et de 10 % pour les feuillus (hêtre dominant), valeurs utilisées localement. Les données de ce paragraphe sont donc en volume sur écorce.

Les 3 parcelles sont assez identiques en taille et en intensité du prélèvement. Il n'y a que la parcelle 18 qui présente un volume de bois à l'hectare plus faible, particulièrement pour le bois énergie. Les volumes de bois énergie prélevés sont assez faibles (moins de 25 m³/ha) et font partie des limites basses préconisées par la littérature. On trouve souvent des valeurs de 30 à 50 m³/ha pour « rentabiliser » un chantier.

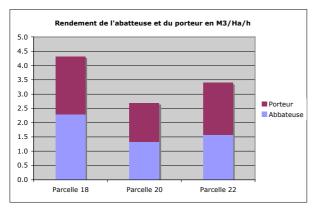


Temps de travail

	Abatteuse	Porteur
Parcelle 18	14 h 07	15 h 51
Parcelle 20	33 h 07	31 h 56
Parcelle 22	29 h 38	25 h 20

Le tableau ci dessus indique le temps de travail par parcelle. Il inclut les temps d'arrêt liés au petit entretien.

Les rendements des machines



Le graphique suivant s'intéresse aux rendements des machines et donne par parcelle et par engin le nombre d'heures nécessaires pour prélever les volumes de bois à l'hectare mentionnés précédemment. Il inclut les temps d'arrêts liés au petit entretien (plein d'essence, remplacement d'un guide de chaîne, d'un flexible, etc.). Pour le porteur, ces temps d'arrêts représentent entre 4 et 6 % du temps de travail. Pour l'abatteuse, le suivi a été moins fin et n'a pas permis de quantifier ces temps.

Pour pouvoir comparer les différentes parcelles, il a été nécessaire de raisonner en m³/ha et par heure pour s'affranchir des tailles des parcelles et des volumes prélevés. Ainsi, l'abatteuse a besoin d'environ 2,25 h soit 2 h 15 min pour prélever les 36 m³/ha de la parcelle 18.

Les résultats relatifs à la parcelle 18 sont contraires à l'intuition. C'est la parcelle avec l'intensité de prélèvement en bois la plus faible alors que le rendement des machines est le plus élevé. La seule explication trouvée réside dans les conditions météorologiques : la parcelle 18 a été abattue et vidangée par temps sec alors que la parcelle 20 et 22 l'ont été par temps de pluie. On a pu constater qu'en période de pluie, le porteur avait parfois du mal à gravir certaines pentes, source de perte de temps. Ceci peut également expliquer le parallélisme des rendements entre le porteur et l'abatteuse : pour les deux machines, c'est sur la parcelle 18 que les rendements sont les plus élevés.

Comparaison avec le martelage

Le tableau ci-dessous compare les prévisions de récolte issues du martelage et la réalisation. La différence sur le nombre de tiges et donc sur le volume récolté s'explique aisément. En effet, le but de cette exploitation était aussi d'ouvrir des cloisonnements. Seules les limites des cloisonnements ont été marquées et non tous les arbres à l'intérieur du cloisonnement. Le martelage est donc « incomplet » pour pouvoir être analysé plus finement.

	Nombre de tiges	Volume sur écorce (m ³)	
	total	feuillus	résineux
Martelage	2785	179,4	537,3
Réalisation	4484	192,0	832,3

4.2. Économie globale du chantier

Le calcul a été mené de deux façons :

Méthode A

Le coût du chantier a été estimé à partir de des coûts unitaires d'utilisation des machines

- 600 €/j pour le porteur
- 165 €/h abattage et 65 €/h de roulage pour l'abatteuse.

Connaissant les temps de fonctionnement des machines (hors temps de pause et arrêts pour grosses réparations (supérieures à 30 mn) et les volumes récoltés, on en arrive aux prix unitaires suivants:

Porteur : 6 €/m³ Abatteuse : 12€/m³

Méthode B

On a estimé le coût du chantier à partir des grilles tarifaires des entreprises. Les travaux ont été attribués à l'entreprise SYLVEX qui sous traite le débardage à l'entreprise E Cattenoz. La rémunération de SYLVEX a été fixée sur la base d'un prix au m³. Celui-ci est fonction du volume unitaire moyen (Vum) de l'arbre coupé pour les 3 parcelles confondues. Pour ces trois parcelles, le Vum est compris entre 0,2 et 0,3 m³ ce qui correspond, d'après le bordereau de prix de la SYLVEX à un prix unitaire est de 19 €/m³. Après discussion avec E Cattenoz, sous traitant, sa prestation de vidange a été sous traitée à 6 €/m³. Par ailleurs, la SYLVEX facture des frais de coordination et de gestion pour un peu moins de 1€/m3. On retrouve donc un coût d'abattage autour de 12 €/m³.

Les 2 méthodes sont donc cohérentes et l'on peut retenir les valeurs suivantes :

- frais de gestion : $0.5 \text{ à } 1 \text{ €/m}^3$,
- porteur: $6 \notin / m^3$,
- abatteuse : 12 à 12,5 €/ m³.

On peut à présent se demander si le coût (et donc le temps) de mobilisation du bois énergie sont différents sachant que

- le bois énergie est en billons de 4m et le bois palette en billons de 2,5m ;
- les feuillus ont été débités en longueur de 4m.

4.3. Analyse de la partie abattage

Préambule

Quand on parlera de volume dans la suite, on prendra en compte les volumes réellement vendus soit

- sous écorce pour le BP,
- sur écorce pour le BF et le BE.

Dans la suite du calcul, on a également retiré les temps d'entretien du porteur qui représentent entre 4 et 6 % du temps de travail global pour chaque parcelle. En effet, aucune clé de ventilation (nombre d'arbres abattus, volume récolté, nombre de billons réalisés, etc.) particulièrement pertinente n'a été identifiée.

Rappel des mesures réalisées

Pour chaque parcelle, on a eu accès aux informations de l'ordinateur de bord (nombre de billons, nombre d'arbres, volume récolté). Pour essayer d'imputer des temps et donc des coûts au BE, l'idée était de réaliser des mesures sur un échantillon représentatif (environ 300 arbres d'une parcelle soit 20 % des arbres abattus de la parcelle). Pour les résineux, on a ainsi noté le temps de déplacement entre 2 arbres, le temps d'abattage et de débitage du billon BP, le nombre de billons puis on a mesuré le temps consacré au BE et le nombre de billons. Pour les feuillus, on a noté le temps d'abattage et de fabrication des billons et le nombre de billons.

In fine, les mesures ont porté sur un échantillon de 312 arbres. Ces mesures n'ont pas été concluantes. En effet, le rendement de l'abatteuse est trop important. Ainsi, en moyenne l'abattage dure 19 s et le transfert entre deux arbres 18 s. Ce temps est trop faible pour pouvoir noter, dans le cas des arbres où il y a deux produits (BE-BP), le temps consacré à l'un et à l'autre ainsi que le nombre de billons respectifs. L'observateur n'a pas réussi à suivre dans la prise de note.

Sur les 4 heures de mesures, on a réalisé *a posteriori* 2 bilans intermédiaires respectivement au bout de 1 heure et 3heures de fonctionnement (on avait noté sur le terrain les données de l'abatteuse à ces moments là). Il s'avère que l'écart entre le nombre de billons comptés par la machine et le nombre de billons compté en chronométrant varie de l'ordre de 10 % à 30 %. Ceci est dû

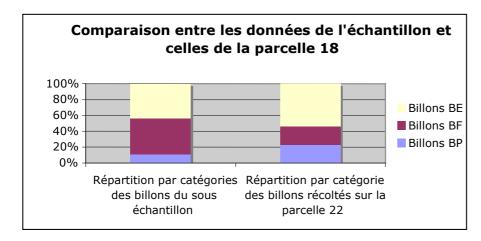
- à des difficultés de l'identification du nombre de billons car il était nécessaire de se tenir éloigné de l'abatteuse :
- une difficile reconnaissance des billons de longueur 2,5 m et 4m. Placé à 50 m, sous la pluie et le brouillard, il est difficile de reconnaître un billon de 2,5 m d'un billon de 4m.... La tendance a été de sous-compter le nombre de billons. Seul le résultat pour les feuillus semble cohérent ;
- au rendement élevé de la machine qui n'a pas permis de noter pour chaque arbre abattu toutes les caractéristiques (nombre de billons, temps d'abattage, temps de déplacement, etc.).

Quant à l'écart sur le nombre d'arbres, le résultat est surprenant mais il est possible que certains petits arbres, abattus par nécessité (tige à couper pour accéder à un arbre marqué) n'aient pas été relevés car les produits ne sont pas valorisables même s'ils ont été billonnés pour une meilleure dégradation.

		Comptage abatteuse	Comptage manuel	Écart
Nombre de billons	BP	118	93	21 %
	BF	395	391	1 %
	BE	549	419	24 %
Nombre d'arbres qui on	t été billonnés	290	312	-8 %

A priori, le nombre de billons que j'ai comptabilisé n'est pas exact et il est donc difficile de faire une analyse de ces données.

On tout de même essayer de travailler sur une partie de l'échantillon de mesures qui est constitué des arbres pour lesquels on dispose de toutes les données (temps, nombre de billons) en sachant que l'on peut faire des erreurs de l'ordre de 20%. La taille de ce sous-échantillon est de 282 arbres.



On constate que pour notre sous échantillon, répartition des types de billons très est différente de 1a parcelle. Les résultats ne pourront donc pas être étendus au niveau de la parcelle.

	Arbre avec deux produits (BE/BP)		Arbre destiné au BE	Feuillus	Total
	Partie bois palette	Partie bois énergie			
Taille de l'échantillon (nombre d'arbres)	4]	1	92	150	283
Nombre de billons	91	85	318	379	873
Volume (m³ récolté)	7,4	5,2	19,3	28,8	60,6
Rendement (m³/h) d'abattage	46,0	32,5	45,9	37,4	
Rendement en m³/h en répercutant le temps de déplacement entre 2 arbres	19,0		21,3	18,7	

Le tableau ci-dessus ne permet pas de conclure. En effet :

- dans le cas de chantiers mixtes, le rendement de billonnage du bois palette est plus élevé que celui du bois énergie, probablement car les billons BP sont plus gros et car ils sont plus rapides à ébrancher . En effet, il y a eu un élagage naturel de la partie basse de l'arbre ;
- le temps de transfert entre deux arbres est le paramètre clé puisque pour ce chantier, il est du même ordre de grandeur que le temps d'abattage. Cela se retrouve dans la dernière ligne du tableau ou l'on a calculé le rendement en tenant compte du temps mis pour atteindre l'arbre à abattre. Le rendement chute alors de $50\,\%$.

L'idée intuitive qui consistait à dire « le rendement du bois énergie est nettement plus élevé car on ne prend pas en compte le temps d'abattage » est fausse. Le temps d'abattage est en effet souvent très court (2 à 3 secondes) mais ceci est largement compensé par une durée d'ébranchage plus longue de la zone du houppier et surtout par des volumes unitaires moyens (Vum) de billons plus faibles.

- Vum billon BP = 0.081m³,
- Vum billon BE = 0.054 m^3 .

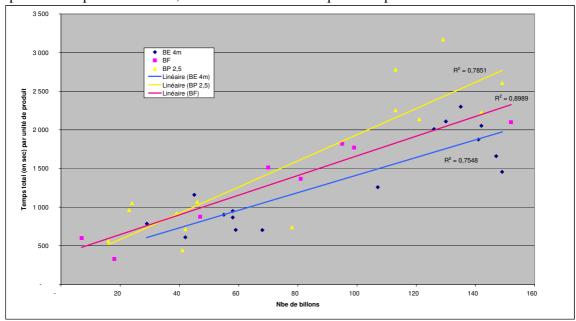
De même, une autre idée qui était de dire « le rendement du BE est plus élevé car on valorise plus de biomasse car on vend du volume sur écorce » semble également fausse. Ces 12 % de volume en plus ne se retrouvent pas dans le rendement d'abattage qui est le même pour le BP (46 m³/h) et le BE seul (45,9 m³/h).

Au contraire, dans le cas des bois mixtes (BP et BE), le rendement du BE est inférieur à celui du BP pour les raisons expliquées ci-dessus.

En conclusion, rien n'a permis de montrer que le coût d'abattage du BE est inférieur à celui du BI.

4.4. Analyse de la partie vidange au porteur

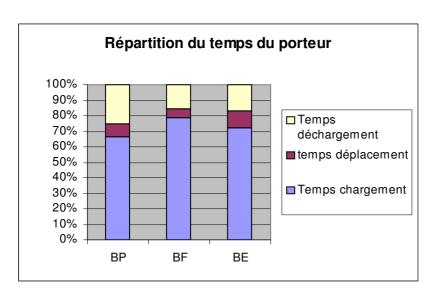
Pour distinguer le temps (et donc le coût affectable au bois énergie), il a fallu suivre le porteur dans chaque opération (chargement, déchargement, transfert) et compter à chaque fois le nombre de billons. Connaissant le volume moyen du billon par parcelle. On a accès au volume. Compte tenu du temps nécessité par ces mesures, elles n'ont été réalisées que sur la parcelle 18.



Lecture du graphique :

Pour charger 100 billons, il faut environ 1400 s si c'est du BE, 1600 s si c'est du BF et 1800 s si c'est du BP.

Principaux résultats



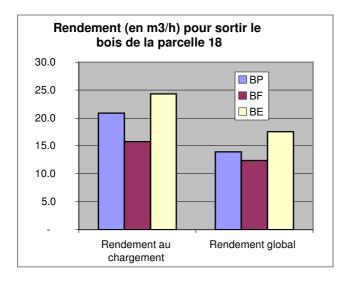
En moyenne, le temps total (temps de chargement, déchargement et déplacement entre deux paquets de billons) affecté au bois énergie est moindre si on le ramène au nombre de billons. Ceci est logique puisque le BE est conditionné en longueur de 4 m alors que le BP est en longueur de 2,5 m. Or pour remplir au maximum un porteur, il est possible de mettre en longueur 2 billons de BP (longueur maximale de 5 m) et un seul de BE.

De même, l'intensité de prélèvement en feuillus est plus faible. La distance entre 2 billons est donc plus grande mais son conditionnement en 4m fait que le porteur est plus rapidement chargé que pour le BP.

Le graphique ci-dessus montre que l'essentiel du temps de travail (plus de 65 %) du porteur est consacré au chargement et ce quel que soit le type de bois. On se concentrera donc sur les temps de chargement et les temps totaux dans la suite de l'analyse.

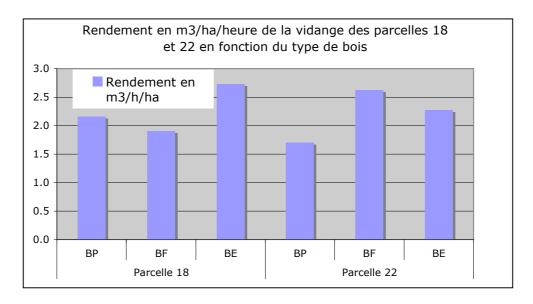
En effet, les places de dépôt sont très proches, aux deux extrémités des parcelles.

On remarque aussi que le temps consacré au déchargement est plus important pour le BP. C'est normal, il y a plus de billons par porteur !



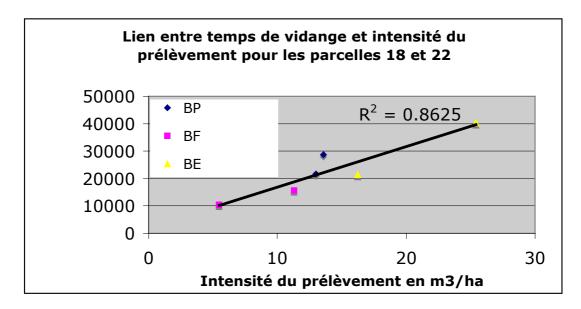
Le graphique ci-contre représente le rendement horaire avec lequel la parcelle 18 est vidangée et ce, en fonction du type de produit. Le rendement global comprend à la fois le chargement, le transfert à la zone de dépôt et le déchargement. On constate que quand on raisonne non pas par billon mais par m³, le temps passé par m³ de BE (Bois Énergie) ou par m3 de BP (Bois Palette) est sensiblement le même. En effet, la longueur du billon est compensée par le volume unitaire moyen du billon (environ 0,1 m³ par billon de BP et 0,05 m³ par billon de BE).

En conclusion, on n'a pas réussi à identifier pour la partie porteur, un surcoût ou un sous-coût de vidange du bois énergie dans la parcelle 18. Peut-on généraliser ce raisonnement à d'autres parcelles ?



Si l'on s'intéresse aux parcelles 18 et 22, on observe bien sur le graphique ci-dessus des petites différences de rendement de vidange en fonction du type de bois puisqu'il varie de 1,7 à 2,6 m³/h/ha et ce pour des volumes récoltés compris entre 36 et 178m³. La variation de rendement ne se fait donc pas dans les mêmes proportions et le coût de vidange du BE est du même ordre de grandeur que celui du BP.

En conclusion, le type de produit (BE, BP) n'est donc pas le facteur discriminant pour la vidange au porteur.



En fait le temps de vidange et donc son coût semble surtout lié à l'intensité du prélèvement comme le montre l'ajustement réalisé ci-dessus. La valeur du coefficient de corrélation permet d'expliquer 86 % de la variance observée sur l'échantillon.

5. Analyse qualitative de l'exploitation

Les constats suivants ont pu être réalisés sur le chantier :

Les dégâts sont essentiellement dus au porteur. Le poids se trouve au niveau de la cabine, or le porteur roule en « marche arrière » lorsqu'il charge ses bois. En pente, la partie remorque à donc tendance à glisser. Le porteur se « casse en deux » au niveau de son articulation et devient beaucoup plus large ce qui cause des dégâts sur les arbres de bords de cloisonnement. Une pente peut être constituée par une petite et courte montée mais aussi par une simple souche à passer sur la bande de roulement. Ainsi, pour passer une souche de 30 cm de haut avec dévers, il ne faut pas 2,70 m de large, mais 3,15 m Il convient également d'éviter de laisser des souches sur les bandes de roulement, surtout en pente. Le porteur force pour les passer ce qui crée des ornières.



Dégâts d'écorçage dus au porteur sur l'arbre de gauche à environ 2 m de haut (source : Raphaël Wisselmann)

En période de pluie, les extrémités des grumes sont salies car après les avoir soulevées à la pince, l'opérateur les maintient verticales. L'arrière est donc en contact avec le sol et la terre.

Un chantier à l'abatteuse est nettement plus difficile si le sous-étage est fourni. Il est difficile de couper mécaniquement les petits brins car la tête n'arrive pas à les saisir.

Le cloisonnement doit avoir plus de 3 m de large pour le porteur sauf s'il est tout droit. Le cas échéant, on risque beaucoup de dégâts de frottis, surtout à 4 m de haut. Après le passage à l'abatteuse, les frottis sont estimés à moins de 5 %; après le passage du porteur à 15 à 20 %. Un dévers marqué sur le chemin augmente le risque de frottis.

Il est conseillé de mettre des rondins dans les fossés adjacents aux chemins pour faciliter l'accès aux parcelles

Les bornes en grès qui servaient à matérialiser les limites de parcelles sont renversées par le porteur car elles se trouvent sous la bande de roulement. Ces bornes même si elles ne sont plus utilisées sont un élément du patrimoine forestier qu'il convient de respecter

Le chantier mécanisé a globalement un bon rendement. Celui-ci peut rapidement diminuer en cas de défaut technique. Ainsi, plusieurs pannes sont survenues pendant le chantier. Par exemple, pour le porteur, on a pu observer :

- casse de flexible (arrêt 15 min),
- fissure dans la pince du grappin (arrêt de 4 heures pour ressouder),
- pince détachée du bras car les vis de maintien se sont sectionnées (arrêt d'une demi-journée).

Pour l'abatteuse, les problèmes suivants ont pu être identifiés :

- carte mémoire cassée (4 jours d'arrêt de chantier),
- remplacement du guide de la chaîne de la tronçonneuse (arrêt 15 min).

6. Conclusion

Ce chantier test n'a pas permis de montrer une différence de coût de mobilisation significative entre le bois énergie résineux , le bois de palette résineux et le bois de chauffage feuillus. Le facteur discriminant semble davantage être l'intensité du prélèvement en m³/ha. Dans tous les cas, pour le BE, on aura intérêt à faire des billons le plus long possible (5 à 6 m).

La clé de répartition pouvant être utilisée reste donc le volume prélevé par hectare avec les coûts suivants :

- abattage : 13 €/m³,
- vidange: $6 \in /m^3$.

D'un point de vue qualitatif, en cas de vidange par un porteur, les cloisonnements d'exploitation doivent avoir une largeur d'au moins 3,5 m pour éviter les dégâts sur le peuplement existant.

Cette étude a été réalisée durant l'été 2008 par Raphaël Wisselmann, dans le cadre de son stage de fin d'études du cursus GREF d'Agroparistech, voie d'approfondissement Forêt, Nature et Société.

Annexe nº 5 : étude d'un chantier au câble-mât

Cette analyse est relative au chantier test réalisé sur la parcelle 56 de la forêt domaniale de Guebwiller (Haut-Rhin). Il est représentatif d'un mode d'exploitation par câble-mât.

1. Présentation de l'entreprise HENRY

Le débardage a été fait par l'entreprise individuelle Maurice HENRY de Gunsbach (68). L'entreprise emploie 6 salariés. Elle est spécialisée dans les travaux d'exploitation forestière réalisés soit de manière traditionnelle (débusquage à câble) soit à l'aide d'un câble-mât (10 à 12 000 m³ exploités par an grâce à cette technique). Son chiffre d'affaire annuel avoisine les 650 000 €. Son rayon de travail est d'environ 130 km autour de Colmar tout en restant en France.

En plus de 3 débusqueurs, l'entreprise possède un camion équipé d'un câble-mât (marque KONRAD) acheté en mai 2005 (valeur : 355 000 €). Dans le contrat de plan État – Région Alsace 2000-2006, ce type d'achat n'était pas subventionnable. Il l'est à présent.

Aspects techniques du camion câble-mât :

Un chantier au câble-mât comporte 4 éléments principaux :

- le camion (puissance : 430 CV) équipé d'un mât. L'ensemble fait 14 m de haut. Il est haubané en 4 points ;
- une tête d'abattage montée sur un bras de longueur 9 m. L'opérateur la manipule, assis dans une cabine pivotante. La tête est capable d'ébrancher des arbres jusqu'à 60 cm de diamètre. Les pinces de la tête permettent de manipuler des arbres jusqu'à 70 à 75 cm de diamètre ;
- une ligne de câble dénommée « câble porteur » en acier de longueur maximale 500 m (durée de vie estimée à 5 à 6 ans)
- un chariot (puissance : 100 CV) qui parcourt la ligne à une vitesse moyenne de 6 à 7 m/s en descente et 7 à 8 m/s en montée. Il est capable de transporter des arbres jusqu'à 4 tonnes.



Camion équipé du mât, de la grue avec le chariot à ses pieds (source : Raphaël Wisselmann)

Le chariot est associé à 3 câbles

- le câble « porteur » sur lequel il se déplace ;
- le câble « pêcheur ». Ce câble se déroule à partir du chariot. Il a une longueur de 80 m et une durée de vie de 6 à 8 mois. Il permet de transporter des arbres ayant jusqu'à 4 tonnes Il sert à accrocher les arbres abattus que l'on remontera de la parcelle. Il est également possible de fixer ce câble

autour de l'arbre à abattre pour orienter sa chute. Ce câble est manipulé par un opérateur dans la parcelle ;

- le câble « tracteur » (durée de vie estimée à 4 ans). C'est le câble qui relie le chariot au camion et qui « remonte » le chariot une fois l'arbre attaché au câble pêcheur. En effet, ce chariot n'est pas motorisé. Il descend sur la ligne sous l'effet de son poids et il est remonté sur le camion grâce à un câble relié à un treuil fixé au camion. Ceci limite l'exploitation à des zones en pente pour avoir une ligne de câble tendue.

Les opérations d'entretien consistent en graissage journalier (15 min par jour) et à des opérations de vidange

- pour le chariot : 4 à 5 fois par an,
- pour le camion : 3 à 4 fois par an.

Le principal poste de dépenses reste le carburant avec une consommation de 150 l/jour pour l'ensemble de l'installation (dont environ 20 l/j pour le chariot).

En terme de rendement, l'équipe est capable de mobiliser un maximum de 200 tiges par jour.

2. Description du chantier

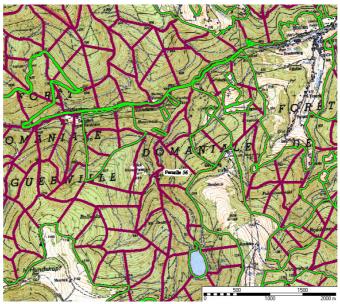
2.1. Caractéristiques de la parcelle

Le chantier se situe sur le ban de la commune de Lautenbach-Zell. La parcelle s'étage entre 550 m (fond de vallon) et 930 m. Au fond du vallon coule le Belchenseebach, ruisseau alimentant la Lauch. A proximité du haut de la parcelle se trouve la chaume du Seebach.

Les essences dominantes sont le sapin pectiné (55 %), l'épicéa (18 %) et le hêtre (11 %). Les essences minoritaires sont le douglas, le chêne sessile, le bouleau verruqueux et l'aulne glutineux

En terme de peuplement, 71 % des placettes sont classées en « peuplements en croissance active » ce qui signifie une dominante de petits bois avec quelques bois moyens. 25 % de la parcelle est classée en « irrégulier ».

Le martelage réalisé consiste en une coupe d'amélioration.



Plan de situation de la parcelle 56 (source : IGN)

Pente	De 20 à 70 % avec une moyenne de 40 %
Surface	
- de la parcelle	57,7 ha
- parcourue	14 ha
Hauteur dominante	29 m
Surface terrière en (m²/ha)	
- avant abattage	36,6 en moyenne sur la parcelle avec des valeurs comprises entre 50
	dans le haut de la parcelle et 20 sous le chemin du bas
- après abattage	31
Volume aménagement	1846 m^3

Accès au chantier : un chemin en bas de parcelle, un chemin en haut et une piste forestière au milieu.

Il existe 2 chemins accessibles par grumier traversant la parcelle. Un troisième passe un peu au dessus de la parcelle. Celle-ci est de plus traversée par une piste forestière (cf. carte ci dessus)

2.2. Déroulement du chantier

Le chantier a débuté mi-mai et compte tenu des conditions météorologiques, l'entreprise a quitté le site fin juin 2008. Le chantier sera totalement terminé en septembre.

Avant l'installation des lignes, il est nécessaire de prévoir une demi-journée de reconnaissance fine du site pour déterminer l'emplacement exact du câble porteur. On essaye dans la plupart des cas de travailler perpendiculairement aux courbes de niveau mais cela n'est pas obligatoire. En effet, d'autres contraintes sont prises en compte comme les taches de régénération ou la recherche de l'arbre d'ancrage, c'est à dire celui sur lequel l'extrémité du câble porteur sera fixé.

Pour installer la ligne, on cherche également une pente régulière, sans « bosse » intermédiaire qui nécessiterait la pose d'un sabot pour rehausser localement la ligne. La pose d'un sabot nécessite 1 h à 1 h 30 supplémentaires et surtout au passage de ce sabot, le chariot ralentit considérablement ce qui cause un surcoût d'environ 0,5 €/m³.

Les opérations d'abattage peuvent alors démarrer. Tous les arbres sous la ligne sont coupés en premier sur une bande de 3 à 3,5 m de large. Cette bande servira à sortir les bois.



Sabot (pièce jaune) accroché à un épicéa (source : Raphaël Wisselmann)

Le chariot est alors lancé par l'opérateur situé sur le camion. Le chariot est arrêté et émet un signal sonore. À partir de ce moment-là, il est pris en charge par l'opérateur placé dans la parcelle. Celui-ci apporte le chariot au-dessus de l'arbre à remonter. Il descend le câble pêcheur et le fixe autour de l'arbre. Il est également possible de remonter des arbres qui ne sont pas sous la ligne et ce grâce à la longueur du câble « pêcheur ». Une ligne a donc une zone d'intervention d'environ 100 m de large (50 m de part et d'autre de la ligne avec des maximums à 70 m). Le deuxième opérateur actionne

d'abord le treuil du câble pêcheur puis le treuil du chariot. A mi-chemin du camion, il arrête le chariot qui émet un signal sonore. Il est à présent pris en charge l'opérateur du camion.

Celui-ci actionne à nouveau le treuil pour que le chariot remonte au niveau du camion. Il fait descendre la grume en déroulant le treuil du câble « pêcheur » jusqu'à ce que la grume puisse être saisie à l'aide de la pince de la tête d'abattage. La grume est alors détachée du câble pêcheur et le chariot est renvoyé vers l'opérateur du bas. Pendant ce temps, l'opérateur du camion ébranche la grume, la débite à la bonne longueur et la cube. Il range également chaque produit sur le bon tas.

Particularité de ce chantier :

La parcelle était pentue et descendait jusqu'en fond d'une petite vallée. Il a été possible d'y descendre un débusqueur. Celui-ci a permis de ramener certains arbres abattus à proximité de la ligne de câble. Ceux-ci ont alors été ébranchés sur la parcelle par le bûcheron.

2.3. Les produits

Sur ce chantier, 3 types de produits sont fabriqués :

- les feuillus de mauvaise qualité sont achetés sur pied par M Henry pour une valorisation « bois de feu »
- les feuillus de qualité moyenne (essentiellement du hêtre de type C) seront valorisés sous forme « palette »
- les résineux sont valorisés comme suit :
 - les grumes de qualités moyennes (C/D) sont destinées au sciage pour SIAT (67). Ils sont conditionnés en longueur de 18 m avec un diamètre fin bout minimal de 14 cm (diamètre médian inférieur à 25) ou de 16 cm (diamètre médian supérieur ou égal à 25) ;
 - les grumes de mauvaise qualité (classe D) seront valorisés sous forme de « palette ». Ceci correspond aux diamètres médian 25 et plus avec un diamètre fin bout de 16 cm ;
 - Les grumes de résineux de mauvaise qualité (classe D) et de diamètre médian inférieur à 25, les purges de pied (longueur minimale de 2 m), les zones malades et les houppiers sont destinés au bois énergie (BE). La partie de la tige de diamètre inférieur à 14 ou 16 cm n'est pas ébranchée pour diminuer les coûts.

3. Protocole de mesure

Pour ce chantier, deux niveaux de mesures ont été réalisées :

- Mesures globales : pour tout le chantier (16 jours de travail), l'entrepreneur a noté l'heure de début et de fin de journée de travail ainsi que la nature de l'activité (mise en place de la ligne, câblage, préparation, réparation de panne...) ainsi que le volume mobilisé par ligne ou groupe de lignes,
- Mesures détaillées (pendant environ 2,5 jours) : on a noté le temps mis par le chariot à remonter les grumes, le temps mis par l'opérateur de la grue à façonner (ébranchage, découpe, cubage) et à ranger la grume en essayant de noter le temps affecté au BE.

4. Analyse quantitative de l'exploitation et aspects économiques

Préambule

Il convient de signaler que l'on travaille sur une partie très restreinte de la parcelle 56 (environ 6 ha). En effet , seules 3 lignes de câble ont été posées. Le reste de la parcelle martelée (environ 8 ha) n'a pas pu être exploité par câble compte tenu des fortes pluies de début juin. L'exploitation reprendra au cours du mois de septembre une fois que l'entreprise sera à nouveau disponible.

Toute la parcelle n'a pas été exploitée au câble-mât. Parmi les 6 ha, une partie du bois a été mobilisé de façon tout à fait classique (abattage et ébranchage traditionnel et débardage au débusqueur avec un câble).

Il a été extrêmement difficile de mesurer les volumes mobilisés : le cubeur de la tête d'abattage était en panne. Aussi le cubage a été fait manuellement mais à la fin de l'exploitation de la ligne ou alors lors d'un moment d'arrêt de la ligne (panne, mise en route, fin de journée...). Ceci explique que l'on n'a pas forcément accès au volume mobilisé.

4.1. Données globales

Rendements movens

Le nombre d'heures travaillées n'est pas une donnée pertinente car le nombre d'intervenants n'est pas constant. Le chantier nécessite entre 3 et 4 personnes. Pour ce chantier 406,25 hommesheures ont été réalisées en 16 jours avec en moyenne 3,25 équivalents temps plein.

Pour ces 3 lignes, le rendement moyen de l'équipe (avec 3,25 ETP) est de 4,8 m³/h pour la mise en place, le démontage, l'abattage, le câblage, l'ébranchage, la découpe, le cubage et la mise en dépôt.

Dans l'absolu, cette valeur est dans la moyenne. En effet, dans les pays en pointe en matière de câble-mât, comme l'Autriche, les valeurs observées oscillent entre 5 et 8 m³/h. Ces rendements sont en revanche atteints avec 3 ETP. Le 0,25 ETP supplémentaire sert essentiellement à remanipuler les grumes car l'espace de stockage est insuffisant et la rotation des grumiers ne se fait pas de façon assez soutenue. De même, le cubage du bois en forêt ne se fait plus en Autriche ce qui permet également d'améliorer le rendement. En conclusion, au vu de la topographie et compte tenu des éléments précités, le rendement sur ce chantier est donc dans la moyenne basse.

Volumes mobilisés

Pour ces 3 lignes, environ 600 m³ ont été mobilisés. La rentabilité de la ligne (sans sabot) est assurée à partir d'une centaine de m³ prélevés soit un ratio de **0,5 m³ /m de ligne**. Il y a eu ici 1200 m de câble de tiré (3 lignes de 400 m chacune). On est donc juste à la limite de la rentabilité de cette technique.

_	Volumes mobilisés (m³)	Ratio
Feuillus	95	16 %
ВО	410	68 %
BE	95	16 %
Total	600	100 %

Comparaison avec le martelage

Le martelage prévoyait sur 14 ha un volume total de 1512 m³ répartit comme suit :

- feuillus: $217 \text{ m}^3 (14,5 \%)$,
- BO: $1076 \text{ m}^3 (71 \%)$,
- BE: $219 \text{ m}^3 (14.5 \%)$.

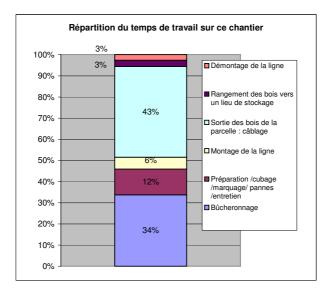
La surface d'intervention des 3 lignes de câbles représente environ 6 ha soit 42 % de la surface martelée. Les volumes prélevés (40 % du total) sont donc cohérents avec le martelage global.

Répartition du temps de travail

Comme on peut le constater sur la figure ci-dessous, sur ce chantier, on a identifié 6 grands postes :

- le démontage de la ligne,
- le montage de la ligne,
- la sortie des bois (accrochage de la grume, sortie de la parcelle, ébranchage, découpe et mise en tas dans le rayon d'action de la grue) jusqu'à la découpe,

- reprise des bois pour les ranger s'il n'y a plus de place dans le rayon d'action de la grue,
- le bûcheronnage,
- les temps divers (cubage, réparation d'une panne de 2 heures, préparation du chantier, tracé de la ligne...).



On constate que l'essentiel du temps (77 %) est réparti entre le bûcheronnage et la sortie des bois. En ce qui concerne le bûcheronnage, un membre de l'équipe abat en permanence. Il n'est sollicité pour d'autres tâches que pendant le montage et le démontage de la ligne.

La mobilisation de BE impacte donc essentiellement les postes « sortie des bois », « cubage » et rangement des bois vers le lieu de stockage à l'aide du débardeur. Ce dernier poste est suffisamment faible pour être négligé et concerne peu le BE. En effet, ce sont en général des morceaux courts (purges) qui ne sont pas repris. Il est préférable de déplacer le BO pour dégager de la place. De même pour le cubage, il n'a pas été possible de compter le temps mis pour le BE. Sur d'autres chantiers tests, les coûts de cubage du BE s'élevaient à 1,5 €/m³.

Dans la suite, on cherchera surtout à savoir quelle part du temps de travail le BE représente au sein du poste « sortie des bois ».

4.2. Économie globale du chantier

Le calcul a été mené de deux façons :

1^{re} méthode

Le coût du chantier a été estimé à partir de des coûts unitaires d'utilisation des machines. Le coût journalier du camion avec 3 opérateurs (dont un bûcheron) est chiffré à 1300 € HT.

Avec 406,25 heures de travail, on arrive à 17 jours de travail pour une équipe de 3 personnes soit un coût de chantier d'environ 22 000 €.

2^e méthode

On a estimé le coût du chantier à partir des grilles tarifaires des entreprises. Les coûts d'exploitation du contrat s'élèvent à:

- 34 €/m³ pour l'abattage, le façonnage, le débardage des grumes au câble soit 17 100 €,
- 20 €/m³ pour l'abattage, le façonnage, le débardage des billons destinés au BE soit 1900 €. D'où un total de 19 000 € HT.

Comparaison

Les deux méthodes donnent des coûts comparables mais néanmoins différents puisque le prix de vente moyen serait compris entre 31,6 et 36,6 €/m³. La différence est pleinement imputable au prix plus faible de mobilisation du BE. Ce prix a été établi par l'entreprise Henry pour respecter le « prix du marché » pour le BE et peut être assimilé à un geste commercial.

On va dans la suite essayer de calculer le vrai coût de revient du BE.

4.3. Prix de revient du bois énergie

Analyse des postes de travail

Il convient tout d'abord de définir ce que l'on entend par BE sur un chantier de type câble-mât. Globalement, on distingue trois catégories :

- la biomasse constituée du houppier (partie au-delà de la découpe à 14 cm) et des branches.
- certains bois long:
 - a) les purges, bosses de gui,
 - b) les grumes complètes : les bois secs, scolytés, malformés etc.

La première catégorie de BE impacte très peu les chantiers de type câble-mât. En effet,

- le bûcheron abat l'arbre. En temps normal, il ne le façonne pas. Aucune purge n'est faite en forêt. Le travail à la tête d'abatteuse est plus rapide (et moins dangereux);
- le deuxième opérateur chargé d'accrocher la grume au câble pêcheur n'est pas impacté par la destination du bois ;
- le chariot qui transporte la grume ne met pas plus de temps si du bois à destination du BE est mobilisé. En effet, la grume est toujours sortie dans son intégralité et est façonnée sur le chemin.

La dernière catégorie a des coûts de mobilisation assimilables au BO. L'arbre est coupé, remonté et travaillé pour produire du BE. Ce type de produit est néanmoins minoritaire (cf. 4.3.2.).

Le seul surcoût imputable au BE est donc

- pour le BE de type bois rond (purges de pied, bois pourris...) : le temps d'ébranchage, de mise en tas et le temps de cubage, ;
- pour le BE de type « houppier », il n'y a pas de temps affectable : le houppier n'est pas ébranché et il est juste posé en tas à côté de la ligne.

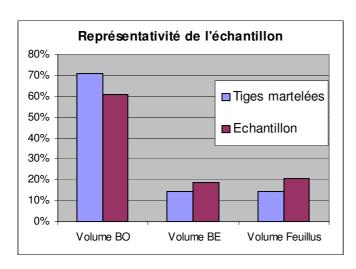
On se propose à présent d'analyser un peu plus en détail le temps passé pour sortir le bois de la parcelle et notamment le temps affecté au BE. Ceci concerne essentiellement deux opérateurs :

- le premier est dans la parcelle. Il amène le câble autour de la grume, la soulève et envoie le chariot à l'opérateur du camion. A part si la grume entière est destinée au BE, le temps mis par cet opérateur est indépendant de la fabrication ou non de BE. Au contraire, si l'on ne fabrique pas de BE et que l'on laisse les purges en forêt, son rendement diminuera car il devra gérer plusieurs billons à la place d'une grume entière ;
- le second opérateur est sur le camion. Il réceptionne la grume, l'ébranche, la découpe et la stocke en fonction du type de produit. La réalisation de BE peut générer un surcoût si cet opérateur est le facteur limitant.

C'est ce que nous allons étudier sur un échantillon.

Description de l'échantillon

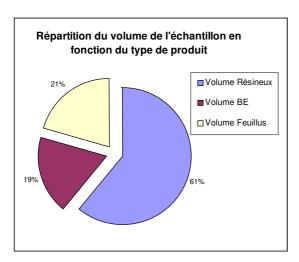
On a réalisé des mesures détaillées (cf. 3) sur un échantillon de 71,4 m³ ce qui représente 4,7 % du volume aménagement. Pour sortir ce volume de forêt, 70 allers retours de chariot (dénommé dans la suite « voyages ») ont été nécessaires et 36,1 hommes-heures de travail. En reprenant une moyenne



de 3,25 ETP, on obtient un rendement de 6,4 m³/h. Ce rendement est 30 % plus élevé que le rendement moyen constaté et peut s'expliquer par deux phénomènes :

- une partie importante des mesures a été faite en début de ligne (cf. ci-dessous) où le temps mis par le chariot n'est pas le facteur limitant.
- une partie des bois est issue du fond du vallon et ont été amenés sous la ligne grâce au tracteur de débardage. Les temps d'accrochage ne sont donc pas limitants.

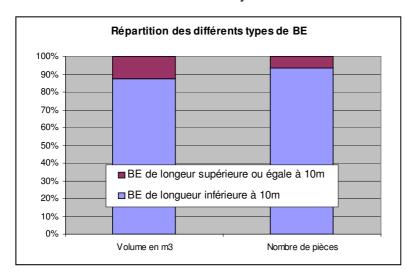
En terme de produits, la répartition entre le BO, le BE et les feuillus est globalement la même entre l'échantillon et le volume martelé sur la parcelle.



Pour le BE, on va essayer de cerner la part de chaque type de BE.

Sur ce chantier, la biomasse n'a pas été conditionnée pour être valorisée en plaquette. En effet, pour que le broyage soit facilité, il convient de ne pas ébrancher les houppiers. La prise de la biomasse par la grue du broyeur sera d'autant plus facile. L'idéal serait de faire un tas avec la cime côté parcelle et le côté découpé à 7 ou 10 cm orienté vers le chemin. Ici on a simplement fait un tas de branches. Comme le produit n'a pas encore été broyé, on ne connaît pas la quantité précise de BE mais ce type de BE n'intervient pas dans le calcul du coût de revient comme on l'a indiqué ci-dessus.

Il reste alors le BE de type « bois rond » constitué des purges ou grumes. La hauteur moyenne commercialisable des arbres martelés est comprise selon le diamètre et l'essence entre 12 et 22 m. On a donc au sein de l'échantillon essayé de cerner les volumes des deux types de BE en prenant comme

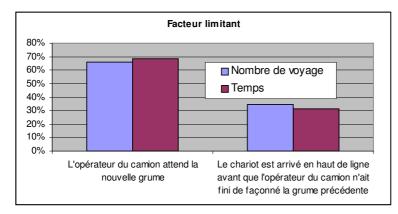


longueur limite 10 m. Si la longueur de la pièce de BE est supérieure ou égale à 10 m, on estime que c'est du BE de type grume et que le bois a été récolté uniquement pour en faire du BE. La valeur de 10 m a été choisie par précaution compte tenu de la plus petite hauteur (12 m) commerciale estimée.

On se rend compte que le BE de type « grume » représente moins de 15 % en volume du BE récolté. L'essentiel provient des purges, fourches, bosses de gui, etc.

Les facteurs limitants

En premier lieu, on peut se demander où se situe le facteur limitant dans l'exploitation. Est-ce l'opérateur sur le camion ? Pour ce faire, on a, pour chaque voyage du chariot, mesuré le temps entre



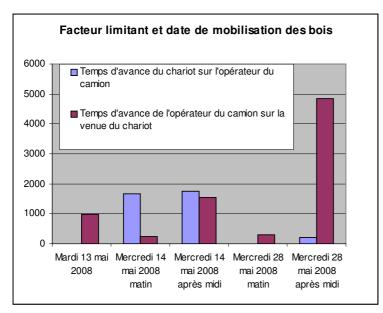
l'opérateur du camion est le facteur limitant.

l'arrivée du chariot et la fin de façonnage de la grume précédente.

Au sein de notre échantillon, que l'on regarde le temps d'attente ou le nombre de voyages, on observe que dans 70 % des cas, c'est l'opérateur du camion qui attend l'arrivée du chariot. Ce n'est donc que dans environ 30 % du temps que

En discutant avec M. Henry, d'expérience, il ressort que sur les 50 premiers mètres de la ligne, c'est l'opérateur sur le camion qui est le facteur limitant. Au-delà, c'est l'inverse car le chariot met davantage de temps à parcourir la ligne. Les lignes faisaient 400 m de long sur ce chantier. L'opérateur ne devrait donc être le facteur limitant que dans 12,5 % des cas. Notre échantillon a donc un biais qui résulte d'une mauvaise préparation des périodes de prise de données.

Ce biais se retrouve très bien sur le graphique ci dessous.



En effet, mardi 13 mai et mercredi 28 mai, les mesures ont été réalisées en milieu et fin de ligne. L'opérateur du camion est donc généralement en avance sur le chariot. Mercredi 14 mai, une nouvelle ligne a été mise en place le matin. Au fur à mesure de l'avancement dans la journée, c'est le temps de déplacement du chariot qui est devenu limitant ce que l'on constate bien (cf. différence sur le graphique entre mercredi 14 matin et après midi).

En valeur absolue, les temps d'attente sont supérieurs à 3 heures sur notre échantillon ce qui

représente tout de même environ 10 % du temps de travail global.

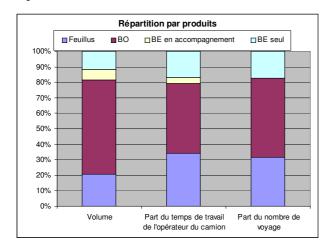
En terme de BE, il est également intéressant de noter que pour notre échantillon, le temps de travail de l'opérateur sur le camion n'est le facteur limitant que dans 30 % du temps et que cette valeur est plutôt élevée. La découpe et le rangement des purges, même si elle nécessite du temps ne fait pas baisser le rendement moyen. Ce temps de travail supplémentaire fait baisser la cadence uniquement pendant 12,5 à 30 % du temps. Son coût marginal d'exploitation de ces purges est donc bien plus faible que l'exploitation classique des grumes.

Analyse du temps passé pour la mobilisation du BE

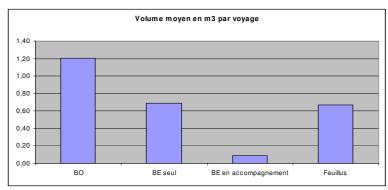
Lors des mesures détaillées, on a chronométré le temps passé par l'opérateur du camion en fonction du produit : BO, BE et feuillus. Pour le temps de travail, quand un seul type de bois a été remonté, le temps est intégralement répercuté sur ce type. Lorsque deux produits différents sont remontés, le temps d'accrochage et de décrochage des grumes a été réparti comme suit :

- mélange BE et feuillus : le temps de décrochage et d'accrochage a été intégralement affecté au feuillus :
- mélange BE et BO ou feuillus et BO : le temps de décrochage et d'accrochage a été intégralement affecté au BO.

En effet, c'est la récolte de BO en premier lieu puis de feuillus en second lieu qui a justifié cette exploitation forestière.



Sur le graphique ci-contre, on se rend compte que le BO représente la part la plus importante de volume mais malgré les choix ci dessus, il a besoin proportionnellement de moins de temps et de moins de voyages que le BE ou les feuillus pour être mobilisé.



Une explication réside dans le volume de bois remonté par chaque voyage. On constate qu'à chaque voyage de BO, on remonte presque le double de volume de bois par rapport à un autre produit. Pour les feuillus, la part du temps de travail s'explique également par un volume unitaire plus faible par voyage mais également par un rendement de la tête d'abattage moindre compte tenu du type de

branchaison. En effet, l'ébranchage se fait d'autant plus facilement que les branches sont bien perpendiculaires au tronc.

On peut donc retenir que le BE (purges et grumes) a nécessité environ 20 % du temps de travail ou du nombre de voyage ce qui correspond à peu près à sa part en volume (19 % de l'échantillon).

Dans le détail, pour l'échantillon, le BE de type purges représente 16 % du volume global soit 11 m³ et le BE de type grumes représente 3 % du volume total soit 3 m³.

Détermination des prix de vente du BE

En conclusion, on a montré que le coût de mobilisation du BE était très différent en fonction du type de BE :

- pour la biomasse pure (houppier, branches, etc.), le coût de mobilisation est nul. C'est un coproduit inérant à cette technique. Que l'on valorise le houppier ou non en BE, il y aura des tas de branches au débouché de la ligne de câble, au niveau du chemin. Il était d'ailleurs fréquent de broyer ces tas pour favoriser la décomposition et « pour faire propre ». Ceci entraînait un coup de chantier supplémentaire. Cette somme a été négligée car cette technique n'était pas systématique ;

- pour un arbre complet destiné au BE, le coût de mobilisation est celui d'une grume de BO car il nécessite les mêmes opérations ;
- pour les bois ronds issus de purges, le coût de mobilisation est très faible mais non nul. Nous allons essayer de le préciser compte tenu des éléments ci-dessus.

Pour le BE, seule compte une partie du temps de l'opérateur du camion. Or celui-ci est le facteur limitant de la chaîne seulement dans 12,5 à 30 % du temps. La mobilisation de BE ne fait donc pas chuter de façon significative le rendement. En revanche, même si l'opérateur n'est pas le facteur limitant, son temps de travail a un coût, d'autant plus qu'il utilise la tête d'abattage et des consommables.

À la lumière de cette analyse, essayons à présent de calculer le coût de revient de la mobilisation de BE. Pour cela, faisons l'hypothèse que la répartition du BE en volume entre le BE de type « purge » et le BE de type « grume » est la même dans l'échantillon et sur la parcelle complète.

On a donc sur 95 m³ la répartition suivante :

- 14 m³ de BE « grumes »,
- 81 m³ de BE « purges ».

Sur ces 81 m³, 12,5 % à 30 % sont un facteur limitant soit environ 15 m³. Pour ce volume, le coût de revient retenu sera donc celui du BO soit 34 €/ m³.

Pour les 66 m³ restants, on a vu que au 4.3. que pour mobiliser environ 20 % de BE, l'opérateur consacrait environ 20 % de son temps de travail. Le poste « sortir des bois de la parcelle » (cf. 4.1) représente 43 % du temps de travail. Ce poste comprend en permanence 2 ETP : l'opérateur du camion et celui de la parcelle. La mobilisation de BE de type « grumes » ne génère pas de travail supplémentaire pour l'opérateur de la parcelle. Pour mobiliser environ 16 % du BE, on a donc besoin de 16 % du temps de travail de l'opérateur du camion. Ce temps représente environ 21,5 % du temps de travail global. Le BE de type purges nécessite donc environ 3,3 % arrondi à 5 % du temps de travail global.

Au paragraphe 4.2, on a validé le lien entre le coût au m³ et le coût journalier de l'équipement. Si l'on considère 34 €/m³ comme un prix de vente représentatif des coûts de revient, on obtient les montants suivants:

- 476 € pour le BE de types grume à raison de 34 €/ m³,
- 510 € pour le BE de type « purge » lorsqu'il représente un facteur limitant dans la récolte ;
- le prix de mobilisation du BE de type « purges » non limitant avoisinerait quant à lui 5 % de 34 €/m³ soit environ 2 €/m³ auquel s'ajoutent les coûts de cubage de 1,5 €/m³ soit un coût total arrondi à 4 €/m³ soit un montant de 208 €.

Le coût global de mobilisation du BE est donc de 1194 € à comparer avec les 1900 € payés.

Si l'on raisonne à coût de chantier constant, il convient alors de revoir les prix de mobilisation du BO surtout des feuillus. En effet au 4.3, on a constaté que les feuillus nécessitent environ 35 % du temps de travail de l'opérateur du camion alors qu'ils ne représentent que 20 % en volume. Pour le BO, ces chiffres s'élèvent respectivement à 45 % et à 60 %. On pourrait alors proposer à prix de vente constant les prix de vente suivants :

- feuillus: 44 €/m³,
- le BO : 31 €/m³.

Par souci de simplification, on peut également proposer un même prix de vente pour le BO et les feuillus. Celui-ci passerait de 34 à 35,7 €/m³.

Conclusion sur les prix de vente

En raisonnant à coût constant, les prix de vente suivants ont pu être mis en lumière :

Type de bois	Prix de vente pratiqué	Nouveau prix de vente
	(en €/m³)	proposé (en €/m³)
BO / feuillus	34	35 - 36
BE de type « grume »	34	35 - 36
BE de type « purge »	20	4
BE de type « houppier / biomasse »	0	0

5. Analyse qualitative de l'exploitation

5.1. Qualité de l'exploitation

La technique du câble

L'essentiel des dégâts est concentré dans la ligne de câble mais les dégâts restent minimes (estimation : moins de 5 % des tiges touchées). En effet, en remontant les arbres accrochés au câble, il y a des frottements mais les houppiers amortissent les chocs.

Par contre, dans la zone de décrochage des arbres et d'ébranchage, c'est-à-dire dans un rayon d'une trentaine de mètres autour de la grue équipée de la tête d'abattage, les arbres sont quasiment tous blessés par frottement et à des hauteurs diverses.

Limites de la technique

Cette technique performante d'exploitation a tout de même une forte contrainte. Au niveau du camion mât, il est nécessaire de disposer d'une voirie circulable par les grumiers et d'une grande zone de stockage des différents produits. En effet, dans un rayon de 18 m, la grue du camion répartit les houppiers (en général dans les accotements), les grumes et le BE. Une simple route de 4 m de large ne suffit pas. Il faut donc souvent créer des surlargeurs ou travailler au niveau d'un virage où la route est plus large compte tenu des rayons de braquage des camions.

A priori, dans le cas d'une parcelle en pente, le matériel de la société permet de sortir du bois par le « haut » de la parcelle ou par le « bas ». Si sortir du bois par le bas est techniquement possible cela est plus cher. En effet, la grue est solidaire du camion qui est obligatoirement placé en haut. Il est donc nécessaire de disposer sur le chemin du bas de la parcelle d'un engin complémentaire qui assurera l'ébranchage et le rangement des grumes. Il est également possible d'ébrancher sur la coupe. Dans les deux cas, sortir du bois par le bas génère donc un surcoût de l'ordre de 5 €/m³.



Zone de stockage des grumes et rayon d'action de la tête d'abattage (source : Raphaël Wisselmann)

La principale limite du matériel acquis par l'entreprise Henry se trouve dans le chariot. En effet, comme il n'est pas autotracté, il est nécessaire que la ligne soit tendue pour qu'il atteigne le bout de la ligne grâce à la différence d'altitude entre le haut et le bas de la ligne. Ceci signifie que des chantiers en plaine ne sont pas réalisables. En général, pour les terrains plats, on a recours à l'abatteuse et au porteur ou au tracteur à câble. Mais dans certains cas (zones humides, tourbières...), la technique du câble-mât pourrait être mise en œuvre car elle permettrait de protéger les sols. Enfin, un chariot autotracté permet de gagner un peu de temps grâce à une vitesse de déplacement plus élevée.

Un chantier à signaler!

Une ligne de câble atteint couramment 400 m. Il est donc possible qu'elle traverse une piste forestière ou des sentiers de randonnée. Comme les engins de chantiers ou les opérations d'abattage peuvent être relativement éloignés, le randonneur ne se rend pas compte qu'il rentre dans un chantier d'exploitation forestière et que des grumes sont suspendues au-dessus de sa tête. Il est donc indispensable de couper les chemins ou sentiers correspondants et de vérifier qu'ils restent barrés pendant toute la durée du chantier.

De même, la grue a un diamètre limite de préhension. Des morceaux de diamètre 75 cm ne peuvent être manipulés. Ceci peut arriver surtout pour des purges de pied. Ils doivent alors être découpés à la main en forêt ou sur le chemin et être mis en quai à l'aide de l'engin de débardage.

5.2. Les pannes

Les principales survenues sont :

- changement de flexibles de la tête d'abattage,
- rupture d'une vis maintenant l'axe d'un piston du chariot et nécessaire au fonctionnement du câble « pêcheur ». La réparation a notamment nécessité le décrochage du chariot de la ligne (30 min de réparation);
- les branches en frottant sur le chariot ont touché l'interrupteur de mise en marche du moteur du treuil du câble pêcheur. Il a fallu remonter le chariot, détendre la ligne pour réappuyer sur l'interrupteur (15 min);
- les silentblocs qui assurent la stabilité du moteur du chariot ont cassé (2 h).

Un autre problème non survenu sur le présent chantier a été signalé par M .Henry. Le chariot s'est décroché du câble porteur et a chuté. Ceci a nécessité à chaque fois deux jours d'arrêt pour réparation.

6. Une technique utilisable en terrain plat

L'entreprise Henry a réalisé fin juillet 2008 un chantier d'exploitation au câble-mât sur terrain plat (zone humide plantée d'épicéa avec quelques pins à crochets) avec un chariot à moteur. Il n'a pas été possible de suivre ce chantier dans le détail, néanmoins plusieurs différences méritent d'être signalées entre un chantier « en plaine » et « en montagne ».

Une mise en place plus longue

L'installation des lignes est un peu plus longue essentiellement pour deux raisons :

- il faut tirer la ligne de câble à la main sur une longue distance,
- la mise en place d'un sabot est souvent nécessaire pour maintenir la ligne suffisant en hauteur.

Un chariot différent

Les caractéristiques techniques du chariot sont assez différentes

	Chariot utilisé lors d'une	Chariot utilisé lors d'une
	exploitation en montagne	exploitation en plaine
Poids du chariot	950 kg	1,3 t
Poids maximum transporté	4 t	3 t
Consommation journalière en carburant	201	55 1

Une exploitation différente

En montagne, les lignes de câbles sont relatives proches (une cinquantaine de mètres) pour limiter le déplacement. En plaine, ce critère ne joue pas et les lignes peuvent être distantes de 130 à 140 m. Cela dépend essentiellement de la densité du peuplement. Plus celui-ci sera dense, plus les lignes seront rapprochées pour éviter de blesser les arbres lorsqu'ils sont tirés de leur emplacement d'abattage à la ligne de câble.

En plaine, la technique du câble-mât sera souvent préconisée dans les zones humides ou tourbeuses. L'export de toute la biomasse y est souvent interdit comme cela a été le cas pour le chantier de Gérardmer. L'ébranchage manuel sur la coupe est alors consommateur de temps et génère une plus-value de 5 à $6 \, \text{em}^3$. Par ailleurs, le transport des arbres ébranchés est plus délicat. Ils ont tendance à frotter au sol ou contre les arbres existants alors que non ébranché, leur houppier amortit les chocs.

Enfin, comme la ligne est plus basse, les arbres raclent au sol, particulièrement sur des souches mal recépées. Ceci abîme un peu la grume en sortant. En revanche, les dégâts au sol sont quasi inexistants ce qui fut bien l'objectif initial de cette exploitation forestière en zone humide. De même, en plaine ou en montagne, la largeur d'une ligne de câble reste identique (environ 3 à 4 m).

Financièrement, cette exploitation revient à 32 à 35 €/m³ en plaine sans ébranchage sur coupe.

7. Conclusion

Câble-mât et BE

On a vu que le câble-mât permet de mobiliser trois types de BE à des coûts très différents :

- le houppier et les branches à un coût nul ;
- les grumes complètes (arbres secs) à un coût comparable au BO;
- les bois ronds de types purges à un coût moindre.

En raisonnant à coût de chantier constant, les prix de vente suivants peuvent être proposés. Ils sont représentatifs des temps de travail affectés à chaque type de bois.

Type de bois	Prix de vente pratiqué	Nouveau prix de vente proposé
	(en €/m³)	(en €/m³)
BO / feuillus	34	35 - 36
BE de type « grume »	34	35 - 36
BE de type « purge »	20	4
BE de type « houppier / biomasse »	0	0

Mieux préparer le BE de type « houppier, biomasse »

Pour faciliter la fabrication des plaquettes forestières, il convient de ne pas ébrancher les houppiers. De même, l'idéal serait de faire un tas avec la cime côté parcelle et le côté découpé à 14 cm orienté vers le chemin. La prise de la biomasse par la grue du broyeur sera plus aisée.

Améliorer la coordination entre le cabliste et le grumier

Le câble-mât est une technique intéressante utilisable en terrain plat et en montagne. Elle présente une seule véritable contrainte, à savoir une bonne gestion des flux de grumier. En effet, le bois ne peut être stocké sur place et il est donc nécessaire d'assurer une rotation continue. L'idéal serait d'avoir un interlocuteur unique pour l'abattage, le façonnage et le transport à la scierie comme cela se pratique couramment en Autriche. La maîtrise de la filière permettrait de s'affranchir de certains problèmes purement logistiques et permettrait de baisser le coût (passage de 3,25 à 3 ETP, suppression du poste « rangement des bois »).

Cette étude a été réalisée durant l'été 2008 par Raphaël Wisselmann, dans le cadre de son stage de fin d'études du cursus GREF d'Agroparistech, voie d'approfondissement Forêt, Nature et Société.

Memoire de fin d'études de Raphael Wisselmann	Etude technico-economique de la filiere plaquette forestier

Annexe nº 6 : étude d'un chantier avec abattage traditionnel et avec grappin billonneur

Cette analyse est relative au chantier test réalisé sur la parcelle 130 de la forêt domaniale de Guebwiller (Haut-Rhin). Il est représentatif d'un mode d'exploitation traditionnel : abattage manuel et vidange de la parcelle grâce à un débusqueur à câble. Celui-ci est équipé d'un grappin-billonneur.

1. Présentation des entreprises

Ce chantier fait intervenir deux entreprises :

- l'entreprise individuelle Stéphan Koenig chargée de l'abattage,
- la SARL Studler Débardage pour le débardage. Le cubage et le classement des bois sont faits par l'un ou l'autre.

1.1. L'entreprise individuelle Stéphan Koenig

Coordonnées

12b rue du Muhlele 68140 GUNSBACH Tel: 03 89 77 01 26 / 06 70 27 93 24

Présentation sommaire

L'entreprise a été créée en 2007. Elle ne compte pas de salariés. La société dispose d'un tracteur de débardage à deux câbles et de plusieurs tronçonneuses. L'activité principale est l'abattage d'arbres.

Les principaux frais de fonctionnement découlent des consommables des tronçonneuses :

- carburant (6 à 12 l/jour),
- huile (3 à 6 l/jour).

Matériel mis en œuvre sur le chantier

Il s'agit de l'équipement classique du bûcheron

- tronçonneuse, coins en plastiques, masse et barre à mine pour faciliter la chute des arbres secs,
- équipements de protection individuelle : casque anti-bruit, chaussure de sécurité, pantalon anticoupe, gants.



Ébranchage d'une grume (source : Raphaël Wisselmann)

1.2. L'entreprise SARL Studler Débardage

Coordonnées:

Lieu dit Muehlweg 67 600 SELESTAT Tel/Fax :03 88 82 27 29

Présentation sommaire

L'entreprise créée en 1993 emploie 2 équivalents temps plein et a un chiffre d'affaire annuel d'environ 400 000 € HT. Elle est spécialisée dans l'exploitation forestière avec des activités d'abattage et surtout de débardage. Le volume débardé annuellement avoisine les 35 000 m³ et est complété par la réalisation d'environ 700 stères de bois de chauffage. L'abattage représente environ 18 % du temps de travail.

L'entreprise dispose du matériel suivant :

- 2 skidders équipés de doubles treuils avec grue. L'un des deux est équipé d'un billonneur (cf. cidessous),
- 2 porte-chars pour que chaque déplacement de skidder puisse être autonome,
- une fendeuse avec grue,
- un tracteur agricole de 140 CV.

Le rayon de travail de l'entreprise sont les deux départements alsaciens (de Bitche à Mulhouse) et la frange ouest du Bade-Wurtemberg (jusqu à Fribourg-en-Brisgau).

Les coûts de débardage varient entre 5,8 €/m³ (récolte de gros bois en plaine) et 17 €/m³ (récolte de bois moyens dans des terrains en forte pente ou rocheux).

Matériel mis en œuvre sur le chantier

Pour ce chantier, le débardage a été réalisé à l'aide d'un skidder (marque Camox modèle F175) équipé de 2 treuils, d'un grappin-billonneur. Cet engin est télécommandé. Il a été acquis au début de l'année 2007 pour un montant de 330 000 € TTC et a pu être subventionné à hauteur de 20 % par la DRAF. Les options s'élèvent à :

- 70 000 € HT pour la grue,
- 15 000 € HT pour la tronçonneuse de la grue,
- 15 000 € HT pour la radio-commande.



Débardeur Camox F175 (source : Raphaël Wisselmann)

Les caractéristiques techniques sont :

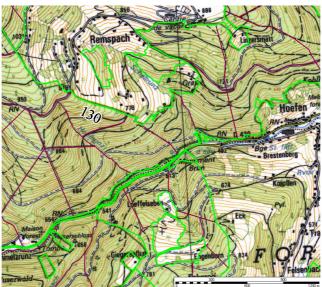
- puissance du moteur : 200 CV
- caractéristiques des câbles
 - câble en acier 14 mm de diamètre et 200 m de long
 - câble nylon utilisé lors d'un débardage a la montée : longueur 150 m
- portée de la grue : 5,5m avec une charge en bout de flèche de 1,5 t maximum
- diamètre maximal de préhension de la grue : 70 cm
- diamètre maximal de la grume pouvant être billonnée : 50 cm
- portée de la télécommande : 500 m
- pneus basses pressions et huile biodégradable pour le système hydraulique.

En terme d'entretien, un graissage hebdomadaire du moteur et une vidange du circuit hydraulique doit être réalisée ce qui représente un temps d'immobilisation de 3 à 4 heures. De même, un graissage de la grue doit être réalisé deux fois par semaine. Enfin, tous les 6 mois, les plaquettes de frein de la grue doivent être changés (500 € HT) et l'huile moteur doit être analysée pour vérifier qu'elle garde ses performances (viscosité).

L'huile et le carburant (consommation moyenne de 8 à 9 1/ jour) représentent les principales charges.

2. Description du chantier

2.1. Caractéristiques de la parcelle



Plan de situation de la parcelle 130 (source : IGN)

Le chantier se situe dans la parcelle 130 dans la forêt domaniale de Guebwiller, sur le ban de la commune de Linthal. La parcelle s'étage entre 700 m et 900 m à flanc de coteau.

L'aménagement étant en cours de révision, des relevés de placettes ont été faites en 2007. On peut en dégager les résultats suivants :

- les essences dominantes sont le sapin pectiné (50 %), le chêne sessile (23 %), l'épicéa (16 %) et le hêtre (10 %). On note quelques érables sycomores en accompagnement ;
- en termes de peuplement, 64 % des placettes sont classées en « peuplements en croissance active » ce qui signifie une dominante de petits bois avec quelques bois moyens. 18 % de la parcelle est classée en jeunesse et seuls 9 % sont arrivés à maturation.

Le martelage réalisé consiste en une coupe d'amélioration.

Pente	55 à 65 %
Surface	
- de la parcelle	11 ha
- parcourue	9 ha
Hauteur dominante	38 m
Surface terrière	
- avant abattage (m ² /ha)	11 à 42 avec une moyenne de 19
- après abattage (m²/ha)	moyenne de 15
Volume aménagement	485 m ³

Accès au chantier et stockage:

Trois chemins forestiers traversent la parcelle : deux chemins servent de limite (cf. carte ci dessus).

Il n'y pas de cloisonnement mis en place dans la parcelle mais cela ne se justifie pas au vu de l'infrastructure routière.

Le bois abattu est stocké dans le talus du chemin (pas de place de dépôt).

2.2. Déroulement du chantier

Période

Le chantier a débuté le 25 avril 2008 et s'est terminé le vendredi 13 juin 2008. Il a connu de longs arrêts de chantiers et on a finalement compté

- 11 jours de bûcheronnage,
- 6 jours de débardage,
- 0,5 jour de pose de plaquettes.

Le nombre de jours n'est pas une donnée pertinente pour le calcul des rendements car les journées n'ont pas toutes le même nombre d'heures de travail.

Mode opératoire

L'abattage est réalisé de façon traditionnelle par un bûcheron. Les arbres sont ébranchés sur coupe jusqu'à un diamètre fin bout d'environ 10 cm. La cime est démontée sommairement. Compte tenu des fortes pentes, le cubage et classement est fait sur le chemin.

L'arbre abattu est débusqué au câble sur environ 70 m en moyenne jusqu'à un des chemins qui traverse la parcelle. Le débusqueur ne rentre pas dans la parcelle et reste bien sur les chemins. Une fois la grume sortie de la parcelle, elle est découpée sur le chemin en fonction de sa qualité. Cette découpe est réalisée soit par le bûcheron soit, et ce de façon privilégiée, par le grappin-billonneur du skidder. Les bois sont ensuite cubés et le diamètre médian et la longueur sont inscrits à la craie sur la tranche de la grume. Puis à l'aide de la grue et de la pince, les différents produits sont triés et traînés sur environ 100 m jusqu'au quai de stockage correspondant (bois énergie, sciage, palette...). À la fin du chantier, les plaquettes (numéro de vente) sont posées.

En général, le bûcheron et le débardeur ne travaillent pas les mêmes jours. Sur les 6 jours de débardage, deux ont été communs avec le bûcheron et ont permis de câbler des arbres encroués.

Les deux spécificités de ce chantier sont

- une pente assez forte dans les parcelles,
- la présence de fils de fer barbelés, reliquats de la Seconde Guerre mondiale dans une partie de la parcelle. Ceci a localement ralenti les opérations de débardage.

2.3. Les produits

Sur ce chantier, 5 types de produits sont fabriqués :

- les feuillus seront valorisés en stères (bois bûche),
- les résineux sont destinés :
 - au sciage pour les arbres de qualité B/C et de diamètre médian supérieur à 25 cm (conditionnement en longueur de 16 m et avec un diamètre fin bout de 16 cm),
 - au sciage pour les arbres de qualité D et de diamètre médian supérieur à 25 cm (conditionnement en billons de 4 m diamètre 16 cm en fin bout),
 - à la fabrication de palettes pour les arbres de diamètres médians inférieurs à 25 cm
 - au bois énergie pour les purges, cimes et les épicéas scolytés secs.

Dans la suite, on distinguera uniquement deux types de bois

- le bois énergie noté BE,
- les autres bois notés BO.

3. Protocole de mesure

Contraintes liées au site

Le cubage du bois n'a pas été fait en parcelle. En effet, la forte pente et la présence d'un grappin-billonneur ont milité pour un cubage sur le chemin. De même, le classement des produits a été fait sur le chemin. Souvent la limite entre le BE et le BO n'est pas nette et un sondage au cœur est nécessaire. Celui-ci est fait lors de la découpe en analysant l'aspect de la sciure. Une sciure de couleur claire est signe de bois sain alors qu'un brunissement indique un pourrissement au cœur.

Mesures réalisées pour la partie bûcheronnage

Deux types de mesures ont été réalisées

- le temps passé (jours, heures) sur ce chantier et le nombre d'arbre abattus par jour ont été noté par le bûcheron ;
- le rédacteur du document a chronométré pendant deux jours le temps mis
 - à abattre l'arbre
 - à ébrancher l'arbre (en séparant dès que cela était possible le BE et le BO)
 - à démonter la cime lorsque la séparation du travail était nette : en effet, le bucheron travaillait parfois sur l'ébranchage puis attaquait le démontage du houppier et il n'a pas été possible de suivre avec le chronomètre et la saisie des temps
 - l'essence
 - l'état sanitaire (arbre sec ou non)
 - le diamètre à 1,30 m de haut

Ceci représente un échantillon de 35 arbres soit 15 % en nombre des arbres récoltés.

Toute la difficulté a été de qualifier l'arbre en BE ou BO. Très souvent, l'arbre contenait les deux qualités et la part relative de chacun n'était pas connue car le cubage et les découpes n'étaient pas faites en parcelle.

Mesures réalisées pour la partie débardage

Deux types de mesures ont été réalisées

- le temps passé (jours, heures) les volumes de BE récoltés par jour sur ce chantier ont été noté par le débardeur ;
- le rédacteur du document a chronométré pendant environ 14 heures (répartis sur 3 jours) le temps mis

- pour sortir un arbre de la parcelle. On a essayé de séparer quand cela était possible le temps mis par le débardeur
 - pour aller du chemin à l'arbre
 - pour accrocher l'arbre
 - pour sortir l'arbre de la parcelle jusqu'au bord du chemin.
- pour cuber les bois en séparant le temps de cubage pour le BE et le BO. Parallèlement, les volumes ont été notés
- pour décrocher les bois, les ranger sur les quais en séparant les temps mis pour trier le BE du BO
- les temps de déplacements entre les quais et l'endroit du chemin où le câble est déroulé pour sortir un arbre de la forêt.

Ces mesures précises ont souvent débuté vers 9 h pour se terminer vers 17 h. On a également mesuré les volumes (BE et parfois BO s'ils étaient sur un quai particulier) débardés avant et après ces heures.

4. Analyse quantitative de l'exploitation et aspects économiques

4.1. Données globales

Volumes prélevés

Volumes	Type de bois			
	BE BO Total			
Volume sur écorce en (m ³)	104,2	289,5	393,8	
Volume unitaire moyen (m ³)	0,4	0,9	0,67	
Nombre de pièces	271	317	588	

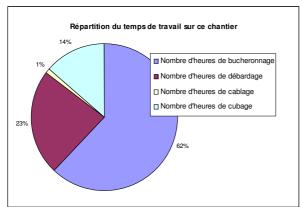
Le BO est vendu sous écorce. Pour le BO, on a en volume, 50 % d'épicéa et 50 % de sapin. Le taux d'écorce moyen retenu pour l'épicéa est de 9 %, pour le sapin pectiné de 11 %. La récolte est équitablement répartie en volumes entre l'épicéa et le sapin. On prendra donc dans la suite un taux d'écorce moyen de 10 % ce qui donne un volume de BO de 261 m³ soit un volume total de 365 m³.

Le bois énergie est essentiellement issu des purges et des cimes. Il est complété par quelques épicés secs ou scolytés. La mobilisation de cette biomasse représente 26 % du volume global sorti.

L'estimation faite lors du martelage avec des tarifs Algan (6 pour le sapin pectiné, 7 pour l'épicéa et 8 pour les feuillus) conduisait à un volume de 350 m³ soit une différence de 4 % ce qui est très faible.

L'intensité de prélèvement se situe autour de 40 m³/ha. L'aménagement prévoyait une coupe de 54 m³/ha. Les ordres de grandeur sont respectés car il s'agit d'une éclaircie d'intensité moyenne.

Temps de travail et rendements



Sur le graphique ci-contre, environ 2/3 du temps de travail est constitué par le bûcheronnage (il inclut l'ébranchage). 23 % est consacré au débardage et 14 % au cubage (ceci inclut les découpes et le classement).

	Nombre d'heures de travail	Rendement total en m³/h	Rendement en m³/jour moyen	Nombre d'arbres par heure	Nombre d'arbres par jour moyen
Bûcheronnage	83,05	4,7	37,5	3	28
Débardage	31,25	12,6	65,6	7	42
Câblage	1,5				
Cubage	18,25				

En terme de rendement, on pourra retenir les 2 chiffres suivants

bûcheronnage : 4,7 m³/h
 débardage : 12,6 m³/h

On a également calculé le rendement du jour moyen. Celui-ci est défini par le nombre d'heures affectées, par exemple au débardage divisé par le nombre de jour. Ceci nous donne le nombre d'heure de débardage que l'on a en moyenne par jour. Ce nombre d'heures est multiplié par les rendements horaires calculés ci-dessus.

Pour le bûcheronnage, on se situe plutôt dans des rendements élevés. En effet, le peuplement est dominé (plus de 90 %) par des résineux de classe 3 et plus. Pour ce type de bois, les rendements classiquement observés sont plutôt autour de 2,5 m³/h. Ceci se retrouve dans le nombre d'arbres abattus : 28 arbres par jour est une moyenne élevée.

De même, pour le débardage, le rendement se situe dans la moyenne haute.

Lors d'un tel chantier, il convient de ne pas sous-estimer le temps du cubage. Il représente ici plus de 2 jours de temps de travail.

4.2. Économie globale du chantier

Le calcul a été mené de deux façons :

Première méthode (travail au rendement)

On a estimé le coût du chantier à partir des grilles tarifaires des entreprises. Les prix (hors taxes) de l'exploitation s'élèvent à:

- 15 €/m³ pour l'abattage des bois d'industrie ou bois d'œuvre et 10 €/ m³ de BE
- 10 €/m³ pour le débardage
- 1,2 €/m³ pour le cubage

Ces prix s'entendent sur écorce pour le BE et sous écorce pour les autres produits. Le taux d'écorce retenu est de 10 % en moyenne. Ces prix sont fonction de la pente du terrain, du volume unitaire de l'arbre moyen et pour le débardage de la densité de la desserte forestière (chemins, pistes, cloisonnements).

Deuxième méthode (travail à l'heure)

Le coût du chantier a été estimé à partir des coûts de travail à l'heure communiqués par les entreprises à savoir

- 38 € HT/h pour le bûcheron
- 68 € HT/h pour le débardeur

Comparaison

Coût d'exploitation	Cubage	Bûcheronnage	Débardage	Total
Travail au rendement	437 €	4 948 €	3 646 €	9 031 €
Travail à l'heure		3 469 €	2 907 €	6 376 €
			Variation	29%

Habituellement, on constate que le travail en régie a un coût de revient plus élevé que le travail au rendement. Ceci n'est pas vérifié pour ce chantier. Un élément d'explication réside dans les rendements élevés observés sur ce chantier.

Dans le cas d'un travail à l'heure, il n'est pas certain que le nombre d'heures de travail eût été aussi faible.

En revanche, dans les deux cas, le montant du bûcheronnage représente 54 % des coûts.

Le débardage représente 23 % du temps de travail et le double en termes de coût. Ceci s'explique assez facilement par la valeur du matériel mise en œuvre et donc des coûts horaires ou au rendement supérieurs.

Le seul coût qui semble a priori sous-évalué est le cubage : il représente 14% du temps mais ne représente pourtant que 5% du coût. Par contre, c'est une activité qui ne nécessite pas d'investissement en matériel aussi l'intégralité du coût provient des frais de personnels. En divisant les coûts de cubage par le nombre d'heures affecté à cette tâche, on trouve un coût horaire de $24 \in$ ce qui est cohérent. Le coût du cubage à $1,2 \in$ /m³ est donc « vraisemblable».

4.3. Analyse du bûcheronnage

Rappel des mesures réalisées pour l'abattage / façonnage

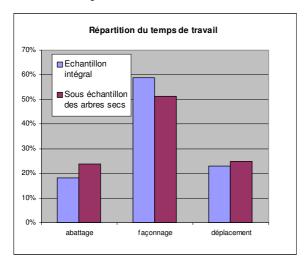
- pour la partie abattage, on a mesuré pendant 2 jours les temps suivants
 - temps de déplacement entre 2 arbres
 - temps d'abattage
 - temps de façonnage (en séparant quand cela était possible le temps lié à l'ébranchage et le temps lié au démontage de houppier)
 - le diamètre à 1,30 m de haut de l'arbre abattu.

Lors de ces mesures, on a également noté si l'arbre était destiné intégralement ou seulement en partie au BE. Ceci a permis de constituer un échantillon de 36 arbres avec un sous-échantillon de 11 arbres secs, donc destinés intégralement au BE.

Décomposition du coût

Le graphique ci-dessous montre qu'au niveau de l'échantillon, le temps se répartit environ comme suit

- 59 % façonnage
- 18 % abattage
- 23 % déplacement



Pour le sous-échantillon des arbres secs, on retrouve le même type de répartition avec des temps de façonnage inférieur ce qui est logique puisqu'il y a moins de branches. Ces variations sont plus faibles que l'écart-type aussi, on ne fera pas de distinguo dans la suite entre arbres secs ou non.

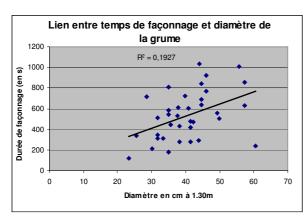
En termes de coûts, l'abattage et le déplacement sont à affecter en intégralité au BO. En effet, la mobilisation de BE ne génère pour ces deux postes pas de coûts supplémentaires.

La question suivante est d'essayer de lier les temps de travail aux volumes.

Ce que l'on constate sur les deux graphiques ci-dessous, c'est qu'il n'y a aucun lien entre le

diamètre (et donc les volumes) et les durées d'abattage et ou de façonnage.

Le graphique représentant le lien entre durée d'abattage et diamètre est assez explicite.



Pour celui représentant le temps de façonnage en fonction du diamètre de la grume, on a ajusté une régression linéaire. Le coefficient de corrélation vaut 0,19. Ceci signifie que 19 % seulement de la variance est expliqué par le diamètre de l'arbre. 80 % du temps de façonnage provient d'autres facteurs : l'environnement de l'arbre à abattre (arbre encroué ou non), la quantité de branches, etc... Ceci est vérifié pour tout l'échantillon ou le sous-échantillon des arbres secs.

Pour essayer de poursuivre la décomposition des coûts, il faut s'intéresser à la répartition du temps entre le démontage du houppier et l'ébranchage. En effet, si l'on ne mobilise pas de BE, il faudra tout de même démonter le houppier. Ce temps va a priori même augmenter puisque le diamètre fin bout laissé sur la coupe sera plus grand.

On a travaillé sur un sous-échantillon de 16 arbres où l'on disposait du temps de démontage du houppier. Pour ce sous-échantillon, on peut retenir les valeurs suivantes :

- 18% du temps de travail du façonnage est consacré au démontage du houppier avec un écart-type de 14%,
- 82 % du temps de travail du façonnage est consacré à l'ébranchage avec un écart-type de 14 %.

On peut enfin se demander si le BE nécessite plus de travail de façonnage que le BO. En effet, deux aspects se contrebalancent a priori :

- pour les purges de pied ou de milieu de grumes, le temps de façonnage est en général quasi nul car il n'y a pas d'ébranchage. C'est du BE particulièrement rentable car le volume unitaire moyen est en général élevé. (billon de 2-3 m à gros diamètre)
- pour les cimes, le temps de façonnage est a priori élevé puisque c'est là qu'il y a le maximum de branches pour un volume unitaire moyen plutôt faible.

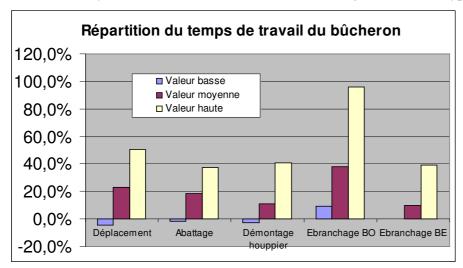
Pour répondre à cette question, on dispose d'un échantillon modeste de 7 arbres sur lesquels il a été possible lors de l'abattage de classer le bois en BE et BO. On fait l'hypothèse forte que pour cet échantillon, le volume de BE est également de 26 %. Cette hypothèse ne peut être vérifiée car il n'est pas possible de connaître le volume en parcelle ; les arbres n'étant pas cubés à ce stade.

Pour cet échantillon,

- 79 % du temps de travail de l'ébranchage est consacré au BO avec un écart-type de 10 %,
- 21 % du temps de travail de l'ébranchage est consacré au BE avec un écart-type de 10 %.

Conclusion sur le bûcheronnage

Si l'on tient compte des éléments précités, le graphique ci-dessus indique la décomposition du temps de travail du bûcheron. La valeur basse est calculée en retranchant l'écart-type multiplié par 1,95 à la moyenne. La valeur haute est obtenue en rajoutant l'écart type multiplié par 1,95 à la



moyenne. Ainsi, on a une probabilité de 95% que la valeur soit comprise dans cet intervalle. Sure le graphique, on observe quelques valeurs très faiblement négatives qui évidemment ne sont pas réalistes.

En terme de répartition des coûts, les seuls temps imputables au BE sont ceux de l'ébranchage.

moyenne « ébranchage BE » représente 10 % du temps de travail du bûcheron avec des extrêmes pouvant aller de 0 à 40 % en fonction de l'arbre. 90 % en moyenne des coûts de bûcheronnage de ce chantier sont donc imputables au BO.

Si l'on compare ces temps au volume de bois extrait, le BE représente environ 26 % du volume extrait. Une répartition des coûts sur la base du volume serait ici défavorable au BE.

En se basant sur les valeurs moyennes de la ventilation du temps de travail, les nouveaux coûts de bûcheronnage par produits (en conservant le même coût du chantier : 4948 €) deviennent :

- BO: passage de 15 à 17,05 ϵ /m³
- BE : passage de 10 à 4,75 €/m³

Un deuxième type de calcul peut être mené. Si 15 €/m³ est le « juste » prix de revient du BO, connaissant le temps passé (90 % des heures de bûcheronnage sont affectées au BO) et le volume mobilisé, on en déduit un coût horaire du bûcheron (environ 52 €/h). En divisant ce coût horaire par le nombre d'heures de bûcheronnage, on en déduit le coût au m3 du bûcheronnage pour le BE à savoir 4,15 €/m³.

On constate donc que les résultats des 2 calculs donnent la même fourchette de coût

- BO : 15 à 17 €/m³
- BE: 4 à 5 €/m³

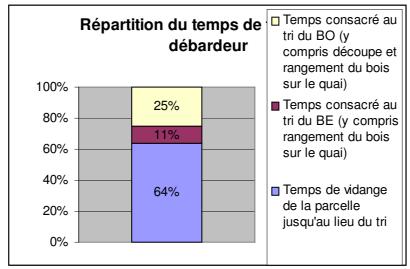
Il convient toutefois de modérer ces éléments. En effet, si l'on ne récoltait pas de BE et comme le bûcheron est payé au volume, la tentation serait grande de mobiliser un volume de BO supérieur pour conserver un niveau de rémunération satisfaisant. Ce surcroît de volume contiendrait des morceaux de qualité litigieuse (« qualité » BE) et que le bûcheron essayerait de valoriser en BO de classe D.

En conclusion, le prix de vente actuel du BE de 10 €/m³ ne reflète pas le faible coût de revient de ce type de bois qui s'élève plutôt à 4 à 5 €/m³.

4.4. Analyse du débardage

Ventilation du temps de travail

On a cherché à connaître pour ce chantier la répartition du temps de travail pour le débardeur.



Celui-ci a été réparti en 3 grandes catégories

- le temps de vidange de la parcelle qui comprend :
 - le temps de descente dans la parcelle (8 % du temps de travail)
 - le temps d'accrochage des grumes (26 %)
 - le temps de remontée des grumes(40 %)
 - le temps pour aller de la sortie de la parcelle à un endroit du chemin où se fera la découpe et le temps pour aller de cet endroit à la parcelle(24 %)
- le temps affecté au BO qui comprend :
 - le décrochage et l'accrochage de la grume
 - la découpe de la grume
 - la mise sur quai de la grume
- le temps affecté au BE qui comprend
 - la manipulation du bois classé BE (décrochage de la purge de pied, prise du billon dans la pince...)
 - la mise sur quai du bois BE.

Le temps de vidange n'est pas lié ni au volume de la grume ni au nombre de grumes sorties. Il dépend essentiellement des caractéristiques de la parcelle. Si l'on ne faisait pas de BE, la découpe se ferait sur parcelle et il y aurait davantage de morceaux de grumes à collecter ou bien, si l'on tire plusieurs grumes à la montée (5 à 6 au lieu de 2 à 3), le temps serait plus long ou les dégâts plus importants (cf. paragraphe 5). Ceci signifie que ce temps de vidange ne diminuerait pas en l'absence de BE.

Bien sûr, l'arbre entier peut être valorisé en BE. Dans ce cas le temps de vidange est pleinement imputable au BE. Dans l'échantillon mesuré, 2 trainées sur 30 ne comprenaient que du BE et on a dénombré *in extenso* 10 grumes BE de longueur supérieure ou égale à 16 m sur 220 (5 %).

Aussi pour tenir compte de ces éléments, il est proposé d'affecter 10 % du temps (valeur sécuritaire) de vidange de la parcelle au BE. Cette valeur permet de compenser la surconsommation de carburant liée à la mobilisation de BE, de l'usure du câble, etc.

On se retrouve alors avec la répartition suivante pour notre échantillon : 17 % du temps est consacré au BE et 83 % du temps est consacré au BO. Rappelons que notre échantillon ne comprend que 24 % de BE alors que 26 % du bois mobilisé au cours de ce chantier sera valorisé sous forme BE.

Ceci donne alors la clé de répartition suivante :

- 19 % du temps est affecté au BE
- 81 % du temps est affecté au BO

En se basant sur les valeurs moyennes de la ventilation du temps de travail, les nouveaux coûts de débardage par produits (en conservant le même coût du chantier : 3646 €) deviennent:

BO: passage de 10 à 11,3 €/m³
 BE: passage de 10 à 6,6 €/m³

Un deuxième type de calcul peut être mené. Si 10 €/m³ est le « juste » prix de revient du débardage du BO, connaissant le temps passé (81 % des heures de débardage sont affectées au BO) et le volume mobilisé, on en déduit un coût horaire du débardeur (environ 103 €/h). En divisant ce coût horaire par le nombre d'heures de débardage, on en déduit le coût du débardage du BE à savoir 5,85 €/m³.

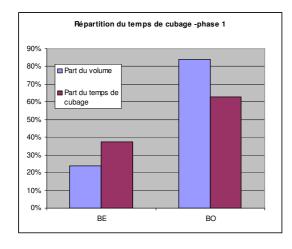
On constate donc que les résultats des 2 calculs donnent la même fourchette de coût

- BO: 10 à 11,3 €/m³ - BE: 5,8 à 6,6 €/m³

Le débardage du BE est donc moins onéreux que celui du BO. En effet, le débardage de la purge ou de la cime ne coûte « quasiment » rien puisque ces pièces sont solidaires de la grume. Les coûts du débardage proviennent surtout du classement et du tri du BE qui nécessite davantage de manipulation car le volume unitaire moyen est plus petit.

4.5. Analyse du cubage

Rappels



Le cubage a lieu en deux phases

- Phase 1 : une fois la grume sortie, elle est découpée sur le chemin forestier et cubée. Le débardeur ou le bûcheron inscrit sur la tranche les dimensions : longueur diamètre
- Phase 2 : une fois le chantier terminé, les plaquettes sont posées sur chaque grume de BO. Pour le BE, le quai est simplement signalé avec la mention « BE » inscrite sur l'une des grumes

On va maintenant s'intéresser à la répartition des temps pour chaque opération.

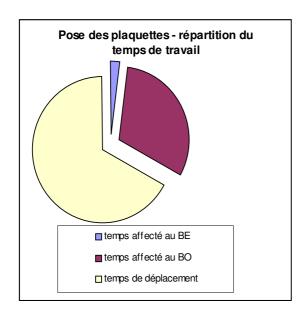
Décomposition du coût

Phase 1

Pour cette première phase, on a utilisé les mesures réalisées lors du débardage. Sur un échantillon composé de 14 h de travail, on a noté les temps de cubage du BE et du BO. Le graphique ci-contre montre bien que pour cet échantillon, la part de temps consacrée au cubage du BE (37 %) est plus importante que la part de volume que représente le BE (24 % de l'échantillon)

Au niveau du chantier, si on applique la même répartition corrigée par le volume, on a donc

- 40 % du temps affecté au BE
- 60 % du temps affecté au BO



Phase 2

Pour la deuxième phase, le temps nécessité par le BE est effectivement très faible. L'essentiel du temps (67 %) est consacré au déplacement entre les quais. Pour répartir de temps de déplacement, on peut utiliser la clé du volume. Plus la quantité de BE ou de BO est importante, plus il y aura de quais. Comme ceux ci sont limités par les capacités de stockage en bord de route, le nombre de quais et donc le temps de déplacement va augmenter.

On peut donc répartir comme suit le temps de déplacement : 18 % affecté au BE et 49 % affecté au BO.

On retiendra pour cette phase la ventilation du temps suivante :

- 20 % affecté au BE
- 80 % affecté au BO

Conclusion sur le cubage

La phase 1 a représenté 14 h 25 et la phase 2 a nécessité 4 h. Compte tenu de ces éléments, la clé de répartition des temps à retenir est de

- 36 % du temps (et donc des coûts) pour le BE
- 64 % du temps (et donc des coûts) pour le BO

En conservant un coût du cubage stable à 437 €, les coûts deviennent donc

- 1,50 €/m³ de BE
- 1,07 €/m³ de BO

Un deuxième type de calcul peut être mené. Si 1,2 €/m³ est le « juste » prix de revient du cubage du BO, connaissant le temps passé (66 % des heures de cubage sont affectées au BO) et le volume mobilisé, on en déduit un coût horaire du « cubeur » (environ 27 €/h). En divisant ce coût horaire par le nombre d'heures de cubage, on en déduit le coût de cubage au m³ du bois énergie à savoir 1,68 €/m³.

On constate donc que les résultats des 2 calculs donnent la même fourchette de coût

BO: 1,07 à 1,2 €/m³
 BE: 1,50 à 1,68 €/m³

On peut toutefois s'interroger sur la pertinence d'un cubage du BE. En effet, un coût à la tonne pourrait être négocié.

4.6. Bilan

Le bilan de cette analyse conduit à proposer, à coûts d'exploitation constants, les prix de revient $(en \notin /m^3)$ suivant :

	Prix pratiqués		Proposition de grille tarifaire	
	actuellement			
	BE	ВО	BE	ВО
Bûcheronnage	10	15	4 à 5	15 à 17
Débardage	10	10	5,8 à 6,6	10 à 11,3
Cubage	1,2	1,2	1,5 à 1,68	1,07 à 1,2
Total €/m³	21,2	26,2	11,3 à 13,28	26,07 à 29,5
Total €/T fraîche résineuse	24,4	30,1	13 à 15,3	30 à 33,9

En conclusion, on constate qu'actuellement le coût de mobilisation du BE (21,2 €/m³) est surévalué et qu'il est en moyenne supérieur à 25 % au coût de revient.

5. Analyse qualitative de l'exploitation

5.1. Qualité de l'exploitation

Abattage

Les arbres secs

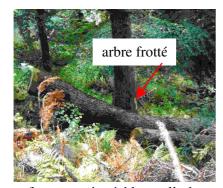
L'abattage des arbres secs est particulièrement difficile. En effet, ils ont une forte tendance à s'encrouer car ils ne prennent pas assez de vitesse lors de leur chute (ils sont donc freinés par les houppiers des autres arbres). Il y a eu jusqu'à 6 arbres encroués par jour. La seule solution est alors de les câbler pour permettre leur chute.

La qualité de l'ébranchage

Même pour la partie de la grume valorisée en BE, l'ébranchage doit être soigné. En effet, il faut araser la branche au plus près du tronc pour éviter les dégâts lors de la vidange de la grume (frottement des arbres sur pied, risque d'accrochage dans des racines...). De même, il convient de réaliser un chanfrein en pied de grume (égobelage) pour faciliter sa remontée dans la parcelle.

Débardage

Pour le débardage, selon M Studler, gérant de la SARL Studler débardage, il faut distinguer « les tireurs de bois » et les « débardeurs ». En effet, la vidange d'une parcelle nécessite un certain nombre de précautions pour éviter de frotter les arbres non coupés.



Le problème du frottement

Le principal risque est de frotter les arbres en place non pas avec le câble (quasiment pas de dégâts observés) mais avec les grumes. En effet, en tirant une grume, celle-ci peut rencontrer un arbre sur pied. Deux mètres avant d'arriver à l'arbre, le débardeur doit arrêter la traction, changer le câble de côté pour réorienter la grume. Évidemment, plus il y a d'arbres (ou de billons) accrochés au câble, plus le risque de rencontrer un arbre sur pied est important. Pour un terrain en pente, ces opérations sont fatigantes et font perdre du temps. La tentation est alors grande de « passer

en force », quitte à blesser l'arbre existant.

Or, si l'arbre est découpé dans la parcelle (purges de bosses de gui), le débardeur aura donc tendance a monter un « fagot » ce qui risque de causer encore plus de dégâts par frottement que si l'arbre avait été débardé en toute longueur. La valorisation des purges et cimes permet de sortir des grumes entières et de réaliser les découpes sur le chemin. La mobilisation de BE permet donc de diminuer les dégâts liés à la vidange.

De même, d'un point de vue de la sécurité, sortir des grumes entières est moins dangereux. En effet, des billons qui rencontrent une souche peuvent ricocher lors d'un passage en force et blesser le travailleur resté à proximité.

La difficulté des arbres secs

Les arbres secs accrochés par le fin bout risquent de casser lors des opérations de débardage. Il faut redoubler de vigilance, voire déplacer l'emplacement du câble autour de la grume en cours de vidange. À nouveau cela fait perdre du temps mais est gage d'une bonne exploitation.

La sortie de la parcelle

Dans le cas des parcelles en fortes pentes, le chemin est souvent parallèle aux lignes de niveau. Sa réalisation a nécessité la mise en place d'un talus. Cette rupture de pente entre la sortie de la parcelle et la montée du talus fait que la grume « laboure » le talus et les arbres qui s'y sont développés. Enfin, comme toute vidange, ce sont les arbres de lisière qui souffrent le plus.

Intérêt du grappin-billonneur

Un skidder équipé d'une grappin-billonneur présente plusieurs intérêts. Il permet notamment

- d'empiler les grumes sur les quais. Ceci est particulièrement intéressant quand la place de stockage est réduite ;
- de mettre la grume plus rapidement sur les quais surtout si le lieu de stockage est éloigné de la piste de débardage ;
- de trier les produits plus facilement en les manipulant rapidement. Le cas échéant, il faudrait à chaque fois les accrocher au câble ;
- de réaliser les purges ou des découpe de pied propres grâce à la tronçonneuse montée sur la grue. C'est donc un outil particulièrement performant car polyvalent.

5.2. Problèmes rencontrés

Pour l'abattage, il s'agit essentiellement :

- de la lame de la tronçonneuse qui reste coincée dans la grume pendant l'abattage,
- des arbres encroués.

Pour le débardage, les problèmes techniques les plus fréquents sont :

- la casse de flexibles,
- l'usure et la casse de la chaîne ou du guide de la tronçonneuse,
- casse du câble de traction sur 1,5 m à 2 m (au niveau du collier de freinage). Pour mémoire, le câble en nylon coûte 11 € HT/m et le câble en acier 5 € HT/m.

6. Conclusion

L'intérêt du bois énergie

La récolte du bois énergie permet de mobiliser davantage de volume. Si l'on ne récoltait pas de bois énergie, l'essentiel du temps de travail et donc des coûts demeureraient surtout pour le bûcheronnage. C'est justement là que sont les coûts les plus élevés.

Lors du débardage, la valorisation de bois sous forme BE impose la découpe sur le chemin. Ceci permet de sortir des grumes longues qui font moins de dégâts au peuplement que des billons courts.

Les coûts de revient

Cette analyse a montré qu'une grille de répartition basée sur le volume n'était pas forcément pertinente. Le prix au m3 de mobilisation du BE avec cette technique d'exploitation est inférieur de 50 % à celui du BO.

Le bilan de cette analyse conduit à proposer, à coûts d'exploitation constants, les prix de revient (en €/m3) suivant :

	Prix pratiqués actuellement		Proposition de grille tarifaire	
	BE BO		BE	ВО
Bûcheronnage	10	15	4 à 5	15 à 17
Débardage	10	10	5,8 à 6,6	10 à 11,3
Cubage	1,2	1,2	1,5 à 1,68	1,07 à 1,2
Total €/m ³	21,2	26,2	11,3 à 13,28	26,07 à 29,5
Total €/T fraîche résineuse	24,4 30,1		13 à 15,3	30 à 33,9

Au vu des coûts de cubage, pour le BE, un prix à la tonne pourrait être négocié ce qui supprimerait le coût du cubage.

Cette étude a été réalisée durant l'été 2008 par Raphaël Wisselmann, dans le cadre de son stage de fin d'études du cursus GREF d'Agroparistech, voie d'approfondissement Forêt, Nature et Société.

Annexe nº 7 : coupe définitive sans semis acquis

Cette analyse est relative à la coupe réalisée sur les parcelles 3 et 10b en forêt domaniale de Guebwiller (Haut-Rhin). Ce chantier est représentatif d'une petite coupe définitive où les surbilles et les houppiers sont valorisés en plaquette forestière.

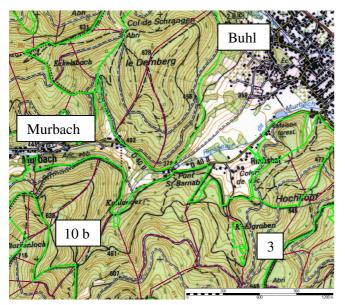
1. Les intervenants du chantier

L'exploitation forestière a été réalisée :

- par les bûcherons de l'ONF pour l'abattage et le façonnage en parcelle (ébranchage),
- par l'entreprise SARL Studler Débardage pour le débardage. Cette entreprise est équipée d'un débardeur avec grappin billonneur.

2. Description du chantier

2.1. Caractéristiques des parcelles



Plan de situation des parcelles 3 et 10b (source : ONF, IGN)

Le chantier se situe sur le ban de la commune de Buhl. Les parcelles 3 et 10b sont situées dans la région des collines sousvosgiennes et s'étagent entrent 450 et 650 m. La pente est comprise entre 30 et 40 %.

L'essence dominante est le sapin pectiné à plus de 75 %, les essences d'accompagnement sont l'épicéa et le hêtre.

Le martelage réalisé consiste en une coupe définitive de 0,8 ha pour la parcelle 3 et de 0,5 ha pour la parcelle 10b.

Ces coupes définitives ont été réalisées pour résorber des queues de régénération. Les surfaces concernées seront plantées en douglas.

2.2. Déroulement du chantier

Pour les parcelles 3 et 10b, l'exploitation a été faite de la même façon :

- coupe manuelle,
- ébranchage jusqu'à un diamètre fin bout de 15 à 20 cm (le houppier n'a pas été ébranché ou démonté),
- débardage de la grume en long avec le houppier,
- découpe sur le chemin avec le grappin billoneur : réalisation des purges et découpe au diamètre fin bout de 15 à 20 cm.

Le chantier a été réalisé :

- en novembre 2007 pour la parcelle 3,
- en décembre 2007 et en janvier 2008 pour la parcelle 10b.



Houppier mis en tas et destinés au broyage (source : Raphaël Wisselmann)

	Parcelle 3	Parcelle 10b
Nombre de tiges martelées	179	201
Volume de BO et de BI façonnés	$149,3 \text{ m}^3$	$180,8 \text{ m}^3$
Nombre de tonnes de plaquettes	59,5 t	70 t
produites		
Part du BE en masse (base 880 kg/m ³)	45 %	44 %
Intensité de la récolte de BE	85 m³/ha	160 m³/ha

La part de BE récoltée est significative. Pour faire une comparaison, en dessous de 15 m³/ha, une exploitation dont le bois est destiné au BE ne peut pas être rentable. Ici, nous atteignons 5 à 10 fois ce seuil.

2.3. Les produits

Sur ce chantier, 2 familles de produits sont fabriquées :

- les feuillus et résineux de bonne qualité destinés au sciage ou à la palette (respectivement BO/BI),
- les houppiers et les purges mis en tas et transformés en plaquette forestière (BE).



Parcelle 10b après la coupe (source : Raphaël Wisselmann)

3. Données disponibles

Ces deux chantiers ont été réalisés avant le début du stage. Aucune mesure n'a donc pu être réalisée. Les données disponibles sont donc

- les volumes de BO et BE,
- les factures de débardage,
- les fiches de paye des bûcherons de l'ONF. Comme une partie du revenu est basée sur le rendement, on a eu accès au nombre d'heures travaillées.

4. Analyse des chantiers

4.1. Problématique

L'originalité de ce chantier réside dans la simplification de l'exploitation. L'ébranchage et le façonnage sont uniquement réalisés pour le BO. Le bois est sorti en long et la partie non ébranchée est valorisée en BE. Cette partie non ébranchée ne commence pas à partir d'un diamètre de 8 à 10 cm mais plutôt de 15 à 20 cm. La biomasse de ce chantier a donc davantage de valeur qu'un simple houppier puisqu'elle contient encore une part plus importante de bois de type « grume ». Pour ce type de chantier, on peut alors se demander quel est le coût de revient de cette biomasse.

4.2. Méthodologie

Aucune mesure directe n'a pu être réalisée car les chantiers étaient déjà terminés avant le début du stage. On a alors adopté la méthodologie suivante.

Pour chaque parcelle, on a reconstitué le montant brut des coût d'abattage du chantier à partir des coûts horaires, des primes et du nombre d'heures passées (*cf.* sous-annexes n° 7.1 et 7.4). Ceci a permis de calculer pour chaque chantier un coût horaire moyen. En reconstituant le montant brut, on s'est rendu compte que des frais de démontage du houppier ont été payés aux agents par erreur. Pour la suite de la simulation, cette erreur a été rectifiée et non prise en compte. Aux coûts de bûcheronnage ont été rajoutés les coûts unitaires de débardage sous-traité à une entreprise externe.

Des hypothèses simulant ces chantiers sans fabrication de BE ont été formulées. Elles ont permis de dégager un nouveau coût de chaque chantier.

La différence entre les deux calculs donne, pour l'hypothèse d'une marge brute constante, une approche du coût de fabrication de la biomasse destinée à la production de plaquettes.

On a raisonné sur la marge brute soit recettes diminuées des coûts directs. Les coûts d'encadrement et de structure ne sont donc pas compris. Il n'a pas été possible d'accéder à ces données pour ces chantiers. Seules des moyennes au niveau de l'agence existent. Toutefois, avec ou sans réalisation de BE, on estime que le coût d'encadrement est constant pour mobiliser du bois bord de route.

4.3. Hypothèses

Ces hypothèses ont été formulées à partir des éléments fournis par les principaux intervenants des chantiers (ONF, ONF Énergie). La non-réalisation de BE aurait eu les conséquences suivantes :

- augmenter la récolte de BO/BI de 10 % en volume valorisé à 40 €/m³ (épicéa de classe 1) ;
- façonnage du BO ou du BI supplémentaire sur la base d'un rendement horaire de 1 m³/h;
- mise en tas des branches (andains) pour pouvoir réaliser la plantation. Ceci nécessite 8 minutes par tige rémunérées *via* un salaire horaire ;

- rémunérer le démontage du houppier sur la base de 0,30 (tarif 2007) à 0,32 (tarif 2008) €/m³ de grume (source : convention collective des bûcherons d'Alsace – nouvelle grille tarifaire depuis le 1^{er} janvier 2008).

Les taux horaires retenus pour les bûcherons sont les taux moyens calculés pour le chantier avec BE.

Ceci a permis de calculer un nouveau montant brut du chantier. À cela s'ajoute les charges réparties (frais de déplacement, indemnité de panier, congés payés...) et les charges patronales. Ces deux montants n'ont pas été calculés. On a simplement appliqué un coefficient pour que le ratio entre le montant brut du chantier et les charges reste le même avec ou sans BE.

4.4. Résultats

Aspects calculatoires

Le détail des calculs est consultable pour la parcelle 3 en sous-annexe 7.1, 7.2 et 7.3 et pour la parcelle 10b en sous-annexe 7.4, 7.5 et 7.6.

On trouvera pour chaque parcelle trois tableaux :

- les sous-annexes 7.1 et 7.4 fournissent les éléments du calcul du montant brut du chantier en fonction du temps passé et des diverses primes ;
- les sous-annexes 7.2 et 7.5 indiquent les coûts et recettes dégagées sur ce chantier avec réalisation de BE :
- les sous-annexes 7.3 et 7.6 estiment les coûts et recettes de ce chantier si l'on n'avait pas réalisé de BE. Le calcul a été mené en tenant compte des hypothèses explicitées précédemment.

Quand on parle de tonnes de plaquettes dans la suite, il s'agit de plaquettes fraîches avec un taux d'humidité de 40 à 45 %.

Synthèse des résultats

Le bilan de la simulation est reproduit dans les tableaux ci dessous. Les prix indiqués pour la plaquette incluent le montant de 1,5 €/t déjà payé par ONF Énergie à l'ONF pour l'achat de la biomasse bord de route.

Parcelle 3

Bilan financier parcelle 3 - Chantier avec mise en tas des rémanents				
	Chantier avec BE	Chantier sans BE		
Recette	11 896,25 €	12 404,20 €		
Dépenses	5 025,47 €	5 514,49 €		
Marge brute	6 870,78 €	6 889,71 €		
Delta		-18,93 €		
Tonnage plaquettes (t)	59,5			
Prix d'équilibre de la plaquette (€/t)	1,8			

Bilan financier parcelle 3 - Chantier sans mise en tas des rémanents					
	Chantier avec BE	Chantier sans BE			
Recette	11 896,25 €	12 404,20 €			
Dépenses	5 025,47 €	5 007,51 €			
Marge brute	6 870,78 €	7 396,69 €			
Delta	-525,91 €				
Tonnage plaquettes (t)	59,5				
Prix d'équilibre de la plaquette (€/t)	10,4				

Discussion

Deux simulations ont été réalisées. Le détail pour la première est disponible en sous-annexes 7.2 et 7.3. Il en ressort que sur ce chantier, le prix de la plaquette qui permet de conserver la marge brute s'élève à 1,82 €/t. Toutefois, ces coûts sont un peu biaisés car les dépenses sont alourdies par le coût de mise en tas des rémanents dans le cas où on ne fait pas de BE. Ici cette opération était nécessaire car il a fallu planter la parcelle avec une autre essence mais dans d'autres cas, il est peu probable que cette situation se présente. Une deuxième simulation a donc été réalisée sans tenir compte du temps et des coûts de mise en tas des rémanents pour le chantier sans BE. Le coût de revient de la mobilisation du BE s'élève alors à 10,34 €/t. Il est nécessaire d'ajouter à ce coût de revient de mobilisation la valeur de la biomasse. Un ordre de grandeur de 1 €/t peut être retenu.

Parcelle 10b

	Bilan financier parcelle 10b				
Chantier avec mise en tas	Chantier avec BE Chantier sans BE				
Recette	13 899,00 €	14 517,20 €			
Dépenses	7 976,33 €	8 705,79 €			
Marge brute	5 922,67 €	5 811,41 €			
Delta	111,26 €				
Tonnage plaquettes	70,0				
Prix d'équilibre de la plaquette (€/t)	0,1				

Chantier sans mise en tas	Chantier avec BE	Chantier sans BE	
Recette	13 899,00 €	14 517,20 €	
Dépenses	7 976,33 €	8 166,95 €	
Marge brute	5 922,67 €	6 350,25 €	
Delta	-427,58 €		
Tonnage plaquettes	70,0		
Prix d'équilibre de la plaquette (€/t)	7,6		

Discussion

Comme pour la parcelle 3, deux simulations ont été réalisées.

Le détail pour la première est disponible en sous-annexes 7.5 et 7.6. Il en ressort que sur ce chantier, la réalisation de BE permet d'améliorer de peu la marge brute et que le coût payé par ONF Énergie pour la plaquette est intégralement converti en bénéfice (105 €). Toutefois, compte tenu des marges de calcul et des hypothèses formulées, on peut simplement dire que la réalisation de BE n'améliore pas mais ne dégrade pas non plus l'économie de ce chantier si l'on prend l'hypothèse que les rémanents sont mis en tas en l'absence de BE.

Comme expliqué précédemment, la mise en tas des rémanents est une opération exceptionnelle liée à une plantation. Une deuxième simulation a donc été réalisée sans tenir compte du temps et des coûts de mise en tas des rémanents pour le chantier sans BE. Le coût de revient du BE s'élève alors à 7,61 €/t. Le coût de revient de la mobilisation du BE s'élève alors à 7,6 €/t auquel s'ajoute une éventuelle rémunération de la valeur de la biomasse.

On constate que, pour ces deux chantiers, on obtient les mêmes prix de revient de la biomasse rendue bord de route. Globalement, on peut dégager deux montants :

pour ces chantiers, le coût de revient de la biomasse rendue bord de route est compris entre 0 et $2 \notin /t$;

- pour un chantier de ce type sans mise en tas des rémanents, le coût de revient de la biomasse rendue bord de route est compris entre 7,6 €/t et 10,4 €/t.

Il peut être proposé qu'ONF Énergie paye à l'ONF les frais de débardage qui s'élèvent à 10,5 €/t. En fonction des chantiers cela permet une rémunération de la biomasse pour le propriétaire à hauteur de 1,5 €/t. C'est d'ailleurs cette logique (paiement uniquement des frais de débardage) qui est appliquée pour ce type de ressource dans les forêts autrichiennes par le gestionnaire des forêts domaniales, les Österreichische Bundesforste.

Coût de revient de la plaquette

Compte tenu de ces données, on peut simuler un coût de revient de la plaquette :

- achat de la biomasse bord de route à 10,5 €/t à 45 % de taux d'humidité,
- des frais de broyage à hauteur de 18 €/t à 45 % de taux d'humidité,
- des frais de transport de la forêt à la plate-forme à hauteur de 12 €/t à 45 % de taux d'humidité,
- des frais de stockage, séchage sous hangar et reprise à hauteur de 10 €/t à 30 % de taux d'humidité.
- des frais de livraison chez le client à hauteur de 9 €/t à 30 % de taux d'humidité.
 - Le coût de revient de la plaquette forestière est donc
- 40,5 €/t à 45 % en livraison directe sans marge d'ONF Énergie. Ceci n'est pas viable compte tenu des prix de vente de 40 €/t rendu chaufferie
- le coût de 40,5 €/t à 45% se transforme après séchage sur site à 54 €/t à 30 % départ plate-forme soit 73 €/t chez le client ce qui est également difficilement viable compte tenu des prix de marché compris entre 55 et 75 €/t à 30 %. En effet, dans ce coût, les frais de structure et la marge d'ONF Énergie ne sont pas incluses.

Ces coûts élevés s'expliquent par les frais de broyage de 18 €/t alors qu'un prix habituel est de 10 à 13 €/t. Le montant du broyage s'explique par le type de broyeur retenu. C'est un broyeur très puissant au coût horaire élevé. Il est essentiellement fait pour broyer de la grume de fort diamètre ce qui était nécessaire ici compte tenu de la présence de purges de pied. Ce broyeur avait en revanche un coût horaire trop élevé pour broyer du houppier.

Faire venir deux broyeurs aurait encore pénalisé davantage le bilan de ce chantier. Il eût peutêtre mieux valu laisser les purges ou les houppiers sur coupe mais là, les volumes critiques n'auraient peut-être pas été atteints.

Pour ces chantiers, on peut retenir un coefficient de conversion de 1t = 3 mètres cubes apparents de plaquettes (MAP) soit un prix bord de route de 0,5 €/MAP (avec mise en tas des rémanents) ou 3 €/MAP (sans mis en tas des rémanents). Sur ces bases, on a broyé 180 MAP sur parcelle 3 et 210 MAP sur la parcelle 10b. Il n'a pas été possible de séparer au sein du BE les volumes de plaquettes issus de purges de ceux issus du houppier et cette dernière hypothèse n'a pas pu être testée.

5. Conclusion

Aspects économiques

Le coût de revient du BE bord de route sur ce type de coupe est compris entre

- 1 €/t si l'on compte l'économie réalisée par l'absence de mise en andain des branches,
- 9 €/t dans les autres cas.

Sachant que les coûts de débardage pour le BE s'élèvent à 10,5 €/t, il est proposé qu'ONF Énergie les prenne à sa charge. Ceci permet de ne pas dégrader la marge brute de l'ONF (voire de l'améliorer) et participe aux objectifs généraux d'augmentation de la mobilisation.

Cette filière ne permet à pas à ONF Énergie de mobiliser du BE à des prix compétitifs dans le cas d'une livraison directe. Dans le cas d'un passage par une plate-forme de stockage ou de séchage, en fonction du contrat, ce type de matériau permet simplement de couvrir les frais de structure. Le coût particulièrement élevé vient essentiellement des frais de broyage à 18 €/t.

Aspects techniques

La sortie des bois en long avec les houppiers est susceptible de blesser les peuplements en place. Aussi, ce type d'exploitation doit être réservé à des cas particuliers comme les coupes définitives sans présence de semis acquis ou les coupes rases réalisées pour l'ouverture d'une emprise.

Les produits destinés aux BE doivent être placés sur deux tas :

- un tas avec les purges,
- un tas avec les houppiers. La découpe doit être placée côté chemin, la cime côté parcelle pour faciliter la prise par la grue de la déchiqueteuse.

Si les volumes le justifient, cela permettra d'utiliser le bon broyeur pour le bon produit.

Pour la même raison, ces deux tas doivent être perpendiculaires au chemin ou légèrement de biais.

Si cela est possible, ces tas doivent être placés au niveau d'une surlargeur de la route qui fait au moins 7,5 m. Ceci permet de mettre le broyeur et le camion transportant les plaquettes côte à côte ce qui facilite le chargement et la rotation des bennes pleines.

Cette étude a été réalisée durant l'été 2008 par Raphaël Wisselmann, dans le cadre de son stage de fin d'études du cursus GREF d'Agroparistech, voie d'approfondissement Forêt, Nature et Société.

Sous-annexe n° 7.1 : décomposition du montant brut du chantier pour la parcelle 3

Décomposition du montant brut du chantier pour la parcelle 3						
Équipe	Rubrique	Nombre	Prix unitaire	Total		
Salarié 1	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé à l'heure	23,00	3,12	71,76		
Salarié 2	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé à l'heure	15,00 22,00	8,97 12,77	134,55 280,94		
			-			
Salarié 3	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé à l'heure	17,00	9,82	166,94		
0.1.74	Total	77,00	8,50	654,19		
Salarié 1	Démontage de houppier	31,30	0,30	9,39		
Salarié 2	Démontage de Houppier	47,00	0,30	14,10		
Salarié 3	Démontage de houppier	71,00	0,30	21,30		
0.1.1/4	Total	149,30	0,30	44,79		
Salarié 1	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	8,00	8,97	71,76		
Salarié 2	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	9,00	12,77	114,96		
Salarié 3	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	22,00	9,82	216,04		
	Total	39,00	10,33	402,76		
Salarié 1	Location de scie à l'heure	3,00	3,75	11,25		
Salarié 2	Location de scie à l'heure	4,00	3,75	15,00		
Salarié 3	Location de scie à l'heure	12,00	4,12	49,44		
	Total	19,00	3,98	75,69		
Salarié 1	Location de scie payée au rendement pour la découpe de résineux de classe 3 et plus	12,20	2,29	27,94		
	Location de scie au rendement pour la découpe de résineux de classe 2 et moins	19,10	1,75	33,43		
Salarié 2	Location de scie payée au rendement pour la découpe de résineux de classe 3 et plus	21,80	2,29	49,92		
	Location de scie au rendement pour la découpe de résineux de classe 2 et moins	25,20	1,75	44,10		
Salarié 3	Location de scie payée au rendement pour la découpe de résineux de classe 3 et plus	29,30	2,29	67,10		
	Location de scie au rendement pour la découpe de résineux de classe 2 et moins	41,70	1,75	72,98		
	Total de la location de scie payée au rendement pour la découpe de résineux de classe 3 et plus	63,30	2,29	144,96		
	Total de la location de scie au rendement pour la découpe de résineux de classe 2 et moins	86,00	1,75	150,50		
Salarié 1	Prime d'outillage calculée sur les montants : démontage de houppier, heures de travail de bûcheron payées au rendement et heures de travail de bûcheron rémunérées à « l'heure »			5,17		
Salarié 2	Prime d'outillage calculée sur les montants : démontage de houppier, heures de travail de bûcheron payées au rendement et heures de travail de bûcheron rémunérées à « l'heure »			7,38		
Salarié 3	Prime d'outillage calculée sur les montants : démontage de houppier, heures de travail de bûcheron payées au rendement et heures de travail de bûcheron rémunérées à « l'heure »			7,28		
	Total			19,83		
	Montant brut du chantier			1492,72		
	Écart par rapport à la fiche de paye			-0,40%		

Sur ce chantier, des heures de démontage de houppier ont été payées par erreur. Elles seront retirées pour la suite des simulations.

Sous-annexe 7.2 : calcul des coûts et recettes pour le chantier de la parcelle 3 avec réalisation de BE

	Étude du chant	ier parcelle 3 FD Guebwiller	Chantier A	Chantier AVEC réalisation BE		
Rappel des volumes						
BO/BI	149,3	3 m ³				
BE	59,5	5 tonnes				
Recettes						
BO/BI	11807					11 896 €
BE	89) €				
Calcul de coûts			Total des co	ûts		5 025,47 €
Coûts externes : débardage			Sous-total d	ébardage		2 094,45 €
BO/BI	ç	€/m ³				1 343,70 €
BE	10,5	5 €/T				624,75 €
câblage d'arbres par le débardeur	2	2 heures à	63 €/h			126,00 €
2.Coûts internes: abattage, façonnage,			Sous-total façonnage	abattage	et	2 931,02 €
Rémunération du bûcheron			iaçomage			
Heures "horaires"	77	' heures à	8,5 €/h			654,50 €
Heures "Rendement"	39 heures à		10,33 €/h			402,87 €
Primes et indemnités						
Démontage du houppier	() m³à	0,3 €/m ³			0,00 €
Location de scie à l'heure	19	hà	3,98 €/h			75,62 €
Location de scie payée au rendement :						
résineux cl2 et -	63,3	3 m ³ à	2,29 €/m ³			144,96 €
résineux classe 3 et +	86	S m³à	1,75 €/m ³			150,50 €
Prime d'outillage :1,8 % des montants issus du démontage d	les houppiers, des h	eures horaires, des heures rende	ements			19,03 €
Dépenses réellement imputées (source logiciel POPAYE)	Rappel montant calculé	Coefficient of	de passage		
Coût du chantier	1498,7 €	1 447,48 €		1,04		
Montant des charges patronales	599,11 €			0,41		599,11 €
Montant des charges réparties (déplacements, indemnités, congés, intempéries)	884,43 €			0,61		884,43 €

Sous-annexe 7.3 : calcul des coûts et recettes pour le chantier de la parcelle 3 sans réalisation de BE

Étude du chantier p	parcelle 3 FD Guebwiller : chantier	SANS réalisation BE	
Rappel des volumes			
BO/BI	149,3 m ³		
BE	0 tonne		
Recettes			12 404 €
BO/BI	11807 €		
BE	0€		
Recette supplémentaire	597,2 €	Hypothèse : valorisati supplémentaire à 40 €/m3	ion du bois
Calcul de coûts		Total des coûts	5 514,49 €
1. Coûts externes : débardage		Sous-total débardage	1 604,07 €
BO/BI	9 €/m³		1 478,07 €
BE	10,5 €/T		0,00 €
câblage d'arbres par le débardeur	2 heures à	63 €/h	126,00 €
2.Coûts internes: abattage, façonnage,		Sous-total abattage et façonnage	3 910,42 €
Rémunération du bûcheron			
Heures "horaires"	77 heures à	8,5 €/h	654,50 €
Heures "Rendement"	39 heures à	10,33 €/h	402,87 €
Primes et indemnités		_	
Location de scie à l'heure	19 h à	3,98 €/h	75,62 €
Location de scie payée au rendement:		_	
résineux cl2 et -	63,3 m³ à	2,29 €/m³	144,96 €
résineux classe 3 et+	86 m³ à	1,75 €/m³	150,50 €
Prime d'outillage : 1,8 % des montants issus rendements	du démontage des houppiers, des h	eures horaires, des heures	19,03 €
Hypothèse : dépenses supplémentaires			
Temps de travail supplémentaire			
Façonnage du volume supplémentaire	14,9 h de travail supp (base 1 m³/h)	olémentaire	
Mise en tas des branches	8 min de travail par tige et 179 travail	tiges soit 23,87 heures de	
Démontage du houppier	149,3 m³ à	0,3 €/m³	44,79 €
Rémunération du bûcheron		_	
Heures "Rendement"	14,9 heures à	8,5 €/h	126,91 €
Heures "horaires"	23,87 heures à	10,33 €/h	246,54 €
Location de scie payée au rendement:		_	
résineux cl2 et -	14,9 m³ à	2,29 €/m³	34,19€
Démontage supplémentaire de houppier	14,9 m ³ à	0,3 €/m³	4,47 €
Prime d'outillage supplémentaire		 	7,61 €
Charges complémentaires		Coefficient de	.,
		passage	
rappel : montant brut calculé du chantier	1935,85 €	_	
Montant des charges patronales		0,41	793,70 €
Montant des charges réparties (déplacements	s, indemnités, congés, intempéries)	0,61	1 180,87 €

Sous-annexe 7.4 : décomposition du montant brut du chantier pour la parcelle 10b

	position du montant brut du chantier pour la parcelle 10b		1	_
Période de travail	Rubrique	Nombre	PU	Sous total
janvier	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé à l'heure	15,00	10,70	160,50
	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé à l'heure	15,00	12,93	193,95
décembre payé en année N	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé à l'heure	7,00	4,14	28,98
décembre payé en N+1	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé à l'heure	8,00	11,98	95,84
	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé à l'heure	16,00	13,03	208,48
	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé à l'heure	21,00	4,14	86,94
	Total	82,00	9,45	774,69
janvier	Démontage de houppier	70,60	0,32	22,59
décembre	Démontage de Houppier	0,00	0,32	0,00
décembre suite	Démontage de houppier	30,00	0,32	9,60
	Total	100,60	0,32	32,19
janvier	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	5,00	10,70	53,50
,	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	5,00	12,93	64,65
décembre payé en année N	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	7,00	10,70	74,90
	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	7,00	12,93	90,51
décembre payé en N+1	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	35,00	10,70	374,50
	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	31,00	12,93	400,83
	Heures de bûcheron dont le salaire sera payé au rendement s	3,00	12,89	38,67
	Total	93,00	11,80	1097,56
janvier	Location de scie à l'heure	16,00	4,01	64,16
décembre payé en année N	Location de scie à l'heure	0,00	4,01	0,00
décembre payé en N+1	Location de scie à l'heure	23,00	4,01	92,23
decembre paye en N+1			-	
	Total	39,00	4,01	156,39
janvier	Location de scie payée au rendement pour la découpe de résineux de classe 3 et plus	46,20	2,29	105,80
	Location de scie au rendement pour la découpe de résineux de classe 2 et moins	24,40	1,75	42,70
décembre payé en année N	Location de scie payée au rendement pour la découpe de résineux de classe 3 et plus	0,00	2,29	0,00
	Location de scie au rendement pour la découpe de résineux de classe 2 et moins	15,10	1,75	26,43
décembre payé en N+1	Location de scie payée au rendement pour la découpe de résineux de classe 3 et plus	39,40	2,29	90,23
	Location de scie au rendement pour la découpe de résineux de classe 2 et moins	55,70	1,75	97,48
	Total de la location de scie payée au rendement pour la découpe de résineux de classe 3 et plus	85,60	2,29	196,02
	Total de la location de scie au rendement pour la découpe de résineux de classe 2 et moins	95,20	1,75	166,60
janvier	Prime d'outillage calculée sur les montants : démontage de houppier,			8,91
juiiviei	heures de travail de bûcheron payées au rendement et heures de			0,71
	travail de bûcheron rémunérées à « l'heure »			
décembre payé en année N	Prime d'outillage calculée sur les montants : démontage de houppier, heures de travail de bûcheron payées au rendement et heures de			3,50
1/	travail de bûcheron rémunérées à « l'heure »			
décembre payé en N+1	Prime d'outillage calculée sur les montants : démontage de houppier, heures de travail de bûcheron payées au rendement et heures de			21,87
	travail de bûcheron rémunérées à « l'heure » Total			24.20
	****			34,28
	Montant brut du chantier			2457,74
	Écart part rapport à la fiche de paye			-2,07%

Sur ce chantier, des heures de démontage de houppier ont été payées par erreur. Elles seront retirées pour la suite des simulations.

Sous-annexe 7.5 : calcul des coûts et recettes pour le chantier de la parcelle 10b avec réalisation de BE

Étuc		arcelle 10b FD Guebwiller		Chantier AVEC réalisation BE	
Rappel des volumes BO/BI BE	180,8 70	m ³ tonnes			
Recettes BO/BI BE	13794 105	-			13 899 €
Calcul de coûts				Total des coûts	7 976,33 €
Coûts externes : débardage				Sous-total débardage	2 921,00 €
BO/BI	10	€/m³			1 808,00 €
BE	10,5	€/T			735,00 €
câblage d'arbres par le débardeur	6	heures à	63	€/h	378,00 €
2.Coûts internes: abattage, façonnage,				Sous-total abattage/façonnage	5 055,33 €
Rémunération du bûcheron					
Heures "horaires"	82	heures à	9,45	€/h	774,90 €
Heures "Rendement"	93	heures à	11,8	€/h	1 097,40 €
Primes et indemnités				_	
Démontage du houppier	0	m³ à	0,32	€/m ³	0 €
Location de scie à l'heure	39	h à	4,01	€/h	156,39 €
Location de scie payée au rendement				_	
résineux cl2 et -	85,6	m³ à	2,29	€/m³	196,02 €
résineux classe 3 et +	95,2	m³ à	1,75	€/m³	166,60 €
Prime d'outillage : 1,8% des montants issus du démo	ntage des houpp	iers, des heures horaires, des	heure	s rendements	33,70 €
Dépenses réellement imputées (source logiciel PC	DPAYE)	Rappel montant calculé		Coefficient de passage	·
Coût du chantier	2509,72 €	2 425,02 €		1,03	
Montant des charges patronales	1062,22 €			0,44	1 062,22 €
Montant des charges réparties (déplacements, indemnités, congés, intempéries)	1568,09 €			0,65	1 568,09 €

Sous-annexe 7.6 : calcul des coûts et recettes pour le chantier de la parcelle 10b sans réalisation de BE

Étude du chantier parcelle 10b FD Guebwiller : chantier SANS réalisation BE			
Rappel des volumes			
BO/BI	180,8 m ³		
BE	0 tonnes		
Hypothèse : valorisation de 10% de bois er	n plus sous forme de BO/BI soit	18,08 m ³	
Recettes			14 517 €
BO/BI	13794 €		
BE	0€	l lumatha an an an amh air an tir an	مان امان
Recette supplémentaire	723,2 €	Hypothèse : valorisation supplémentaire à 40 €/m3	du bois
Calcul de coûts		Total des coûts	8 705,79 €
1. Coûts externes : débardage	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Sous-total débardage	2 366,80 €
BO/BI	10 €/m³		1 988,80 €
BE	10,5 €/T		0,00€
câblage d'arbres par le débardeur	6 heures à	63 €/h	378,00 €
2.Coûts internes: abattage, façonnage,		Sous-total abattage et	6 338,99 €
		façonnage	
Rémunération du bûcheron			
Heures "horaires"	82 heures à	9,45 €/h	774,90 €
Heures "Rendement"	93 heures à	3,43 €/h	1 097,40 €
Primes et indemnités	35 fieures a	11,0 €/11	1 037,40 €
Location de scie à l'heure	39 h à	4,01 €/h	156,39 €
	35 II a	4,01 €/11	130,39 €
Location de scie payée au rendement:	85,6 m³ à	2,29 €/m³	100.00.0
résineux cl2 et -		· ·	196,02 €
résineux classe 3 et+	95,2 m³ à	1,75 €/m ³	166,60 €
Prime d'outillage : 1,8 % des montants is heures rendements	ssus du démontage des houppi	iers, des heures horaires, des	33,70 €
Hypothèse : dépenses supplémentaires			
Temps de travail supplémentaire Façonnage du volume supplémentaire	18 08 h de travail sunn	olémentaire (base 1 m³/h)	
Mise en tas des branches	···	201 tiges soit 26,8 heures de	
miles en las assistancines	travail supplémentaires	201 agos son 20,0 meanos do	
Rémunération du bûcheron			
Heures "Rendement"	18,08 heures à	11,8 €/h	213,34 €
Heures "horaires"	26,8 heures à	9,45 €/h	253,26 €
Location de scie payée au rendement:			
résineux cl2 et -	18,08 m³ à	2,29 €/m³	41,40€
Démontage du houppier	180,8 m³ à	0,32 €/m ³	57,86 €
Démontage supplémentaire de houppier	18,08 m ³ à	0,32 €/m ³	5,79 €
Prime d'outillage supplémentaire	,·	,·	9,54 €
Charges complémentaires		Coefficient de	0,0 / 0
-		passage	
rappel : montant brut calculé du chantier	3 033,01		
Montant des charges patronales		0,44	1 334,52 €
Montant des charges réparties (déplaceme	nts, indemnités, congés, intempe	éries) 0,65	1 971,46 €

Mémoire de fin d'études de Raphaël Wisselmann	Étude technico-économique de la filière plaquette forestière

Annexe nº 8: ouverture d'emprise

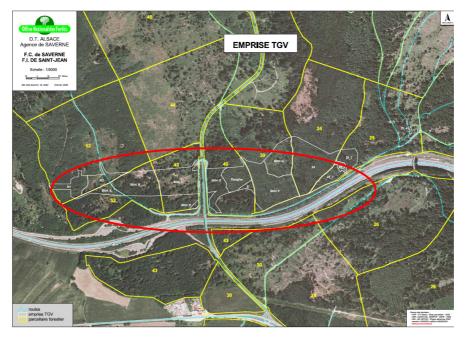
Cette analyse est relative au chantier d'ouverture d'emprise de la ligne à grande vitesse (LGV) à Saverne (Bas-Rhin). C'est une coupe rase sur environ 18 ha. Ce chantier a été étudié pour tenter de quantifier la notion « d'économie d'échelle ». Il sera comparé aux autres chantiers étudiés.

1. Déroulement du chantier

1.1. Rappel du contexte

Dans le cadre de la deuxième phase de l'arrivée du TGV Est, Réseau Ferré de France (RFF) a acquis l'emprise nécessaire à la construction de la LGV.

RFF a confié à l'ONF le déboisement de l'emprise LGV sur les communes de Saverne et Saint-Jean-de-Saverne (67). Les délais négociés pour ce chantier étaient extrêmement courts, aussi il n'a pas été possible de classer les bois et de les vendre en fonction de leur qualité. Tout le bois a donc été intégralement broyé pour faire des plaquettes forestières. En fin de chantier, les rémanents ou les petits arbustes restés sur coupe ont été broyés pour avoir un sol propre sur lequel les archéologues peuvent réaliser des fouilles préventives.



Zone entourée: emplacement des travaux de l'emprise TGV (échelle numérique non respectée) (source : IGN, ONF)

La surface concernée par ces travaux est de 18,9425 ha. En termes de topographie, le chantier était intégralement mécanisable, la pente avoisinant localement au maximum 20 %.

En terme de peuplement, on rencontre

- une majorité (75 %) de hêtre de type Bois Moyen avec quelques gros bois dans les parcelles touchées par la tempête,
- 15 % environ de douglas de type petit bois,
- des essences d'accompagnement : érable sycomore, chêne, etc.

1.2. Déroulement du chantier

Ce chantier a débuté au mois de mars 2008 par des travaux d'infrastructures préparatoires :

- réfection de la voirie forestière,
- création de 4 places de dépôt.

La partie exploitation forestière s'est concentrée entre le 15 avril et le 15 mai en combinant :

- abattage traditionnel par les ouvriers de l'ONF pour les gros bois et pour les arbres en bord de route avec l'appui d'un débardeur pour câbler les arbres dangereux ;
- abattage mécanisé (abatteuses de type Tiger 20).
 - La vidange s'est faite à l'aide de
- porteurs (2 voire 3 machines en simultané),
- tracteurs à pince (2 machines)

Les arbres ont tous été amenés entiers sur les places de dépôt aménagées à cet effet. Une pince hydraulique prenait les arbres et les déposait sur le tapis d'amenée d'une déchiqueteuse à couteaux. Celleci découpait le bois en plaquettes et les soufflait directement dans des camions qui livraient le produit en flux tendu au client.





Broyeur Doppstadt et camion à fond mouvant (contenance 90 m³) (source : Raphaël Wisselmann)

Alimentation de la déchiqueteuse à la pelle hydraulique et remplissage d'un camion à benne de type Ampliroll (contenance 45 m³) (source : Raphaël Wisselmann)

1.3. Zoom sur le broyage

Le broyage a été fait par l'entreprise meusienne *Lorenergie* (<u>www.lorenergie.fr</u>). Compte tenu de l'organisation du chantier et des volumes à traiter, il a été fait appel à un déchiqueteuse de grande taille de marque DOPPSTADT DH 910.

Caractéristiques techniques

- déchiqueteuse à 5 couteaux avec tapis d'amenée,
- déchiqueteuse sur remorque qui ne peut travailler que sur des places de dépôt aménagées,
- puissance de 610 CV,
- diamètre maximal admissible : 900 mm,
- rendements de broyage :
 - annoncé par le constructeur : 250 MAP/h,
 - moyenne de ce chantier : 100 MAP/h avec une durée de travail de 14 h par jour en 2 équipes,
- consommation de carburant de 350 l/j,
- possibilité d'installer un grille de sortie de maille 10 cm, 7 cm ou 5 cm. Pour ce chantier la maille de 7 cm de côté à été retenue. Le changement de la grille nécessite une demi journée de travail,
- les couteaux doivent être affûtés tous les 3 jours au minimum et peuvent être affûtés 5 à 6 fois avant d'être remplacés (Un couteau neuf vaut environ 300 € HT).

Aspects financiers

- frais d'investissement : 400 000 € HT (amortis sur 6 ans),
- frais de fonctionnement et d'entretien : 10 000 € HT/mois,
- prix de vente : 300 € HT/heure(pelle+broyeur).

Il a également été fait appel à une entreprise locale *Trautmann* qui dispose d'un broyeur de dimension plus modeste (350 CV – consommation en fuel de 250 l/j) de marque Eschböck, modèle BIBER 80. Ce type de broyeur est limité à une grume de diamètre maximal 50 cm.

2. Volumes produits

Les camions transportant les plaquettes ont tous été pesés. C'est la seule donnée disponible pour quantifier la biomasse mobilisée sur ce chantier.

Sur ce chantier, 3 322 tonnes de bois ont été mobilisés. A la mi-juillet, 2 634 tonnes de plaquettes forestières à un taux d'humidité de 45 % (mesure faite par le client) ont déjà été produites. Ceci représente environ 8 100 MAP (mètres cubes apparents de plaquettes) ou 6585 MWh. (les ratios utilisés sont explicités au paragraphe 4.1).

3. Rendements du chantier

Les temps passés pour l'exploitation forestière sont les suivants :

	Abattage	Vidange	Broyage
Ouvriers ONF	164 h		
Abatteuse	210 h		
Porteur		368,5 h	
Tracteur à pince		153,5 h	
Débardage et câblage		80 h	
Broyage de finition du site			149 h
Total	364 h	602 h	
Rendement	8,6 m ³ /h	5,2 m ³ /h	

Remarques : les ouvriers ONF n'ont fait qu'abattre. Il n'y a pas eu de façonnage (ébranchage, démontage de cime). D'après les agents de terrain, ils se déplaçaient aussi rapidement que l'abatteuse à chenilles or ils n'abattaient que les gros bois. On a donc fait l'hypothèse forte_de pouvoir additionner les temps passés par les ouvriers et l'abatteuse pour le calcul des rendements.

Pour le déchiquetage des plaquettes, il n'a pas été possible de mesurer un rendement. En effet, les broyeurs étaient souvent à l'arrêt car le rythme de passage des camions de livraison (fond mouvant) était de un camion toutes les deux heures. Il a donc fallu au plus 2 heures pour remplir un camion soit un rendement minimum de broyage de 45 MAP/h quel que soit le broyeur. Cette valeur est donc un rendement minimal. Une autre approche peut être de comptabiliser le nombre d'heures ou le broyeur était sur site soit 20 jours à raison de 10 heures par jour ce qui donne un rendement de 40,5 MAP/heure.

4. Analyse du coût de revient

4.1. Données

	Quantité		Montant	
0. Valeur biomasse et infrastructure				
Valeur biomasse			0	€HT
Travaux Préparatoires				-
Places de dépôt			44 625	€HT
Reprofilage Route forestière	T	_	18 118	€HT
Ouvriers ONF	14	heures	465	€HT
Broyage de finition de la plate-forme	149	heures	18 791	€HT
(fouilles archéologiques)				
Ingénierie et suivi chantier (ONF)	5,00	jours	2 250	€HT
SOUS TOTAL			84 249	_ € HT
Quantité de bois mobilisé	3322,16	tonnes		
Quantite de bois mobilise	3322,10	lonnes		
Prix de revient biomasse et infrastr	ucture		8,18	€/MAP à 45 % humidité
			25,36	€/t à 45 % d'humidité
			10,14	€/MWh
			27	€/m³ de grume
1. Prix de revient du bois "Bord de route"			_,	orm de granie
Travaux Exploitation				
Abattage	374	heures	29 400	€HT
Débardage	602	heures	42 317	€HT
Ouvriers ONF	164	heures	5 450	€HT
Ingénierie et suivi chantier (ONF)	40,00	jours	18 000	€HT
SOUS TOTAL	,		95 167	€HT
				-
Quantité de bois mobilisé	3322,16	Tonnes		
			0.24] (D. () D.) 45 (C)
Prix de revient du bois sur la place dépôt			9,24	€/MAP à 45 % humidité
			28,65	€/t à 45 % d'humidité
			11,46	_€/MWh
	1 ' 1	1.	31	€/m³ de grume
2. Prix de revient de la transformation du	bois en plaq	1	T	CITE
PEF ONF Énergie	1/	jours	3 150,00	€HT
Déchiquetage des plaquettes	8165,4	MAP	29 832,40	€HT
Livraison des plaquettes au client	7998	MAP	28 474,88	€HT
Travail au porteur			465,00	€HT
Nettoyage plate-forme	Estimation		1 000,00	€HT
SOUS TOTAL			62 922,28	_ € HT
Quantité de plaquettes	2634	tonnes		
Qualitic de pidquettes				
Coût de revient de la plaquette à partir du stockage	bois livré s	ur le site de	7,71	€/MAP à 45 % humidité
Stockage			23,89	€/t à 45 % d'humidité
			9,56	€/MWh
			25	€/m³ de grume
ı				com de granie

3. Prix de revient global de la plaquette rendue chez le client		
	25,13	€/MAP à 45 % humidité
	77,89	€/t à 45 % d'humidité
	31,16	€/MWh
	83	€/m³ de grume

Ratios utilisés	3,1	MAP/t	(mesure réalisée sur le chantier)
	2,5	MWh/t	(taux d'humidité de 45 % - mesure client)
	1,066	t/m3 grume	(85 % feuillus -15 % résineux)

4.2. Étude du coût de revient

Travaux préparatoires et valeur de la biomasse

Ces postes ont été séparés car ils sont intimement liés au peuplement et à l'équipement du site. En général, on ne crée pas d'infrastructures spécifiques pour le broyage ou le dépôt de bois à transformer en plaquettes. Ces emplacements existent ou sont réalisés pour des motifs indépendants.

Prix de revient « bord de route »

On n'observe pas pour ce chantier d'effet d'échelle. Les coûts de mobilisation sont d'ailleurs relativement élevés pour un chantier mécanisé. Classiquement, les coûts observés pour un chantier mécanisé sont plutôt autour de 18 à 22 €/m³ de grume.

Pour ce chantier, ces frais élevés sont d'ailleurs plutôt dus aux coûts de débardage et d'ingénierie qui sont élevés ; respectivement 13,6 €/m³ grume et 5,75 €/m³ grume.

Rappelons qu'un débardage classique au porteur revient autour de 6 à 15 €/m³ mais pour un chantier de ce type, on se situe plutôt autour de 8 à 10 €/m³. Il convient aussi de souligner que ce chantier en comportait peu de contraintes d'exploitation. En effet, les porteurs n'étaient pas tenu d'emprunter un réseau de voies de vidange pour protéger les sols en vue d'une plantation. Il n'y avait que deux contraintes sur le site :

- un ruisseau qu'il était interdit de traverser avec le porteur mais des places de dépôt existaient de chaque côté ;
- un chemin de terre sous lequel les archéologues pressentaient une ancienne voie romaine. Ce chemin en terre barrait de part en part une zone à déboiser et ne pouvait être traversé par les porteurs qu'à deux endroits bien précis. Ceci a pu générer localement des temps de vidanges plus importants.

En ce qui concerne l'ingénierie, l'ONF facture pour l'exploitation d'une parcelle en forêt communale 3 €/m³ même si ce montant semble sous-évalué pour des raisons historiques.

Prix de revient « déchiquetage et livraison »

La plaquette issue de ce chantier était destinée à l'industrie compte tenu des volumes produits et de la présence de feuilles et d'un taux d'humidité élevée. Les coûts de revient doivent donc être réduit au maximum et ils ont été bien maîtrisés sur ce chantier

Prix de revient de la plaquette

Pour le marché industriel, le prix de vente est autour de 16 à 18 €/MWh. Le chantier n'eût donc pas été rentable en soi avec des produits valorisés en bois énergie seul.

Néanmoins compte tenu des contraintes de temps et de la qualité de finition demandé par RFF, le prix de vente de la prestation proposée par ONF a permis de couvrir les frais de chantier et de dégager une marge nette positive.

5. Retour d'expérience de ce chantier

Bois énergie

Une grande quantité de plaquette a été produite en un temps très court. Il eut fallu anticiper cette production pour optimiser la valorisation des plaquettes. En effet, les plaquettes ont quasiment toutes été livrées à des chaufferies industrielles or la qualité du bois a permis de fabriquer de la très bonne plaquette utilisable par une petite chaufferie. Pour cela, il eût fallu passer par un hangar de stockage pour la sécher et la cribler. Vu les volumes en jeu, ceci nécessite une préparation de la plate-forme d'acceuil.

Un chantier à taille industrielle

Ce chantier a montré la réactivité d'ONF et ONF Énergie pour une opération de grande envergure et la maîtrise d'un flux « industriel ».

Ce chantier a aussi démontré la nécessité d'une infrastructure adaptée notamment avec de grandes places de dépôts qui servaient à la fois de tampon pour alimenter le broyeur mais également de lieu de broyage et d'aire de retournement des camions.

Des améliorations possibles

Faute de temps, les contrats passés avec les entreprises l'ont été sur la base d'un coût horaire (travail quasiment en régie). Une négociation plus serrée eût permis d'obtenir des prix au rendement (au m³, à la tonne) qui auraient peut-être permis d'optimiser le bilan financier du chantier.

Enfin, les frais d'ingénierie de ce chantier sont relativement élevés. De l'avis même des agents de l'ONF, l'ampleur du chantier a été sous-estimée et la préparation a été trop légère. Ceci aurait peut être permis d'optimiser également l'exploitation.

6. Conclusion

Au vu des coûts de revient constatés, ce chantier n'a pas permis d'identifier une « économie d'échelle » qui aurait permis de faire baisser significativement le coût de mobilisation du bois bord de route ; bien au contraire, les coûts de mobilisation sont particulièrement élevés.

Pour la fabrication de plaquettes, les coûts de fabrication et de livraison sont très compétitifs et comparables à la moyenne annuelle d'ONF Énergie.

Ce chantier n'a pas été rentable en soi. Cela signifie que la vente de bois énergie n'aurait pas permis d'équilibrer les frais d'exploitation et de fabrication de la plaquette.

Cette étude a été réalisée durant l'été 2008 par Raphaël Wisselmann, dans le cadre de son stage de fin d'études du cursus GREF d'Agroparistech, voie d'approfondissement Forêt, Nature et Société.

Annexe nº 9 : hypothèses de calcul

Facteurs de conversion				
	0.67.1.3	250 111 111 1		
Masse volumique bois	0.65 t/m^3	35% d'humidité		
(dominante résineux)				
Masse volumique bois	0.75 t/m^3	40% d'humidité		
(dominante résineux)				
Masse volumique bois	0.81 t/m^3	50% d'humidité		
(dominante résineux)				
Masse volumique plaquette	0,250 t/MAP	35% d'humidité		
Masse volumique plaquette	0,286 t/MAP	40% d'humidité		
Masse volumique plaquette	0,333 t/MAP	50% d'humidité		
Rendement énergétique	3,077 M Wh/t	35% d'humidité		
Rendement énergétique	2,789 M Wh/t	40% d'humidité		
Rendement énergétique	2,211 M Wh/t	50% d'humidité		
Si le bois a pour taux d'humidité	35% alors, une tonne occupera	4 MAP		
Si le bois a pour taux d'humidité	40% alors, une tonne occupera	3,5 MAP		
Si le bois a pour taux d'humidité	50% alors, une tonne occupera	3,00 MAP		

Taux d'humidité retenus pour le calcul des KWh de biomasse				
Hypothèses	pothèses taux Destination		codes	
	humidité			
Achat bois	40%	Bois en forêt au 31 décembre 2007	forêt	
Achat bois	40%	Bois au hangar au 31 décembre 2007	hangar	
Achat bois	40%	Bois livré au 31 décembre 2007	livré	
Achat bois long	40%		scierie	
Achat bois long et dosses	40%		dosses	
Achat dosses	40%		dosses	
Achat dosses et livraison	40%		dosses	
Billon mitraillé	35%	Achat de billons mitraillés	scierie	
plaquettes sèches	35%	Achat de plaquettes de scierie (été)	plaquettes sèches	
plaquettes humides	50%	Achat de plaquettes de scierie	plaquettes humides	
		(hiver)		

Annexe nº 10 : résultats intermédiaires calcul

1. Résultats en valeurs

Nota : dans ce tableau, on a utilisé les abréviations suivantes

FC pour forêt communale FD pour forêt domaniale FP pour forêt privée

	Montant TTC	Montant HT
Achat bois long	2 796,91	2 651,10
Achat bois long et dosses livré	16 456,40	15 599,44
Achat dosses	6 570,48	6 227,95
Achat dosses et livraison	31 341,57	29 707,65
Achat plaquettes de scierie	68 028,92	62 284,40
Achat de billon mitraillé	16 952,59	15 614,40
Coût de déchiquetage	136 330,42	128 828,07
Divers	-895,06	-848,40
Écorçage (imputable à Alsace Pellets)	18 265,25	18 265,25
Frais d'exploitation	45 335,15	42 971,71
Achat de bois en FC resté en forêt	52 917,15	50 559,17
Achat de bois en FD resté en forêt	93 774,19	88 885,49
Achat de bois en FP resté en forêt	8 400,51	7 962,57
Frais imputables à la plate-forme	35 743,84	29 724,14
Achat de bois en FC en stock au hangar	59 932,58	56 835,76
Achat de bois en FD en stock au hangar	22 386,13	21 219,08
Achat de bois en FP en stock au hangar	10 564,73	10 437,90
Livraison de la plate-forme au client	56 128,97	47 838,94
Achat de bois en FC déjà livré au client	23 313,90	22 102,19
Achat de bois en FD déjà livré au client	24 552,15	23 272,18
Achat de bois en FP déjà livré au client	23 126,28	22 266,83
Frais de personnel	82 218,89	64 205,00
Frais de pesée	804,29	672,49
Imputable à la commune de Rumersheim	861,12	720,00
Factures de transport (mélange de transport et de	13 169,94	11 011,66
livraison)		
Transport grumes	96 242,48	80 470,21
Transport de plaquettes de scierie à Alsace Pellets	6 075,68	5 080,00
Transport de plaquettes de scierie vers Bennwihr	33 035,58	27 621,75
Facture imputables à la commune de Villé	1 513,06	1 265,11
	985 944,10	893 452,04

Ce tableau ventile les 447 factures analysées en 30 catégories. Certaines d'entre elles seront regroupées (par exemple toutes celles relatives à l'achat de biomasse bord de route). Quatre catégories seront reventilées selon les hypothèses ci dessous

1. Ventilation des « factures mixtes »

Ventilation/hypothèses	Montants TTC	Montant HT	Nombre de MWh à	Hypothèses	Clé de
			40% d'humidité		répartition
Achat biomasse et livré	47 797,97	45 307,09			
(BL dosses)					
dont biomasse	32 775,75	31 067,72	3 610	achat	69%
dont "transport grumes"	15 022,22	14 239,37		transport	31%
Achat plaquettes	68 028,92	62 284,40			
dont biomasse	41 303,27	37 815,53	5 462	biomasse	61%
dont broyage	26 725,65	24 468,87		broyage	39%
Transport de plaquettes de scierie à Alsace pellets					
Plaquette de scierie livrée	directement assir	nilée à des coûts	s de livraison		
Transport : somme de livra	ison et d'amené	e de biomasse			
Transport	13 169,94	11 011,66			
Part amenée à Bennwihr	8 891,59	7 434,44		transport	68%
Part livraison	4 278,35	3 577,22		livraison	32%

2. Répartition en valeur et en quantité de la biomasse au 31 décembre 2007

La valeur est déterminée en faisant des rassemblements de catégories du premier tableau de cette annexe.

Type de biomasse	Montants TTC	Montant HT
Valeur de la biomasse en forêt au 31	155 091,85	147 407,23
décembre 2007		
Valeur de la biomasse issue de forêt et en	92 883,44	88 492,74
stock au hangar au 31 décembre 2007		
Valeur de la biomasse issue de forêt et	70 992,33	67 641,20
livrée au 31 décembre 2007		
Valeurs des dosses, billons, bois long	26 319,98	24 493,45
Valeur des dosses et bois long (hors	32 775,75	31 067,72
livraison)		
Frais d'exploitation	45 335,15	42 971,71
Valeur de la biomasse due à l'achat de	41 303,27	37 815,53
plaquettes		
TOTAL	464 701,78	439 889,57
Nombre de MWh de biomasse	51 370,00	

La quantité est déterminée en appliquant les coefficients de conversion de l'annexe 9 à chaque achat de biomasse selon son origine.

Quantité de biomasse au 31 décembre 2007	Nombre de MWh	Perte de MWh	Nombre de MWh retenu	Total des pertes
Achetée en forêt ou en scierie	51 889	1%	51 370	519
Transportée	37 295	0%	37 295	0
Déchiquetée	27 148	1%	26 877	271
Livrée	19 928	0%	19 928	0
En stock à la plate-forme (transport-livraison)	17 367	5%	16 498	868

3. Ventilation des coûts selon les six postes de coûts

Les dépenses sont ventilées dans les six catégories. Il reste encore à évaluer le coût de déchiquetage et de livraison de la biomasse en stock à la plate-forme au 31 décembre 2007. Ceci est fait en calculant des ratios intermédiaires (coût de déchiquetage et coût de livraison en €/MWh) sur la base de la biomasse déjà livrée et déjà déchiquetée au 31 décembre 2007. Cette deux ratios sont appliqué au nombre de MWh en stock au hangar

Postes de coût	Montant HT (€)	Nombre de MWh
Frais de personnel	64 205,00	37 294,56
Frais imputables directement à la plate-forme	29 724,14	37 294,56
Frais de déchiquetage	153 296,94	26 876,67
Livraison de la plate-forme vers client	57 168,65	19 927,98
Transport (amenée) de la biomasse à la plate-forme	102 144,02	37 294,56
Coût de la biomasse ayant transité par la plate- forme ou actuellement en stock dans le hangar (c'est-à-dire coût total de la biomasse diminuée de la valeur de la biomasse en stock en forêt au 31 décembre 2007) Estimation du coût de déchiquetage de la biomasse	292 482,34 94 101,37	37 294,56 16 498,25
Estimation du coût de livraison de la biomasse actuellement au hangar	47 329,58	16 498,25
TOTAL	840 452,05	

Les deux dernières lignes du tableau sont réaffectée aux deux postes de coûts correspondants ce qui donne le tableau final de décomposition du prix de la plaquette forestière transitant par la plate-forme.

4. Décomposition du coût de la plaquette forestière

Autres postes	Montant HT	Coût au MWh	Ratio
Frais de personnel	64 205,00	1,7	8%
Frais imputables directement à la plate-forme	29 724,14	0,8	4%
Frais de déchiquetage	247 398,31	5,7	29%
Livraison de la plate-forme vers client	104 498,24	2,9	12%
Transport (amenée) de la biomasse à la plate-	102 144,02	2,7	12%
forme			
Coût de la biomasse ayant transité par la plate-	292 482,34	7,8	35%
forme ou actuellement en stock dans le hangar			
(c'est-à-dire coût total de la biomasse diminuée de			
la valeur de la biomasse en stock en forêt au 31			
décembre 2007)			
TOTAL	840 452,05		100%
Coût moyen de la plaquette livrée (€/MWh)		21,7	

Annexe nº 11 : vue d'ensemble des services et des espaces gérés par les ÖBF

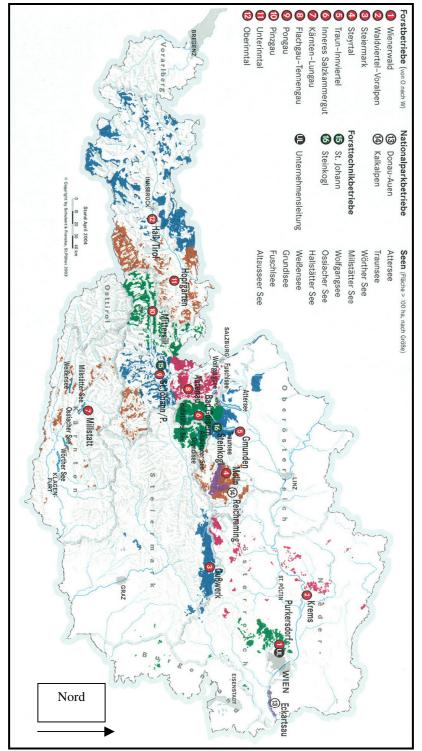


Figure 21: carte des espaces gérés par les ÖBF et implantation des services des ÖBF (source : ÖBF, 2004)

Lexique:

Forstbetriebe: agence territoriales,

Nationalparkbetriebe: agences terrotoriales gérant un parc national,

Forstttechnikbetriebe : agences travaux, Unternehmensleitung : siège de la société,

Seen: lacs.

Annexe nº 12 : chiffrage des investissements à réaliser à Bennwihr

Investissements	Coût
	(en euros hors taxes)
Achat du site de Bennwihr gare	270 000
Un montant de 300 000 € TTC peut être avancé.	
Première tranche de travaux	
Clôture du site et mise en place d'un merlon	40 000
Aménagement des zones de stockage en terrain naturel (partie entrée du site)	95 000
Réhabilitation partielle des bureaux	50 000
Achat d'un chargeur	55 000
Installation d'une bascule de pesée automatique	30 000
Total des investissements prioritaires	270 000
Deuxième tranche de travaux	
Aménagement des zones de stockage en terrain naturel (partie derrière le	150 000
hangar)	
Travaux complémentaires pour les bureaux	50 000
Total des investissements non prioritaires	200 000
Total des investissements	770 000

Annexe n° 13 : calcul de rentabilité pour l'installation d'une balance automatique à Bennwihr

1. Calcul de l'annuité en cas d'investissement

Coût d'investissement	30 000 €	30 000 €	30 000 €
Durée d'amortissement en années	5	7	10
Annuité	6 630 €	4 920 €	3 636 €
Frais de fonctionnement (hors	1 000 €	1 000 €	1 000 €
personnel)			
Total des frais annuels	7 630 €	5 920 €	4 636 €

2. Calcul du coût du système actuel

Actuellement, les camions se rendent dans une autre entreprise qui dispose d'un équipement de pesée. Ceci génère des coûts directs de pesée et des coûts indirects compte tenu du temps perdu pour les camions à se rendre à ce site. Le but de ce paragraphe est d'évaluer ces coûts

Temps supplémentaire mis par un camion venant de vallée de Kaysersberg ou de Munster pour se rendre au site de pesée	352 secondes	5,9 minutes
Temps supplémentaire pour un camion venant d'ailleurs	778 secondes	13,0 minutes
Ces temps reposent sur 3 mesures réalisées sur 2 types de camions di mouvant)	fférents (porte-	conteneur et fond

Nota : en venant de Munster ou de Kaysersberg, le site de pesée actuel est sur le chemin de la plateforme. Le temps mis par les camions est donc logiquement inférieur que s'ils viennent d'une autre direction

Ces temps sont convertis en euros en fonction des coûts horaires.

Type de camion	Coût horaire du	Coût de la pesée (en euros)	Coût de la pesée (en euros) pour
	camion (€/h)	pour un camion provenant de	un camion qui ne provient pas de
		la vallée de Kaysersberg	la vallée de Kaysersberg
Porte conteneur	47	4,6	10,2
Fonds mouvant	70	6,9	15,1
Grumier	90	9	19

Il convient à présent de déterminer le nombre de pesées.

Sur les 5 premiers mois de 2008, 173 livraisons (porte conteneurs ou camion à fond mouvant) ont eu lieu soit 692 pesées par an.

En moyenne sur 10 mois en 2007, 150 livraisons (porte conteneurs ou camion à fond mouvant) ont eu lieu soit 300 pesées par an.

Pour la suite de la simulation, on a retenu un nombre de 450 pesées par an.

Sur 10 mois, le coût des pesées s'est élevé à 672,49 € pour 538 pesées soit 1,5 € par pesée.

Pour passer du nombre de livraisons au nombre de pesées, on a formulé les hypothèses suivantes :

- 20 % de l'approvisionnement vient de la vallée de Kaysersberg ou Munster,
- 80 % de l'approvisionnement vient d'ailleurs,
- 40 % du nombre de passage sont des grumiers,
- 10 % du nombre de passage sont des portes-conteneurs,
- 50 % du nombre de passage sont des camions à fond mouvants.

Type de camion	Nombre de camions pesés par an			Coût en € du détour par le site de pesée actuel			
camon	provenant des vallées de Kaysersberg ou de Munster	ne provenant pas des vallées de Kaysersberg ou de Munster	Nombre total de camions	pour un camion provenant des vallées de Kaysersberg ou de Munster	pour un camion qui ne provient pas des vallée de Kaysersberg ou de Munster	Coût total	
Porte	9	36	45	41	365	407	
conteneur							
Fond	45	180	225	308	2 723	3 031	
mouvant							
Grumier	36	144	180	317	2 800	3 117	
Total	90	360	450	666	5 889	6 556	

On additionne à ces coûts imputables au temps perdu à se rendre au site de pesée les coûts de pesée.

Total des coûts actuels	
Coût du temps perdu	6 556 €
par les camions pour	
aller au site de pesée	
Coût de la pesée	672 €
Coût total	7 229 €

3. Conclusion

En amortissant l'équipement de pesée sur 7 ou 10 ans, il est plus rentable d'investir dans une balance sur le site de Bennwihr que d'avoir recours aux services d'un site de pesée extérieur.

Par ailleurs, on n'a pas tenu compte du temps passé par les camions à attendre que le site de pesée se libère or celui-ci est souvent occupé

Enfin, il est toujours plus commode de disposer de ses propres équipements. Ainsi ONF Énergie n'est pas tributaire des heures d'ouvertures (ou des congés) de l'entreprise qui possède l'équipement de pesée extérieur.

Annexe n° 14 : impact de la première tranche d'investissement sur le coût de revient de la plaquette

1. Calcul de l'annuité en cas d'investissement

Montant de l'investissement	500 000 €		200 000 €			
Durée d'amortissement en années	5	10	15	5	10	15
Taux d'emprunt	4%	4,50%	5%	4%	4,50%	5%
Montant du remboursement mensuel	9 206 €	5 181 €	3 953 €	3 683 €	2 072 €	1 581 €
Montant de l'annuité	110 472 €	62 172 €	47 436 €	44 196 €	24 864 €	18 972 €
Augmentation annuelle des frais de fonctionnement (électricité, eau, téléphone, réglementation)	4 800 €	4 800 €	4 800 €	4 800 €	4 800 €	4 800 €
Montant annuel à rembourser	115 272 €	66 972 €	52 236 €	48 996 €	29 664 €	23 772 €

L'investissement de la première tranche est estimé à 300 000 € TTC pour l'achat de terrain et pour 270 000 € HT pour les premiers travaux (la TVA est récupérée). Un taux de subvention de 20 % peut être obtenu auprès de la région Alsace soit un montant de projet arrondi à 500 000 € HT.

Compte tenu de la nature des travaux, une durée d'amortissement de 10 à 15 ans est recommandée car il y a au moins 50 % de génie civil dont la durée d'amortissement est de 20 ans.

Un deuxième calcul a été fait avec un investissement de 200 000 € Ht si le terrain n'est pas acheté par la filiale mais par l'ONF.

2. Impact sur le coût de revient de la plaquette

Pour calculer l'impact sur le MWh, on fait différentes hypothèses de quantité de plaquettes vendue. Ainsi, on estime que :

- 10 % des plaquettes vendues à partir de la plate-forme a un taux d'humidité de 40 % (2,789 MWh/t) ;
- 90 % des plaquettes vendues à partir de la plate-forme a un taux d'humidité de 30 % (3,366 MWh/t);
- la plaquette transitant par la plate-forme est vendue à 22 €/MWh en moyenne.

Tonnage vendu	Nombre de MWh
10 000	33 083
15 000	49 625
20 000	66 166
25 000	82 708

Montant de l'invest	500 000 €		200 000 €				
Durée en années de	l'amortissement	5	10	15	5	10	15
Montant du rembou	115 272	66 972	52 236	48 996	29 664	23 772	
en euros							
Tonnage vendu	Nombre de		Augmenta	ation en €/N	/IWH du coût o	de revient	
	MWH vendus						
10 000	33 083	3,48 2,02 1,58 1,48 0,90 0,7					0,72
15 000	49 625	2,32	1,35	1,05	0,99	0,60	0,48
20 000	66 166	1,74	1,01	0,79	0,74	0,45	0,36
25 000	82 708	1,39	0,81	0,63	0,59	0,36	0,29
			Augmentati	ion en part 1	relative du coû	t de revient	
10 000	33 083	14%	8%	7%	6%	4%	3%
15 000	49 625	10%	6%	5%	4%	3%	2%
20 000	66 166	7%	4%	3%	3%	2%	2%
25 000	82 708	6%	4%	3%	3%	2%	1%

3. Conclusion

L'hypothèse la plus vraisemblable est un tonnage annuel vendu de 20 000 tonnes. En effet, en 2008, le tonnage vendu sera probablement de 15 000 t et il existe encore des marchés à conquérir. La durée de l'investissement est à amortir sur 10 à 15 ans.

L'augmentation du coût de revient est donc de :

- 1 €/MWh si ONF Énergie finance le terrain et les travaux,
- 0,5 €/MWh si ONF Énergie finance les travaux et si l'ONF achète le site et le met à disposition d'ONF Énergie à un loyer symbolique.

Résumé

L'Office national des forêts a créé ONF Énergie, filiale spécialisée dans la production et la vente de plaquettes forestières. Les caractéristiques, les intérêts, les limites et les utilisations possibles de ce combustible sont décrits. Les filières logistiques identifiées sont associées à une typologie des chaufferies à bois. Les plaquettes forestières sont fabriquées à partir de coproduits de l'exploitation forestière. Pour quantifier le prix de revient bord de route de cette matière première, cinq chantiers tests ont été réalisés. Une décomposition du coût de la plaquette forestière livrée au client a également été calculée. Les conclusions du *benchmarking* mené auprès des Österreichische Bundesforste AG, gestionnaires des forêts de l'État autrichien sont présentés. Une optimisation des techniques de mobilisation des coproduits est proposée pour réduire les coûts de fabrication des plaquettes forestières. Des consignes opérationnelles sont formulées à l'attention des gestionnaires de terrain. Parallèlement, une modification de la gestion de la plate-forme de stockage et de séchage est suggérée. Pour finir, des stratégies de partenariat commercial entre les deux structures ou avec des tiers sont avancées.