

« bois énergie : l'approvisionnement en plaquettes forestières »



Forêt  
Energie  
Ressources



Ce document a été élaboré par le groupement d'études composé de :

- Rémi Grovel, Forêt Energie Ressources, Coordinateur de l'ouvrage
- François Pasquier, entreprise Sundgaubois, Fédération Nationale Entrepreneurs Des Territoires (FNEDT), Vice-président forêt
- Tammouz Eñaut Helou, Fédération Nationale Entrepreneurs Des Territoires (FNEDT), chargé des travaux et services forestiers
- Didier Barthelet, Association Pro-Forêt Franche-Comté (réseau Entrepreneurs Des Territoires)
- Eric Boittin, Cabinet Coudert

Ont également participé au comité technique de suivi :

ADEME : Caroline Rantien

Biomasse Normandie : Stéphane Cousin

Centre National de la Propriété Forestière (CNPf / IDF) : Alice Gauthier

FCBA (Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-Construction Ameublement) : Philippe Monchaux et Maryse Bigot

Fédération Nationale des Communes Forestières (FNCOFOR) : Nolwenn Marchand, Amélie Grivet

Office National des Forêts (ONF) : Didier Pishedda

Fédération Nationale du Bois (FNB) : Nicolas Douzain-Didier

IRSTEA (Grenoble et Clermont Ferrand) : Christophe Chauvin, Marie Taverne

Comité Interprofessionnel du Bois Energie (CIBE) : Serge Defaye

AMORCE (association nationale des collectivités, des associations et des entreprises pour la gestion des déchets, de l'énergie et des réseaux de chaleur) : André Laurent, Delphine Bellanger

Forestiers Privés de France : Luc Bouvarel

## Remerciements

Les auteurs tiennent tout particulièrement à remercier toutes les entreprises et les divers acteurs en région qui ont été sollicités dans la récolte des pratiques, savoir-faire et techniques sur le terrain : entreprises de travaux forestiers, exploitants forestiers, propriétaires forestiers, coopératives forestières (CAFSA, Forestarn, Unisylva, CFBL, GPF43, Provence-Forêt), gestionnaires et experts forestiers.

La Fédération Nationale Entrepreneurs Des Territoires s'est également appuyée sur son réseau régional pour identifier les entreprises, notamment Pro-Forêt Franche-Comté, ETF Aquitaine, CIPREF Bourgogne, EDT Bretagne, EDT Limousin, EDT Midi-Pyrénées, EDT Pays-de-la-Loire et EDT Poitou-Charente.

Enfin bon nombre d'informations technico-économiques proviennent plus particulièrement d'un panel d'une soixantaine d'entreprises de production de plaquettes forestières réparties dans toutes les régions françaises dont une trentaine ont été suivies sur le terrain. Qu'elles en soient ici remerciées :

SARL Tous Bois Couzonnais (03), Patrick Bayle (04), JLF Ribéri (06), Salix Energie (08), Pierre Calmet (09), EURL Rivières et Forêts du Monde (09), SARL HP Bois Energie (10), SARL Poupart (10), Chayrigues Agriculture et Energie (12), Travaux Agricoles Puech (15), Paul Vivion (16), SARL Roussel (21), EURL Gibily David (24), SARL de Pinsac (24), SARL La Monsecoise (24), GAEC de la Combe (25), SARL Forex France (25), Girard Travaux Forestiers (25), MJ Broyage (25), Nature Bois Energie (25), SARL Adel Services (29), EURL BFA (33), SARL SOTRA (33), Bonenfant Energie Service (33), Argefo (33), SARL Castelmoron Bois (33), Cédric Courtais (35), Gamm' Bois Energie SAS (39), Paget Approbois (39), Aquitaine Broyage Energie (40), SEM du Fumélois (47), Philippe Gendron SARL (49), Lorenergie (55), SARL Energie Bois Services (55), Energie Bois Services (55), Bois Energie Ouest Environnement (56), ABC/Copobois (58), Alex Copo (61), Denis Delestrez (62), SARL Energie Bois (62), TFZ (63), Lyaudet Energie (63), SARL Aquitaine Bois Energie (64), Kretz SARL (67), ETA Roger Trautmann (67), Meyer Espaces Verts SARL (68), Bois Energie Alsace (68), La Forestière du Rizoud (69), Eau Energie SARL (69), Billotte SA (70), Florent Delecray (70), CNTB (70), Nonotte Energie (70), Loic Thiriet (70), Combustible Bois Energie (74), TPF SARL (79), Dargent SAS (80), SARL Fonteneau (85), SARL Berger (86), SARL Laugelot (89), Rossi Auguste SARL (89), Sundgaubois (90)

# Préambule

Ce manuel fait suite au précédent ouvrage publié par l'ADEME en 1998 : « le déchetage en forêt ». L'approche a ici été volontairement élargie à une vision plus globale de la filière considérant que le développement du bois énergie, et plus spécifiquement de la plaquette forestière, nécessite une véritable compréhension croisée et partagée par chacune des parties de l'ensemble des questionnements énergétiques, forestiers, technico-économiques, organisationnels et territoriaux.

Le développement récent de projets consommateurs de fortes quantités de plaquettes forestières a soudainement mis en évidence l'enjeu majeur, pour la réussite de la filière bois énergie, de la mobilisation de la ressource forestière mais aussi plus largement d'une gestion intégrée de cette filière (de la forêt à la chaufferie).

## **Un enjeu de mobilisation en forêt et un changement de pratiques sur le terrain**

Cet enjeu de mobilisation, d'organisation et de gestion intégrée amont-aval de la filière, dépasse très largement les seuls aspects techniques du déchetage de la plaquette en forêt, qui ne représentent qu'une partie des questions et difficultés qui se posent à un maillon de la chaîne.

Durant la dernière décennie, la production de plaquettes forestières, en tant qu'activité à part entière, a considérablement modifié l'organisation du travail en forêt : apparition de nouvelles machines dédiées, de nouvelles compétences, de nouvelles missions et de nouveaux partenariats. Pionniers de la plaquette forestière à son apparition, les entreprises de travaux forestiers (ETF) sont devenues des partenaires essentiels du développement de ce marché.

La production de plaquettes forestières tend ainsi à être progressivement intégrée dès la mise en vente voire plus en amont dès la planification des récoltes des produits forestiers. C'est l'objet même des plans d'approvisionnement des chaufferies bois qui deviennent incontournables dès lors que les volumes à prélever sont considérables. Pas simplement parce que les prélèvements pourraient mettre en danger le capital (à l'échelle d'un projet), mais plutôt parce que le bois énergie, et plus particulièrement la plaquette forestière, se doit d'être en cohérence, non seulement avec une réalité territoriale des ressources forestières disponibles sur un territoire pour l'énergie, mais aussi avec la réalité des autres marchés du bois (bois d'œuvre, bois d'industrie). Enfin le besoin de massification de la production de plaquettes forestières avec l'apparition de projets à très forte consommation (chaufferies industrielles, cogénération) tend à induire des conflits d'usage sur la ressource forestière vis-à-vis des marchés de bois de trituration et de bois de chauffage.

D'autre part, le développement de projets à fort volume conduit certains opérateurs vers la recherche d'industrialisation de la collecte et de la production de plaquette forestière. L'implication d'énergéticiens dans la conception de nouveaux équipements censés permettre une industrialisation de la récolte de bois énergie ou dans la promotion de schémas de collecte des rémanents forestiers, bouscule ainsi le paysage des acteurs de la forêt. Cependant les entreprises forestières, demeurent le

maillon indispensable à cette production, et de leur savoir-faire et de leur capacité à se développer dépend une augmentation de la mobilisation du bois forestier pour l'énergie aux différentes échelles.

Enfin, le développement de filières « plaquettes forestières » représente une opportunité pour les propriétaires forestiers de construire une visibilité à long terme sur des débouchés de bois de faible valeur (contrat d'approvisionnement bois énergie), à condition qu'ils consentent à mettre en marché leur production, et que le prix du bois payé et des coûts d'exploitabilité pour aller le chercher, permettent sa valorisation en énergie.



Source : *Forestenergy.org*

Dès lors, il ne s'agit plus seulement de politique de substitution énergétique mais de politique territoriale (aménagement du territoire et gestion durable de ses ressources) et de politique forestière. Les collectivités ont un rôle important à jouer car elles représentent les territoires, dotés plus ou moins largement de ressources forestières, sur lesquels les projets de chaufferie (publics et privés) se développent, et des flux de mobilisation et de commercialisation s'organisent, se croisent, voire se confrontent, entre circuit court et logique industrielle. A travers la mise en place de chaufferies bois, de politiques de soutien à l'économie forestière, d'appui au développement d'infrastructures sur leur territoire, elles peuvent contribuer à accompagner les acteurs pour le développement de filières soutenables sur les territoires.

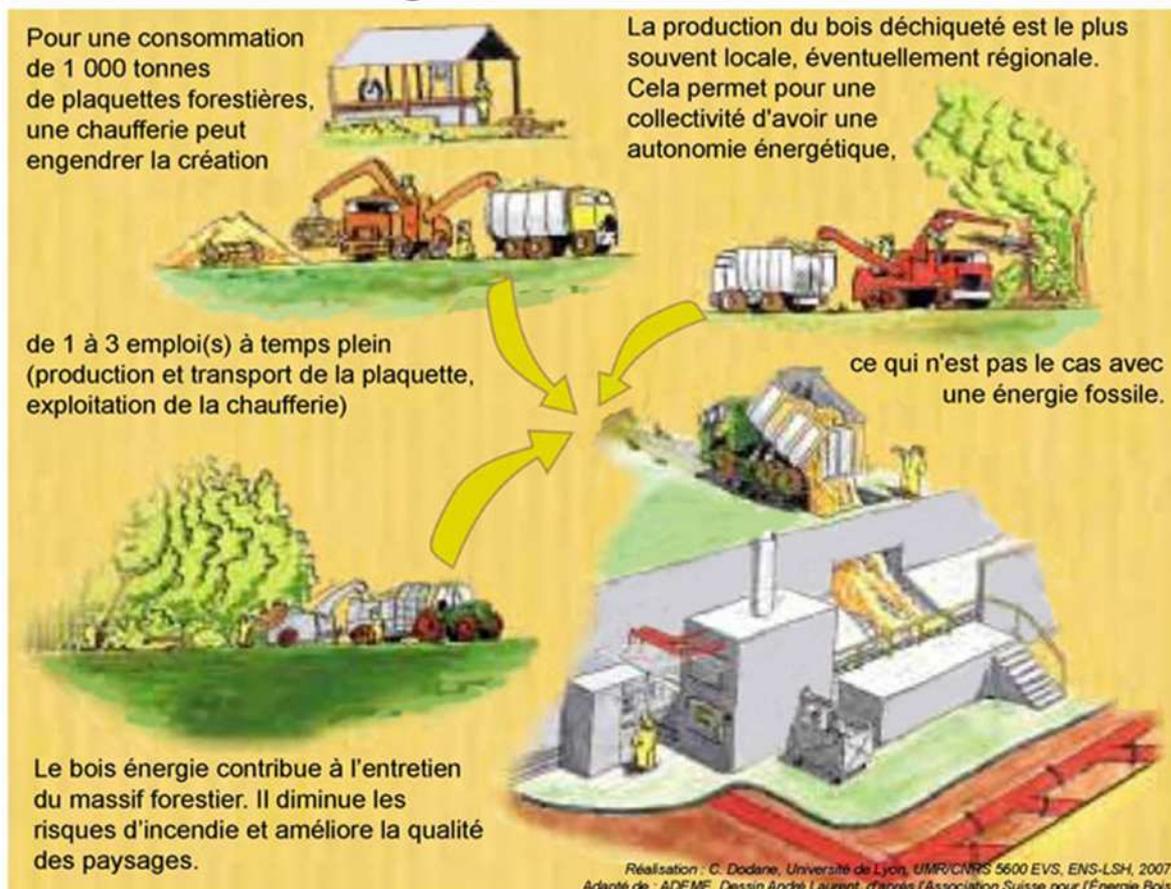
### **Les logiques de développement de la plaquette forestière**

Face aux politiques publiques d'encouragement (Grenelle de l'environnement, assises de la forêt, Fonds Chaleur, Loi sur la Modernisation Agricole...), et au changement de paradigme lié à une approche « industrielle » de la production de la plaquette forestière, il faut garder à l'esprit que le développement de la plaquette forestière pour l'énergie doit se réaliser en respectant :

- Une logique de **multifonctionnalité** : le bois énergie n'est que rarement la seule valorisation d'un peuplement forestier, et les chantiers de production de plaquettes forestières doivent s'inscrire dans la multifonctionnalité de la forêt et des usages du bois,
- Une logique de **durabilité** : le bois énergie en forêt est une ressource aujourd'hui disponible et globalement abondante, mais présentant une très forte variabilité d'une région à l'autre. La question des conditions de durabilité de filière « plaquette forestière » est de fait légitime car le bois pour l'énergie ne doit pas amputer le capital, et la part des énergies fossiles substituables par le bois sans mettre la forêt en danger, restera limitée.

- Une logique **d'utilisation et de valorisation optimales des bois** : le prélèvement bois énergie en forêt doit rester majoritairement une valorisation ultime du bois matériau car la gestion forestière a pour objectif sylvicole et économique principal, de produire du bois d'œuvre et du bois d'industrie. Le bois énergie est donc dépendant pour une bonne part de la santé et du développement du marché du bois d'œuvre.
- Une logique **économique de la filière** : le bois énergie ne sortira de la forêt que si l'équation économique de mobilisation, de récolte et de production convient autant au propriétaire forestier qu'au client final (la chaufferie), tout en assurant un revenu aux entreprises forestières. La plaquette forestière représente une opportunité pour dynamiser la gestion forestière et la mise en marché des bois. Si le BE est dépendant en partie de la filière BO, inversement la production de bois énergie en forêt peut, dans certains cas, représenter la principale ou la seule valorisation possible d'une intervention forestière dans le temps ou dans l'espace (à un moment donné ou sur un peuplement donné).
- Une logique **d'efficacité énergétique** : la mobilisation de l'énergie bois ne doit pas être source de gaspillage ou de surconsommation d'énergie fossile (ex transport). Le développement de cette filière doit s'inscrire dans une logique d'efficacité énergétique (scénario négaWatt) mais également d'efficacité territoriale et globale de la ressource utilisée.

## Le bois-énergie, de la forêt à la chaufferie



Source : C. Dodane, ADEME



## **Comment utiliser ce manuel ?**

Ce manuel a pour ambition d'apporter des réponses à l'ensemble des acteurs et observateurs qui se questionnent sur ce sujet :

- propriétaires forestiers qui espèrent une filière de diversification et redoutent tout en même temps une trop faible valorisation de leur bois,
- gestionnaires forestiers qui s'interrogent sur les marchés et la gestion sylvicole associée,
- environnementalistes qui craignent une surexploitation des massifs forestiers,
- entreprises forestières qui souhaitent un développement effectif de la plaquette forestière
- chauffagistes et industriels qui recherchent une visibilité et une organisation des acteurs
- collectivités et maitres d'ouvrage de chaufferies qui hésitent à investir dans des projets bois énergie, notamment ceux devant consommer de la plaquette forestière.

A travers les 6 chapitres du manuel, chaque catégorie d'acteurs pourra trouver des réponses, des pistes de réflexions et des références à ses principales questions. Les questionnements (page suivante) ont été regroupés par public cible et renvoient aux chapitres concernés. Ils ont été formulés à partir d'une consultation préalable sur les attentes des représentants des principales catégories d'acteurs cités ci-dessus.

**Avertissement : Ce manuel est spécifiquement destiné à la production de plaquettes forestières à partir de forêt, il ne concerne pas :**

- les systèmes de production de plaquettes bocagères,
- les cultures énergétiques dédiées type taillis à courte rotation
- les plaquettes issues de déchets verts et les plaquettes urbaines

## Questionnements par public cible et renvois aux chapitres concernés



### Questionnements des propriétaires

- Quels sont mes intérêts à produire du bois énergie sur ma propriété forestière ?
- Quelles sont les conséquences sur mon peuplement forestier de la production de bois énergie en fonction des caractéristiques de mes parcelles ?
- Quels sont les critères à prendre en compte pour connaître le potentiel de production de mes parcelles ?
- Comment s'effectue le calcul de ma rémunération du bois énergie exploité sur ma parcelle ?

Chap. 2  
& 3



### Questionnements des gestionnaires

- Comment planifier et organiser les récoltes et ventes de bois ayant vocation de production de bois énergie ?
- Quand est-il opportun de conseiller aux propriétaires une production de bois énergie ? Quels sont les critères économiques, environnementaux et sociaux à considérer pour mener mon analyse d'opportunité ?
- Quel est le fonctionnement de la filière bois énergie et comment s'insère-t-elle dans la filière bois existante ? Comment dois-je l'appréhender pour en faire profiter au mieux le capital forestier de ma forêt ?

Chap. 2  
& 3



### Questionnements des entreprises forestières et structures de commercialisation associées

- Quelle rentabilité espérée d'une production de plaquettes forestières selon le type de coupe ?
- Quels sont les différents itinéraires par type de peuplements et matériels ?
- Quels sont les types de matériels pour la production et l'approvisionnement en plaquettes forestières ?
- Quels sont les différents systèmes pour stocker et sécher des plaquettes forestières ?
- Comment produire des qualités différentes et quelles qualités de plaquettes forestières ?
- Comment déterminer ses coûts et vendre de la plaquette forestière ?
- Comment organiser le transport et la livraison aux chaufferies avec ou sans plateforme ?

Chap. 3  
& 4

Chap. 1  
& 5



### Questionnements des chauffagistes

- Comment mutualiser des approvisionnements forestiers à partir d'un certain tonnage ?
- Puis-je sécuriser un rayon d'approvisionnement limité pour satisfaire mes besoins en Plaquettes Forestières ?
- Dois-je faire appel à un négociant spécialisé ou à un ou plusieurs producteurs de plaquettes forestières ?
- Comment contractualiser et indexer mes achats en plaquettes forestières ? Comment vérifier l'origine ?

Chap. 1  
& 6



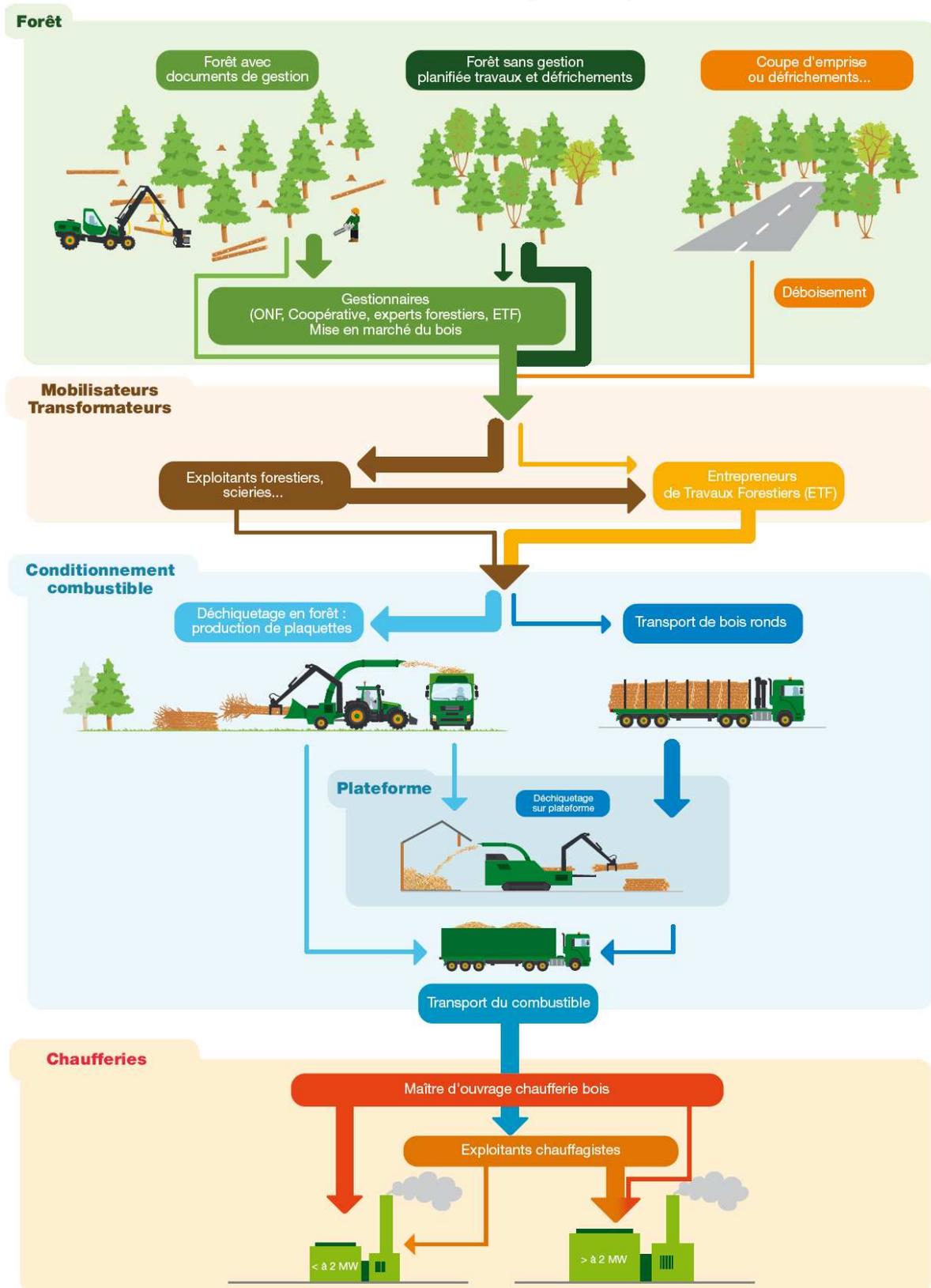
### Questionnements des maîtres d'ouvrages publics

- Comment acheter mon combustible plaquette forestière (mode d'achat, contrat, indexation) ?
- Quel impact attendu d'un approvisionnement en plaquette forestière sur les forêts du territoire ? puis-je maîtriser les circuits du bois sur mon territoire ?
- Le bois et les forêts de mon territoire conviennent-ils pour du BE ? dois-je l'acheter sec ?
- Quelle est la performance environnementale d'un approvisionnement en plaquettes forestières ?
- Dois-je me doter d'une plateforme BE pour sécuriser mes approvisionnements en plaquettes forestières ?

Chap. 1,  
2 & 6

# Itinéraire d'approvisionnement en plaquette forestière

Flux direct ou indirect (plateforme)



*Source : F.E.R – FNEDT – Coudert - Illustration : A. Vallée*

## Contenu

Préambule

Chapitre 1- Caractérisation de la plaquette forestière pour l'énergie.....	15
1.1- Qu'est-ce que la plaquette forestière ? .....	15
1.1.1/ Définition et origine .....	15
1.1.2. Comment sont produites les plaquettes ? .....	18
1.2- Paramètres de qualité de la plaquette forestière pour une utilisation en énergie .....	20
1.2.1/ Granulométrie .....	21
1.2.2/ Taux d'humidité .....	21
1.2.3/ Densité et masse volumique apparente.....	23
1.2.4/ Composition, éléments minéraux et taux de cendre.....	24
1.2.5/ Contenu énergétique ou pouvoir calorifique de la plaquette bois.....	25
1.2.6/ Peut-on faire du bois énergie avec toutes les essences ?.....	26
1.3- Normes, classification et chartes des combustibles bois déchiquetés .....	28
1.3.1/ Quelles normes pour les plaquettes forestières destinées aux chaufferies bois ? .....	28
1.3.2/ La classification CIBE des combustibles en produits usuels pour chaufferie bois .....	29
1.3.3/ Les chartes qualité .....	30
Chapitre 2- Ressources forestières, gisements et disponibilités pour le bois énergie en forêt.....	32
2.1- La forêt française, une source importante d'énergie renouvelable .....	32
2.1.1/ Historique de l'évolution de la contribution énergétique de la forêt française .....	32
2.1.2/ Quelle est la place du bois énergie en France ? .....	33
2.1.3/ Quelles parties de l'arbre sont utilisables pour du bois énergie ?.....	35
2.2- Quantification des gisements et prévisionnels de récolte.....	37
2.2.1/ Evolution des superficies forestières .....	37
2.2.2/ Production biologique et disponibilité forestière .....	38
2.2.3/ Les études de gisements à l'échelle nationale : des ressources mais des incertitudes sur les récoltes .....	40
2.2.4/ Planifier le gisement disponible à l'échelle d'une forêt : des outils mais un exercice incertain.....	42
2.3- L'intégration de la récolte de bois énergie dans une gestion durable de la forêt française .....	44
2.3.1/ Un savoir-faire de gestion forestière qu'il faut étendre à de nouveaux massifs .....	44
2.3.2/ Une diversité d'interventions forestières permettant la récolte du bois énergie .....	46

2.3.3/ <i>Quels sont les points de vigilance environnementaux de la récolte de plaquettes forestières ?</i> .....	48
2.4- Le bois énergie dans les politiques forestières et territoriales .....	58
2.4.1/ <i>Les outils de structuration et de développement intégré de la filière bois</i> .....	58
2.4.2/ <i>Cadre politique réglementaire et technico-économique pour la mobilisation de bois</i> .....	61
2.4.3/ <i>Une diversité des aides à la mobilisation du bois énergie</i> .....	63
2.5- La valorisation de bois énergie dans un massif forestier .....	64
2.5.1/ <i>A qui s'adresser pour valoriser du bois énergie en forêt ?</i> .....	64
2.5.2/ <i>Chaque forêt présente un « profil énergétique » qui évolue dans le temps</i> .....	65
2.5.3/ <i>Les différents modes de vente du bois énergie</i> .....	66
Chapitre 3- Principes généraux de la production de la plaquette forestière .....	70
3.1- Etapes de la production et les matériels .....	70
3.2- Principes d'optimisation de la production .....	85
3.3.- Coûts « entreprise » des opérations de production de plaquette forestière .....	89
3.3.1/ <i>Méthode de calcul des coûts</i> .....	89
3.3.2/ <i>Coûts des matériels et des opérations</i> .....	91
Chapitre 4- Itinéraires et coûts de production de plaquettes forestières .....	95
4.1.- Paramètres généraux des itinéraires de récolte .....	95
4.2- Fiches détaillées par itinéraire et coûts de production .....	96
IT1- Travaux d'entretien dans des jeunes peuplements .....	98
IT2- Premières éclaircies .....	101
IT3- Balivage de taillis .....	104
IT4- Eclaircies secondaires en futaies résineuses .....	106
IT5- Eclaircies dans un mélange de futaies feuillues avec du taillis .....	109
IT6- Eclaircies en futaies jardinées de montagne .....	112
IT7- Récolte de cimes de peupliers .....	114
IT8- Coupe définitive en peuplement résineux mature .....	117
IT9- Coupe rase d'un peuplement pauvre .....	120
IT10- Coupe rase de taillis feuillu mature ou dépérissant .....	123
Cas particulier 1 : Peuplements résineux semi-dédiés .....	125
Cas particulier 2 : travaux de défrichage ou débroussaillage .....	126
Cas particuliers 3 : dessouchage .....	127
Tableau récapitulatif des opérations types possibles par itinéraire .....	130
4.3.- Quelques données et sources de référence sur les coûts de production .....	131

Chapitre 5- Stockage, séchage, conditionnement et livraison.....	138
5.1- Le processus naturel de séchage de la plaquette humide en tas .....	138
5.2- Quel intérêt à stocker et sécher le bois en forêt ?.....	140
5.3- Le conditionnement sur plateforme .....	143
5.4- Quels sont les coûts de ces opérations .....	149
5.4.1/ Coûts du stockage -séchage .....	149
5.4.2/ Coûts de livraison - transport.....	153
Chapitre 6- Approvisionnement en plaquettes forestières des chaufferies bois .....	156
6.1- Les prix des combustibles « plaquettes forestières » .....	156
6.1.1/ Ce que recouvre la notion de prix du bois énergie pour les plaquettes forestières .....	156
6.1.2/ Les indices de prix du bois énergie CEEB .....	159
6.1.3/ Les prix de combustibles bois associant des matières premières de différentes origines	160
6.2- Consommation de combustible selon le type de chaufferies bois .....	162
6.3. Modes d'approvisionnement et fournisseurs .....	165
6.3.1/ Les modes d'approvisionnements en plaquettes forestières des chaufferies.....	165
6.3.2/ Qui sont les fournisseurs de plaquettes forestières ?.....	166
6.3.3. Quels sont les différents cas de circuit court ? .....	171
6.3.4. Place des producteurs forestiers, propriétaires privés et collectivités, dans l'approvisionnement des chaufferies bois .....	173
6.4- La sécurisation technique et contractuelle des approvisionnements en chaufferie .....	178
6.4.1/ Comment intégrer le circuit court dans un marché public de fourniture ?.....	178
6.4.2/ Contrat et mode de facturation .....	180
6.4.3/ Indexation contractuelle des prix du combustible .....	183
6.4.4/ Contrôle qualité.....	185
6.4.5/ Le suivi et la traçabilité des bois forestiers en chaufferie bois.....	190

Acronymes et sigles

Glossaire des termes techniques

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Unités, équivalences et conversion

Annexe 2 : Qui fait quoi dans le bois énergie ? à qui s'adresser ?

Annexe 3 : Matériels et équipements pour la production de plaquettes forestières

Annexe 4 : Références bibliographiques sur les itinéraires technico-économiques de production de plaquettes forestières

## Chapitre 1- Caractérisation de la plaquette forestière pour l'énergie

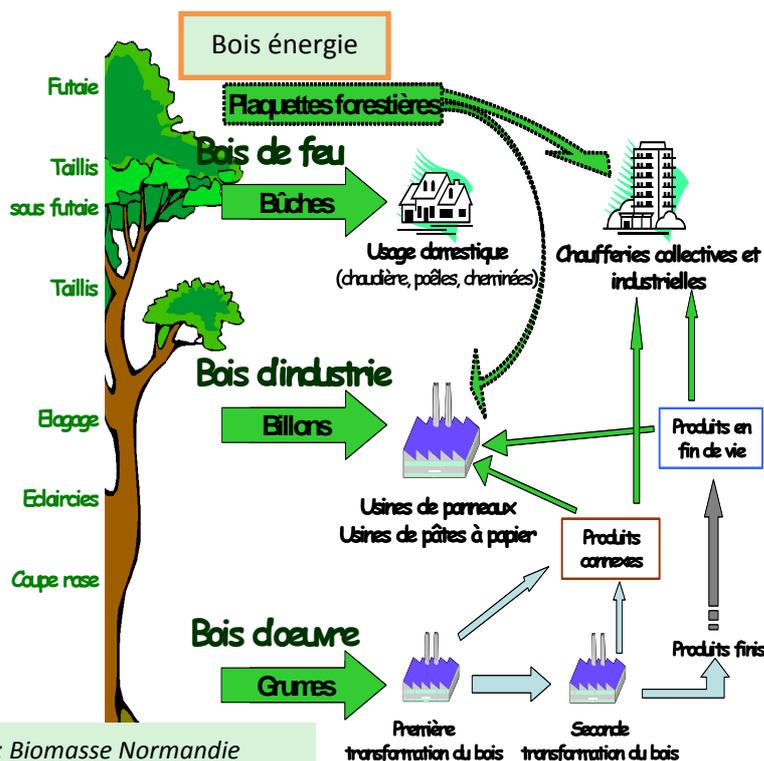
### 1.1- Qu'est-ce que la plaquette forestière ?

#### 1.1.1/ Définition et origine

Définition de la plaquette forestière : Il s'agit de petits morceaux de bois obtenus par broyage ou déchiquetage de tout ou partie de végétaux ligneux issus de peuplements forestiers et de plantations n'ayant subi aucune transformation (directement après exploitation).

Du fait de leur origine, les plaquettes forestières peuvent contenir des fragments de bois, d'écorce, de feuilles ou d'aiguilles.

La plaquette bois pour l'énergie peut avoir **plusieurs origines** : l'exploitation forestière et travaux sylvicoles (plaquette forestière), la scierie (plaquette de scierie), l'entreprise de récupération de bois en fin de vie (broyat bois de recyclage), l'élagage urbain (plaquettes urbaines), l'exploitation des haies bocagères (plaquettes bocagères), la récupération des déchets verts (refus de crible).



Source : Biomasse Normandie

On distingue la plaquette forestière des autres combustibles bois déchiquetés par son origine directement issue de la forêt, produit de l'exploitation forestière, sans passer par un processus de transformation ou une filière de valorisation. Dans l'ensemble de la chaîne d'activité de la filière forêt-bois, la plaquette forestière est ainsi le premier combustible produit par la chaîne de valeur. Les autres combustibles bois déchiquetés (plaquettes de scierie, écorces, refus de crible et plaquettes

urbaines, broyats bois fin de vie ...) sont des sous-produits d'activités de transformation ou d'exploitation secondaire.

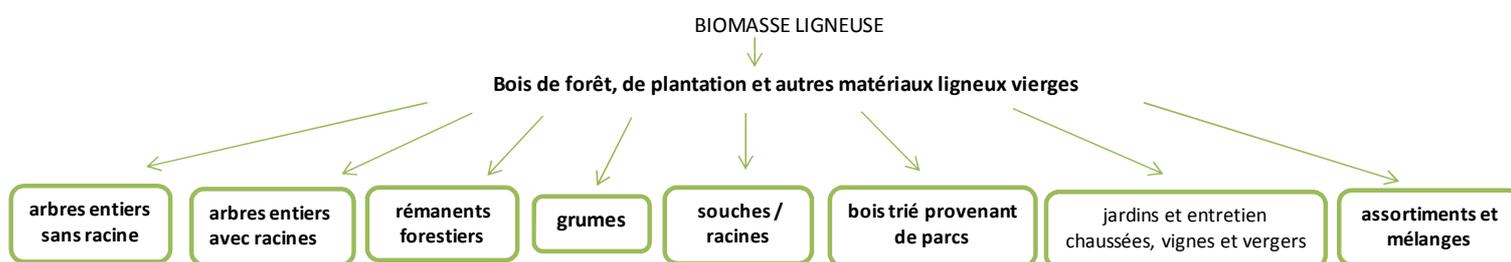
Le broyage ou le déchiquetage des plaquettes forestières peut se réaliser en forêt, en bord de parcelle, sur place de dépôt, sur aire de stockage ou directement à l'entrée de la chaufferie et/ou de l'unité de transformation (voir chapitres suivants).

### Ne pas confondre plaquette forestière et BRF

Les Bois Raméaux Fragmentés (BRF) sont le résultat du broyage frais de rameaux et petites branches vertes (non desséchées) d'un diamètre inférieur à 7 cm avec ou sans feuilles. Les branches sont issues d'essences d'arbres feuillus en majorité. Ce broyat est destiné à être appliqué au sol (paillage) en vue de le fertiliser.

La plaquette forestière utilise le bois pour l'énergie, le BRF le bois pour la fertilité.

La biomasse ligneuse **issue des arbres, arbustes et buissons** est l'un des 4 groupes de biocombustibles solides répertoriés au niveau européen (biomasse ligneuse, biomasse agricole, biomasse fruitière, assortiments et mélanges) selon la classification du Comité Européen de Normalisation (CEN / TC335).



Pour être considéré comme biocombustible solide, « le bois de forêt, de plantation et autres matériaux ligneux vierges de ce groupe peuvent avoir subi uniquement une réduction granulométrique, un écorçage, un séchage ou un mouillage »

### le référentiel ADEME « plaquettes forestières »

(référentiels combustibles bois énergie : définition et exigences. ADEME, 25 avril 2008

Réalisé en 2008 par le FCBA pour le compte de l'ADEME, ce référentiel est issu du référentiel européen CEN/TC335 avec pour objectif de faciliter l'utilisation de plaquettes et broyats de bois dans les installations de combustion (et gazéification) au niveau national. Il distingue 3 référentiels « produits » par nature ou origine : plaquettes forestières (PF), Connexes des industries du Bois (CIB), Bois en Fin de Vie (BFV). Selon l'ADEME, le référentiel « plaquettes forestières » peut aussi s'appliquer au bois d'origine bocagère et bois d'origine urbaine tels les bois d'élagage urbains.

Ce référentiel est utilisé comme outil de définition et de traçabilité des plans d'approvisionnements des chaufferies de forte puissance (BCIAT, appel à projet Fonds Chaleur). Il fait référence aux mêmes critères normatifs et informatifs que les normes européennes actuellement aujourd'hui homologuées (voir ci-dessous au 1.3.)

Téléchargez les 3 référentiels produits sur le site de l'ADEME : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

On peut qualifier 3 types de plaquettes selon leur origine directe ou indirecte de la forêt :

- **La plaquette verte**, obtenue à partir de billons, perches ou rémanents d'exploitation forestière comportant encore leur écorce, leurs branches et parfois leurs feuilles ou aiguilles. Cette plaquette forestière, en provenance directe de la forêt, est utilisée en énergie mais aussi en compost et en paillage.



- **La plaquette grise**, issue de bois ébranché, sans feuille ou aiguille, mais non écorcé. Il peut s'agir de bois rond, billon et bois toute longueur ressuyé en forêt ou bord de piste, ou encore de refus de sciage (culée, pointe, bois mal conformé, ...). Le débouché essentiel est l'industrie du panneau et l'énergie. Elle est également qualifiée de plaquette forestière.



- **La plaquette blanche (ou plaquette de scierie)**, contrairement aux précédentes est un sous-produit de sciage obtenu en scierie à partir de bois préalablement écorcé. Son débouché principal est la papeterie qui exige un taux d'écorce très faible (1 à 2%). Elle tend également à être de plus en plus utilisée par l'industrie du granulé de bois.



***Une plaquette issue de scierie peut-elle être considérée comme plaquette forestière ?***

Une plaquette bois issue de scierie fait partie du référentiel ADEME « connexes des industries du bois » lorsqu'il s'agit de sous-produits issus du process de la scierie, à savoir : écorces, sciures, copeaux, plaquettes et broyats, dosses, délignures, chutes de tronçonnage, chutes de production de merrain, etc...

Par contre, les purges, pointes, culées, surbilles et autres rémanents d'exploitation forestière ramenés en scierie par l'exploitant-scieur mais non utilisés en sciage peuvent être qualifiés de plaquettes forestières une fois passés dans un déchiqueteur.

Dans ce cas, la distinction d'origine est davantage politique que technique, car elle a pour but essentiel de mieux identifier les concurrences d'usage, c'est-à-dire de tracer la plaquette forestière qui impacte directement sur la gestion forestière de celle qui n'est qu'un sous-produit des bois déjà exploités en sciage.

Les plaquettes forestières peuvent être commercialisées sous **2 formes** :

Les plaquettes de bois  
(bois déchiquetés)

*bois découpé à l'aide de couteaux tranchants  
(sur disque ou tambour)*



En règle générale, les plaquettes forestières sont obtenues par une déchiqueteuse à couteaux (disque ou tambour avec contre-couteaux). Toutefois elles peuvent également être produites par un broyeur qui va produire du bois défibré

*Photos : R. Grovel*

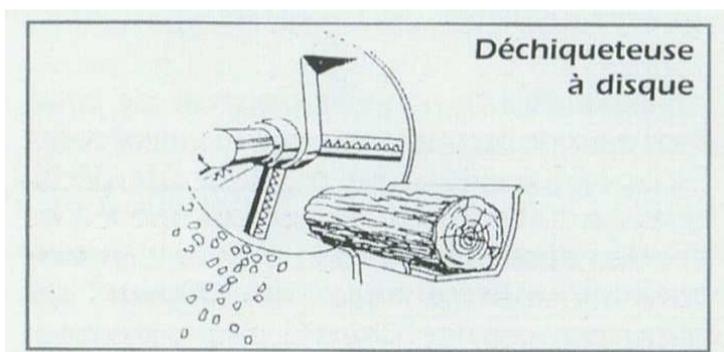
Les broyats de bois  
forestiers

*bois broyé à l'aide d'outils émoussés,  
de type marteau ou ergots*



### 1.1.2. Comment sont produites les plaquettes ?

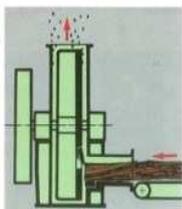
Le déchiquetage est une opération de « tranchage » du bois en petites plaquettes plus ou moins perpendiculaires à la fibre du bois, réalisée par des couteaux disposés sur un disque ou sur un tambour. Les bois, grumes, perches ou branches, sont généralement avalés dans une déchiqueteuse par un ou plusieurs rouleaux d'entraînement et poussés vers les couteaux montés soit sur un volant (disque) soit sur un cylindre (tambour). Une « tranche » de bois est découpée à chaque passage de couteau et évacuée sous l'effet de la force centrifuge et de la ventilation créée par le rotor ou le disque en mouvement.



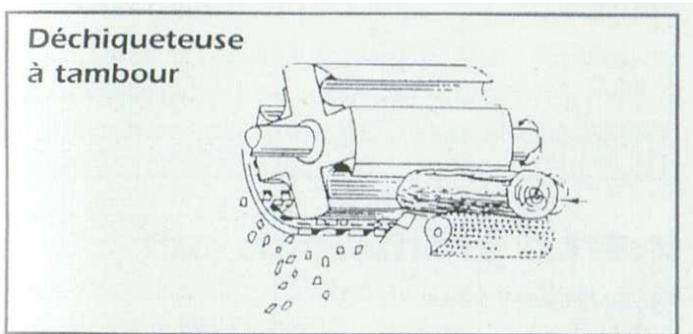
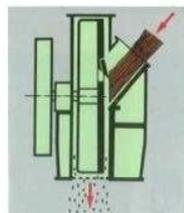
Un disque comporte plusieurs couteaux radiaux (2 à 6 selon les modèles) et des orifices munis de « peignes » ou « éclateurs ». Lors du passage d'un couteau au niveau du bois à déchiqueter, une « tranche » est sectionnée. Sous l'effort de compression, cette dernière traverse l'orifice en se fractionnant sur les

éclateurs et est ensuite éjectée par la goulotte de la machine.

Déchiqueteuse à disque à entrée perpendiculaire



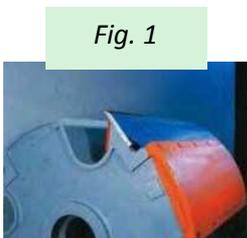
Déchiqueteuse à disque à entrée oblique



Un tambour est un cylindre équipé de 2 à 4 couteaux longitudinaux sur la toute largeur du rotor (fig 1) ou de 10 à 12 couteaux décalés (en hélice ou en quinconce fig 2) selon les modèles, le diamètre du tambour et du bois admissible. Dans le cas de rotor plein, les cavités destinées à recevoir les « tranches » de bois coupées lors de

chaque rotation et passage de couteaux. Ces cavités comportent des sortes de nervures qui jouent le rôle de fragmenteurs des « tranches ».

Des contre-couteaux sont fixés sur le châssis et une grille de calibrage (interchangeable) est montée derrière le rotor ou à l'entrée de la goulotte d'éjection des plaquettes, obligeant ainsi les tranches non calibrées à se fragmenter.



Exemples de tambours à couteaux

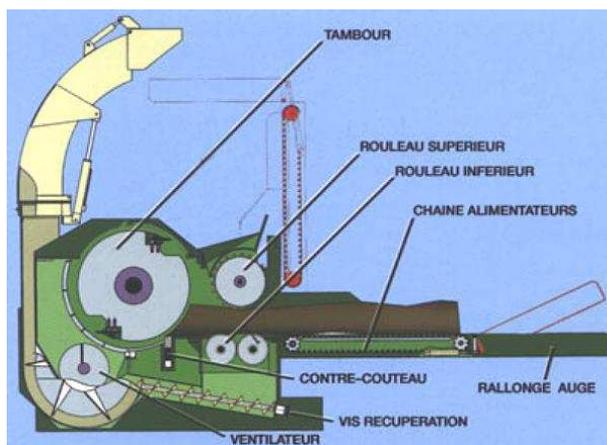
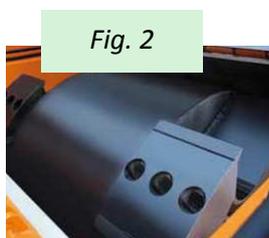


Schéma d'une déchiqueteuse à tambour (source : Pezzolato)

A vitesse de rotation et d'alimentation constantes, indépendamment de tout autre réglage, plus il y a de couteaux et plus la granulométrie du combustible est fine.

Quels sont les produits de cette opération de déchetage ?

Une opération de déchetage va produire des « plaquettes » de différentes tailles. Le produit du déchetage du bois est constitué :

- d'un volume majoritaire de plaquettes calibrées (selon la grille choisie), appelée fraction principale,
- d'un taux réduit de plaquettes de dimension supérieure à la moyenne, appelée fraction grossière,
- et d'un pourcentage limité de fines et poussières (voir ci-dessous § 1.2.1 granulométrie).

Dans le cas de broyeurs à disque où les tranches de bois passent à travers le disque pour être éjectées, la séparation des fibres ("refente") des fragments et de décollage des cernes (qui détermine l'épaisseur de la plaquette) sont alors aléatoires. Sur ces broyeurs à disques seul un peigne permet d'éliminer les surlongueurs qui sont perdues et ne repassent pas dans le broyeur.

Dans le cas de broyeurs à rotor équipé d'une grille de calibrage, la longueur de la plaquette est toujours déterminée par la vitesse d'avancement du rouleau d'amenée, et la largeur peut être maîtrisée (au moins en limite supérieure) par la forme et la taille des orifices de la grille (qui joue le rôle de tamis et d'éclateur). L'épaisseur de la plaquette dépendra de l'essence, de l'état de fraîcheur du bois mais aussi du mode d'éjection (soufflerie, tapis, pales ou vis) et du couple vitesse/inertie de l'éjection.

Couteaux amovibles pour déchiqueteuse à tambour

Tranche, décollage des cernes et fragmentation des plaquettes



Photos : F. Pasquier

Les « queues de déchiquetage » ou sur-longueurs : elles sont produites lorsque les couteaux et/ou les contre-couteaux ne sont plus suffisamment affûtés, sont mal réglés ou usés, ainsi que dans le cas de bois de petits diamètres (branches) où l'angle d'attaque du couteau n'est pas optimal et la fibre n'est pas tranchée perpendiculairement. Ce phénomène est notamment observé sur certaines essences présentant des écorces laniérées telles que le peuplier, le châtaignier, le tilleul ou le saule, et tous les bois de petite section (bocage, alignements urbains... ). Cela peut aller, en raison de la proportion de fins bouts, jusqu'à la formation de nids de pie (effet balistique / stratification d'éjection dans la remorque).



Grille de calibrage

## 1.2- Paramètres de qualité de la plaquette forestière pour une utilisation en énergie

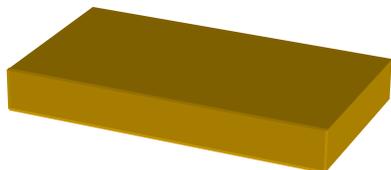
La **qualité** de la plaquette bois pour l'énergie (forestière ou non) fait référence à ses propriétés combustibles, à la fois énergétiques (contenu énergétique, qualité combustion) et mécaniques (taille/dimensions, fluidité, régularité/homogénéité, forme fibreuse ou non). **La qualité d'une plaquette est à rapporter directement à un usage en chaufferie bois, selon le couple technologie-puissance (voir typologie CIBE ci-dessous et chapitre 5).**

**Ainsi la qualité de la plaquette** n'est pas dépendante de son origine forestière, mais de ses caractéristiques obtenues après transformation et préparation. Ces caractéristiques qui influent directement ou indirectement sur son contenu énergétique et son utilisation en chaufferie, sont :

- La granulométrie (dimensions)
- Le taux d'humidité (sur masse brute ou sur masse anhydre)
- La densité ou masse volumique apparente (fonction de la catégorie d'essence : feuillus durs, feuillus tendres, résineux)

- La composition élémentaire (fraction organique et matières minérales) : présence ou non de feuilles, aiguilles, écorces

### 1.2.1/ Granulométrie



La granulométrie donne une indication sur la taille des morceaux de bois qui constituent le combustible. La granulométrie influence la masse volumique apparente. La taille et la forme influent non seulement sur la manipulation du combustible et son utilisation en chaufferie automatique (en particulier dans les petites puissances), mais aussi sur ses propriétés de combustion. Si les gros morceaux sont susceptibles de provoquer des blocages dans les systèmes d'alimentation de la chaudière, la qualité de la combustion dépend de la surface d'échange entre l'air et les particules : en conséquence il faut des particules à surface d'échange importante.

La normalisation européenne CEN/TC335 (voir 1.3) définit les classes de granulométrie (P) suivantes pour les plaquettes de bois selon 3 grandeurs (fraction principale, fraction fine, fraction grossière) :

	Fraction principale (minimum 75 % en masse) mm <sup>a</sup>	Fraction fine, % en masse (< 31,5 mm)	Fraction grossière (% en masse) (longueur max. des particules, mm) <sup>b</sup>
P16A <sup>c</sup>	3,15 ≤ P ≤ 16 mm	≤ 12 %	≤ 3 % > 16 mm et toutes < 31,5 mm
P16B <sup>c</sup>	3,15 ≤ P ≤ 16 mm	≤ 12 %	≤ 3 % > 45 mm et toutes < 120 mm
P45A <sup>c</sup>	8 ≤ P ≤ 45 mm	≤ 8 % <sup>b</sup>	≤ 6 % > 63 mm et au maximum 3,5 % > 100 mm, toutes < 120 mm
P45B <sup>c</sup>	8 ≤ P ≤ 45 mm <sup>b</sup>	≤ 8 % <sup>b</sup>	≤ 6 % > 63 mm et au maximum 3,5 % > 100 mm, toutes < 350 mm
P63 <sup>c</sup>	8 ≤ P ≤ 63 mm <sup>b</sup>	≤ 6 % <sup>b</sup>	≤ 6 % > 100 mm, toutes < 350 mm
P100 <sup>c</sup>	16 ≤ P ≤ 100 mm <sup>b</sup>	≤ 4 % <sup>b</sup>	≤ 6 % > 200 mm, toutes < 350 mm

Pour les **bois broyés (défibrés)**, il faut rajouter les classes P125, P200, P300

<sup>b</sup> Pour les plaquettes de rémanents forestiers qui comprennent des particules fines provenant d'aiguilles, de feuilles et de rameaux, la fraction principale est de 3,15 ≤ P ≤ 45 mm pour P45B, de 3,15 ≤ P ≤ 63 mm pour P63 ainsi que pour P100 et la quantité de fines (< 3,15 mm) peut être de 25 % en masse au maximum.

<sup>c</sup> Les classes de propriété P16A, P16B et P45A concernent des installations non industrielles et les classes de propriété P45B, P63 et P100 concernent des installations industrielles.

L'aire de la section transversale des particules surdimensionnées doit être < 1 cm<sup>2</sup> pour P16, < 5 cm<sup>2</sup> pour P45, < 10 cm<sup>2</sup> pour P63 et < 18 cm<sup>2</sup> pour P100

La granulométrie est contrôlée selon les normes européennes EN 15149-1 et EN 1549-2 au moyen de tamis (voir chapitre 5).

A retenir : La combustion est optimisée avec des granulométries moyennes (P 45, P63) qui permettent un mélange idéal entre le combustible « plaquette » et l'air comburant qui pénètre dans la masse de bois en ignition. Par contre un taux élevé de fines peut induire une mauvaise combustion avec une augmentation du taux de particules dans les fumées et un risque lié aux escarbilles.

### 1.2.2/ Taux d'humidité

Facteur déterminant de l'utilisation du bois comme combustible, le taux d'humidité est celui qui influence le plus le pouvoir calorifique du bois. Plus un bois est humide, plus son pouvoir calorifique est bas (voir ci-dessous). Attention, contrairement aux professionnels de la filière bois qui raisonnent en taux d'humidité sur masse anhydre (E), pour le bois-énergie on

raisonne en **taux d'humidité sur brut** ou humidité relative (H), qui est exprimé en pourcentage du poids brut (masse d'eau contenue/masse brute du bois humide) :

$$H = 100 \times \frac{Pb - Pa}{Pb}$$

*H est le taux d'humidité sur masse brute*  
*Pb est le poids de l'échantillon humide*  
*Pa est le poids de l'échantillon anhydre*

Taux moyen d'humidité observé	tx humidité sur brut (%)
plaquettes forestières vertes	40-60
plaquettes forestières ressuyées	35 - 40
plaquettes forestières stockées /séchées à l'abri	18-30
plaquettes de scieries	30-50
plaquettes de sous produits menuiserie	7-20
bois bûche stocké 1 à 2 ans	15-25
broyats de bois de rebut / palettes	7-17

Formule liant les notions d'humidité sur masse brute (H) et d'humidité sur masse anhydre (E)

$$H = E \times \frac{100}{100 - E}$$

$$H 20\% = E 25\%$$

$$H 30\% = E 43\%$$

$$H 50\% = E 100\%$$

La normalisation européenne CEN/TC335 (voir 3.1.) définit des classes d'humidité (M), exprimées en % de masse brute à réception, de M10 (humidité ≤ 10 %) à M55 (humidité ≤ 55 %) par classe de 5% : M10, M15, M20,.... Jusqu'à M55+

### Le séchage du bois :

La teneur en eau des arbres sur pied varie de 40 à 60% d'humidité sur masse brute selon les essences, l'âge, la partie de l'arbre considérée et la saison. L'opération de séchage consiste à réduire la part de l'eau du bois pour satisfaire les caractéristiques d'un combustible admissible en chaufferie bois. Selon le taux d'humidité le bois peut se présenter sous différents états physiques liés à l'eau :

taux d'humidité sur brut	état physique du bois	caractéristiques de l'eau contenue dans le bois	forme de liaison entre l'eau et le bois
> 23 %	bois humide ou vert	eau libre	l'eau remplit les vides entre les cellules mais n'induit pas d'augmentation de volume
17 à 23 % 9 à 17 %	bois sec à l'air bois séché artificiellement	eau liée (eau de saturation)	l'eau contenue dans le bois est liée par réaction chimique à la cellulose des fibres et induit une augmentation de volume
0 à 9 %	bois desséché	eau de structure (eau de constitution)	

On ne peut descendre naturellement le taux d'humidité du bois en dessous de 18%. Lors du séchage naturel du bois l'eau libre est relativement aisée et rapide à extraire alors que l'eau liée ne se libère que plus difficilement et plus lentement (l'eau de structure ne peut être extraite que par dégradation du bois). On distingue ainsi 2 types de séchage :

- le séchage naturel, à l'air libre ou à l'abri, qui peut se réaliser en forêt ou sur plateforme, et qui consiste à laisser les phénomènes d'auto-échauffement se produire comme source de séchage
- le séchage artificiel pour lequel une énergie externe est utilisée pour sécher les plaquettes

La diminution du taux d'humidité du bois peut s'effectuer de plusieurs manières et à plusieurs stades d'élaboration de la plaquette :

- En forêt : sur parcelle, bord de piste ou sur place de dépôt, sous forme de bois et perches mis en tas ou sous forme de plaquettes déjà déchiquetées
- Sur plateforme avec ou sans hangar

A retenir : Selon la durée et la technique de séchage, le taux d'humidité décroît plus ou moins vite pour atteindre un plancher de l'ordre de 20%. Dans tous les cas, le taux d'humidité doit être adapté au cahier des charges de la chaufferie (voir chapitre 3 – séchage, stockage et chapitre 5 – contrôle humidité).

**Globalement on considère les taux d'humidité admissibles suivants selon le type de chaufferie bois :**

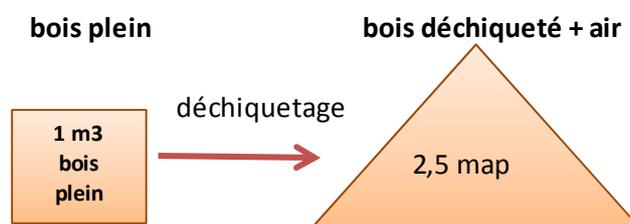
**entre 15 et 30%** : chaudières de toute puissance  
**entre 30 et 50%** : chaudières de puissance supérieure à 700 kW.  
**au delà de 50%** : chaudière de très forte puissance mais baisse importante des rendements de combustion.

### 1.2.3/ Densité et masse volumique apparente

*Ne pas confondre densité du bois plein (= masse volumique réelle d'un volume de bois plein) avec la masse volumique apparente*

La masse volumique apparente (kg/m<sup>3</sup>) correspond à la masse d'un m<sup>3</sup> apparent de plaquettes bois (appelé map) comprenant les vides remplis d'air entre les plaquettes de bois. Cette unité « **map** » n'est pas un paramètre normatif de la qualité des plaquettes, mais une mesure évaluative des volumes de stockage, et par conséquent des coûts de transport et des modalités d'ensilage et d'autonomie des silos (plus le combustible est foisonnant, plus il est onéreux et difficile à transporter et à stocker).

*Ex: 1 camion transportant 90 m<sup>3</sup> peut être chargé à 20 ou 26 tonnes soit 220 à 290 kg/map*



La masse volumique des plaquettes dépend de plusieurs paramètres:

- la granulométrie (plus les plaquettes sont grosses, plus il y a d'air dans le tas donc moins la masse est importante : voir en annexe la masse volumique selon le coefficient de foisonnement) ;
- le groupe d'essence : bois durs ou bois tendres (le hêtre, le chêne, le pin noir fournissent des plaquettes plus lourdes que le peuplier et la plupart des résineux à humidité égale) ;
- l'humidité, liée au degré de séchage du bois (en quelques mois, le bois peut perdre 20 à 30 % de sa masse par évaporation de l'eau libre) ;
- le tassement lors du conditionnement et des transports.

La masse volumique apparente varie ainsi de 150 kg/map à plus de 450 kg/map (voir tableaux en annexe). Cette unité est à mentionner lorsque le combustible bois déchiqueté est vendu au volume.

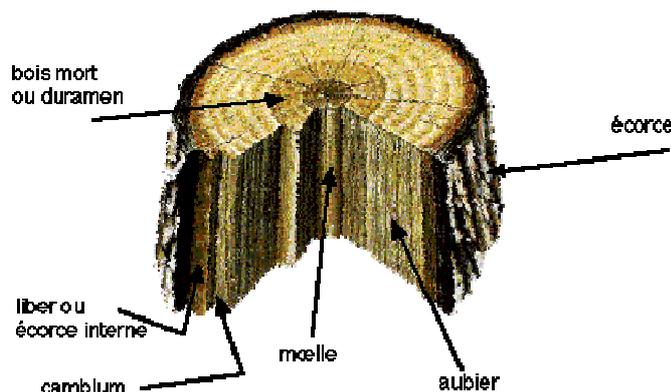
A retenir (pour une granulométrie moyenne donnée) :

	Masse volumique moy à 30% humidité	Masse volumique moy à 50% humidité
Bois tendres (résineux et quelques feuillus)	200 kg/map	300 kg/map
Bois durs (feuillus)	300 kg/map	400 kg/map

#### 1.2.4/ Composition, éléments minéraux et taux de cendre

Le bois est constitué principalement de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine, de résines, et autres composés carbonés, qui participent à la combustion en dégageant de l'énergie, ainsi que des éléments minéraux incombustibles qui se retrouvent dans les cendres, et de l'eau en proportion extrêmement variable. La composition élémentaire du bois, donc son contenu énergétique de base, diffère peu (moins de 10 %) d'une espèce à l'autre car la proportion de carbone et d'hydrogène des molécules hydrocarbonées varie également peu (C= 49%, H = 6%, O= 43%, N=1%, inertes = 1%) ;

Toutefois les travaux de recherche ont montré que le contenu en carbone peut varier de manière significative d'un peuplement forestier à un autre selon la partie de biomasse considérée (feuillage, branches vivantes, branches mortes, tronc, écorce, racines et souches, biomasse au sol).



**Le taux de cendre** constitue un indicateur de la qualité et de la composition de la plaquette en éléments minéraux. En effet la teneur en éléments minéraux varie selon les parties de l'arbre et les cendres concentrent ces minéraux contenus dans le combustible bois. Les écorces présentent un taux d'éléments minéraux de 3 à 10% tandis que l'aubier n'en contient que très peu (<2%). On retient un taux de cendre moyen de 1 à 2% de la masse anhydre pour le bois naturel.

En résumé, plus un combustible contient d'écorces et plus le bois issu d'exploitation forestière a été souillé par de la terre, du sable, des impuretés accrochées aux écorces, plus il va contenir d'éléments minéraux et plus le taux de cendres sera élevé. D'autre part ce taux de matières minérales, particulièrement sur certains types de combustible biomasse (eucalyptus, peuplier, mélanges souillés...), peut induire une fusibilité des cendres différente de celle attendue provoquant des dysfonctionnements dans les chaudières : colmatage des grilles et parois, corrosion, problème d'évacuation,...

La fusibilité des cendres est la température à laquelle les cendres fondent et s'agglomèrent en mâchefers.

### 1.2.5/ Contenu énergétique ou pouvoir calorifique de la plaquette bois

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS, exprimé en kWh/tonne) correspond à l'énergie produite par la combustion d'un combustible en prenant en compte la chaleur latente de vaporisation. La prise en compte du PCS n'a d'intérêt que si l'on brûle du bois dans une chaudière à condensation, ce qui n'est pas le cas en France jusqu'à présent. En pratique donc on n'utilise que le PCI au niveau de la chaufferie même si les laboratoires mesurent le PCS.

Le PCS du bois anhydre peut se déterminer simplement à partir de la teneur en Carbone (C%).

$$PCS = 108 \times C\% = 5400 \text{ kWh/tonne en moyenne}$$

**Le PCI (pouvoir calorifique inférieur, en kWh/tonne)** correspond à la quantité d'énergie produite par la combustion du combustible bois une fois que l'eau contenue dans ce combustible a été évaporée (hors chaleur latente de vaporisation). Ainsi lorsque l'humidité du bois augmente, le pouvoir calorifique d'un volume de bois diminue car l'eau contenue dans le bois doit être évaporée lors de la combustion.

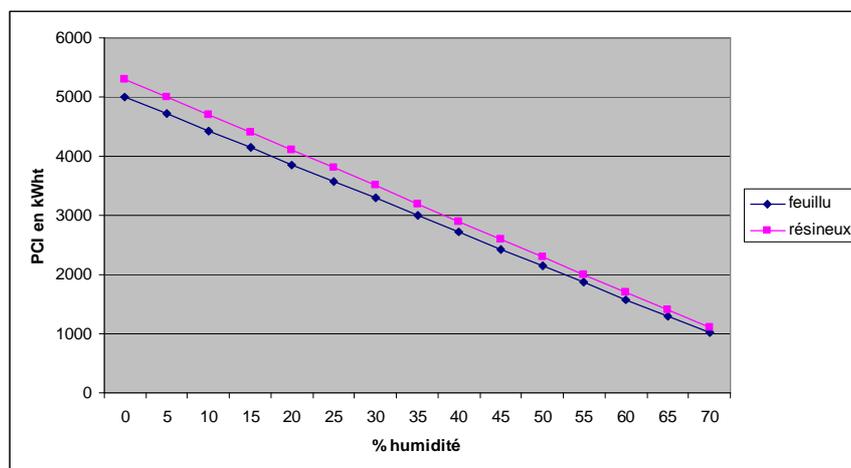
Le PCI du bois anhydre peut se déterminer à partir du PCS et de la teneur en Hydrogène (H%).

$$PCI = PCS - 60,5 \times H\% = 5000 \text{ kWh/tonne en moyenne}$$

**Le PCI dépend de l'essence (un peu) mais surtout de l'humidité du bois.**

Rapporté à la tonne, le PCI anhydre des bois résineux est en moyenne légèrement supérieur (+5%) à celui des feuillus (teneur plus faible en carbone).

Le bois standard présente un PCI anhydre de **5100 kWh/t** ou **18,3 MJ/kg** (Neuenschwander et al 1998)



**bois résineux** : PCI anhydre (0%) = **5300 kWh/t** (variation de 5150 à 5450 kWh/t)

**bois feuillu** : PCI anhydre (0%) = **5000 kWh/t** (variation de 4800 à 5300 kWh/t)

Ex: chêne = 4900; bouleau: 5000 ; érable: 5300; pin maritime: 5200; pin sylvestre: 5300

Le PCI d'un combustible bois humide est déterminé à partir de son PCI anhydre et de son taux d'humidité sur brut (E en %) selon la formule :

$$PCI (E\%) = ((100-E)/100) \times PCI(0\%) - 6,786 \times E \text{ en kWh/t}$$

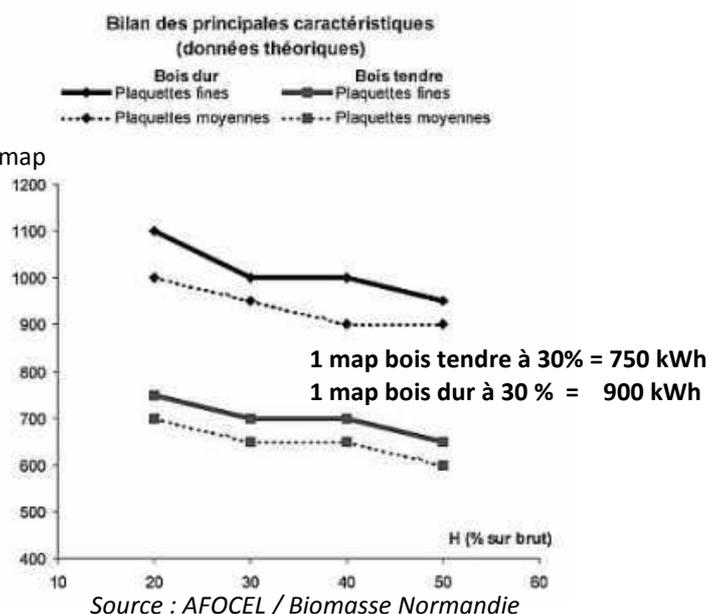
A retenir : Le pouvoir calorifique du bois (mesuré par le PCI) dépend essentiellement de son taux d'humidité, mais une teneur élevée en matières et éléments minéraux peut également modifier le PCI anhydre du bois et en conséquence abaisser sensiblement le PCI du combustible bois livré en chaufferie. C'est la raison pour laquelle il est préférable de mesurer et facturer à la tonne anhydre.

Annexe : tableau de détermination du PCI d'une livraison d'un mélange de combustible selon essence et humidité

### 1.2.6/ Peut-on faire du bois énergie avec toutes les essences ?

Oui, mais attention, si les essences ont un PCI rapporté à la tonne assez proche les unes des autres, il n'en va pas de même pour le PCI rapporté au volume (en m3 apparent plaquette = map). En effet, le **contenu énergétique du map** dépend surtout de la granulométrie (coefficient de foisonnement) et de l'essence (bois durs, bois moyens, bois tendres) :

- Bois durs (chêne, hêtre, châtaignier, frêne, orme,...)
- Bois moyens (aulne, pin, mélèze, douglas,...)
- Bois tendres (sapin, épicéa, peuplier, saule,...)



*En plaquettes fines, et entre 30 et 40% humidité, le contenu énergétique du map est indépendant de l'humidité mais reste dépendant de l'essence bois dur / bois tendre.*

Exemple de variation du PCI en kWh/map :

humidité %	sapin/épicéa	hêtre	rémanents de coupe
50%	450-550	800-900	350-500
43%	500-600	850-950	400-550
33%	550-650	900-1000	450-600
20%	600-700	950-1050	500-650

Source : Energie Bois Suisse 2008

Cette donnée est importante car les capacités d'autonomie d'une chaufferie bois dépendent du volume du silo :

Exemple : Un silo de 100 m3 rempli de plaquette d'épicéa à 30% d'humidité représente un contenu énergétique de 65 MWh. Il est de 100 MWh s'il est rempli de plaquette de hêtre toujours à 30% d'humidité, soit 40% de contenu énergétique en plus. Par conséquent selon la nature de l'essence livrée la durée d'autonomie du silo peut être sensiblement modifiée.

### A savoir / retours d'expérience :

- La qualité du combustible bois va dépendre du taux de matière organique fermentescible (feuilles, teneur en azote), de son humidité ainsi que des matières minérales et inertes éventuellement contenues : plus ces taux seront réduits, meilleure sera la qualité combustible du bois.
- Le déchiquetage de bois sec produit davantage de fines que le bois vert ; ces fines se retrouvent alors dans les émissions au niveau des chaufferies (escarbilles, poussières).
- Le broyage de bois forestier (broyeur à marteau) produit des bois défibrés, de granulométrie non contrôlée. En l'absence de criblage/affinage complémentaire, ce broyat est alors impropre à une utilisation en petite chaufferie qui demande une petite granulométrie régulière.
- Le déchiquetage de bois et branches de petites sections favorise la production de queues de déchiquetages, de fines et de matériaux irréguliers, et un taux d'écorce plus important contrairement aux bois de forte section
- Le déchiquetage de bois forestier ressuyé en forêt (sur coupe ou bord de piste) produira une plaquette dont le taux d'humidité (environ 35%) permettra une utilisation directe en chaufferie de moyenne puissance, mais dont les capacités de séchage évolueront peu.
- La masse volumique des plaquettes est susceptible de variation en fonction de leur manutention (accroissement du volume) et de leur transport (les vibrations du transport favorisent le tassement).
- La combustion est optimisée avec des granulométries moyennes (P45) qui autorisent un mélange idéal entre le combustible et l'air comburant. D'autre part, plus la granulométrie est homogène et plus la technologie d'alimentation est simple et fonctionnelle.
- **Relation entre matière, mode de broyage, conditionnement (criblage, séchage) et qualités plaquettes** : Il est généralement difficile pour un fournisseur de garantir, de sécuriser et de contrôler la qualité de nombreux types de combustibles bois de catégorie différente sur sa chaîne de production. Car en pratique la qualité des produits est fortement dépendante des matériels, des équipements et des méthodes de conditionnement des combustibles de chaque fournisseur ou producteur de combustibles bois déchiqueté → voir chapitre 3

#### ***Ne pas confondre origine, forme commercialisée et qualité***

Exemple origine : arbres forestiers entiers

Forme commercialisée : plaquettes de bois

Qualité : granulométrie P45, humidité M30, taux cendres A1.0

Dans la pratique des marchés et des contrats, la catégorie d'origine mentionnée se limite à « plaquettes forestières » qui englobent l'ensemble des origines de plaquettes de bois issues de forêt.

### Pour aller plus loin :

- Référentiels combustibles bois énergie : définition et exigences. ADEME, 25 avril 2008
- Guide ADEME : Mise en place d'une chaufferie au bois. (Ed EDP Sciences/ADEME, 2007) – en cours de révision

- Site web Biomasse Normandie : les 1000 mots clés du bois énergie (<http://www.biomasse-normandie.org>)
- Vademecum Energie du bois (Energie-bois Suisse, Suisse Energie, Ed 2008)

### 1.3- Normes, classification et chartes des combustibles bois déchiquetés

**Ne pas confondre :**

**Référentiel** → c'est un **document technique** définissant les caractéristiques que doit présenter un produit industriel ou un service et les modalités du contrôle de la conformité à ces caractéristiques. Il est élaboré et validé en concertation avec des représentants des professionnels et usagers du secteur (consommateurs) et administrations concernées, sans obligations. Un référentiel peut s'appuyer sur une norme, c'est-à-dire sur un document destiné à servir de référence, élaboré par les parties intéressées par consensus (par exemple le référentiel combustible bois énergie ADEME/FCBA 2008).

**Norme** → c'est un **texte de référence national** (NF pour la France, Ö-NORM pour l'Autriche), **européen** (EN) ou **international** (ISO) qui définit un cahier des charges de conception et de dimensions minima des produits, avec des objectifs de résultats. Les normes définissent les **obligations des fabricants** en matière de contrôle de fabrication et vérifications produits (ex : norme biocombustible solide EN14961).

**Charte** → c'est un **engagement volontaire** des signataires sur une qualité de service et/ou produit fournis. Il engage moralement son signataire mais ne donne pas nécessairement lieu à des contrôles. Ces chartes existent depuis plusieurs années concernant le bois bûche (Alsace, Bretagne, ...) mais sont plus récentes sur le bois déchiquetés. Exemple: Charte Énergie Bois Région Centre (Arbocentre, Ademe, Région Centre) - janvier 2009

**Certification** → La certification est un système de reconnaissance et de contrôle qui se base sur un référentiel ou une charte **contrôlée** par un organisme indépendant reconnu (AFNOR, AFAQ,..). La marque collective de certification la plus courante en France est la marque NF mais il en existe d'autre. Ex: Chaleur Bois Qualité + (CBQ+) en Rhône Alpes (Fibois07-26, FIBRA, ADEME, Région Rhône Alpes), certifiée AFAQ depuis 2002. Chaque référentiel de certification définit son propre champ d'application et comporte :

- Les caractéristiques retenues pour décrire les produits ou les services qui feront l'objet de contrôles, les valeurs limites des caractéristiques éventuellement exigées pour la certification et les modalités retenues pour classer ces produits ou ces services en fonction de leurs caractéristiques ;
- La nature et le mode de présentation des informations considérées comme essentielles et qui doivent être portées à la connaissance des consommateurs ou des utilisateurs

#### 1.3.1/ Quelles normes pour les plaquettes forestières destinées aux chaufferies bois ?

La **norme européenne** relative aux « **classes et spécifications des biocombustibles solides** », est traduite en norme française depuis octobre 2010 sous la nomenclature **NF EN14961-1 :2010** (voir annexe). Elle définit les biocombustibles solides par :

- Leur origine et leur source
- Leurs principales formes commercialisées et leurs propriétés

Attention pour les petites chaufferies, nombre de fabricants de chaudières continuent de parler en normes Autrichiennes (Ö-NORM M7133) dont les paramètres principaux (G30, G50,..) sont quelque peu différents de ceux de la norme européenne qui va s'y substituer. G30 et G50 sont à rapprocher des classes de granulométrie P31,5 et P45/P63

Pour les plaquettes forestières, les **paramètres normatifs** concernent :

- La granulométrie (dimensions en mm exprimée de P16 à P200) mesurée selon les normes EN15149 et 15149-2
- Le taux d'humidité (en pourcentage de masse brute, exprimé de M10 à M55+), mesuré selon la norme EN14774-1 à 3
- Le taux de cendres (en pourcentage de masse sur produit anhydre, exprimé de A0.5 à A10.0), mesuré selon la norme EN14775

Les autres paramètres, tels que le taux d'azote, de chlore, la masse volumique apparente **sont uniquement informatifs**. (Voir en annexe les tableaux des spécifications des combustibles solides de la norme NF EN14961:2010)

### 1.3.2/ La classification CIBE des combustibles en produits usuels pour chaufferie bois

Pour améliorer la fluidité de l'utilisation du bois énergie, il est important de simplifier l'utilisation des classes normatives pour les rendre applicables dans la pratique usuelle. Le CIBE (Comité Interprofessionnel du Bois Energie) a établi en 2010 une classification professionnelle des combustibles bois déchiquetés selon les besoins des installations de chaufferie, ayant pour objectif :

- de simplifier l'utilisation des référentiels combustibles FCBA/ADEME (2008) et des normes européennes (EN14961 – CEN/TC335) tout en respectant les classes normatives énoncées (regroupement de classes normatives utilisées et validées au niveau européen et national),
- d'harmoniser les approches entre le niveau national et les échelles régionales (un seul référentiel commun),
- d'éviter la multiplicité des caractéristiques possibles des combustibles bois dans les cahiers des charges de contrat d'approvisionnement, source d'incompréhension et de litiges entre maîtres d'ouvrage ou exploitants de chaufferies et fournisseurs de bois.
- de permettre un suivi des prix des combustibles et une indexation représentative des catégories de combustibles significativement différentes livrées en chaufferies.

Cette classification, basée sur **les 2 critères normatifs les plus importants** en matière de bois énergie (la granulométrie et le taux d'humidité), distingue **5 classes de combustibles (C1 à C5)** permettant une distinction selon les usages en chaufferie bois en fonction du couple technologie chaudière – combustible admissible (voir tableau détaillé en annexe).

		classe de puissance chaufferie bois						
	granulo	humidité	< 300 kW	0,3 à 0,8 MW	0,8 à 1,5 MW	1,5 à 4 MW	> 4-5 MW	
C1	P16-P45A	M15-M25/30	■					plaquettes calibrées, fin sec
C2	P45-P63	M30-M40		■				plaquettes calibrées ressuyées
C3	P63-P125	M35-M45			■			plaquettes grossières humides
C4	P100-P200	M10-M20				■		broyats secs
C5	P100-P200	M45-M55					■	mélanges et broyats humides

*NB : Au-delà de plusieurs MW de puissance, les chaufferies bois élaborent leur propre mélange spécifique pour préparer et calibrer le combustible adapté à leur technologie.*

*La plaquette forestière est absente de la classe C4 qui correspond essentiellement à des broyats de bois en fin de vie (type palettes, cagettes).*

Cette classification s'adapte à la très grande majorité des chaufferies mais il peut exister des cas spécifiques où le couple granulométrie-humidité ne correspond pas tout à fait à l'une de ces classes.

### 1.3.3/ Les chartes qualité

Le contrôle qualité peut être assuré à 2 niveaux :

- Au niveau de chaque installation de chaufferie (voir condition d'approvisionnement en chaufferie – **chapitre 5**)
- Au niveau du suivi des fournisseurs de combustibles au moyen de charte de qualité et/ou de certification

Afin de tendre vers une qualité reconnue et partagée par les acteurs de l'approvisionnement, plusieurs régions (Rhône Alpes, Alsace, Centre, Provence Alpes Côte d'Azur, Ile-de-France ...) se sont engagées dans des démarches de charte qualité auprès des fournisseurs de combustibles bois déchiquetés.



#### Exemple de la Charte Qualité CBQ+ (Chaleur Bois Qualité +) :

La Charte Chaleur Bois Qualité + est une **certification de service** suivant un référentiel AFAQ-AFNOR Service Confiance® (REF -103-02), mise en place en Rhône Alpes par l'interprofession Fibois 07-26 et FIBRA depuis 2005, qui vise à engager les fournisseurs dans une assurance qualité au client sur le combustible et sur le service rendu. Les 7 engagements du fournisseur sont :

- 1- Confirmer le choix du combustible qui respecte le couple « chaudière/combustible»
- 2- Définir la solution d'approvisionnement adaptée à la consommation
- 3- Etablir avec le client un contrat complet et précis
- 4- Fournir au client un combustible aux caractéristiques constantes
- 5- Assurer la continuité de l'approvisionnement
- 6- Respecter l'environnement et les délais de livraison
- 7- Tenir compte du niveau de satisfaction du client

Les chartes existantes peuvent ne pas faire appel à une certification et mettre en avant davantage la qualité du combustible, la gestion durable de la forêt, ...



→ Pour en savoir plus : contacter votre Interprofession bois dans votre département ou votre région

## Résumé des équivalences simplifiées

*(Se reporter à l'annexe 1 pour une approche plus détaillée des unités et équivalences)*

**1 tonne bois = 0,2 à 0,35 tep = 1,33 m3 bois rond (à 25% hum) = 1,20 m3 bois rond frais**

**1 tep (tonne équivalent pétrole) = 11.600 kWh = 3 à 5 tonnes de bois = 12 à 15 MAP**

**1 tonne bois plaquette (feuillus-résineux) à 25% humidité = 3.600 à 3.800 kWh**

**1 MAP = 250 kg bois à 25% humidité = 800 à 1 000 kWh**

Convention retenue par l'Observatoire de l'Energie

**1 tonne de bois (à 35% hum) = 1,7 stère = 0,257 tep = 2 990 kWh PCI**

1 map	humidité brute (%)	masse volumique kg/map*		
bois tendre (résineux, certains feuillus)	50%	280 à 300	moy 40-50%	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">270 kg/map</span>
	40	230 à 250		
	30	200 à 210	moy 20-30%	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">195 kg/map</span>
	20	180 à 190		
bois dur (feuillus)	50%	400 à 430	moy 40-50%	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">400 kg/map</span>
	40	330 à 360		
	30	290 à 310	moy 20-30%	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">295 kg/map</span>
	20	260 à 280		

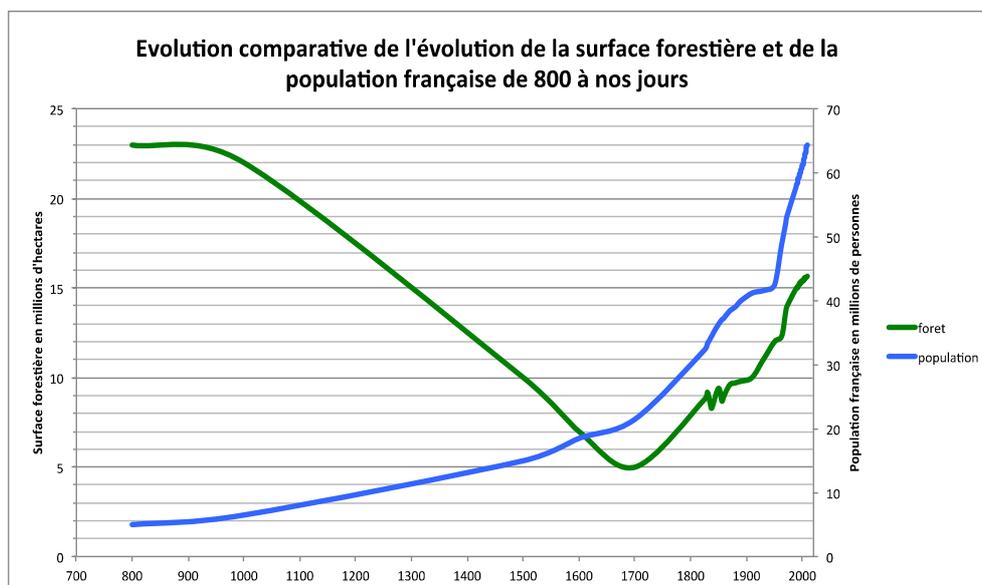
\* selon coefficient de foisonnement plaquettes fines (2,6) ou plaquettes moyennes (2,8)

## Chapitre 2- Ressources forestières, gisements et disponibilités pour le bois énergie en forêt

### 2.1- La forêt française, une source importante d'énergie renouvelable

#### 2.1.1/ Historique de l'évolution de la contribution énergétique de la forêt française

La forêt française, une des plus grandes d'Europe, couvrait encore la quasi-totalité du territoire autour de l'an 400. A partir du moyen-âge, elle n'a cessé de régresser sous l'effet conjugué de l'exploitation pour le bois matériau et surtout pour l'énergie. Ainsi jusqu'au milieu du XIXème siècle, soit il y a environ 150 ans date à laquelle son déclin s'est terminé, la forêt a été surexploitée pour une utilisation énergétique, le bois étant utilisé comme seule source d'énergie pour le chauffage, la métallurgie, les forges, les verreries, les tuileries... (MEDDTL, 2011). En 1850, il ne restait que 7 à 8 millions d'hectares de forêt en France.



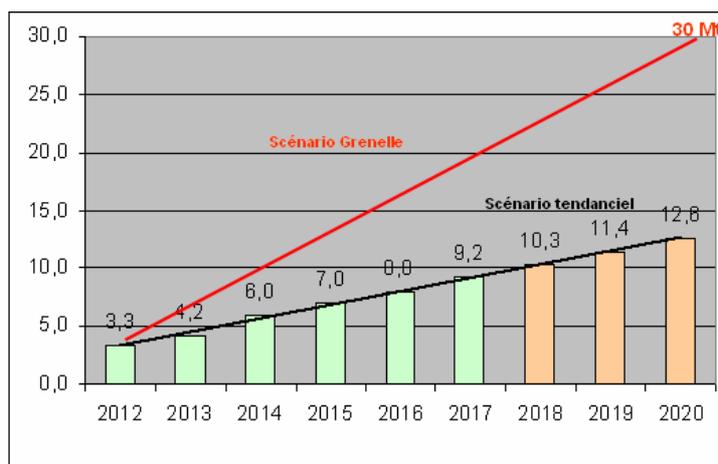
Source Obstetar, 2010

Par la suite, les pressions qui s'exerçaient sur les forêts se sont amenuisées avec l'apparition de la houille, de l'acier, du pétrole et la diminution des populations dans les campagnes. Dès lors, la forêt se reconstitue peu à peu et s'étend naturellement dans les zones où elle avait été éliminée (terres agricoles abandonnées, terres de parcours érodées), et grâce à de nouvelles plantations (grand programme de restauration des terrains en montagne par le reboisement pour lutter contre l'érosion des sols, les crues et les avalanches). Le massif forestier landais a ainsi été créé par l'homme à la fin du XIXe siècle comme bien des forêts de montagne aux XIXe et XXe siècles. Après la seconde guerre mondiale, un mécanisme financier spécifique a été mis en place, le Fond Forestier National (FFN). Ce dernier a permis le boisement et/ou le reboisement d'essences essentiellement résineuses sur une surface de près de 2 millions d'hectares jusqu'en 1999. Aujourd'hui, la forêt de production couvre 15,3 millions d'hectares, le taux de boisement moyen est d'environ 29% (IFN, 2010) et le volume sur pied s'accroît annuellement d'environ 25 millions de mètres cubes (IFN, 2011). La forêt française a

donc doublé sa surface et triplé son volume sur pied depuis 150 ans (Puech, 2009), mais il faut se souvenir qu'à l'échelle des peuplements forestiers la « reconstitution » de la forêt est récente.

Aujourd'hui la biomasse ligneuse est l'un des facteurs clés affichés pour atteindre les objectifs énergétiques du Grenelle de l'environnement à savoir 23% des besoins énergétiques français couverts par les énergies renouvelables. L'importance de la biomasse forestière dans la satisfaction des objectifs énergétiques part du constat d'un potentiel de récolte de bois supplémentaire qui pourrait substituer annuellement environ 3,3 Mtep, soit près de 16% de l'objectif national (IFN, 2010).

Si l'on considère un scénario « Grenelle », permettant d'atteindre en 2020, les objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement de +2,4 Mtep chaleur issue de la cogénération et de +3,8 Mtep pour la chaleur, suivant une hypothèse que 60% de l'approvisionnement est forestier, alors la consommation de bois pour l'énergie atteindrait 30Mtonnes en 2020, soit une multiplication par près de 10 par rapport à la consommation prévue en 2012 (source ADEME).

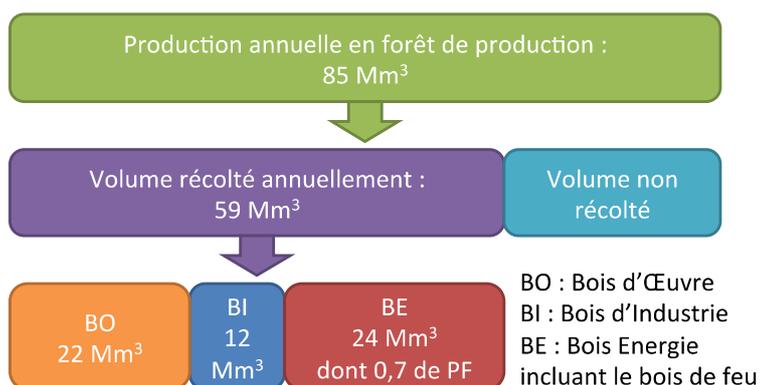


Les questions de disponibilité de la ressource se poseront de manière cruciale sur la seconde tranche du Grenelle, soit autour de 2015, et il sera important de savoir tirer profit des expériences passées afin de ne pas surexploiter cette ressource et de s'assurer de son caractère « renouvelable ».

### 2.1.2/ Quelle est la place du bois énergie en France ?

#### La consommation de bois énergie en France est le fait du marché domestique de bois de chauffage

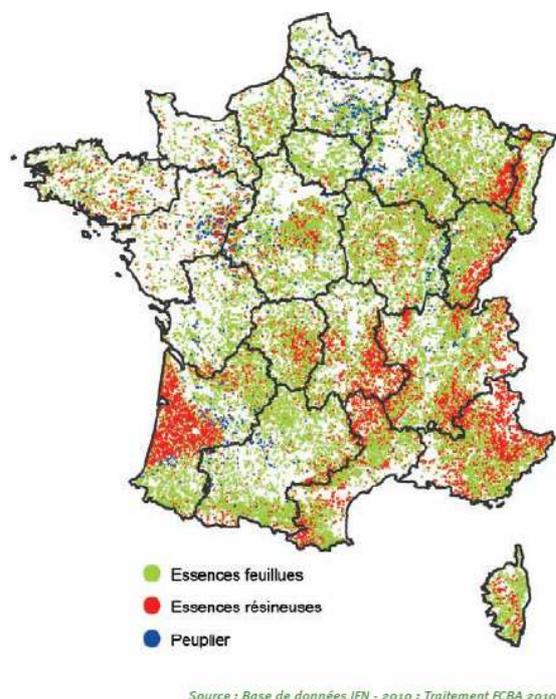
Aujourd'hui la consommation annuelle de bois énergie en France, incluant les connexes de scierie, les déchets bois et les bois forestiers, est de l'ordre de **40 millions de m<sup>3</sup>/an** soit 4% des besoins énergétiques nationaux (ADEME, 2011). La consommation de bois bûche qui représente la majeure partie du volume est délicate à appréhender. L'étude du CEREN



Source FCBA, 2011

(Centre Etude et de Recherches Economiques sur l'Energie) issue de résultats d'une enquête menée par l'INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques) donne des références sur ce sujet. Le volume de bois de chauffage consommé nationalement était de 28,9 millions de m<sup>3</sup> en 2006. La part de ce volume provenant de la forêt est estimée à 70% (ADEME, 2000) soit 20,2 millions

de m<sup>3</sup>. **Cette récolte pour le bois énergie (incluant l'auto-consommation) représente près de 30 % de la récolte nationale qui avoisine les 60 millions de m<sup>3</sup>** (Agreste, 2010). Elle s'effectue sur les peuplements feuillus qui représentent la majorité des surfaces forestières en France.



### Une forêt française majoritairement feuillue et privée

10,3 millions d'hectares de forêt feuillue soit 1,5 milliard de m<sup>3</sup> sur pied : première forêt feuillue d'Europe, la forêt française est dominée par les chênes qui occupent près de 5 millions d'hectares.

4,4 millions d'hectares de forêt résineuses soit 900 millions de m<sup>3</sup> sur pied avec une grande diversité d'essences (sapin, épicéa, pin maritime, pin sylvestre, douglas,...)

Source : les chiffres clés de la forêt privée, 2008-2009

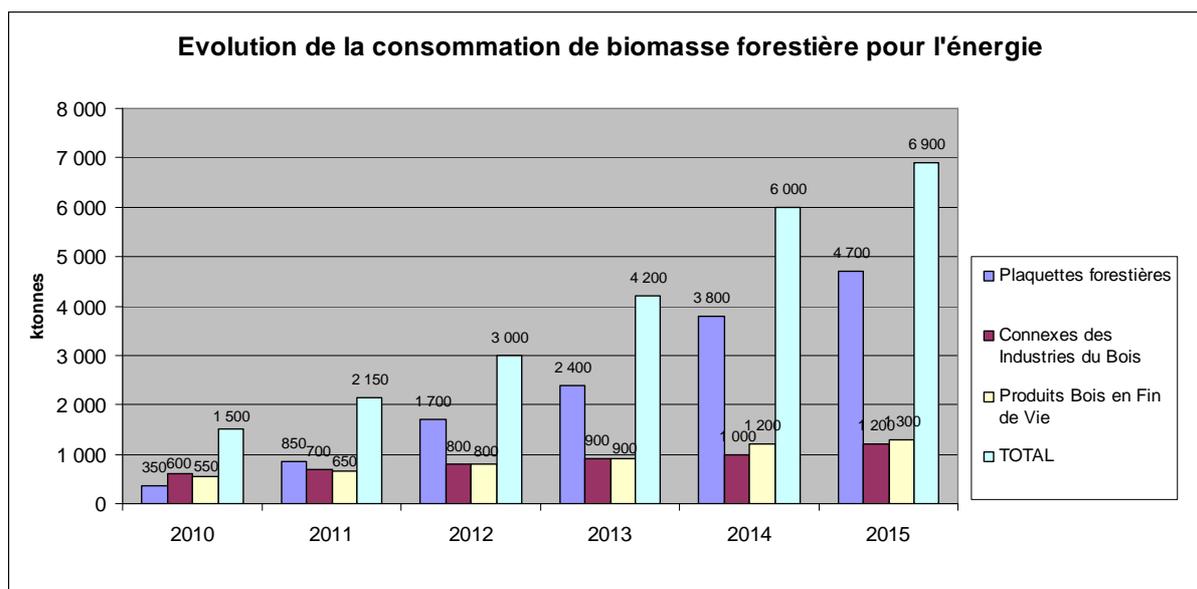
Les incitations, qui existent depuis quelques années pour moderniser le secteur du chauffage domestique (crédit d'impôt et label « Flamme Verte »), visent au remplacement progressif du parc d'équipement de chauffage existant afin d'augmenter le rendement des installations et de réduire au maximum les émissions polluantes. Ces incitations représentent alors un soutien fort sur le secteur du bois bûche dont la demande recommence à croître.



### La plaquette forestière dans les approvisionnements des chaufferies bois, un contexte en forte évolution

Dans le secteur du chauffage automatique au bois déchiqueté, la part respective des différents types de combustibles bois introduits en chaufferie a nettement évolué en faveur de la plaquette forestière ces dernières années. Ainsi entre 2000 et 2007, la part des plaquettes introduites en chaufferies bois (en majorité collectives) issues de l'exploitation forestière est passée de 7% à 22% en pourcentage du tonnage (source ADEME). On estimait alors la consommation de plaquettes forestières à moins de 200.000 tonnes/an.

Fin 2010, la consommation de plaquettes forestières était estimée entre 300 à 400.000 tonnes/an. Avec l'arrivée des appels à projets nationaux (Cogénération Biomasse (CRE) en 2005 et Fonds Chaleur (BCIAT) en 2009), l'augmentation de la part des plaquettes forestières s'est fortement accentuée. En imposant des taux d'approvisionnement en plaquettes forestières de 50%, ces projets ont induit un développement important des filières de production et de commercialisation de la plaquette forestière. Aujourd'hui les pourcentages respectifs tendent à s'inverser : les plans d'approvisionnement de ces grosses chaufferies prévoient en effet plus de 60 % de plaquettes forestières qui restent potentiellement à mobiliser.



*Perspective d'évolution des consommations en bois énergie à l'horizon 2015 selon les hypothèses de mise en service des installations des projets BCIAT et CRE – source ADEME 2012*

La mise en service progressive des premiers projets a provoqué une augmentation soudaine de la production, passée en **2011 à des tonnages estimés à quelques 600.000 tonnes/an**, et pour demain, la multiplication prévue est exponentielle. Les hypothèses de l'ADEME prévoient une augmentation à plus de 2 Mt/an de plaquettes forestières dans les 2 ans à venir pour dépasser 4 M/tonnes/an en 2015 (cf graphique).

Si l'on considère un scénario tendanciel pour 2015-2020, suivant le même rythme de montée en puissance de la consommation de combustibles bois d'origine forestière observée entre 2012 et 2015, alors la consommation de combustible bois pourrait atteindre 12,6 Mtonnes en 2020, soit une multiplication par près de 4 par rapport à la consommation prévue en 2012.

### 2.1.3/ Quelles parties de l'arbre sont utilisables pour du bois énergie ?

La destination des produits qu'un arbre peut fournir dépend de critères propres au bois tels que l'essence, la dimension, la qualité, et de facteurs extérieurs comme les conditions de marché dans lesquelles s'effectuent la récolte, les objectifs du propriétaire de la forêt, les habitudes culturelles de la région...

La production de bois énergie sous forme de plaquette forestière ne nécessite pas de critères qualitatifs particuliers. Techniquement toutes les parties d'un arbre peuvent donc être utilisées. Néanmoins, **l'objectif de production principal de la filière bois et des propriétaires forestiers reste le bois d'œuvre** et non le bois énergie (hiérarchie des usages) car il s'agit de donner la priorité aux usages nobles du bois qui sont du reste actuellement beaucoup plus rémunérateurs. Il est donc important pour que l'ensemble de la filière forêt-bois puisse se développer harmonieusement, de mener une réflexion sur l'optimisation de l'utilisation des produits forestiers, chantier par chantier.

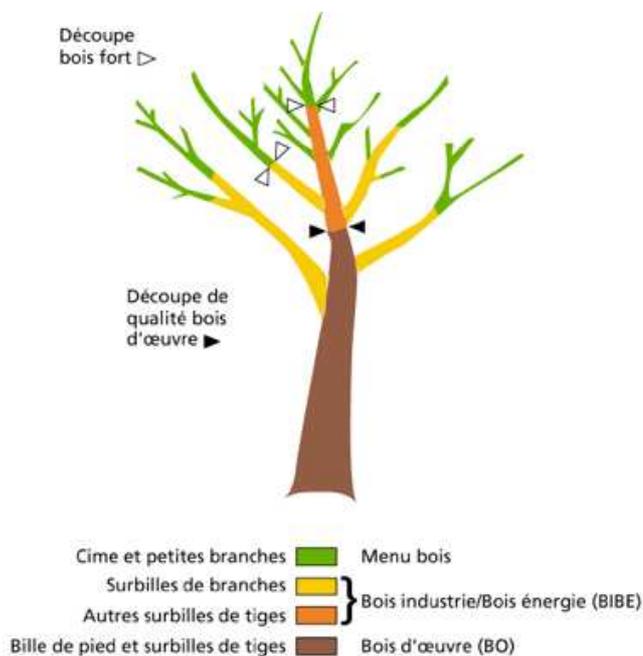
De manière très schématique, sont distinguées :

- **La partie grume (ou tronc)** d'un arbre, dès que ses dimensions dépassent un certain seuil (environ 25 cm à 1,30 m du sol pour les résineux et environ 30 cm pour les feuillus), est destinée à une valorisation bois d'œuvre. Il s'agit majoritairement du sciage mais il existe des destinations plus valorisantes comme le déroulage, le tranchage, les fustes, etc.
- **La partie de l'arbre située au-dessus de la grume tronc (découpe « bois d'œuvre » située à 10/15 cm pour les résineux et 20/25 cm pour les feuillus)**, est destinée à une utilisation de bois d'industrie à condition que sur une longueur de minimum 2 m la rectitude soit correcte. Le diamètre minimum utilisé étant fixé environ à 7 cm. La rectitude étant difficile à obtenir sur l'ensemble du houppier des arbres, notamment les feuillus de gros diamètre, la valorisation bois bûche est très importante dans des essences comme le chêne et le hêtre.
- **La partie dont le diamètre est inférieur à 7 cm (découpe « bois fort »)** peut être valorisée en bois énergie sous forme de plaquette forestière dans certaines conditions développées dans les paragraphes suivants.

Ce découpage des différentes parties de l'arbre en compartiments affectés à des usages représente néanmoins un découpage très théorique, car dans la pratique il fluctue en fonction de nombreux facteurs :

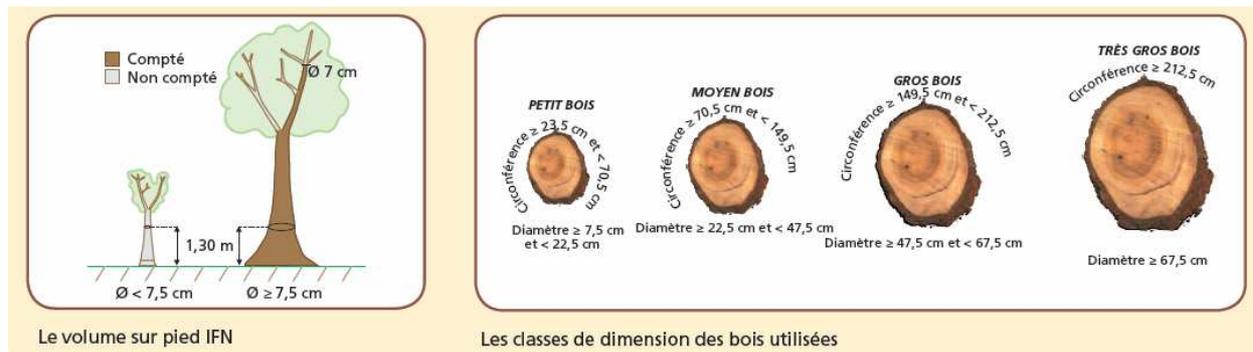
- valorisation économique des différents produits,
- conditions d'exploitation,
- volonté du propriétaire,
- méthodes de l'exploitant forestier en charge de la coupe et marchés auxquels il doit répondre,
- région dans laquelle se situe le chantier,
- quantité de matière présente par catégorie de produits sur la coupe,
- type d'intervention : coupe rase, éclaircie, travaux forestiers... (voir le chapitre 3, sur les itinéraires technico-économique de production)

*Selon Belouard (2005) et les recherches du programme Carbofor, les branches et les menus bois représentent 38 % du volume aérien total des feuillus et 25 % des résineux*



*Schéma de compartimentation d'un arbre (ADEME, 2009)*

Sur le terrain, la limite la plus fluctuante entre les découpes est celle située entre le bois énergie de type plaquette ou bûche, et le bois d'industrie. C'est notamment pour cette raison que dans les études de gisement les plus récentes réalisées à l'échelle nationale (cf chapitre 2.2), ces deux compartiments sont regroupés dans une même catégorie Bois d'Industrie et Bois d'Énergie (BIBE) (voir figure correspondante). La découpe bois d'œuvre est quant à elle plus simple à identifier.



La partie inférieure à 7 cm est appelée Menus Bois (MB) et non plus simplement rémanents (cf encadré). La récolte des MB doit être réfléchiée en fonction des potentialités du terrain car ce compartiment, qui comprend les cimes et les houppiers avec les menus branches, est très riche en éléments minéraux, et par conséquent aurait vocation à retourner au sol (d'où la notion de rémanents) afin de limiter l'appauvrissement de celui-ci par perte de matière. Un guide spécifique a été rédigé sur cette thématique : « la récolte raisonnée des rémanents en forêt », FCBA/ADEME, 2006 (voir chap. 2.3.3). Il est actuellement en cours de réactualisation. Dans ce guide, le compartiment des « rémanents » correspond à ce qui est appelé aujourd'hui MB.

### Qu'entend-on par rémanents ?

Le compartiment appelé « rémanent » a évolué au cours des dernières années. Aujourd'hui, la filière semble s'accorder sur la définition suivante : sous-produits non marchands (branches, cimes...) qui restent sur le parterre de la coupe après son exploitation. (source : « Dictionnaire Forestier »)

Ils peuvent donc correspondre aux Menus Bois (MB) dont le diamètre inférieur à 7 cm ne permet pas une valorisation en bois d'industrie, mais également aux purges de grumes nécessaires lors des coupes de bois d'œuvre ou encore aux bois secs et tout type de bois ne trouvant pas de débouchés marchands y compris les souches.

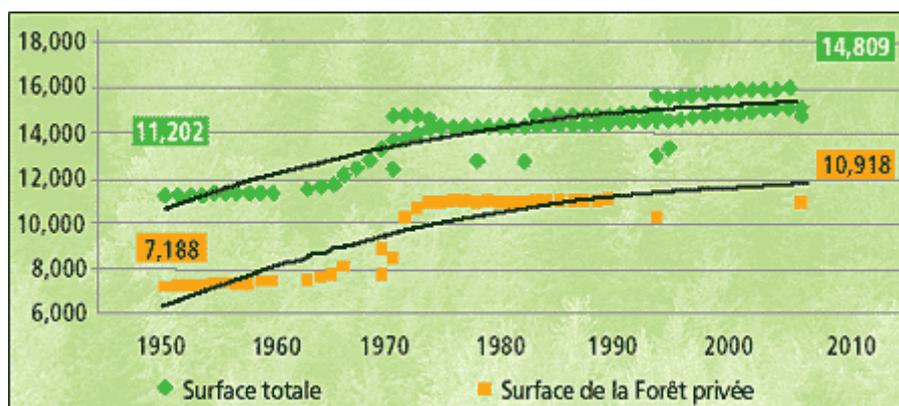
En résumé, **il n'existe pas de règles précises sur le découpage des arbres et l'arbitrage s'effectue chantier par chantier**. Il est cependant nécessaire de toujours poursuivre un objectif d'optimisation des récoltes pour que l'ensemble de la filière puisse se développer notamment les propriétaires forestiers qui doivent être assurés d'une valorisation optimale de leur bois.

## 2.2- Quantification des gisements et prévisionnels de récolte

Lorsqu'on parle gisement, une première attention doit être portée sur l'analyse raisonnée entre évolution des superficies forestières, production biologique et disponibilités forestières.

### 2.2.1/ Evolution des superficies forestières

La France possède un taux de boisement de 29,4% (IFN 2011). Sur 16,1 millions d'hectares de surface totale forestière, les forêts à vocation de production de bois représentent 15,4 Millions d'hectares incluant les peupleraies.



*Evolution des surfaces forestières en millions d'hectares*  
 Traitement Bruno Cinotti  
 (source : Forêt Privée française)

Les forêts privées représentent 75% des forêts de production (11,5 millions d'hectares), tandis que les forêts domaniales n'en représentent que 9,5% (1,5 M ha) et les autres forêts publiques, notamment celles des collectivités constituent plus de 15% de ces forêts de production (2,4 M ha).

Les surfaces boisées ont augmenté de 1,7 millions d'hectares durant les 20 dernières années, dont 1,4 million ha en forêt privée, grâce notamment aux accrus sur friches et aux boisements de terres agricoles. Cette progression a marqué un coup d'arrêt depuis 2 à 3 ans car l'artificialisation des sols est devenue le mouvement de conversion prépondérant des terres agricoles abandonnées, parallèlement à la suppression en 2000 du Fonds Forestier National qui était l'outil d'encouragement au boisement. Aujourd'hui comme le montre la courbe ci-dessus, la forêt française ne gagne pratiquement plus de terrain. Par contre, bon nombre de reboisements résineux, notamment ceux du massif central (Morvan, Beaujolais, Livradois, Limousin), arrivent en production et leur exploitation va générer des volumes supplémentaires mis en marché.

#### **Un gisement en forêt privée morcelé avec une majorité de petits propriétaires**

3,5 millions de propriétaires forestiers privés dont 1,1 million possèdent plus de 1 hectare  
 190 000 propriétaires forestiers possèdent plus de 10 hectares soit 63% de la surface de la forêt privée et seulement 69 000 propriétaires possèdent plus de 25 hectares.

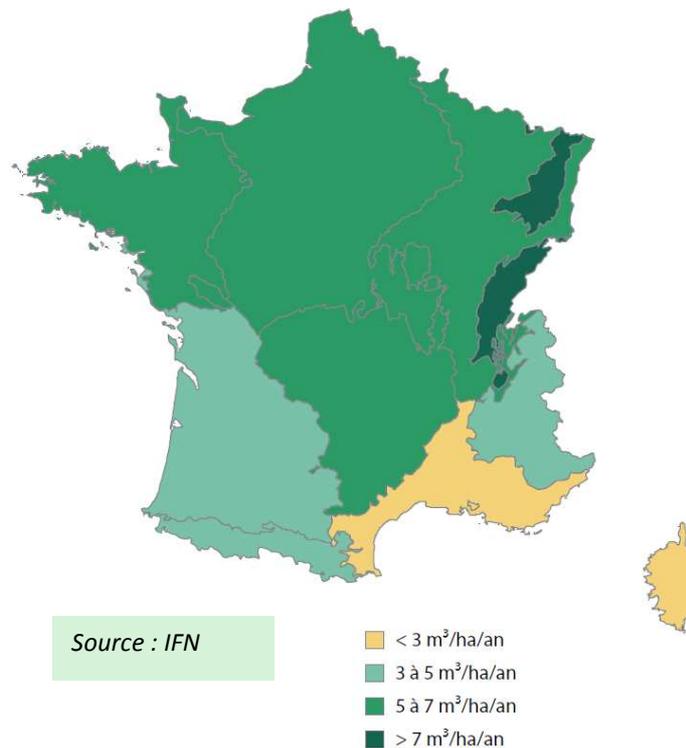
*Source : Forêt Privée Française, 2009*

### ***2.2.2/ Production biologique et disponibilité forestière***

**Production biologique annuelle** : Ce terme, appelé aussi production brute, correspond à **la biomasse bois produite naturellement par la forêt en un an (accroissement naturel + recru)**. Cependant les estimations et la définition IFN se limitent souvent à la biomasse aérienne d'un diamètre supérieur à 7 cm (« tous les arbres dont le diamètre à 1,3m de hauteur est supérieur à 7,5 cm, et ce, jusqu'à la découpe 7cm sur la tige principale »). L'unité la plus couramment utilisée est le m<sup>3</sup>/ha/an. Selon les contextes forestiers et l'âge des peuplements sa valeur peut énormément varier. Par exemple, sur bonne station un peuplement de douglas d'une quarantaine d'année peut produire 15 à 20 m<sup>3</sup>/ha/an alors qu'à l'inverse certains taillis feuillus sur des plateaux calcaires au sol superficiel peuvent avoir des productions de 1 à 2 m<sup>3</sup>/ha/an (région méditerranéenne). A l'échelle nationale, la production biologique annuelle de la forêt en France métropolitaine est estimée en 2011 à 85 millions de mètres cube, soit une moyenne de 5,5 m<sup>3</sup>/ha/an (IFN, 2011). Ce volume ne prend en

compte que la partie bois fort tige (découpe supérieur à 7 cm) : il ne prend donc pas en considération les MB.

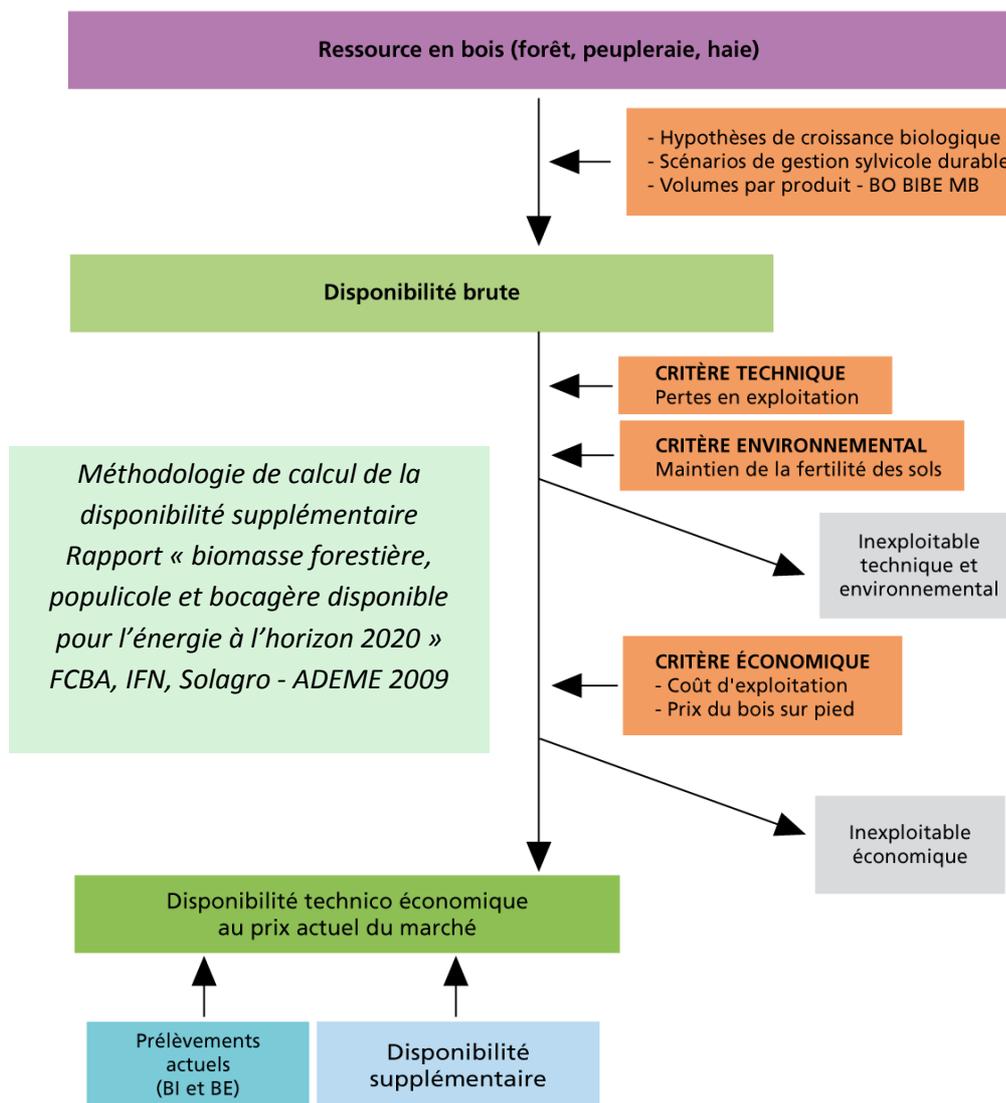
*NB : La nouvelle méthode de calcul de l'IFN fait aujourd'hui référence à l'**accroissement moyen annuel** du volume de bois sur écorce en un an, et correspond à la somme de l'accroissement (des arbres recensables) et du recrutement annuel (gain de volume des arbres qui ont franchi le seuil de recensabilité). Elle est calculée sur la période de cinq ans précédant l'année du sondage.*



**Disponibilité forestière :** Il s'agit du **volume théoriquement récoltable dans une forêt** tout en garantissant la gestion durable de la ressource. Cette disponibilité se calcule en fonction de la production biologique du massif mais également en fonction des objectifs sylvicoles du propriétaire, des particularités de la forêt (qualité des peuplements, présence d'infrastructures, conditions d'exploitabilité...). Le calcul s'effectue généralement à l'échelle de peuplements forestiers puis il est sommé à l'échelle de propriétés forestières. Les études menées à des échelles communale, régionale ou nationale calculent dans un premier temps la disponibilité forestière et dans un second temps effectuent un certain nombre de réfections pour estimer la disponibilité forestière supplémentaire réelle. La prise en compte des facteurs sociaux (volonté du propriétaire à vendre sa matière) et économiques (prix d'achat de la matière, coûts d'exploitation, prix de vente de la matière) est très délicate. Il faut donc rester prudent quant à l'utilisation des résultats. De plus la valorisation en bois énergie n'est bien souvent pas le facteur déclenchant la récolte de bois. Dans les conditions de marché de 2009, la part de bois énergie mobilisable liée à la récolte de bois d'œuvre est estimée entre 42 et 62% selon le type d'exploitation (source, ADEME 2009, cf ci-après). Mais dans un contexte de difficultés sur les marchés de BO feuillus, alors qu'ils représentent les deux tiers du volume sur pied (source, IFN 2009), les volumes mobilisables du compartiment bois énergie sont délicats à prédire sur le court et moyen terme.

Le schéma ci-dessous résume la démarche de calcul utilisée par l'ADEME en 2009 pour l'évaluation de la biomasse forestière disponible pour l'énergie à l'horizon 2020 (rapport disponible sur le site [www.dispo-boisenergie.fr](http://www.dispo-boisenergie.fr)). Les principaux résultats de cette étude sont détaillés dans la suite de l'ouvrage. Cette démarche distingue une disponibilité brute (*récolte potentielle totale permise par la structure des peuplements arborés et les règles de sylviculture et de gestion*) d'une disponibilité nette (*ce qui est effectivement récoltable en tenant compte des diverses contraintes*).

La « disponibilité nette supplémentaire » est la récolte potentielle réalisable en plus de la récolte actuelle. Elle peut être sujette à variation selon l'évolution du prix du marché des bois.



### 2.2.3/ Les études de gisements à l'échelle nationale : des ressources mais des incertitudes sur les récoltes

Depuis 2007, plusieurs études de référence ont été réalisées pour l'estimation du gisement national de biomasse forestière pour l'énergie. En 2009, l'ADEME et le Ministère de l'Agriculture (MAAP) ont engagé deux études complémentaires permettant de reprendre les évaluations antérieures en mobilisant les dernières connaissances et données disponibles :

Etudes nationales	ADEME	MAAP
Année	2009	2009
Opérateurs sources	IFN, FCBA, SOLAGRO	Cemagref, IFN
Disponibilité annuelle supplémentaire (million de m3/an)	11,535 (BIBE) + 5,981 (MB) = 17,516 Mm3/an	28,2 (BIBE) + 8,11 (MB) = 36,31 Mm3/an

Dans les deux études, les disponibilités brutes forestières sont quasi-identiques (66-68 M m<sup>3</sup>/an en BIBE et 13 M m<sup>3</sup>/an en MB). Mais dans le cas de l'étude Cemagref/IFN (MAAP) le calcul correspond à une disponibilité technique supplémentaire (après réfaction liée à l'exploitabilité), tandis que dans l'étude IFN/FCBA/Solagro (ADEME), le calcul correspond à une disponibilité technique et économique supplémentaire (lié à un prix du BIBE payé 34 €/m<sup>3</sup> bord de route en 2009).

Ces résultats mettent en évidence la sensibilité des chiffres à la variation des critères techniques et économiques à des échelles aussi importantes. Il faut noter par ailleurs que l'Inventaire Forestier National (IFN), qui fournit l'ensemble des données de base aux différentes études, a récemment revu à la baisse de 16% son estimation de production biologique qui est passée d'un peu plus de 100 à 85 millions de m<sup>3</sup> depuis la rédaction de ces documents (IFN, 2011). Les résultats sont donc théoriques et à pondérer.

Ainsi le calcul de la disponibilité supplémentaire implique de connaître les prélèvements actuels effectués dans les forêts. Pour la filière bois, les données relatives aux volumes récoltés et commercialisés sont collectées au travers des enquêtes de filière (enquête EAB) et les résultats sont plutôt fiables (source Agreste). A l'inverse les volumes de bois de chauffage produits à partir de biomasse forestière et populicole, estimés à environ 21 millions de m<sup>3</sup>/an, (source ADEME, 2009), soit environ 65% des prélèvements BIBE totaux, ne représentent qu'une estimation. Il est très difficile de connaître l'origine et les volumes exacts dans cette filière bois de chauffage, et compte tenu des volumes considérables en jeu, même une faible erreur peut avoir un impact significatif sur les résultats.

Enfin, il est également difficile de localiser les prélèvements forestiers. Les flux de matière première sont également non repérables alors qu'ils sont très importants pour le bois énergie. Par conséquent, **les disponibilités régionales supplémentaires calculées dans ces études sont à prendre avec beaucoup de précautions.**

Toutefois, les résultats de toutes les études de gisement mettent en évidence **un volume de bois supplémentaire mobilisable très important** dans les forêts françaises **avec des disparités régionales fortes**. Cette ressource supplémentaire disponible nécessitera des moyens spécifiques pour aller la mobiliser, notamment en étendant les surfaces forestières gérées.

Vous pouvez trouver des applications en ligne permettant d'utiliser les différentes analyses pour calculer la disponibilité supplémentaire en fonction de critères de localisation, de types de peuplements, d'accessibilité... sur le site [www.dispo-boisenergie.fr](http://www.dispo-boisenergie.fr)

En savoir plus :

- « Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020 ». FCBA, IFN, Solagro ; ADEME-MEEDAT, Novembre 2009
- Evaluation des volumes de bois mobilisables à partir des données de l'IFN « nouvelle méthode ». IFN, Cemagref, Novembre 2009

*A savoir : depuis janvier 2012, l'Inventaire Forestier National et l'Institut Géographique National sont désormais réunis dans un nouvel établissement : l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). voir site internet [www.ign.fr](http://www.ign.fr)*

### ***2.2.4/ Planifier le gisement disponible à l'échelle d'une forêt : des outils mais un exercice incertain***

Toutes les forêts privées d'une surface supérieure à 25 ha doivent être pourvues d'un document de gestion durable appelé Plan Simple de Gestion (PSG). Pour les massifs de surface inférieure d'autres documents existent et sont d'application volontaire : les RTG (Règlement Type de Gestion) ou CBPS (Code de Bonnes Pratiques Sylvicoles). En ce qui concerne les forêts publiques qui relèvent du régime forestier, les documents de gestion, rédigés par l'Office National des Forêts (ONF), sont appelés plans d'aménagement.

Un des objectifs communs de l'ensemble de ces documents est de planifier parcelle par parcelle les différentes interventions, travaux et coupes de bois, qui seront mis en œuvre sur la forêt pour des périodes variant de 10 à 20 ans. Grâce à cette planification, il est possible d'estimer le volume de bois qui sera mobilisé durant la période correspondante. Cette estimation reste néanmoins théorique car les volumes réellement mobilisés pourront varier très fortement en fonction de facteurs extérieurs : marché des bois, incidents climatiques ou sanitaires, contraintes environnementales et sociales qui évoluent au cours du temps, besoins spécifiques du propriétaire, vente de la propriété... En ce qui concerne les règles de coupes pour les PSG, les propriétaires ont la possibilité d'avancer ou de reculer de 5 ans les opérations prévues. Cela permet de s'adapter aux fluctuations du marché mais cela rend également toute opération de planification incertaine.

L'estimation de la quantité de bois énergie est encore plus délicate à appréhender car elle est liée,

#### **Une faible superficie de la forêt privée est munie de document de gestion et de planification de la récolte**

Environ 80% des surfaces de forêts de plus de 25 ha sont dotées d'un plan simple de gestion (PSG) agréé **soit 2,7 millions d'ha**, mais seulement 27% de la surface de forêt privée est munie de document de gestion durable (PSG, RTG, CBPS)

*Source Forêt Privée Française, 2009*

plus ou moins fortement selon les peuplements, aux coupes ayant un objectif principal de production de bois d'œuvre. Ainsi à l'échelle nationale il est estimé qu'environ 40% de la disponibilité brute du compartiment BIBE (Bois d'industrie-Bois Energie) est liée physiquement à l'exploitation du bois d'œuvre (exploitation

des mêmes arbres) et environ 60% de ce compartiment est induit par l'exploitation du bois d'œuvre (*étude ADEME-MEEDAT, 2009*). Par conséquent, l'activité de la filière BO, qui est la plus rémunératrice pour les propriétaires forestiers, détermine le degré de réalisation du programme prévisionnel des coupes et travaux dans une forêt.

#### Retours d'expérience :

Les gestionnaires forestiers s'appuient de plus en plus sur l'informatique pour développer des outils de suivi-évaluation, de localisation, de quantification de la ressource forestière et de prédiction des récoltes. Les systèmes d'information géographiques couplés à des bases de données leur permettent :

1. de disposer d'une vision claire du gisement présent sur les massifs dont ils ont la charge et de pouvoir effectuer des compilations entre les différents massifs
2. de construire un prévisionnel des récoltes à venir en fonction des plans d'aménagement

3. de mesurer dans le temps le degré de réalisation des prévisions et d'analyser l'interaction entre les différents marchés bois

Avec l'appui de programmes de recherche et développement (financés par l'ANR), les coopératives forestières (UCFF) ont élaboré un outil d'évaluation des gisements en biomasse forestière à vocation énergétique (Procofor). Il est basé sur l'exploitation systématique et la numérisation des données des PSG et RTG (programmes de coupes et de travaux) à une échelle cantonale permettant de planifier les chantiers et les récoltes bois énergie sur un ensemble de propriétés et parcelles forestières. La démarche d'évaluation des quantités mobilisables est complétée par une base de données qui intègre l'ensemble des résultats et conditions d'exploitation des chantiers de production de plaquettes forestières.

Des experts forestiers en partenariat avec les chercheurs de l'ENGREF de Nancy (Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts) ont développé des modèles de calcul permettant de déterminer « la capacité biomasse » de massifs ou de propriétés forestières, c'est-à-dire le volume de biomasse qu'il est possible de récolter annuellement dans une propriété tout en respectant les principes de gestion durable et les objectifs de production de bois d'œuvre de qualité. La particularité de ces modèles est la prise en compte de paramètres propres à chaque propriétaire permettant de mieux caractériser la limite entre les compartiments BI et BE ainsi que les seuils de prix sur pied à atteindre pour la mise en marché des bois. Ainsi, le cas particulier de l'autoconsommation est pris en compte et des arbitrages fins en fonction de la qualité des grumes peuvent également être opérés pour prédire le gisement biomasse réellement mobilisable.

De la même manière, l'Office National des forêts a développé un outil « Récoltes Prévisibles » en 2007 qui est aujourd'hui utilisé sur l'ensemble du territoire national pour réaliser des prévisions sur des bassins d'approvisionnement de chaufferie bois. Le principe repose sur l'utilisation des programmes de coupes pour déterminer les récoltes futures. Deux grands modes de calculs sont possibles : soit par calcul de rendements de coupes et projection de ces rendements dans l'avenir en fonction des coupes programmées ; soit en se basant sur les volumes présumés réalisables par coupe, lorsque ceux-ci ont été déterminés par les aménagistes lors de l'élaboration des programmes de coupes.

*Plusieurs facteurs externes restent limitant et sources d'aléas :*

- *La décision du déclenchement de la coupe appartient au propriétaire (libre arbitre pour faire exécuter ou non les coupes préconisées dans le document de gestion),*
- *l'opération prévue initialement n'est plus adaptée (peuplement n'ayant pas eu une croissance normale),*
- *la configuration du chantier se révèle inadaptée (accessibilité déchiqueteuse,...) ou va engendrer des surcoûts.*

## 2.3- L'intégration de la récolte de bois énergie dans une gestion durable de la forêt française

### 2.3.1/ Un savoir-faire de gestion forestière qu'il faut étendre à de nouveaux massifs

La forêt française est majoritairement constituée de peuplements mélangés à base de feuillus, notamment en plaine (IFN, 2011). La gestion en « taillis sous futaie » (TSF) a été pratiquée dans ces peuplements durant une longue période. Les coupes de TSF avaient pour triple objectif de produire du bois énergie par la coupe rase du taillis, de produire du bois d'œuvre par la récolte de quelques réserves et d'assurer l'avenir par le recrutement de tiges dans la futaie, appelés baliveaux ou modernes. Ce mode de gestion a été progressivement abandonné du fait d'une baisse de la demande en bois énergie et d'un changement des besoins de l'industrie du bois d'œuvre vers des grumes souhaitées plus longues et présentant moins de défauts extérieurs (comme les nœuds). Aujourd'hui, ces peuplements sont convertis vers les deux systèmes dominants dits « réguliers » ou « irréguliers ».

Dans **les systèmes forestiers réguliers**, les arbres d'une même parcelle sont gérés de manière simultanée et les peuplements sont équiennes (même classe d'âge). Ils sont éclaircis régulièrement depuis les phases de régénération (artificielle ou naturelle) pour aboutir à une coupe rase finale à la suite de laquelle un nouveau cycle est mis en place. Cette catégorie comprend une grande partie des futaies résineuses (moins feuillues), les taillis simples et les peupleraies.

Dans **les systèmes irréguliers**, les récoltes successives sont essentiellement des éclaircies au cours desquelles l'amélioration continue des peuplements conduit à la création de trouées où la régénération naturelle peut se développer pour assurer la continuité et la pérennité de la forêt. Les peuplements résineux situés dans des zones montagneuses sont un très bon exemple de ce mode de gestion tout comme les peuplements issus de TSF en plaine.

Dans ces deux systèmes, l'ensemble des récoltes de bois et quelques travaux sylvicoles peuvent produire du bois énergie (voir chapitre « itinéraires techniques »). Avec le développement des projets de chaufferies et l'augmentation de la demande, des modes de gestion spécifiques bois énergie se développent. Aujourd'hui, certains peuplements sont dédiés (cas des TCR et TCR, Taillis à (Très) Courte Rotation, voir encart) ou semi-dédiés selon des principes de sur-densification des plantations avec une partie des arbres à destination exclusive du bois énergie. Demain, des adaptations et des optimisations des méthodes de gestion sylvicoles classiques seront peut-être possibles et mises en place grâce au bois énergie.

### TCR et TTCR : des peuplements à vocation spécifique bois énergie

Les taillis à courtes rotations (TCR) ou à très courte rotation (TTCR) sont des cultures intensives à forte densité d'arbres rejetant de souches (en général). Ces plantations (de saules le plus souvent mais aussi robinier, aulne, eucalyptus ou peuplier) comportent de 1 000 à 4 000 tiges/ha avec des rotations d'exploitation de 7 à 10 ans (TCR), ou de 10 000 à 20 000 plants par hectare avec des rotations de 2 à 4 ans (TTCR). Ces systèmes de cultures intensives produisent de 8 à 12 tonnes de matière sèche par hectare et par an et sont exploitées uniquement pour l'énergie (sous forme de plaquettes) pour le cas des TTCR et plus largement pour l'industrie et la biomasse pour les TCR.

Les TTCR ont été développés essentiellement en Suède où ils couvrent environ 18 000 ha. Des expérimentations ont également été entreprises au Danemark et au Royaume-Uni. Cette diversification des sources d'approvisionnement en biomasse ligneuse concerne des pays qui ont un programme de développement du bois énergie ambitieux dans une perspective à long terme et qui exploitent déjà très largement leurs ressources forestières (Suède) ou qui, comme le Danemark, importent du bois.

En France ce type de plantations a été développé dans plusieurs régions (Bretagne, Aquitaine, Rhône Alpes, Nord) dans le cadre de programme d'essai pour des objectifs papetier ou biomasse, voire de programmes où d'autres objectifs complémentaires comme l'épuration des sols ont pu être poursuivis. Il existe quelques centaines d'hectares de TTCR et TCR en saule et peuplier et environ 1 500 ha d'eucalyptus en TCR. Ce type de production n'est pas détaillé dans le présent ouvrage car il ne s'agit pas réellement de systèmes de production forestière au sens strict mais de culture de biomasse sur terrains agricoles.

Dans tous les cas, pour que la filière forestière réponde de manière pérenne aux enjeux d'approvisionnement des projets de chaufferies bois, **il est essentiel de s'assurer d'une gestion durable des forêts ainsi que d'une augmentation de la surface forestière gérée**. Certaines surfaces forestières actuellement sans objectif de production ou délaissées pourraient faire l'objet d'un savoir-faire de gestion forestière permettant d'augmenter leur capacité de production, les volumes de bois mis en marché et de garantir la durabilité de la ressource. C'est en pratiquant une exploitation raisonnée et en favorisant une gestion de production, tout en augmentant l'extension des surfaces gérées, que les objectifs de récolte de bois énergie pourront être non seulement atteints mais surtout maintenus sur le long terme tout en limitant les concurrences d'usage.

Le bois énergie représente un nouveau débouché offrant une vision à long terme des marchés. La valorisation des bois de faible valeur permet d'améliorer en continu le capital producteur des propriétaires forestiers tout en procurant un revenu direct. Par conséquent, le développement d'une filière bois énergie peut apporter des solutions durables à des propriétaires forestiers jusqu'alors en dehors de tout circuit économique.

Compte tenu du morcellement de la forêt privée (cf ci-dessus), **73% de sa surface ne dispose d'aucun document de gestion durable (obligatoire pour les parcelles de plus de 25 ha), ce qui représente près de 8 millions d'hectares**. Légalement, il faut rappeler que le propriétaire qui permet l'exploitation doit prendre les mesures nécessaires au retour à l'état boisé et au maintien du potentiel de production

Pour en savoir plus :

- les chiffres clés de la forêt privée : édition 2008-2009. Forêt Privée française
- consulter également les sites : [www.foretpriveefrancaise.com](http://www.foretpriveefrancaise.com) et [www.onf.fr](http://www.onf.fr)

*2.3.2/ Une diversité d'interventions forestières permettant la récolte du bois énergie*

Toutes les interventions forestières peuvent potentiellement produire du BE. Cependant, certaines sont plus adaptées que d'autres, ceci en fonction d'une grande variété de critères : type de coupe, contexte économique local, accessibilité du chantier, degré d'exploitabilité de la parcelle.... Actuellement, il n'existe pas réellement de cotation du prix de la matière bois sur pied pour l'énergie. Le prix d'achat payé au propriétaire est généralement un prix résiduel calculé à partir du prix de vente final auquel sont retirés tous les coûts de production.

La faisabilité d'un chantier de production de plaquettes forestières et le calcul du prix d'achat potentiel de la matière au propriétaire, s'analyse en comparant les coûts de production de chacun des produits spécifiques à sortir de la forêt à chaque intervention, par rapport aux prix de vente escomptés du combustible bois énergie. Compte tenu de la très grande diversité à l'échelle nationale des coûts d'intervention des opérateurs, des prix des produits concurrents, notamment le bois de chauffage mais aussi le bois d'industrie, et des conditions de chantier, il est impossible de déterminer avec certitude la faisabilité économique d'un chantier produisant du bois énergie avant sa réalisation.

Les opérations d'exploitation de la forêt se mécanisent davantage et la rentabilité de ces opérations tient en partie dans la limitation des déplacements des machines. En conséquence, selon la quantité de bois présente sur le chantier dans chacune des catégories BO, BI, BE, des regroupements entre les compartiments BI et BE peuvent être rendus nécessaires voire obligatoires. Ainsi il n'est pas rare d'observer des chantiers où seul le BI est récolté ou, à l'inverse, le BI est intégré au BE pour être transformé en plaquettes forestières.

**Cet ouvrage répertorie et classe les principales opérations inhérentes à la vie des peuplements forestiers en 4 grands types**, détaillés par la suite en 10 itinéraires techniques **et 3 cas dits « particuliers »** car ils sont à la marge des itinéraires forestiers :

Type d'opérations	Adaptation actuelle à la production de bois énergie	Eléments d'analyse	Itinéraires techniques correspondants (chapitre 3)
Travaux d'entretien de régénérations	+	La valorisation en BE est la seule possible mais ces chantiers se réalisent bien souvent à « bois perdu ». Le volume de matière doit être suffisant et l'entrepreneur doit pouvoir débarder les produits avec des moyens mécanisés. L'évolution du machinisme permettra peut-être à l'avenir de développer cette récolte afin de limiter les coûts de ces opérations.	Itinéraire 1
Premières éclaircies	+++	Il s'agit d'une opération « optimale » pour le BE car la part de cette production est très importante sur le total de la récolte et les machines employées sont adaptées à la production de bois de faibles dimensions. De plus, il est possible de prélever les arbres entiers valorisant les MB, ce que le BI ne permet pas. Le volume de bois à récolter va déterminer la possibilité de production différenciée de BI et de BE. Néanmoins, le volume unitaire est souvent faible et la rentabilité de l'opération dépend de la surface à travailler	Itinéraires 2, 3
Eclaircies secondaires et éclaircies des peuplements irréguliers	+ à ++	L'importance relative du BE est beaucoup plus faible que dans le cas des premières éclaircies mais il permet de limiter le volume des rémanents restants sur coupe et de valoriser les bois tarés, secs, malades ou les purges, fourches, surbilles... Dans ce type d'intervention, le cas du TSF est plus favorable.	Itinéraires 4, 5, 6
Coupes rases	+++	Les volumes prélevés dans ce genre d'opération offrent de nombreuses possibilités de production de BE. Si les chantiers sont bien organisés sur le terrain et si la quantité de bois est suffisante il est également possible de valoriser les MB. L'exploitation d'un maximum de matière permet de faciliter les opérations d'entretien de la future régénération et d'en limiter les coûts.	Itinéraires 7, 8, 9, 10
<b>Cas particuliers :</b>			
Peuplements semis-dédiés	+++	Modèle récent qui consacre la place du bois énergie dans la filière puisque la gestion sylvicole l'inscrit dans sa stratégie. L'optimisation est donc a priori maximale mais le recul existant est encore faible pour cette technique.	Cas particulier 11
Débroussaillage ou travaux de défrichage	++	Il s'agit de prélèvements de biomasse totaux. Le but est de laisser le minimum de matière au sol pour limiter l'inflammabilité dans opérations de débroussaillage. Les volumes mis en jeu par ces opérations peuvent fortement varier dans le temps et dans l'espace en fonction des projets d'infrastructures. Ces interventions correspondent à des frais pour le propriétaire et la valorisation de la matière vient en déduction des coûts quand elle est rentable.	Cas particulier 12
Dessouchage	++	La production de BE impose l'utilisation de matériel spécifique et une opération supplémentaire de ressuyage des produits pour limiter l'export de matières minérales. Ce produit est destiné aux chaufferies importantes. Les intérêts sont également sylvicoles pour des éliminations de parasites comme le <i>fomes</i> par exemple ou pour une diminution de coûts d'entretien des plantations futures.	Cas particulier 13

### 2.3.3/ Quels sont les points de vigilance environnementaux de la récolte de plaquettes forestières ?

Les questions environnementales liées à la récolte de bois énergie en forêt concernent principalement les points suivants :

- l'exportation d'éléments minéraux à travers la récolte de menus bois et rémanents d'exploitation
- la compatibilité entre récolte optimisée de bois énergie et conservation de la biodiversité
- l'application de pratiques de gestion et exploitation durables des forêts dans les chantiers bois énergie
- la neutralité carbone des prélèvements bois énergie en forêt

#### **Récolte des « rémanents » et risque d'appauvrissement des sols**

L'ensemble des récoltes de bois conduit à une exportation de matière minérale et organique. La forêt est un milieu dans lequel il est difficile de réaliser des amendements pour remédier à ces exports. Or, l'exploitation des Menus Bois (très riches en éléments minéraux) voire des souches est l'une des particularités des systèmes de production de bois énergie en forêt. Or il faut avoir à l'esprit que les sols forestiers ont été par le passé surexploités et sont généralement assez pauvres. Les sols les plus riches ont très souvent été défrichés pour les besoins de l'agriculture. Une exportation systématique de la totalité de la matière organique peut donc aboutir à un appauvrissement des sols.

L'ADEME a rédigé en 2006, en partenariat avec FCBA, l'IDF, l'UCFF et l'INRA, un guide spécifique sur le sujet (cf. encart) qui permet de classer les sols en fonction de leur sensibilité à l'exportation et de donner des prescriptions adaptées. Il est en outre possible de jouer sur la périodicité de cette récolte complète en fonction de la durée de vie et des types de peuplements.

Plusieurs études et travaux ont été menés sur l'impact du prélèvement des rémanents en forêt. Il en ressort quelques conclusions et principes

généraux qu'il est important de rappeler ici. D'une manière générale les teneurs en éléments minéraux d'un peuplement sont très variables en fonction de l'essence, de la station et de l'âge du peuplement, et dans une région donnée, **les teneurs en éléments nutritifs sont plus élevées pour les feuillus que pour les résineux** (Mc Minn et Nutter, 1983).

Les principes à retenir sont :

**Guide pratique PROSOL (2009)** : cet ouvrage de vulgarisation fait le point sur les connaissances concernant la sensibilité des sols forestiers et comment la diagnostiquer. Il donne des solutions pratiques pour aménager les parcelles forestières dans le but de mobiliser le bois tout en préservant mieux le capital sol. ONF-FCBA, disponible à la librairie de FCBA.

**Guide « La récolte raisonnée des rémanents en forêt » (2006)** : ce guide donne, en fonction des sols, les itinéraires sylvicoles permettant de maintenir leur fertilité. Disponible en téléchargement sur le site de l'ADEME, il est actuellement en cours de réactualisation.

- limiter la perturbation du sol (en limitant notamment le nombre d'engins) car plus le sol est perturbé lors de l'exploitation, plus la minéralisation de l'azote et son lessivage seront importants (Johnson, 1995),
- raisonner la récolte en fonction des milieux (classe de sensibilité des sols, capacité à supporter un prélèvement d'arbre entier) et éviter la récolte des rémanents sur les stations pauvres,
- laisser sécher les rémanents sur la parcelle avant récolte et déchiquetage (pour laisser sur place les feuilles, brindilles et aiguilles)
- récolter les rémanents des feuillus en hiver car le feuillage représente moins de 5 % de la biomasse mais jusqu'à un tiers de la minéralomasse (restituer au sol une partie des éléments minéraux contenus dans les feuilles)
- ne pas abattre les arbres feuillus en période de montée de sève en vue d'une récolte des menus bois/rémanents, car les branches ont alors des teneurs minérales élevées (équivalentes à celles des branches plus des feuilles en été)
- ne pas récolter toute la biomasse aérienne et limiter le nombre de récoltes des rémanents au cours du cycle sylvicole, voire allonger la durée de la rotation sylvicole

Toutefois les études montrent qu'il faut également « relativiser l'impact du prélèvement des rémanents tel qu'il est envisagé actuellement par rapport aux pratiques sylvicoles anciennes » (FCBA 2007). Les modes d'exploitation contemporains (du fait de la mécanisation des opérations, de l'évolution de la demande en bois des industries et des questions de rentabilité) produisent un volume très important de résidus d'exploitation (branches et billons cassés, purges de grumes ...) et finalement n'ont jamais laissé autant de bois par terre en forêt (diamètre fin bout récolté 7cm voire au-delà). Il n'y a pas encore si longtemps avant l'apparition des machines, et durant des siècles, la récolte des bois, notamment pour le chauffage, était beaucoup plus intensive qu'aujourd'hui car les bois étaient récoltés manuellement et valorisés jusqu'à un diamètre fin bout très faible.

*Dans les systèmes mécanisés, les branches sont mises au sol et supportent en partie les machines circulant dans la parcelle, ce qui permet de diminuer les effets de tassement. Lorsque ces menus bois sont récoltés pour la production de bois énergie, ils présentent de forts coefficients de foisonnement par rapport aux autres produits bois (masse volumique plus faible). L'impact sur le sol lors du débardage est donc a priori plus limité, mais pour débarder un tonnage équivalent à du bois rond, cela nécessite une augmentation des rotations de débardage par les porteurs. La réalisation de cloisonnements d'exploitation représente une solution technique efficace parmi d'autres perspectives d'améliorations techniques, notamment sur les engins de débardage.*

Pour aller plus loin :

- la récolte raisonnée des rémanents en forêt. Connaître et agir. ADEME. Avril 2006
- Guide pratique : pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL ». Coordination Didier Pischedda. FCBA, ONF. 2009
- Etude de l'impact du prélèvement des rémanents en forêt. Vol3. Projet UZ70. FCBA, 2007 (et rapport AFOCEL-IDF-INRA-Forestarn, ADEME, 2004)
- Règlement National d'Exploitation Forestière de l'ONF, disponible sur le site [www.onf.fr](http://www.onf.fr)
- site PEFC France ([www.pefc-france.org](http://www.pefc-france.org)) et sites régionaux PEFC

**Bois énergie et conservation de la biodiversité : bois mort et nécromasse**

Le volume de bois mort est souvent retenu comme un des indicateurs de biodiversité (critère n°4 de la gestion durable des forêts selon la Conférence d’Helsinki), car cette fraction de matière est considérée comme essentielle pour le fonctionnement global des écosystèmes forestiers et la préservation de la biodiversité (notamment au niveau des insectes et des champignons spécifiques). Or la récolte et la valorisation de l’ensemble de la biomasse conduisent à une diminution de la quantité de bois mort restant après exploitation.

La récente thèse d’Aurore Lassauce (CEMAGREF/ ADEME, 2011) sur le « développement d’une sylviculture à vocation énergétique et conservation de la biodiversité saproxylique » a testé l’effet de la qualité de différents types de rémanents (essence, diamètre et stade de décomposition) sur la biodiversité en forêt et montré que les variables à l’échelle de la pièce de bois mort jouent un rôle important pour la biodiversité. En clair il convient de laisser davantage de bois mort sur la parcelle lors des exploitations et surtout avec des catégories de diamètres différents.

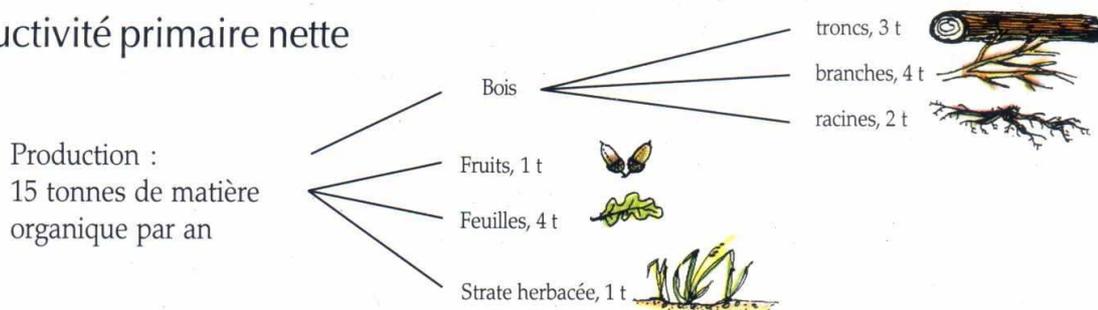


20-25% des espèces forestières dépendraient du bois mort (Elton, 1966 ; Stokland et al., 2004)

S’il est admis que les zones vieilles hébergent une plus grande biodiversité, et que toute augmentation du volume de bois mort est favorable à une certaine biodiversité, cette relation reste néanmoins faible en forêt tempérée. La diminution des rotations sylvicoles pourrait avoir un impact négatif, mais de multiples questions se posent encore et de nombreux facteurs restent à étudier.

*Les forêts françaises produisent entre 10 et 20 tonnes de matière sèche par hectare (productivité primaire ou bilan net), dont 20 à 30% sous forme de bois (troncs ou grumes). Chaque année tombent sur un sol forestier des feuilles, des fleurs, des graines, des morceaux d’écorces, des brindilles et des bois morts qui alimentent la litière et le fonctionnement du cycle de production du sol. On considère que ces retombées représentent 3 à 5 tonnes/ha/an en forêt tempérée dont sont 2 tonnes de matière organique par hectare (décomposeurs et humus) qui enrichissent le sol (moyenne en forêt feuillue)*

**Productivité primaire nette**



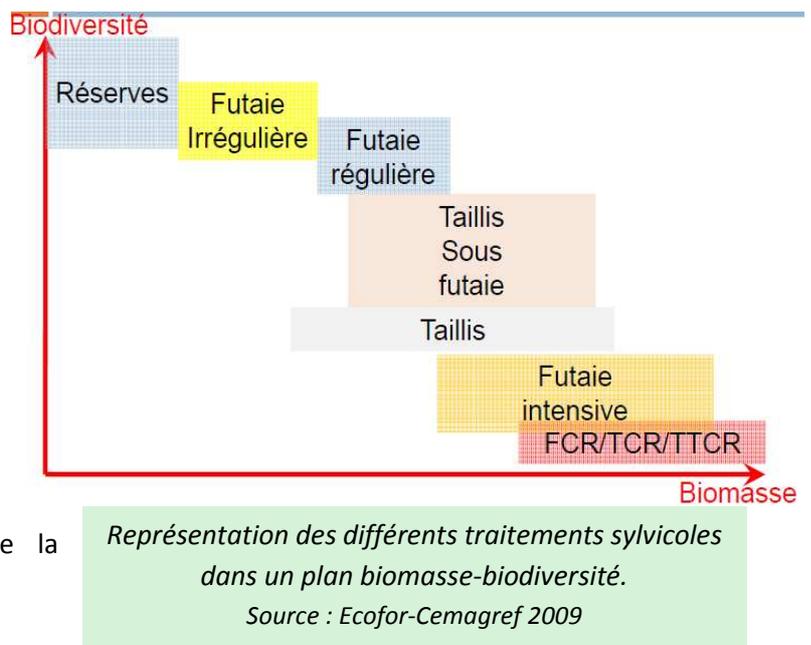
Source : Guide illustré de l’écologie, B. Fischesser et M-F Dupuis-Tate, 2007

**NB :** la productivité primaire nette de la forêt représente la quantité d’énergie accumulée dans la biomasse de la plante.

En pratique sur les chantiers forestiers, il est impossible de valoriser 100% de la matière ligneuse. Il reste toujours une fraction de nécro-masse après exploitation et par conséquent la proportion de bois mort après coupe n'est jamais nulle. D'autre part, les récoltes sont réparties de manière ponctuelle durant la vie d'un peuplement alors que des mortalités naturelles d'arbres surviennent continuellement. La nécro-masse n'est donc jamais nulle au sein d'un peuplement forestier. L'étude IFN/Solagro/FCBA d'évaluation des disponibilités mobilisables en biomasse énergie (ADEME 2009) a pris ainsi une hypothèse de 15% de perte.

Actuellement plusieurs institutions regroupées au sein de programmes de recherches travaillent sur ce sujet de la biodiversité en forêt. Il faut citer en particulier le programme « Biodiversité, Gestion Forestière et politiques publiques », programme de recherche créée en 1996, issu d'une initiative du ministère en charge de l'écologie et du Groupement d'intérêt public ECOFOR, avec le soutien du ministère en charge de l'agriculture. Ce programme fonctionne à partir d'appels à projet, le dernier en date 2010-2013. Le projet Biomasse et biodiversité forestière (BIOMADI) en est un exemple. Il s'inscrit dans le sillage d'une expertise scientifique collective (BIO2) menée en 2008 et 2009 pour faire un premier tour d'horizon des liens entre l'utilisation accrue de biomasse forestière (bois) et l'évolution de la biodiversité et des ressources naturelles (sols, eaux).

Le programme Bio 2 a analysé le contexte et les évolutions possibles (notamment en surface) des modes de traitement ou de gestion sylvicole, en partant du système le moins intensif (réserve forestière intégrale) au plus intensif (TTCR) à travers 3 scénarios (tendanciel, multifonctionnel, intensif industriel). Dans la perspective d'une utilisation accrue du bois à des fins énergétiques et de bois d'œuvre, il a mis en évidence la place de chacun des systèmes selon un couple préservation de la biodiversité / augmentation de la biomasse mobilisable.



### La biodiversité forestière menacée au niveau des espèces saproxyliques

Hormis pour les mammifères, pour les autres groupes taxonomiques (notamment plantes vasculaires et oiseaux), les tendances temporelles et les statuts des espèces forestières sont plutôt à la hausse, en comparaison des espaces non forestiers : il y a globalement moins de proportion d'espèces menacées en forêt qu'hors forêt (GIP ECOFOR, UICN, 2008-2009). Les pressions pesant sur l'état de la biodiversité en forêt concerne davantage les espèces associées au bois mort (dites saproxyliques) qui représentent le quart des espèces forestières (soit 10 000 espèces dont une majorité de champignon et coléoptères).

Dans la pratique certaines espèces et certains milieux forestiers font l'objet de mesures de conservation et/ou de protection. Ces actions de protection et mesures de gestion conservatoires peuvent impacter les possibilités

de récolte de bois et plus particulièrement de bois énergie, de manière plus ou moins importante selon les enjeux et les objectifs de conservation définis. Ainsi l'exploitation de bois énergie en forêt sera plus délicate s'il existe un zonage environnemental portant des prescriptions sur la gestion des milieux et des ressources : site Natura 2000, Réserves Naturelles, Réserves Biologiques... Par exemple, les périodes d'exploitation peuvent ainsi être limitées durant l'année pour respecter le cycle de reproduction de certaines espèces animales et végétales protégées.

Toutefois le sujet reste complexe. Ainsi Mayer et al. (2004) a analysé **les effets initiaux** (circulation des véhicules, brûlage des rémanents) et **les effets à long terme** causés par les éclaircies et l'exploitation, et les relations entre richesse spécifique et naturalité, dans l'objectif d'appliquer des règles de gestion limitant ces perturbations. Dans un cas comme dans l'autre, le changement des conditions de lumière, de température et d'eau affecte la richesse spécifique des plantes vasculaires mais de **façon positive ou négative selon les conditions de milieu**. Par ailleurs Kirby (cité par Naaijen, 1995) indique que la richesse spécifique et l'abondance de la végétation augmentent après la coupe rase, diminuent au stade fourré puis augmentent à nouveau quand les peuplements sont éclaircis. (source J.Y. Gautry, Juillet 2006).

Pour aller plus loin :

- Le bois mort dans la gestion forestière : représentations sociales et intérêts pour la biodiversité - projet RESINE, GIP ECOFOR, Cemagref, 2010
- Programme de recherche Biodiversité et Gestion Forestière (BGF) : résultats scientifiques et acquis pour les gestionnaires 2005-2009 – GIP ECOFOR, MEEDDM, 2010
- Mieux intégrer la biodiversité dans la gestion forestière. Guide pratique. Marion Gosselon et Yoan Paillet. CEMAGREF, Ed. Quae, 2010
- Bio 2, Biomasse et Biodiversité forestières : augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière, implications pour la biodiversité et les ressources naturelles. GIP ECOFOR, MEEDDM, Juillet 2009
- Impact sur la faune et la flore du prélèvement des rémanents en forêt. REGIX ZY53, AFOCEL, J.Y. Gautry, Juillet 2006
- Site [www.biomadi.gip-ecofor.org](http://www.biomadi.gip-ecofor.org) (fonds documentaire avec de nombreuses références)

### **Les pratiques de gestion et exploitation durables des forêts dans les chantiers bois énergie**

Quatre des 6 critères de gestion durable de la forêt issus de la Conférence d'Helsinki (1993), concernent le maintien et l'amélioration appropriée des diverses fonctions de la forêt : production (bois et non bois), protection (sols et eaux), bénéfices socio-économiques, diversité biologique.

Cette **multifonctionnalité de la forêt** est une question particulièrement délicate dans le cas de l'exploitation forestière pour l'énergie. Le programme BENEFIT mené par l'IRSTEA (CEMAGREF) en 2010-2011 a travaillé sur des indicateurs de sensibilité des peuplements exploités vis-à-vis de cette multifonctionnalité. Ce programme a proposé un outil d'évaluation multifonctionnelle des chantiers forestiers bois-énergie (sous forme de grille) basé sur deux volets :

- l'évaluation des sensibilités d'un peuplement à l'exploitation forestière (selon les 3 fonctions environnementale, sociale et économique de la forêt)
- l'évaluation de la qualité du chantier d'exploitation forestière (selon des critères d'impact sur les sols, le peuplement, respect de recommandations de chantier,..)

La construction de cet outil d'évaluation multi-fonctionnelle des chantiers d'exploitation forestière qui produisent au moins pour partie du bois-énergie devrait être poursuivie dans un but d'utilisation par les gestionnaires forestiers, les collectivités (qui encouragent le développement de la filière BE et qui souhaitent un retour sur les impacts environnementaux et sociaux de leur politique) et les chantiers d'exploitation forestière à certifier.

**Les programmes de certification forestière**, également conscients de cette question, élaborent dès à présent des cahiers des charges spécifiques à destination des entreprises de la filière bois pour pouvoir certifier le produit plaquette forestière.

Six critères ont été définis au niveau européen dans le cadre du processus des Conférences ministérielles pour la protection des forêts :

1. Conservation et amélioration appropriée des ressources forestières et de leur contribution aux cycles mondiaux du carbone ;
2. Maintien de la santé et de la vitalité des écosystèmes forestiers ;
3. Maintien et encouragement des fonctions de production des forêts (bois et non bois) ;
4. Maintien, conservation et amélioration appropriée de la diversité biologique dans les écosystèmes forestiers ;
5. Maintien et amélioration appropriée des fonctions de protection de la gestion des forêts (notamment sol et eau) ;
6. Maintien d'autres bénéfiques et conditions socio-économiques

Chaque critère se décline ensuite en plusieurs indicateurs de gestion forestière durable. L'IFN est chargé du renseignement et de la mise à jour quinquennale de ces indicateurs pour les forêts françaises.

**Deux programmes de certification de la gestion durable des forêts** sont actifs en France : **PEFC** (Programme de reconnaissance des certifications forestières : [www.pefc-france.org](http://www.pefc-france.org) ) et **FSC** (Forest Stewardship Council : [www.fsc-france.fr](http://www.fsc-france.fr) ). Dans chacun des cas cette démarche est volontaire pour le propriétaire et se traduit par une adhésion à un processus de labellisation de la gestion de la forêt, avec une chaîne de contrôle comprenant des audits. Ces programmes apportent au consommateur final la garantie qu'un produit portant la marque de l'organisme certificateur (PEFC ou FSC) s'inscrit dans une démarche de gestion durable de la forêt. Ils reposent généralement sur 2 types de documents : un cahier des charges pour vérifier les critères et principes de gestion durable de la forêt et une chaîne de contrôle qui assure la traçabilité et la fiabilité des produits certifiés depuis la forêt jusqu'au produit fini, en passant par toutes les étapes de transformation et de commercialisation du produit en bois ou à base de bois. La certification des propriétaires forestiers garantit la mise en œuvre de pratiques forestières durables par les producteurs de bois.

Le respect du cahier des charges concerne d'une part les propriétaires forestiers et les exploitants de bois de l'autre. Chacun a des critères spécifiques à respecter en fonction de son métier. Dans la pratique la certification « gestion durable » s'applique pour les produits bois d'œuvre et bois d'industrie, mais en l'absence de marché demandeur à ce jour les produits bois énergie, et notamment plaquettes forestières, ne font pas l'objet de certification « gestion durable ».

Toutefois on trouve au niveau des cahiers des charges « propriétaires » des prescriptions qui visent spécifiquement les produits à destination du bois énergie comme la récolte des souches et menus bois de manière à ne pas dégrader l'équilibre des sols. Ainsi dans le cahier des charges propriétaire PEFC, il est stipulé que « le contrat d'exploitation doit faire état explicitement du traitement et du devenir des menus bois et des souches ». Les modalités de récolte des menus bois et des souches

pourront évoluer, en fonction des critères que retiendra PEFC dans son nouveau cahier des charges qui sera validé au cours de la période 2012-2017.

Au niveau des forêts publiques (forêts domaniales, forêts des collectivités ou des établissements publics bénéficiant du régime forestier), l'ONF a précisé sa politique environnementale sur 4 axes (biodiversité, eaux, sols, paysage) dans le Règlement national d'exploitation forestière (RNEF), entré en application le 1er juillet 2008, et faisant suite à sa certification ISO 14001 et PEFC :

**Le Règlement National d'Exploitation Forestière (RNEF)** est un ensemble de règles qui s'imposent ainsi à toutes personnes intervenant en forêt publique à quel titre que ce soit pour exploiter des bois, qu'ils soient professionnels ou particuliers. Il s'agit de règles de bon comportement s'appuyant sur les bonnes pratiques (veiller à ne pas porter atteinte à l'intégrité du milieu forestier) et les usages professionnels reconnus et partagés par l'ensemble de la profession. Il constitue le cahier des charges techniques des travaux d'exploitation forestière (téléchargeable sur [www.onf.fr](http://www.onf.fr) Pour les Pros/Filière bois/Vente de bois –Les textes essentiels).

De même, **le Règlement national des travaux et services forestiers (RNTSF)** constitue un document de référence rassemblant l'ensemble des prescriptions s'appliquant aux travaux et services forestiers (hors exploitation des bois) en forêt domaniale, et une référence pour les collectivités propriétaires de forêts relevant du régime forestier réalisant, en tant que maître d'ouvrage ou donneur d'ordre, des travaux ou services forestiers

Au niveau de la forêt privée, le Code de Bonnes Pratiques Sylvicoles (C.B.P.S.) représente une démarche volontaire d'engagement du propriétaire forestier privé d'appliquer les bonnes pratiques sylvicoles définies pour les types de peuplements de sa forêt. Il s'agit d'aider à gérer durablement les petites propriétés forestières morcelées qui ne font pas l'objet d'un document de gestion. Ces fiches sont réalisées au niveau de chaque région par les CRPF.

Pour aller plus loin :

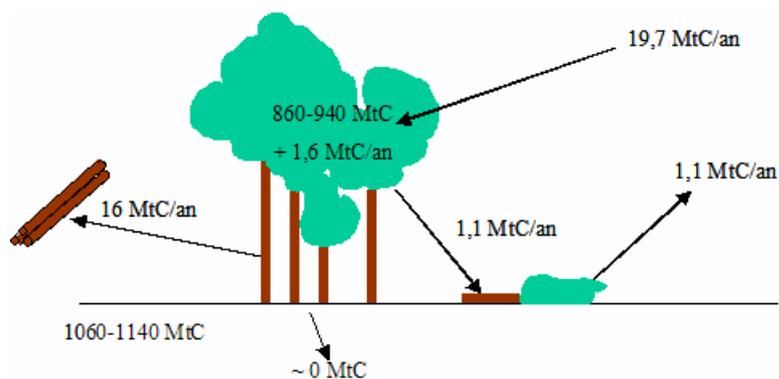
- Indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines. MAAPRAT, IFN, 2010
- Elaboration d'une grille multifonctionnelle des chantiers forestiers bois énergie. FCBA – CEMAGREF, F. Le Meur, M. Fuhr, E. Cacot, Mars 2011
- Réglementation de l'exploitation forestière relative à la protection de l'environnement ou Comment respecter l'environnement sur un chantier d'exploitation forestière dans le cadre de la législation. Projet FORGECO, E. Cacot, P. Magaud. FCBA.

### **La neutralité carbone des prélèvements bois énergie en forêt : stockage ou déstockage ?**

En France, le stock de bois sur pied en forêt a augmenté de 25 Mm<sup>3</sup>/an entre 1981 et 2007 (IFN, IF n°27, 2011). Parallèlement la forêt capture 14% des émissions de GES, ce qui signifie que la forêt française est un puits de CO<sub>2</sub> important puisqu'elle absorbe 72,3 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an - ou **78,2 MtCO<sub>2</sub> en 2008** selon les règles de comptabilisation fixées

**1 tonne de bois produite par photosynthèse =**  
 ➔ 1,6 tonne de CO<sub>2</sub> absorbé  
 ➔ 1,1 tonne d'O<sub>2</sub> émis  
 ➔ 0,5 tonne de C fixé  
**1 m<sup>3</sup> de bois exploité = 1 tonne de CO<sub>2</sub> fixé**  
**1 tonne de matière sèche (TMS) = 0,5 tonnes de C**

par le protocole de Kyoto (sources : FCBA, INRA et CDC Climat, 2010). De 1990 à 2007, le puits forestier net a augmenté de 57% (Source : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, Mars 2009, Rapport d'inventaire).

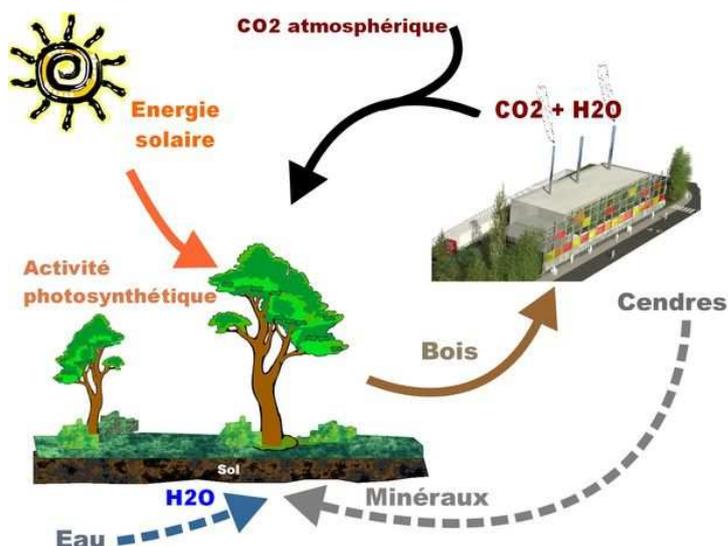


stockage du carbone par la forêt française  
source : DGEC (d'après com. pers. d'Yves Martin)

Les estimations disponibles sont basées sur les inventaires disponibles et l'état actuel des connaissances (Loustaud et al., 2004, Carbofor). Le projet Carbofor a évalué la séquestration du carbone par les forêts françaises à 17,9 MtC/an pour la période 1984-1996 mais des estimations plus précises doivent encore être menées.

Le contenu en carbone des types de peuplements forestiers est très variable. La masse de carbone fixé par hectare oscille entre 3 et 4 t/an : une jeune forêt tempérée (hêtraie) se comporte globalement comme un puits de carbone d'environ 4 tonnes par hectare et par an (source INRA). La majeure partie de ce carbone stocké correspond à la croissance en biomasse aérienne et souterraine des arbres. Aussi la substitution d'essence peut être favorable à un stockage de carbone. Par exemple la substitution d'essence feuillue (hêtre) par du résineux (douglas) conduit, au cours de la première révolution de 64 ans, à un stockage supplémentaire de carbone de 1,6 tonne/ha/an en faveur d'un résineux de plantation (INRA, 2009).

Il est important de souligner que **le bilan carbone de la filière bois énergie présente un résultat neutre à condition qu'une véritable gestion durable soit mise en place**. Cette neutralité du bois énergie vis-à-vis du carbone doit être appréhendée au niveau spatial et temporel :



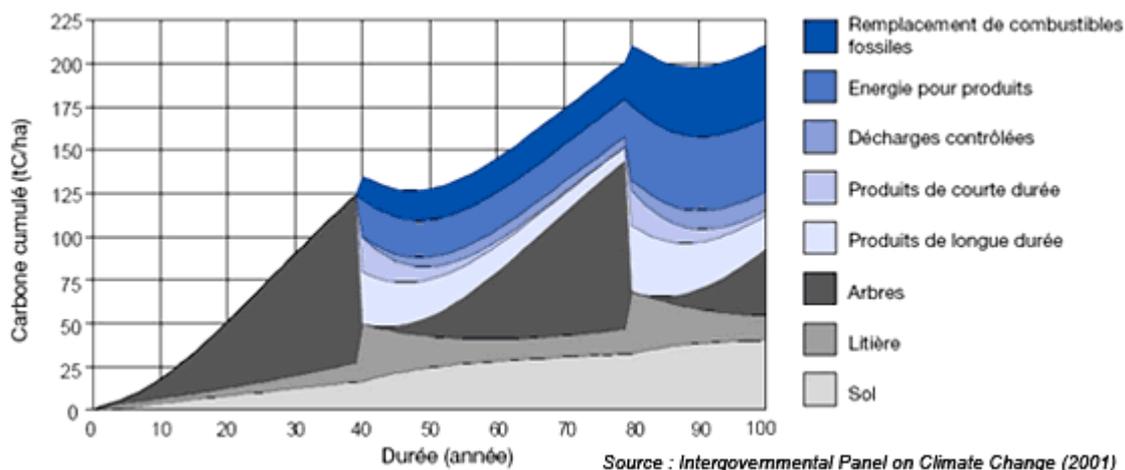
- c'est tout d'abord le résultat d'un cycle global (où la forêt joue le rôle d'une pompe à recycler le carbone - cf schéma ci-contre) et non d'une propriété intrinsèque du bois. En effet, la combustion du bois émet du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qui est absorbé ultérieurement par photosynthèse par d'autres arbres et d'autres peuplements forestiers.

- c'est également un résultat dans le temps puisqu'il est nécessaire que les peuplements forestiers

exploités soient reconstitués. Il existe donc un décalage temporel entre le temps court du relargage du CO2 lors de la combustion et un temps plus long lors de l'absorption du CO2 par photosynthèse par les arbres d'un peuplement selon leur état et leur dynamique.

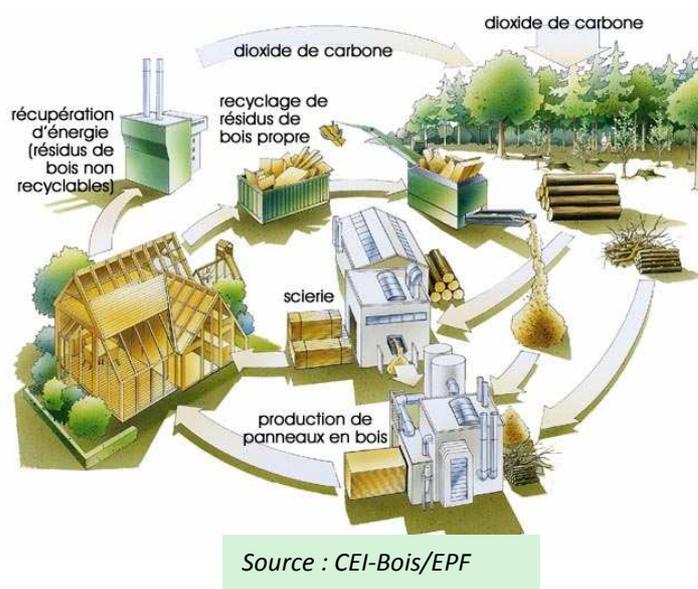
Si les scénarii peuvent varier en fonction des conditions locales, du modèle de gestion forestière et des usages, globalement une bonne gestion forestière adossée à une filière bois dynamique a un impact carbone très excédentaire. Car c'est la somme de plusieurs avantages qui se combinent dans le temps et dans l'espace, maximisé dans le modèle suivant (IPCC, 2011) :

**Modélisation de l'impact carbone de la vie d'un boisement forestier**



*Notes pour comprendre le modèle :*  
 - 40 ans : âge moyen du peuplement forestier lors de la coupe tel qu'envisagé dans le modèle,  
 - 80 ans : coupe du second peuplement après régénération.  
 La figure illustre les changements qui surviennent dans le bilan cumulatif du carbone dans le cadre d'un scénario présupposant le boisement et la récolte d'un amalgame de produits forestiers traditionnels. Une partie de la récolte est utilisée comme combustible.

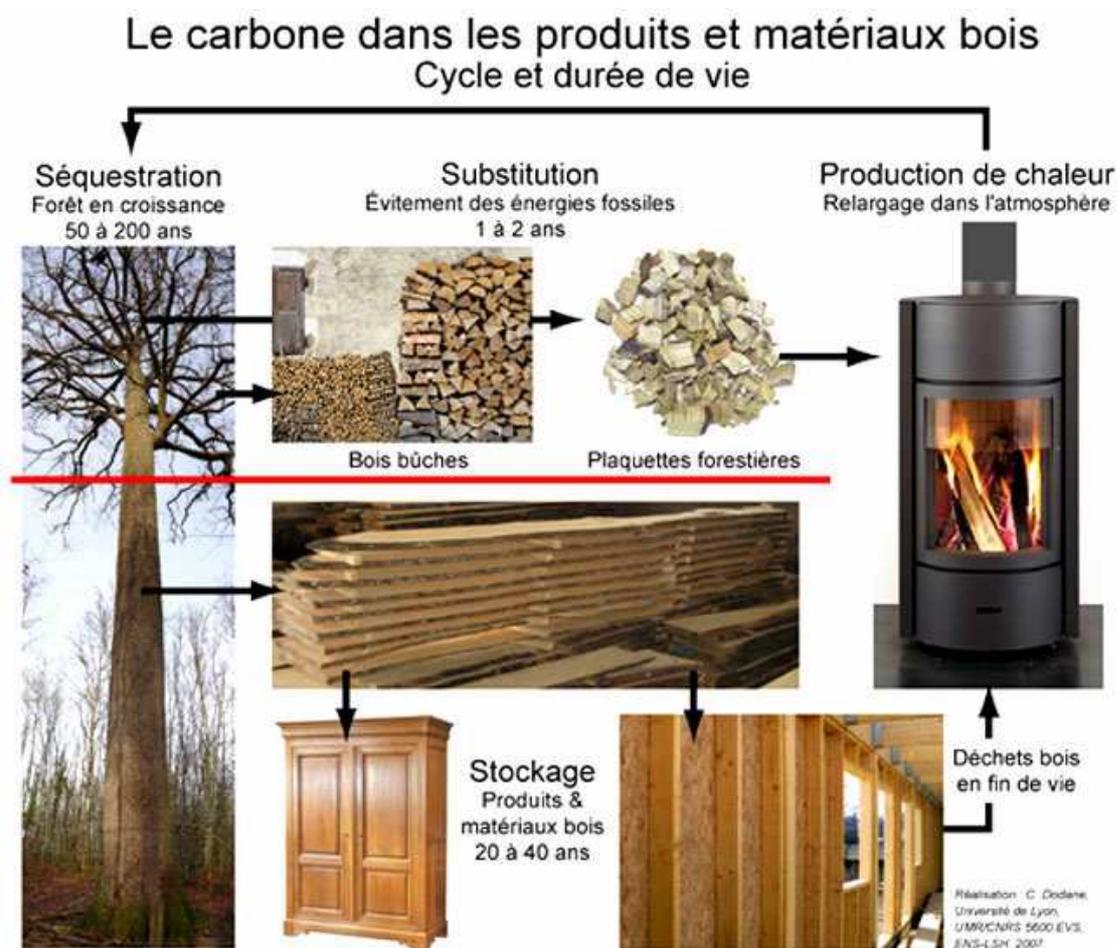
La bonne gestion des fonctions de la forêt, des usages du bois et leur hiérarchisation doit conduire à constituer un cycle CO2 fermé. Ainsi, la gestion forestière ayant pour objectif principal la production de bois d'œuvre, le bilan carbone de la filière forêt bois s'en trouve amélioré car la durée de vie des produits est plus longue qu'une utilisation en bois énergie qui rejette le carbone stocké au moment de la combustion. La hiérarchisation des usages du bois (bois d'œuvre puis bois d'industrie et enfin bois énergie) permet donc d'allonger la période de stockage ou séquestration du carbone.



Ainsi le Plan Climat élaboré par le Ministère de l'Ecologie préconise de développer le

stockage du carbone dans les produits forestiers en augmentant l'utilisation des matériaux bois dans la construction (stockage) et l'emploi du bois-énergie (substitution).

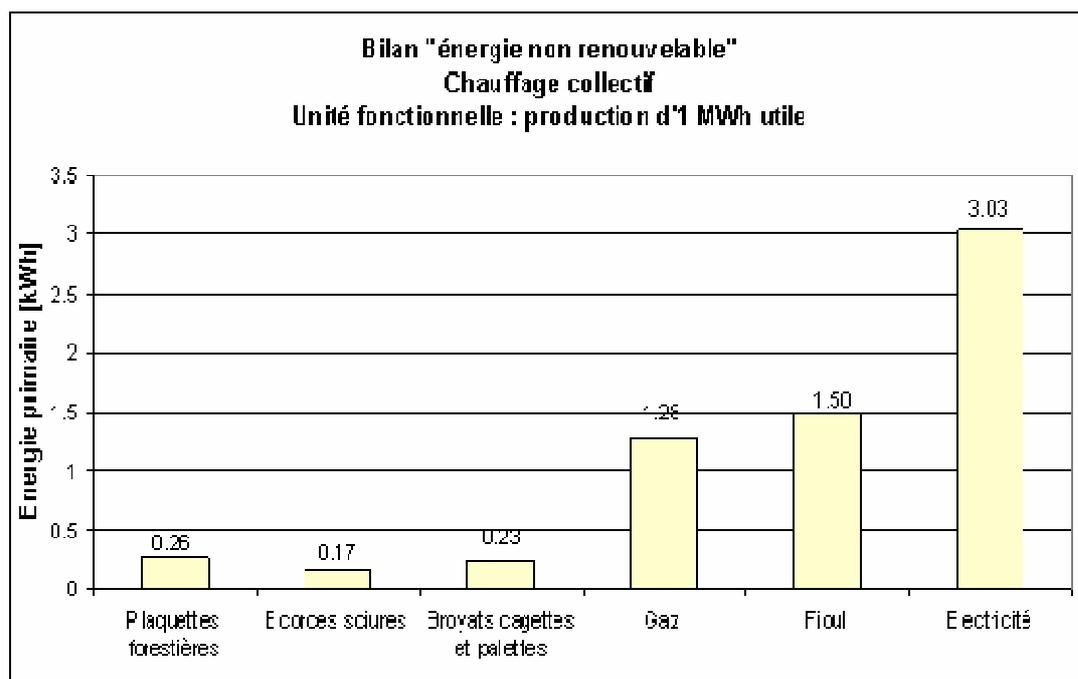
**L'utilisation de bois énergie en substitution évite de nouvelles émissions de CO2 d'origine fossile :** on considère qu'une tonne de bois en chaufferie correspond à environ 0,6 tonne de CO2 évitée, et que l'utilisation de 4m3 de bois-énergie en substitution d'énergie fossile pour le chauffage collectif résidentiel permet d'éviter l'émission de 2,5 tonnes CO2 dans l'atmosphère.



Source : C. Dodane, 2007

Au-delà de ces principes, le bois-énergie n'est pas tout à fait neutre en CO2 car il faut de l'énergie fossile pour gérer et exploiter la forêt, déchiqeter les plaquettes, les sécher, les transporter. L'ADEME (Bilan Carbone) estime le facteur d'émissions de la plaquette forestière à 13 kg eq C/tonne contre 4 kg eq C/tonne pour les connexes de scierie et broyats et plus de 900 - 1000 kg eq C/tonne pour le fioul ou le gaz (cf chapitre 6.4.1). Par ailleurs le transport d'une tonne de bois déchiqeté sur 100 km représente moins de 1% de l'énergie transportée.

Le Bilan ACV (Analyse du Cycle de vie) des filières bois énergie a montré (étude ADEME/BIOS, 2006) qu'il faut 0,26 kWh d'énergie primaire pour produire 1 MWh utile via une chaufferie collective à partir de la plaquette forestière, soit un bilan légèrement supérieur à celui des produits connexes de scierie ou des broyats de recyclage, mais 5 fois moins que pour le gaz et 6 fois moins que pour le fioul.



Source : ADEME/BIOS, 2006

Pour aller plus loin :

- la forêt française, un puits de carbone. IF n°7, mars 2005.
- Bilan environnemental du chauffage collectif (avec réseau de chaleur) et industriel au bois. ADEME / BIOS, 2005
- projet Carbofor : Séquestration de Carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. Rapport final, GIP ECOFOR- INRA, Juin 2004

## 2.4- Le bois énergie dans les politiques forestières et territoriales

### 2.4.1/ Les outils de structuration et de développement intégré de la filière bois

Pour un certain nombre d'acteurs de la filière bois énergie (industriels et collectivités ayant des projets de chaufferies, institutions publiques, organisations professionnelles), au-delà de la caractérisation du gisement opérationnel en bois énergie, il est important de tendre vers une structuration de la filière et d'évaluer sa capacité à répondre aux différents enjeux. Pour cela des outils existent et sont actuellement déployés à l'échelle nationale. Les 4 principales démarches, de nature et d'échelle différentes, fournissent des éléments d'analyse et/ou de structuration pour le bois énergie :

- **Le Plan de Développement de Massifs (PDM)** est une action de développement local au service de la forêt privée et des propriétaires forestiers, et plus largement de tout le territoire concerné. Cette approche par massif, pilotée par les CRPF, doit favoriser la gestion forestière à l'échelle d'un territoire, afin de trouver des solutions aux problèmes qui rendent coûteuse ou économiquement impossible la mobilisation des bois (morcellement de la propriété, qualité des bois, accessibilité des massifs, ...). Cette action vise aussi à développer la multifonctionnalité de la forêt, elle s'inscrit dans l'aménagement du territoire (source CRPF

Poitou-Charentes). Après une phase d'analyse et d'études terrain, ces démarches ont pour objectifs de réduire les effets du morcellement par l'organisation d'actions d'animation favorisant la gestion forestière sur le long terme et le regroupement (desserte commune, chantiers d'exploitation en commun...). Les sylviculteurs sont incités à la gestion forestière en mettant en place ou en adhérant à un document de gestion durable individuel ou groupé. Les techniciens de coopératives forestières organisent ensuite les actions techniques et économiques du massif afin de répondre aux objectifs de récolte des bois et à leur écoulement. Bien que le bois énergie ne soit pas l'objectif principal, l'augmentation globale de la récolte induira des volumes supplémentaires de BE. Pour être efficace, l'animation du PDM doit déboucher sur des actions concrètes de mise en valeur des forêts et de mise en marché des bois.

- **Les Chartes Forestières de Territoire (CFT)** instaurées par la loi d'orientation forestière de juillet 2001 (article L.12 du Code forestier), sont un outil de nature contractuelle, mis en œuvre à l'initiative des acteurs locaux et, en premier lieu, des collectivités. Elle consiste à analyser la place de la forêt (publique et privée) et de la filière bois au sein d'un territoire, en vue de bâtir un projet partagé de développement forestier local. Elle repose sur une démarche de concertation entre les acteurs concernés par la forêt et la filière bois du territoire, offreurs et demandeurs de biens et de services rendus par la forêt. Elle se concrétise par la mise en œuvre d'un programme d'actions pluriannuel. Des actions spécifiques, sur la récolte de bois ou sur le développement de chaufferies locales, directement liées au bois énergie sont souvent mises en place.
- **Le schéma directeur de desserte (SDD)** résulte de l'étude de la desserte d'un secteur forestier (massif, commune ou région naturelle). Il propose un réseau rationnel et efficace permettant une exploitation forestière la plus économique possible, en s'appuyant sur la voirie routière existante et en recherchant la meilleure desserte des massifs boisés. Les projets de création ou d'amélioration sont hiérarchisés selon leur degré d'urgence, après consultation de tous les intéressés. Le schéma directeur, basé sur la concertation, permet de privilégier les projets collectifs (route empierrée desservant plusieurs propriétés) qui ont l'avantage de diminuer la part individuelle de financement de chacun des propriétaires concernés. Cette approche globale permet de présenter des projets cohérents, susceptibles de bénéficier de façon prioritaire d'aides financières bonifiées de la part des pouvoirs publics (source, CRPF Ile de France et Centre). Compte tenu de l'importance de l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement pour la filière bois énergie, la qualité de la desserte impacte directement les volumes réellement mobilisable pour le bois énergie.
- **Le Plan d'Approvisionnement Territorial (PAT)** est un outil d'aide à la décision qui inventorie les chaufferies bois en fonctionnement ou en projet et détermine de façon opérationnelle les quantités de bois susceptibles d'être mises en marché, leur localisation et leurs coûts de mobilisation associés à l'échelle d'un territoire organisé. Le PAT permet ainsi de mettre en parallèle les consommations actuelles et futures (à court terme) et la ressource mobilisable. Le plan d'approvisionnement donne également les informations nécessaires pour définir les équipements communs (plates-formes, hangars, etc.) à mettre en place pour assurer la sécurité de l'approvisionnement et la mutualisation des différentes sources de bois (forêts

publiques, forêts privées, industriels du bois, agriculteurs) à l'échelle du territoire. Il constitue enfin un outil d'aide à la décision précieux pour envisager les investissements nécessaires en amont pour une mobilisation accrue des bois et une logistique optimisée (source FNCOFOR). Il s'agit d'un outil spécifique centré autour du bois énergie à l'inverse des deux autres qui sont plus généralistes.

outil	Principes généraux	Impact sur la récolte de bois énergie	Principales structures motrices	Principales cibles de la démarche
<b>PDM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Projet de développement local</li> <li>- Favoriser la multifonctionnalité de la forêt</li> <li>- Favoriser la mise en gestion des forêts et la mobilisation des bois</li> </ul>	Objectif d'augmentation de la récolte forestière et donc potentiellement de BE	CRPF, UCCF, Forestiers Privés de France	Petits propriétaires forestiers dans des massifs précis où un déficit de gestion est identifié et une demande de développement initiée
<b>CFT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboration d'un contrat entre acteurs pour développer le secteur forestier sur un territoire</li> <li>- Démarche de concertation notamment entre forêt publique et forêt privée</li> </ul>	Elaboration de programme d'actions forêt-filière bois avec souvent la mise en place de chaufferies, et l'augmentation de la récolte de bois	Collectivités de type pays ou syndicat mixte Animé par les communes forestières et/ou le CRPF	Toute la filière bois et tous les acteurs extérieurs ayant un rapport avec la forêt
<b>SDD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposer un réseau de voirie forestière optimum sur un massif</li> <li>- Projet collectif</li> </ul>	Lien direct entre la qualité de la desserte et la mobilisation de bois (dont le BE) car la diminution des coûts logistique est primordiale dans la chaîne de valeur du BE	Collectivités de type communes ou communautés de communes et piloté par les CRPF	L'ensemble des propriétaires forestiers d'un massif non ou mal desservi
<b>PAT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantifier la ressource bois énergie pouvant alimenter durablement les chaufferies du territoire</li> <li>- Optimiser la localisation de nouveaux projets de chaufferies et de plateforme en fonction de la ressource en bois, la voirie, les plateformes existantes, les chaufferies existantes....</li> </ul>	Outil dédié aux élus d'un territoire pour appuyer leur stratégie de développement du BE à l'échelle d'un territoire	Collectivités de type pays ou syndicat mixte Piloté par les communes forestières	Collectivités, tous les maillons de la chaîne approvisionnement en BE

Pour aller plus loin :

- les démarches territoriales de développement forestier : réflexions nationales et exemple local en Lozère. AgroParisTech, CRPF Languedoc-Roussillon, mémoire fin d'études S. Dupire, juin 2010
- prendre contact avec le CRPF (pour les PDM, les CFT), les communes forestières (pour les PAT, les CFT)

### *2.4.2/ Cadre politique réglementaire et technico-économique pour la mobilisation de bois*

---

La mobilisation de biomasse forestière est également confrontée à un certain nombre de règles et de contraintes territoriales :

- **Administratives** : le code forestier institue différentes règles de gestion durable auxquelles les propriétaires forestiers doivent se conformer pour pouvoir exploiter leur bois. Par exemple, un propriétaire de plus de 25 ha se doit d'avoir et de respecter un plan simple de gestion agréé (PSG) ou une autorisation administrative de coupe pour effectuer des récoltes de bois au sein de sa propriété. Pour les propriétés de plus petite surface, il est par exemple obligatoire de procéder à des opérations de régénération après des coupes rases d'une certaine surface, souvent 1 à 2 ha dans des massifs de plus de 4 ha. Ces seuils sont variables selon les départements. Compte tenu des coûts importants de ces opérations au regard d'un revenu parfois faible, les propriétaires pourront préférer ne rien exploiter.

Attention, bien **distinguer coupe d'arbres** (opération sylvicole) et **défrichement** (destruction de l'état boisé du terrain).

Le Code forestier stipule « *qu'aucun particulier ne peut user du droit de défricher ses bois sans avoir préalablement obtenu une autorisation administrative* » (sauf massif < 4 ha et parcs et jardins). La validité de l'autorisation est de 5 ans c'est-à-dire obligation de revenir à l'état boisé dans les 5 ans avec un potentiel de production au moins équivalent.

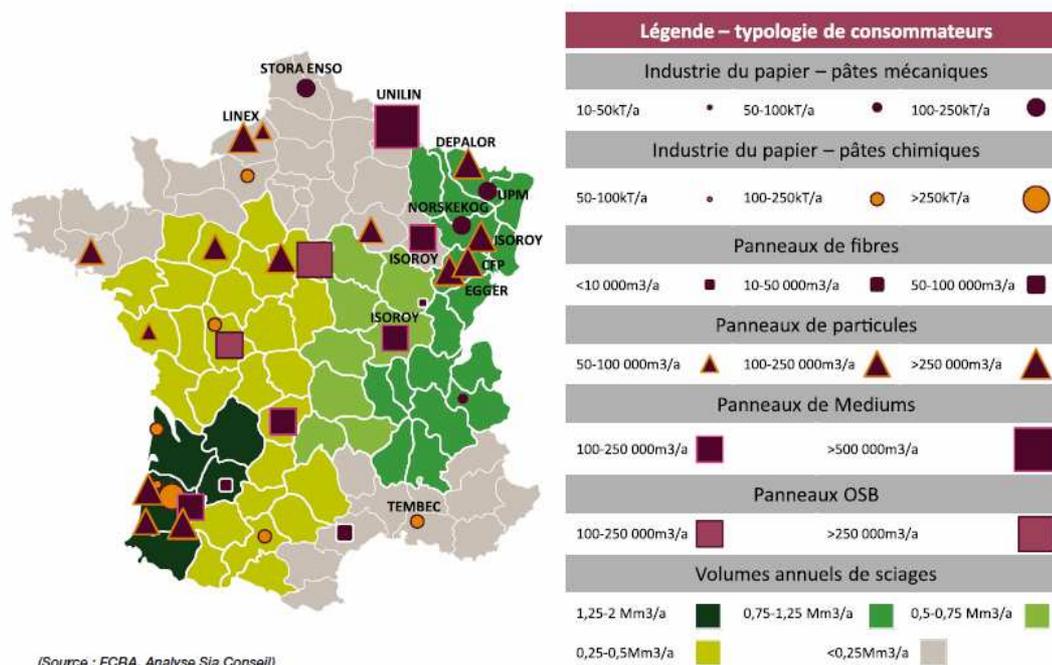
D'autre part les coûts de mobilisation du bois peuvent être contraints par des surcoûts liés au transport et aux limitations de tonnage sur les routes. Dans chaque département un arrêté préfectoral relatif au transport des bois ronds définit les itinéraires sur lesquels la circulation de ces transports excédant la limite réglementaire de 40 tonnes de PTR (Poids Total Roulant Autorisé) est autorisée ainsi que les limitations de tonnage.

*Pour connaître l'ensemble des règles et procédures administratives, il faut se documenter auprès des services forestiers de la Direction Départementale des Territoires de son département et des services de la Préfecture.*

- **Economiques à l'échelle de l'ensemble de la filière bois** : Le cours des bois est très fluctuant au cours du temps. Il est soumis à de multiples facteurs : activité des secteurs de la construction, de l'ameublement, activité mondiale pour les usines de papier et les industries des bois d'emballage.

Comme il a été montré précédemment, le bois énergie est dépendant pour une bonne part de la bonne santé et du développement de la mobilisation du bois d'œuvre (puis qu'une part significative de la disponibilité brute du BIBE est liée à l'exploitation du BO). Par contre, les concurrences d'usages sur la ressource bois énergie concernent essentiellement le bois de trituration ou bois d'industrie. En conséquence, les plus fortes concurrences s'exercent à l'échelle des bassins d'approvisionnement des unités industrielles de panneaux et de papier qui sont réparties essentiellement dans le quart sud-ouest, le centre et le quart nord-est de la France (cf carte)

Les acteurs traditionnels de la filière bois



En dehors des zones de chalandise des unités industrielles de trituration, la concurrence sur les produits bois énergie étant peu élevée, les prix de la matière payée au propriétaire restent faibles.

Toutefois, à l'autre bout de la chaîne, c'est-à-dire au niveau du combustible livré en chaufferie, le bois énergie est ici mis en concurrence avec les énergies fossiles. L'évolution du cours de ces dernières, et l'augmentation de la chaleur payée par les usagers, pourrait impacter positivement les possibilités de rémunération auprès des propriétaires de la matière première.

- Techniques et structurels** : La forêt française présente un certain nombre de contraintes techniques comme le morcellement de la forêt privée qui rend la taille moyenne des chantiers assez faible et qui peut, selon les cas, rendre impossible l'exploitation forestière, le déplacement des machines n'étant pas rentabilisé. Au-delà du morcellement, l'absence de réseau de pistes, de desserte, de place de dépôts en forêt permettant le stockage des bois, représente une contrainte à la fois pour le propriétaire mais aussi et surtout pour l'entreprise forestière. Les infrastructures de desserte sont ainsi un point très important pour la faisabilité d'un chantier de bois énergie. La taille et l'agencement de la place de dépôt déterminent notamment les possibilités de broyage direct en forêt ou de ressuyage des bois. En l'absence de tels équipements, les chantiers peuvent être plus coûteux, car la modalité retenue dans le phasage exploitation-débardage-déchetage-transport ne pourra être optimale. Les coûts de ces infrastructures sont néanmoins très importants de l'ordre de 20 000 à 40 000 €/km pour la création des routes forestières et de l'ordre de 2 000 à 5 000 € pour les places de dépôts mais ils sont indispensables pour récolter du bois. Des aides spécifiques publiques existent et permette de financer, à hauteur de 50% à 80% ces travaux.

### 2.4.3/ Une diversité des aides à la mobilisation du bois énergie

Outre les aides publiques délivrées à la filière forêt-bois de manière globale, qui peuvent avoir des effets induits positifs sur la filière bois énergie, il existe également des aides spécifiques. Elles sont de plusieurs ordres :

- **Aides aux équipements bois énergie** : les entreprises de la filière peuvent percevoir des soutiens financiers pour s'équiper en matériel spécifique comme des déchiqueteuses, des plateformes de stockage, des matériels de conditionnement (cribleur/affineur...) ou de mesure (pont bascule, kit de mesure d'humidité). Les porteurs de projets de chaufferie sont également appuyés financièrement notamment par le biais du fonds chaleur de l'ADEME. Ces aides, qui ont recueilli un accueil très favorable de la part de la filière, n'ont pas fait l'objet d'évaluation économique suffisante ce qui a pu aboutir à un suréquipement de matériel dans certaines régions : c'est notamment le cas pour le parc des déchiqueteuses qui accuse une sous-utilisation de 40 à 50% en moyenne (source CIBE, 2010-2011). De même pour l'équipement en plateforme.
- **Aides immatérielles** : L'Etat et les collectivités soutiennent des démarches d'animation et d'appui à l'organisation de filière BE au travers du financement d'interprofessions régionales, de structures d'animation de la filière BE, de structures de conseil aux entreprises et aux maîtres d'ouvrage... L'ensemble des outils territoriaux présentés précédemment sont également portés par les soutiens publics (Etat, collectivités).
- **Aide à la mobilisation de bois** : Il existe de nombreuses aides à destination des propriétaires forestiers. Elles concernent à la fois les infrastructures (routes forestières, places de dépôt...) et les peuplements forestiers (reboisement après une coupe d'un peuplement pauvre, régénération naturelle, travaux d'amélioration). Elles ne sont pas spécifiques au bois énergie mais elles participent à la mobilisation de la ressource et donc du bois énergie. Les principes de fonctionnement sont généralement les mêmes, prise en charge d'une partie de la dépense, mais les modalités (taux de prise en charge, conditions d'éligibilités) peuvent varier selon les régions. L'Etat assure une partie des financements mais les collectivités comme les conseils régionaux et généraux se dotent de plus en plus de compétences autour de la filière bois et allouent des crédits spécifiques. Il est donc important de prendre contact avec les services de la Direction Départementale des Territoires (DDT) et les services forestiers des collectivités pour disposer des informations précises.

**Au regard du prix des énergies fossiles, le contexte économique actuel de la chaîne de valeur du bois énergie rendu à l'utilisateur de chaufferies bois, en particulier celui de la filière plaquettes forestières, est encore peu favorable à un développement endogène de la filière. C'est pourquoi il est nécessaire que des appuis financiers poursuivent les aides à cette filière.** L'interconnexion avec les autres secteurs de la filière bois permettra par des effets induits un développement conjoint.

*Vous avez un projet ? → Consultez les services de l'Etat (DDT, DRAAF, ADEME), du Conseil Régional et du Conseil Général d'où vous dépendez.*

## 2.5- La valorisation de bois énergie dans un massif forestier

### 2.5.1/ A qui s'adresser pour valoriser du bois énergie en forêt ?

Le schéma ci-dessous présente succinctement l'organisation de la filière forêt-bois ainsi que les rôles des principaux acteurs, organismes et professionnels. Cette organisation est très cloisonnée et peu intégrée.



Aujourd'hui, à travers les interprofessions régionales et nationales de la forêt et du bois, tous ces acteurs tentent de relier les différents maillons de la chaîne afin de créer une dynamique de filière indispensable pour donner de la visibilité et rassurer les utilisateurs de bois énergie (voir chapitre 6) :

- Les coopératives forestières interviennent dans l'appui aux propriétaires pour la gestion de leur forêt, et mobilisent le bois pour le vendre directement aux industries de transformation ou aux chaufferies pour le BE.
- L'ONF développe la vente de bois par le biais de contrats d'approvisionnements pluriannuels de bois bord de route ou rendus usine.
- Certains propriétaires privés rentrent dans le capital d'entreprises de la transformation et leur apportent ensuite leur matière première. Des schémas équivalents sont à l'étude pour les chaufferies bois. C'est le modèle retenu en Autriche par exemple.
- Les collectivités initient des partenariats publics – privés, ou sont à l'origine de regroupements des acteurs du bois énergie pour un développement raisonné de la filière sur leur territoire.

### 2.5.2/ Chaque forêt présente un « profil énergétique » qui évolue dans le temps

L'ensemble des interventions, y compris certains entretiens de peuplements forestiers, peut produire du bois énergie. Ce potentiel commun de valorisation énergétique représente un atout et une spécificité de la filière BE et permet d'envisager des opportunités de gestion d'espaces forestiers jusqu'alors délaissés. D'autant que la filière bois énergie offre une très bonne visibilité sur le long terme dans ses débouchés : les projets de chaufferies sont en effet mis en place pour des durées de l'ordre de 20 à 30 ans.

Mobiliser les propriétaires autour de cette thématique est donc primordial car ils constituent le premier maillon indispensable de la filière. Il est cependant important que le BE apporte aux propriétaires suffisamment de garanties pour qu'ils puissent mettre en place une gestion durable et économiquement viable de leur patrimoine forestier.

Pour atteindre cet objectif, le propriétaire gagnera à **déterminer le « profil énergétique » de sa forêt** qui correspond à **la capacité de sa forêt à produire du BE sur le long terme dans des conditions durables**, tenant compte des modes de gestion et des autres usages bois à satisfaire. La méthode consiste à distinguer, en fonction plusieurs critères (essence, dimension, objectifs sylvicoles, contexte économique local...), les peuplements qu'il peut « dédier » au BE de ceux où le BE n'est qu'un produit « induit » par d'autres coupes à enjeu BO. Cette réflexion peut intervenir à un moment important de la vie d'une propriété : rédaction d'un document de gestion durable, coupe dans une propriété, achat d'un massif forestier, réalisation d'un investissement de type infrastructures...

En fonction des différents types de coupes prévues (gisement dédié ou gisement induit) et des caractéristiques des peuplements (âge, quantité de bois sur pied, qualité des tiges, taux de prélèvement...) le propriétaire pourra établir seul ou avec l'aide d'un gestionnaire forestier un prévisionnel de récolte et de production en bois énergie. Plus le taux du gisement induit est important par rapport au total et plus l'analyse de l'évolution des marchés bois d'œuvre sera essentielle pour mesurer le degré de faisabilité de ce programme. Enfin même si les cours du bois bûche sont très variables selon les types de peuplements et la localisation de la forêt, ils s'avèrent généralement beaucoup plus rémunérateurs que le bois énergie en termes de plaquette forestière. Pour trouver le bon interlocuteur en fonction de votre type de propriété, vous pouvez vous reporter au tableau précédent du 2.5.1.

La consommation personnelle de bois bûche pour des besoins de chauffage domestique peut influencer la gestion sylvicole mais il est important de bien analyser la situation, pour limiter les « sacrifices » d'exploitation. En effet, dans certains cas l'intérêt économique du propriétaire est plus fort à vendre ses bois sur les marchés bois d'œuvre pour racheter ensuite son bois de chauffage, plutôt que de produire lui-même son bois bûche à partir de ses grumes.

#### **Comment intégrer mon statut de propriétaire forestier dans les choix de chauffage domestique ?**

*Deux alternatives se présentent pour un propriétaire forestier désireux d'utiliser son patrimoine boisé pour se chauffer : chauffage au bois bûche ou chauffage aux plaquettes forestières. Le type de forêt dont il dispose est déterminant dans son choix. En effet, des forêts résineuses ou avec des peuplements très jeunes seront plus adaptées à la plaquette, alors que des forêts feuillues avec des*

*bois de gros diamètres possédant des houppiers développés seront bien adaptées à la production de bois bûche.*

*D'autre part, les filières plaquettes et bois bûche se différencient par le niveau d'investissement et de compétence nécessaire pour le conditionnement du combustible. Pour le bois bûche, les investissements sont réduits mais les opérations de production et de conditionnement nécessitent néanmoins beaucoup de temps. La filière plaquette forestière nécessite quant à elle des investissements en matériels et infrastructures beaucoup plus lourds (déchiqueteur, hangar) des espaces de conditionnement (hangar de séchage et stockage), et des savoir-faire techniques (maîtrise de la granulométrie, de l'humidité) ainsi que de l'anticipation qui sont difficilement maîtrisables et ne peuvent s'amortir avec la seule consommation annuelle d'un ménage moyen. Sauf à vendre ses bois à une plateforme BE locale en contrepartie d'un approvisionnement en plaquettes forestières sèches issues de cette plateforme.*

*Exemple d'une famille qui consomme annuellement 1000 litres de fuel/an pour ses besoins de chauffage : pour obtenir le même contenu énergétique, il faudra qu'elle conditionne 10 MAP (Mètre cube Apparent Plaquette) de plaquette forestière ou 7 stères de bois bûche, ce qui correspond à la production biologique annuelle moyenne d'un hectare de forêt française.*

*L'auto-approvisionnement en plaquette forestière, attractif sur le plan théorique et environnemental (possession de la matière, circuit le plus court possible, pratiquement sans transport) pour un propriétaire forestier, s'avère d'autant plus discutable sur le plan économique et pratique qu'une offre bois énergie existe déjà sur un territoire de proximité. Un propriétaire désireux de se chauffer avec une chaudière à plaquette aura davantage intérêt à vendre son bois brut, ou le faire conditionner par des professionnels pour ensuite acheter un combustible de qualité, plutôt qu'à produire lui-même sa plaquette. C'est finalement le raisonnement inverse du bois bûche.*

### 2.5.3/ Les différents modes de vente du bois énergie

Il existe **deux modes de vente** principaux :

- **la vente sur pied** : le bois est vendu alors qu'il n'est pas exploité
- **la vente bord de route** : le bois est vendu après avoir été abattu et débardé

Ces deux modes de vente se couplent à **deux types principaux d'estimation du volume** :

- **la vente en bloc** : le prix proposé par l'acheteur est global
- **la vente à l'unité de produit** : l'acheteur propose un prix par catégorie de produit avec une unité donnée (tonne, m<sup>3</sup>, stère).

Des systèmes mixtes de vente sur pied peuvent également exister. Pour plus d'informations, il existe de nombreuses **fiches éditées par les CRPF** (Centre Régionaux de la Propriété Forestière) qui détaillent l'ensemble des possibilités. Voir site de la forêt privée [www.foretpriveefrancaise.com](http://www.foretpriveefrancaise.com)

Pour le propriétaire, la vente en bloc et sur pied est le système où il maîtrise le moins la destination des produits. Du bois énergie sera produit seulement si l'acheteur possède les débouchés correspondants. La rédaction d'un cahier des charges d'exploitation peut néanmoins orienter et

influencer la récolte. Par exemple, un propriétaire vendant une coupe de grumes feuillues en bloc et sur pied peut se réserver l'ensemble du BIBE et des MB. Libre à lui ensuite de revendre cette matière à un autre professionnel impliqué dans la filière bois énergie. Néanmoins, la multiplication des intervenants sur une coupe de bois ne permet pas toujours d'optimiser les différentes opérations.

A l'inverse, la vente bord de route à l'unité de produit permet au propriétaire d'avoir un impact plus important sur la commercialisation de la matière. Pour le bois énergie, les unités utilisées peuvent être classiques, comme la tonne ou le stère, ou très spécifiques comme le MWh, le MAP (Mètre cube Apparent Plaquette) ou la tonne anhydre (voir chapitres 1 et 5). A noter que dans le cadre d'approvisionnements locaux, certains propriétaires vendent le bois énergie rendu à la chaufferie ou à une plateforme pour maîtriser les temps de séchage impactant directement le poids du chargement.

La régularité de la demande offerte par la filière BE permet d'**envisager la mise en place de contrats d'approvisionnements entre les propriétaires et les utilisateurs de biomasse**. Compte tenu de la faible qualité du produit et des difficultés rencontrées dans certaines régions pour l'écouler, la gestion forestière et l'amélioration des peuplements peuvent être grandement facilitées par ces méthodes de commercialisation innovantes. Pour une bonne mise en œuvre de ces contrats d'approvisionnements, il est important que le propriétaire mène une **réflexion de calcul du « profil énergétique » de sa forêt** :

- s'il surestime le potentiel réel de sa forêt (mauvaise anticipation des marchés de bois d'œuvre et surestimation du gisement induit par exemple), il sera alors obligé de réaliser des sacrifices d'exploitation ou de rompre le contrat.
- A l'inverse s'il sous-estime son potentiel, cela peut conduire à des difficultés de commercialisation de produits peu valorisants.

**Consulter l'arbre de décision : MA FORET PEUT ELLE METTRE EN MARCHE DU BOIS ENERGIE ?**

### Quelques équivalences simplifiées pour le propriétaire forestier

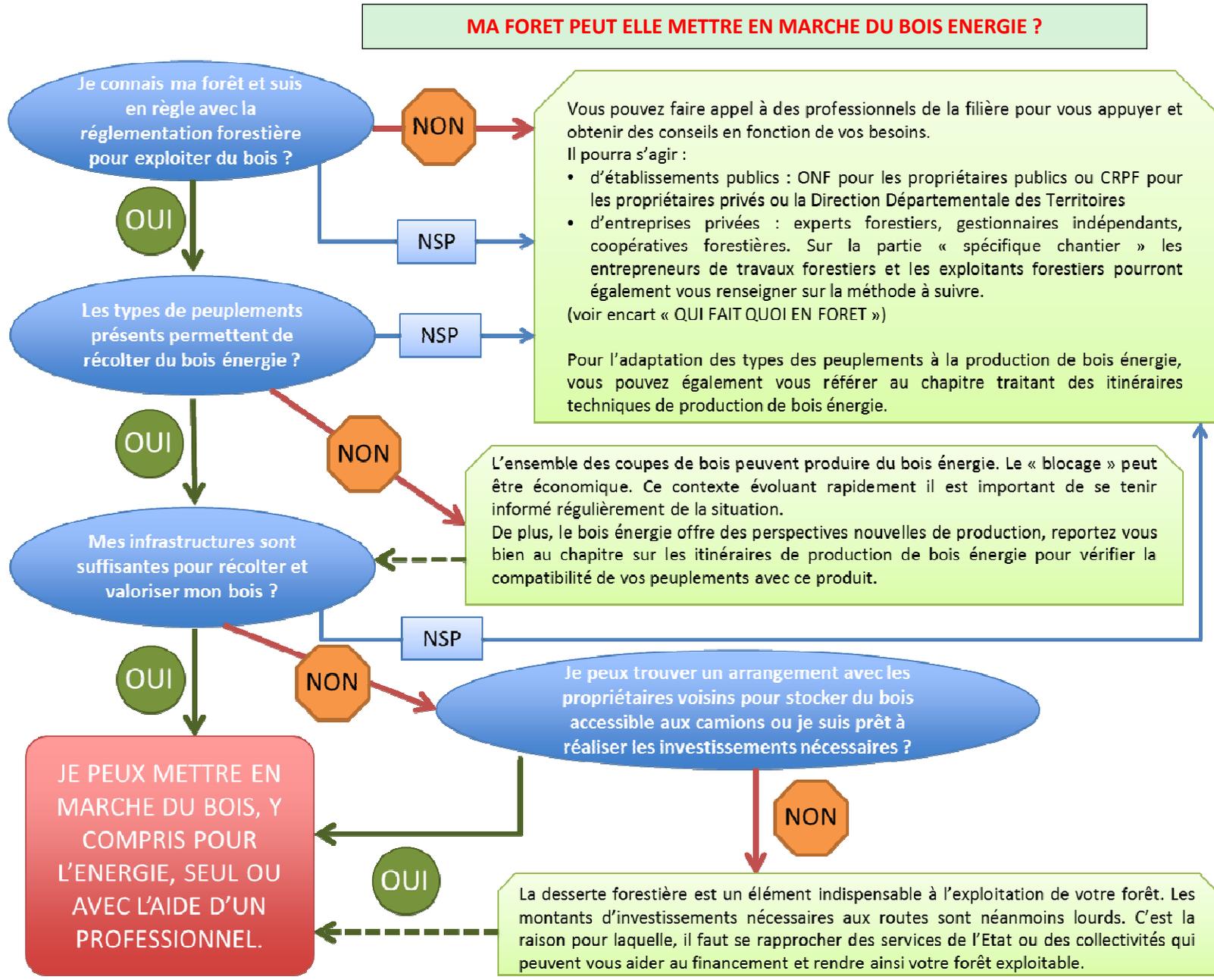
(attention, pour des équivalences plus précises et détaillées consultez l'annexe 1)

1 m<sup>3</sup> équivalent bois rond frais = 1,5 stère = 2 à 2,5 MAP = 1 980 kWh = 0,17 tep  
 1 tonne bois sec (25 % d'humidité) = 1,33 m<sup>3</sup> bois rond  
 1 tonne bois frais = 1,20 m<sup>3</sup> bois rond  
 1 stère = 0,67 m<sup>3</sup> bois rond  
 1 MAP (Mètre cube Apparent Plaquettes) = 0,50 m<sup>3</sup> bois rond  
 1 MWh = 0,50 m<sup>3</sup> bois rond

Pour aller plus loin : consultez l'annexe 1



Source schéma : Auvergne Promobois, Bois Energie 15, 2011



## Chapitre 3- Principes généraux de la production de la plaquette forestière

### 3.1- Etapes de la production et les matériels

Depuis l'arbre sur pied jusqu'à sa transformation totale ou partielle en plaquettes forestières, plusieurs opérations conjointes ou successives sont à effectuer. Le choix des étapes de production dépend principalement du **type de coupe** mobilisée, des **caractéristiques du chantier** (accessibilité, portance du sol, pente ...), des **produits à réaliser** (BO-BI-BE), et des **moyens des entreprises** disponibles. Il est important que ce choix s'effectue dès le début de la planification d'une coupe, afin de prévoir et d'assurer une bonne coordination entre les acteurs concernés tout au long de la chaîne de production.

> **Les opérations d'exploitation des bois (1 à 6)** se font sur parcelle forestière et sont déclinées selon le matériel utilisé :

Ces travaux sont le **bûcheronnage** manuel ou mécanisé, le **groupage** de bois et le **fagotage** de rémanents, ainsi que des actions combinées s'effectuant avec une même machine telles que le bûcheronnage mécanisé/débardage avec une machine combinée. Il est à noter que certains travaux peuvent se faire conjointement sur le même chantier : une coupe irrégulière de résineux peut être faite en partie manuellement (gros bois) et en partie mécanisée (petits bois et bois moyens).

> **Les opérations de débardage (7 à 12)** se font à la suite du bûcheronnage, du groupage éventuel ou du fagotage et sont classées en fonction des principaux types de matériels utilisés :

Le débardage consiste à transférer les produits bois depuis le parterre de la coupe jusqu'au bord de route et se fait avec du matériel roulant (tracteur, porteur forestier, débusqueur ...), un système de câble-mât (téléphéage) ou bien par traction animale. Selon les cas, les bois ébranchés ou non-ébranchés sont débardés en étant traînés, semi-portés ou portés, à l'exception des fagots de rémanents qui sont toujours sortis par portage. Si le déchiquetage se réalise sur parcelle, cela peut aussi concerner des plaquettes forestières par container.

> **Le transport représente l'opération suivante (13) : il** concerne le **transport du bois en long, en billons ou en fagots**, depuis l'endroit où il a été débardé (bord de route ou sur place de dépôt) jusqu'à une plate-forme. Cette opération ne s'applique qu'aux produits devant être déchiquetés sur plate-forme. Ce transport est effectué le plus souvent par camion-grumier pour les bois longs, et par camion-plateau pour les bois billonnés et les fagots.

> **Les opérations de déchiquetage (14 à 17) :**

Le déchiquetage consiste à transformer tout ou partie d'un arbre en plaquettes forestières coupées, avec une machine équipée de couteaux montés sur un rotor à disque ou à tambour (*cf chapitre 1*). Cette action est suivie soit d'une mise en tas des plaquettes bord de route (*stockage en forêt, opération peu courante*), soit d'une livraison directe en chaufferie (*flux tendu, pour les installations de forte puissance*), ou bien d'un transport du produit sur plate-forme (*stockage intermédiaire, à destination finale de petites et moyennes chaufferies*). Dans cette opération, on distinguera le bûcheronnage-déchiquetage fait sur coupe par machine automotrice, puis le déchiquetage sur coupe, bord de route ou sur plate-forme.

> **L'opération 18** traite les cas particuliers de la **valorisation énergétique des souches** (*extraction et fragmentation des souches, transport, broyage ...*) et de la **récolte sur parcelle de biomasse issue de broyage forestier** (*nettoyage de parcelles, ouverture de cloisonnements en régénération naturelle ...*).

> **L'opération 19** correspond au **déplacement des engins forestiers** :

Il s'agit du transfert par route, sur camion porte-engin, du matériel lourd de récolte forestière ou de production de plaquettes (abatteuse, porteur, débusqueur, pelle hydraulique, déchiqueteuse ...), ou bien du déplacement des animaux de débardage.

> **Les opérations de transport et livraison (20 et 21)** suivent le déchiquetage sur coupe, bord de route ou sur place de dépôt. Ce sont les **livraisons en flux tendu**, qui se font directement du site de déchiquetage à la chaufferie (1<sup>er</sup> cas) et le **transport des plaquettes sur plate-forme** (2<sup>ème</sup> cas).

**Le lecteur se reportera à l'annexe 3 pour l'identification et la description des matériels utilisables selon le type d'opération**

Opération 1	Moyens	Produits concernés
<b>Bûcheronnage manuel</b>	Opérateur(s) + tronçonneuse(s)	BO-(BI)-BE

Cette opération est effectuée sur le parterre des coupes par un opérateur qualifié, disposant d'une tronçonneuse et d'équipements de protection individuelle (casque complet, pantalon anti-coupure, chaussures de sécurité ...).



Photo D. Barthelet

Il travaille seul ou en équipe et son intervention peut être coordonnée avec des actions mécanisées telles que le groupage de bois sur coupe ou le débardage. Dans ces deux cas de figure, le rangement ou l'évacuation des bois au fur et à mesure de l'exploitation permet de sécuriser la zone de travail des bûcherons (*bûcheronnage mécaniquement assisté*). Le bûcheronnage manuel est souvent réservé « par défaut » aux coupes non-mécanisables : chantier inaccessible pour une abatteuse, gros bois feuillus et résineux ...

Selon les produits à réaliser, l'abattage des arbres à la tronçonneuse peut être suivi d'un façonnage sommaire (coupe BE), ou bien d'un façonnage et d'une découpe adaptés aux assortiments voulus (coupe BO-BI-BE).

**Exemple de chantier :** Coupe de charmes en forêt communale d'Etueffont (Territoire de Belfort) – Production 100 % BE (50 % bois-bûche et 50 % bois-plaquettes)

Abattage, façonnage de billons en 4 m, démembrement sommaire des houppiers.

Le tri / groupage des produits se réalise sur coupe par un tracteur équipé d'une grue, avant débardage au porteur forestier. Les billons de charme en 4 m, découpés à 20 cm fin bout, sont destinés à la production automatisée de bois-bûche.

Les houppiers sont affectés à la production de plaquettes (débardage au porteur, déchiquetage bord de route et transport par camion porte-container sous hangar).

Sur ce type de chantier, le porteur forestier sort environ 12 tonnes de billons façonnés en 4 m par tour. Compte-tenu du foisonnement, le rendement pour le bois à déchiqueter est de 5 à 6 tonnes par tour. Le transport de ce bois sur route est inenvisageable en l'état, le déchiquetage se fait donc bord de route

Pour l'évacuation des produits, un roulement de 2 ou 3 containers de 40 m<sup>3</sup> pour la déchiqueteuse et le camion porte-container est nécessaire, selon le rendement au déchiquetage et la distance séparant le chantier du point de livraison des plaquettes

<b>Opération 2</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Groupage des produits sur coupe, après bûcheronnage manuel et avant débardage</b>	opérateur + engin de groupage	BE

En cas de bûcheronnage manuel et selon le type de coupe, il est parfois utile de grouper et de trier les bois afin de faciliter le débardage et d'en limiter le coût. Cette opération se fait le plus souvent avec une mini-pelle ou un tracteur équipé d'une grue voire avec un chenillard équipé d'un râteau andaineur pour les têtes de peuplier (type trax). Elle n'est pas nécessaire lorsque le bûcheronnage est mécanisé (cf opérations suivantes), les produits récoltés étant regroupés par la machine d'abattage au fur et à mesure de l'avancement des travaux.



Photo D. Barthelet

**Exemple de chantier :** Coupe de grumes feuillues (chênes et hêtres) en forêt communale d'Avanne (Doubs)  
Production 50 % BO et 50 % BE.

Après l'abattage et le façonnage des grumes de bois d'œuvre, l'équipe de bûcherons a sommairement démembré les houppiers. Ceux-ci sont groupés à l'aide d'une mini-pelle à chenilles, avant d'être débardés par porteur forestier. Outre une limitation des coûts de débardage, cette technique permet au porteur de rester sur les cloisonnements d'exploitation pour travailler, donc de respecter la régénération naturelle et de limiter le tassement des sols. Le bois à déchiqueter a été entreposé en bord de route et, après une période estivale de ressuyage, transformé en plaquettes et livré en flux tendu à une chaufferie de forte puissance.

Sur ce type de chantier, une variante possible est d'utiliser une pelle hydraulique équipée d'un grappin-découpeur. Dans ce cas, l'intervention des bûcherons se limite à l'abattage et au façonnage des grumes de bois d'œuvre. C'est ensuite la pelle qui prépare le bois énergie en découpant les houppiers et regroupe le bois en tas, avant débardage au porteur.

<b>Opération 3</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Bûcheronnage mécanisé-scie</b>	opérateur + abatteuse-scie	BO-BI-BE

Opération s'effectuant avec une machine à 4, 6 ou 8 roues (ou bien sur chenilles), et disposant d'une « tête de bûcheronnage » montée sur un bras articulé hydraulique. Cette tête est équipée d'une scie à chaîne, de rouleaux entraîneurs et de couteaux ébrancheurs. Elle permet l'abattage, l'ébranchage, le billonnage et le tri des produits. Ces machines travaillent principalement dans les peuplements feuillus au stade petits bois et bois moyens et dans les peuplements résineux.

Elles disposent d'un système informatique automatisé permettant le tri des produits en fonction du diamètre et de la longueur des bois, exigé dans le cahier des charges.

Elles interviennent dans des coupes essentiellement destinées au façonnage de billons de sciage ou de trituration, la production de bois à déchiqeter se faisant en complément si les conditions de rentabilité le permettent.

Si l'ensemble de l'arbre est traité par la machine, cette technique fournit du bois énergie ébranché et billonné. Les menus bois, feuilles et aiguilles restent en coupe. Dans ce cas-là, les produits sortis sont donc transportables sur plate-forme. Il est également possible de se limiter à une simple découpe de la cime, sans l'ébrancher



Source : D. Barthelet



Source : D. Barthelet

*Exemple de chantier : Coupe de restauration environnementale dans les Marais de Saône (Doubs)  
Production 20 % BO, 50 % BI et 30 % BE*

**Bûcheronnage mécanisé-scie**, façonnage-découpe de billons résineux pour la trituration et de bois feuillus/résineux à déchiqeter. Le tri et le groupage des produits se fait directement sur coupe par la machine, au fur et à mesure que les bois sont abattus et façonnés. Le débardage s'est fait par porteur forestier, et les billons ont été vendus bord de route. Le bois à déchiqeter a été transporté par camion-plateau sur plate-forme, transformé en plaquettes et stocké sous hangar. Ce chantier en zone humide s'est réalisé avec du matériel adapté, une petite abatteuse 4 roues de 9,8 t. (voir photo précédente) et un porteur 8 roues (5,9 t. à vide et 5 t. en capacité de charge).

#### Variante :

**Bûcheronnage mécanisé-scie et débardage avec machine combinée** (opérateur + machine combinée abatteuse-scie / porteur)

Certains engins adaptés, appelés combinés ou duals, permettent d'effectuer les opérations de bûcheronnage et de débardage avec la même machine (dite combinée). Cela peut être le cas d'un porteur forestier équipé d'une tête d'abattage, qui va à la fois couper et sortir les bois.

Il existe aussi des abatteuses disposant d'un panier de transport, avec une tête d'abattage pouvant être inter-changée avec un grappin. La même machine va donc faire le bûcheronnage puis, après changement de la tête par l'opérateur, le débardage des produits.



Source : Mascus

<b>Opération 4</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Bûcheronnage mécanisé-cisaille</b>	opérateur + abatteuse-cisaille	BE

Cette opération, qui se fait avec un matériel spécifique, est principalement destinée à la récolte de petits bois feuillus et résineux à déchiqeter. La machine dispose d’une tête d’abattage équipée d’un couteau unique ou d’une cisaille de type sécateur ou guillotine.

Elle effectue la coupe et le groupage des tiges, sans ébranchage. La découpe en longueur est possible ; elle peut se faire lorsque les bois sont sur pied, en élevant la tête d’abattage à 5 ou 6 m de haut, ou bien au sol sur bois abattus.



*Cisaille type sécateur sur pelle mécanique à chenille*  
*Photos R. Grovel*

Les produits sortis étant non-ébranchés, cette opération est généralement suivie d’un déchiqetage bord de route.

Variante :

**Bûcheronnage mécanisé-cisaille et débardage avec machine combinée** (opérateur + machine combinée abatteuse-cisaille / porteur)



*Machine combinée : abatteuse à pince ou cisaille sur porteur - Photos R. Grovel*

Une tête d'abatteuse-cisaille peut être montée sur un porteur forestier et permettre ainsi de couper et de sortir les bois avec la même machine (dite combinée). Dans ce cas, le bois énergie est sorti en premier sur le porteur et le compartiment billon destiné au bois d'industrie, lorsqu'il existe, est laissé sur coupe pour reprise ultérieure.

Le chargement du porteur est de 6 tonnes par tour et en conditions optimales, le rendement journalier du porteur-abatteuse est de 40 à 45 tonnes. Ce rendement est notamment observé dans des coupes rases de taillis feuillus (ex : taillis dépérissant de châtaignier). En éclaircie, la nécessité d'une ouverture préalable des cloisonnements réduit l'intérêt économique de cette solution.

Opération 5	Moyens	Produits concernés
<b>Bûcheronnage mécanisé-à disque</b>	opérateur + abatteuse-disque <i>appelée feller-buncher ou coupeuse-groupeuse</i>	BE

Opération se réalisant à l'aide d'une machine dont la tête d'abattage est équipée d'un disque épais coupant les arbres au pied et d'un grappin permettant de grouper les bois en tas pour faciliter le débardage.

Cette tête coupeuse-groupeuse est relativement lourde (de 3 à 5 tonnes) et nécessite d'être montée sur un engin conséquent avec une forte puissance hydraulique. Elle peut être fixée sur le bras articulé d'une pelle forestière ou sur le relevage hydraulique avant d'un porteur-outil.



abatteuse à disque - Photos R. Grovel

Opération 6	Moyens	Produits concernés
<b>Fagotage sur coupe, après bûcheronnage manuel ou mécanisé</b>	opérateur + fagoteuse	BE

Cette opération, assez répandue dans les pays scandinaves, a été testée en France mais reste actuellement peu pratiquée. Le fagotage sur coupe permet d'éviter les difficultés liées au transport des rémanents en vrac et la mise en œuvre d'une place de dépôt intermédiaire pas

toujours disponible. Elle consiste à compacter et à conditionner en fagots les menus bois (rémanents) restants sur coupe après une exploitation forestière ;

La fagoteuse peut être montée sur un porteur (montage d'origine ou non), ce qui lui permet de pénétrer dans les parcelles en coupes rases en forêts de plaine (machine automotrice intervenant sur la parcelle). Elle peut aussi être montée sur un camion (plus rare) qui lui permet de se déplacer de façon autonome pour passer d'un chantier à l'autre dans les forêts de montagne où les dépôts de rémanents sont généralement localisés en plusieurs points (ex : arrivées de lignes de câble principalement). *Source : ONF Rhône Alpes*

Les fagots sont ensuite débardés au porteur ou, le plus souvent, directement transportés par camion à plateau avec remorque sur le site de la chaufferie pour y être déchiquetés. Ce type de produit est destiné à l'alimentation en biomasse des installations de forte puissance, acceptant un combustible hétérogène.



Fagoteuse montée sur camion 6x6 – Von Atzigen CH  
Source : ONF



Débardage de fagots de rémanents forestiers (Photo :Bjöherden)

Une fagoteuse produit des fagots de 3 m de longueur, 75 cm de diamètre. Ils représentent un volume d'encombrement de l'ordre de 1,3 m3 et produisent, après déchiquetage, 1,6 MAP de plaquettes. Les fagots sont donc moins volumineux à transporter que les plaquettes.

Opération 7	Moyens	Produits concernés
Débardage avec tracteur agricole	opérateur + tracteur agricole avec équipements de débardage	BE

Le tracteur agricole est un outil polyvalent, à 2 ou 4 roues motrices ; il peut porter par système 3 points, entraîné par prise de force ou tracté divers équipements.

Les tracteurs porte-outils forestiers présentent la même polyvalence et sont assimilés dans le présent manuel aux tracteurs agricoles.



Concernant le débardage, un treuil 3 points monté sur l'engin peut permettre de sortir du bois en long par traînage. Cette opération ne s'applique qu'aux petits bois et se pratique très peu en récolte de bois énergie. Il est en effet préférable que le bois à déchiqeter soit sorti de la coupe en étant porté plutôt que traîné, afin d'éviter la présence de terre et de cailloux dans les produits.

Une remorque forestière attelée au tracteur permet de sortir les bois par portage. Elle peut être équipée de roues simples ou motrices.

Le chargement de cette remorque se fait le plus souvent avec une grue :

- portée 3 points et entraînée par prise de force
- montée sur le châssis du tracteur, à entraînement hydraulique
- portée sur remorque et entraînée par prise de force

Équipé d'une benne, un tracteur peut également sortir les plaquettes d'une parcelle, suite à une opération de déchiquetage sur coupe.

<b>Opération 8</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Débardage avec porteur forestier</b>	opérateur + porteur forestier	BO-BI-BE

Cette méthode est la plus couramment utilisée pour sortir des forêts le bois à déchiqeter.

Photo :R. Grovel



Le porteur forestier possède généralement 4, 6 ou 8 roues. Il existe un modèle à 10 roues pour les sols peu-portants.

Il dispose d'une grue et d'un panier de transport permettant de débarder les bois ou les fagots de rémanents par portage. La grue peut être équipée d'un grappin-coupeur permettant la découpe des bois longs. Le porteur peut également avoir des accessoires comme une lame avant ou un treuil.

Dans certaines coupes (éclaircies feuillues et résineuses, taillis...) le porteur peut sortir des petits bois d'une longueur pouvant aller jusqu'à une

quinzaine de mètres. Ils sont chargés côté gros bout sur le panier, et seules les cimes traînent à terre durant le débardage.

*Il est à noter que la capacité de charge d'un porteur annoncé par les constructeurs s'applique à des bois billonnés et ébranchés. Si celle-ci est affichée à « 12 tonnes », le poids réel sorti avec du bois à déchiqeter peu ou pas ébranché ne sera que de 5 à 6 tonnes par tour, selon le degré de foisonnement des produits transportés.*

<b>Opération 9</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Débardage avec débusqueur à grue ou à pince</b>	opérateur + débusqueur grue / pince	BO-BI-BE

Les débusqueurs - ou *skidders* – sont des engins forestiers à 4 ou 6 roues motrices, pouvant disposer selon les modèles de nombreux équipements pouvant être combinés : radiocommande, lame avant avec ou sans griffe de manutention, simple ou double treuil à câble, grue ou pince sur bras articulé, pince sur châssis ...

Concernant le débardage de bois à déchiqeter, les débusqueurs à grue ou à pince sont plus utilisés que ceux à câble (*cf opération suivante*). Ils permettent en effet de porter partiellement les produits à sortir (débardage semi-porté) et ont souvent un rendement de production plus important.

Mais, contrairement au câble, il est nécessaire que l'engin se rapproche au plus près des bois à sortir. Cet inconvénient peut être limité par l'installation de systèmes combinés sur le même engin, tels que câble + grue ou câble + pince.

En règle générale, la pince d'un débusqueur s'ouvre vers le bas et s'appelle pince-prenante ou « *grapple* ». Un certain type de pince-portante – ou *clembank* – est fixée sur le châssis et s'ouvre vers le haut ; les bois sont placés dans cette pince-portante par la grue de l'engin.

<b>Opération 10</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Débardage avec débusqueur à câble</b>	opérateur + débusqueur à câble	BO-BI-BE

Cette méthode est peu utilisée pour les petits bois, car le temps d'accrochage des tiges avec le câble est beaucoup trop long. Elle est plutôt réservée aux bois moyens et aux gros bois. Ceux-ci sont généralement sortis en long par traînage, et les éventuelles découpes BO-BI-BE se font bord de route.

Le câble employé peut être métallique (0.8 kg/m en 14 mm de diamètre) ou synthétique (0.22 kg/m en 14 mm de diamètre), ce dernier présentant l'avantage d'être plus léger et l'inconvénient d'être plus cher et moins résistant à l'abrasion (en cas de frottement sur la roche, par exemple). Sur un débusqueur à double treuil, l'un peut être équipé en câble métallique et l'autre en synthétique.

La longueur du câble sur bobine peut varier de 80 à 220 mètres par treuil. En câble métallique, compte-tenu de son poids, la distance sur laquelle il peut être tiré par l'opérateur varie du simple (déroulement en côte) au double (déroulement en descente).

Ce type de débardage est très pratiqué en relief accidenté, car il permet d'aller chercher les bois « à distance », sans que l'engin ne soit obligé d'aller au pied de la grume. Le débusqueur peut aussi servir à câbler des arbres sur pied lors de l'abattage, afin d'orienter le sens de chute : travaux en bord de route ou de rivière, à proximité d'habitations ...

<b>Opération 11</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Débardage par traction animale</b>	opérateur + animaux	BI-BE



L'utilisation de la traction animale pour sortir du bois à déchiqeter est peu courante, souvent réservée à des chantiers environnementaux ; elle peut aussi servir à réaliser une éclaircie de peuplement forestier sans faire de cloisonnements d'exploitation.

Généralement faite avec des chevaux, le rendement journalier de cette opération peut varier de 15 à 20 m<sup>3</sup> selon les chantiers.

Source : FNEDT

<b>Opération 12</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Débardage par câble-mât</b>	3 opérateurs minimum + câble-mât	BO-BI-BE

Cette opération, précédée d'un bûcheronnage manuel, se pratique surtout en zone accidentée (montagne), en milieu humide, ou pour le franchissement de rivières et d'obstacles.

Elle consiste à équiper temporairement un site à exploiter d’une ligne portant un câble principal sur lequel circule un chariot-treuil télécommandé. Des câbles secondaires permettent de suspendre les bois à sortir au chariot, et de les transférer par voie aérienne sur une place de dépôt.

La ligne principale est le plus souvent montée sur une longueur variant de 250 à 500 m, distance pouvant être portée à 800 m en montagne.

Le mât porteur du câble aérien, d’une hauteur pouvant aller jusqu’à 12 m, stationne sur une place de dépôt qui servira à la réception des bois.

Ce dispositif très technique, dont le coût est actuellement supérieur aux autres modes de débardage, nécessite au minimum trois personnes qualifiées pour la conduite des opérations : montage et démontage des lignes de câbles, accrochage et décrochage des bois, conduite du chariot-treuil télécommandé ... Une fois la ligne installée et suivant le matériel, c’est un minimum de deux personnes qui est nécessaire.



**Réception, façonnage et tri des bois sur la place de dépôt du câble-mât** (opérateur + machine dédiée à cette opération)

Le débardage par câble aérien peut concerner des grumes ébranchées en coupe, ou bien des arbres sortis entiers. Dans ce dernier cas, la place de dépôt doit être correctement dimensionnée pour permettre la réception, le façonnage, la découpe et le tri BO-BI-BE des bois.

Le déchiquetage des produits bois-énergie peut éventuellement se faire à cet endroit si la place est suffisante, avec évacuation par camions des plaquettes au fur et à mesure de leur production.

Opération 13	Moyens	Produits concernés
<b>Transport des bois longs forêt &gt; plate-forme</b>	opérateur + camion	BE

Si la fabrication des plaquettes ne se fait pas en forêt (cf opérations 14, 15 et 16 suivantes), les bois débardés sont transportés sur plate-forme avec un camion-grumier (bois longs) ou un camion-plateau (bois billonnés ou fagots). Ils sont déchargés et mis en pile sur le site avec la grue du camion.

Opération 14	Moyens	Produits concernés
<b>Bûcheronnage-déchiquetage sur coupe</b>	opérateur + déchiqueteuse automotrice avec caisson à plaquettes élévateur	BE

Cette opération se fait avec une machine automotrice circulant sur parcelle forestière, pesant environ 24 tonnes. Elle est équipée d’un grappin simple ou d’un grappin-scie, d’une unité de déchiquetage et d’un caisson de récolte des plaquettes.

- Avec un **grappin simple**, les bois sont,



dans un premier temps, abattus à la tronçonneuse ou à l’abatteuse-cisaille. Après une possible période de ressuyage (séchage du bois en long sur coupe), la machine intervient pour déchiqueter ces bois préalablement abattus (production de plaquettes ressuyées).

- Avec un **grappin-scie**, l’opération d’abattage et de déchiquetage est simultanée (production de plaquettes fraîches).

Dans les deux cas, les bois sont introduits dans le système de coupe par la grue de la machine. Les plaquettes produites sont directement projetées dans le caisson arrière porté par l’engin, d’une contenance d’environ 20 m<sup>3</sup> et monté sur vérins élévateurs (4,3 m en hauteur de basculement latéral).

Photo : sylvatec



Lorsque le caisson est plein, soit les plaquettes sont transférées dans une benne-navette venant sur la coupe, soit elles sont déchargées directement par la machine dans un camion stationnant bord de route. Cette dernière option est peu courante, car elle impose une distance très courte entre le chantier et l’aire de transfert afin de limiter les coûts d’exploitation, et occasionne des temps d’attente pour le chargement du camion, à moins que les plaquettes ne soient

vidées dans des caissons en bord de route.

Ce type de matériel, peu utilisé actuellement en France, nécessite une bonne organisation logistique : si, sur un chantier donné, la production de la déchiqueteuse est de 80 m<sup>3</sup> à l’heure, le caisson sera rempli en 15 mn. La benne-navette devra donc effectuer le transport des plaquettes depuis la coupe vers le camion en 15 mn également, afin d’éviter les temps d’arrêt de la déchiqueteuse en forêt. Deux machines sont donc nécessaires (déchiqueteuse automotrice + benne-navette) pour remplir un camion de 80 m<sup>3</sup> en une heure.

Opération 15	Moyens	Produits concernés
Déchiquetage sur coupe, après bûcheronnage manuel ou mécanisé	opérateur-s + déchiqueteuse	BE

Sur certains chantiers faciles à sol porteur, le déchiquetage des bois préalablement abattus peut se faire directement sur la coupe, souvent avec du matériel de petite ou moyenne capacité (tracteur + déchiqueteuse portée ou sur essieu) travaillant sur les cloisonnements d’exploitation.

Dans les filières professionnelles, cette opération peut se faire avec du matériel plus conséquent, à l’issue d’une coupe rase par exemple. Les plaquettes produites sont le plus fréquemment sorties du chantier avec un tracteur et une benne de type agricole.



Photo : JMF

Opération 16	Moyens	Produits concernés
Déchetage bord de route ou sur place de dépôt	opérateurs + déchiqueteuse + camion-s	BE

Le terme « bord de route » s'applique à une route carrossable, accessible aux camions, et concerne également les places de dépôt de bois qui – par définition – sont situées en bordure de route.

Le bois débardé peut être soit déchiqueté sur place par une machine mobile venant sur le site (*c'est la présente opération*), soit transporté en long sur une plate-forme pour une transformation ultérieure en plaquettes (*cf opérations 13 et 17*).



Photo R. Grovel

Dans le cas de livraisons en flux tendu (directement de la forêt à la chaufferie) le bois est toujours déchiqueté à l'endroit où il a été débardé, après une période variable de ressuyage, puis livré dans les chaufferies.

Dans les autres cas, le choix entre déchiquetage bord de route ou sur plate-forme dépend de plusieurs paramètres. Si les bois sont non-ébranchés, ils seront difficilement transportables sur plate-forme. Si celle-ci est à proximité des habitations, le déchiquetage peut y être interdit à cause du bruit et des poussières.

Le critère économique est aussi déterminant, il faut comparer le coût du déplacement de la déchiqueteuse en forêt et le coût du transport de bois sur plate-forme.

**Le chemin d'accès** à la place de déchiquetage doit être praticable et large de 3,5 m minimum, être élagué à 4,5 m de haut et la pente ne doit pas excéder 25 %.

Il doit comporter une entrée et une sortie, ou une place de retournement. Dans la mesure du possible, il faut en effet éviter les marches arrière des véhicules de transport, aussi bien pour se placer près de la déchiqueteuse afin d'être chargés que lorsqu'ils repartent à plein.

**La place de déchiquetage** doit être plate, sans souches ou autres obstacles ; elle sera nécessairement au même niveau que l'endroit où stationne le camion à charger (éventuellement un peu plus haute, mais jamais en contrebas).

**L'aire de chargement** devra faire une longueur de 20 m au minimum pour les camions de 90 m<sup>3</sup>. Si le camion doit se placer à côté de la déchiqueteuse, il faudra au moins 7 m de large.



Photo FNEDT

**Les piles de bois** doivent être perpendiculaires au chemin d'accès, avec les grosses extrémités côté déchiqueteuse et d'une hauteur maximum de 4 m .

Le bon empilement des bois est un facteur important pour la productivité en déchiquetage, car il conditionne la vitesse de chargement dans la machine.

Opération 17	Moyens	Produits concernés
--------------	--------	--------------------

Déchetage sur plate-forme, avec machine mobile posée au sol alimentée par un porteur forestier



Photo D. Barthelet

Le terme « sur plateforme » regroupe notamment les aires de stockage intermédiaires avec ou sans abri, ainsi que les plateformes de traitement présentes sur le site d'une chaufferie et dédiées à l'approvisionnement d'une installation importante.

Cette opération se fait le plus souvent par une machine mobile venant sur place, et plus rarement par une machine fixe installée sur le site.

C'est sur plate-forme que les rendements en déchetage sont les plus importants ; les bois arrivent ébranchés, ils ont

été rangés par le camion, l'accès aux piles est facile.

Les temps d'attente et de déplacement de la déchiqueteuse que l'on peut constater bord de route sont pratiquement inexistantes.

Certains bois de gros diamètre (pures, bois brogneux ou tordus ...) sont fendus avant déchetage pour permettre leur introduction dans la machine, soit par une fendeuse intégrée à celle-ci, soit par une pince-fendeuse montée sur engin (souvent sur le bras d'une pelle hydraulique).

Les plaquettes produites peuvent être stockées à l'air libre sous forme de meule tassée, sous bâche géotextile respirante ou bien sous hangar bien aéré et ventilé. Cette dernière solution est la plus couramment employée.

Opération 18	Moyens	Produits concernés
Valorisation énergétique des souches et récolte de biomasse issue de broyage forestier	opérateur + broyeur	BE

**La récolte des souches** est une pratique courante dans les pays scandinaves depuis de nombreuses années. Elle commence à se développer en France, notamment dans le massif landais où le potentiel résultant des coupes rases de pin maritime est relativement important.

Outre la récupération d'une biomasse disponible et une bonne préparation du sol pour le reboisement, cette opération peut permettre de limiter la progression du Fomes en Aquitaine (le *Fomes annosus* est une maladie fongique des arbres se transmettant par les racines) et limiter les coûts d'entretiens nécessaires.

L'extraction et la fragmentation nécessaire des souches doit être faite dans l'année qui suit la coupe rase. Les morceaux produits sont ensuite stockés en andains sur la parcelle ou bien bord de route.

Un laps de temps d'environ un an à l'air libre permet au bois de sécher et de se laver d'une partie de ses impuretés (baisse du taux de sable).

Photo FNEDT



Les souches fragmentées sont sorties de la coupe avec du matériel adaptés : grappin spécifique, porteur avec ridelles, benne basculante ...

Elles nécessitent d’être transformées avec un broyeur lent de for *Photo FNEDT* produit obtenu (broyat de bois) doit être affiné et calibré avant livraison en chaufferie (cette filière concerne l’approvisionnement de grosses installations).

La récolte de biomasse issue du roto-broyage forestier est une technique récente.

Elle se fait avec un broyeur sylvicole travaillant sur parcelle, spécialement adapté pour récupérer la biomasse issue des travaux réalisés, tels que l’arasement des souches, le nettoyage avant reboisement, l’ouverture de cloisonnements

*Photo : Hantsch*



<b>Opération 19</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Déplacement des engins forestiers</b>	opérateur + camion porte-engin	BO-BI-BE

A l’exception du bûcheronnage manuel, des déplacements de tracteur agricole sur courte distance et du transport par camion, ce poste important concerne la quasi-totalité des 18 opérations précédentes.



*Photo : EDT Midi-Pyrénées*

Il consiste à déplacer par route, entre les chantiers successifs, le matériel lourd de récolte forestière ou de production de plaquettes (abatteuse, porteur, débusqueur, pelle hydraulique, déchiqueteuse ...), ou bien les animaux de débardage par remorque-van.

Ce transfert de matériel se réalise le plus souvent avec un camion porte-engin, soit en direct par l’entreprise propriétaire des engins à déplacer, soit en sous-traitance (à des entreprises de transport). Cette opération demande une bonne organisation logistique, elle prend du temps et génère des coûts conséquents qui sont à prendre en compte tout au long de la chaîne de production.

<b>Opération 20</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Livraison des plaquettes forêt &gt; chaufferie</b>	opérateur + camion	BE

Cette opération est relative aux livraisons « en flux tendu », c’est à dire directement du lieu de production (la forêt) au lieu de consommation (la chaufferie), sans transit par une aire de stockage intermédiaire. Elle peut suivre le bûcheronnage-déchetage sur coupe fait par une machine automotrice de récolte (*cf opération 14*), ainsi que la reprise de plaquettes mises en tas bord de route ou sur place de dépôt en forêt.

Dans les autres cas, le bois débardé, généralement coupé hors sève, est entreposé dans un endroit accessible à la déchiqueteuse et aux camions de transport (sur place de dépôt ou bord de route forestière). Il subit une phase de ressuyage, habituellement durant la période estivale. Le degré de ce séchage à l’air libre varie notamment selon le diamètre et l’essence des bois et selon l’exposition des piles au soleil et aux vents. Le dessus des piles de bois peut être bûché.

Ce mode de livraison concerne surtout les chaufferies de forte puissance qui accepte du combustible relativement humide. Il se fait habituellement par camion à fond mouvant de 90 m<sup>3</sup> ou par camion porte-conteneur de 30 à 40 m<sup>3</sup>.

Pour le cas particulier des fagots de Menus bois (MB), le transport forêt > chaufferie se fait par camion-plateau et le déchetage a souvent lieu sur le site même de la chaufferie.



Photo : Biomasse Normandie



Photo : R Grovel

<b>Opération 21</b>	<b>Moyens</b>	<b>Produits concernés</b>
<b>Transport des plaquettes forêt &gt; plateforme</b>	opérateur + camion	BE

Lorsque le déchetage est réalisé sur coupe en forêt (*cf opération 15*), le transport s’effectue en général en benne (avec tracteur + matériel spécifique, type sylvatec).

Dans les autres cas, le bois débardé est décheté en forêt (*cf opération 16*) comme pour les livraisons en flux tendu, mais ensuite les plaquettes sont transférées par camion (cas le plus courant) ou par tracteur + benne puis stockées sur une aire aménagée.

Concernant le temps de transport, on admet généralement une moyenne de 60 km/h pour un camion et de 25 km/h pour un tracteur.

### 3.2- Principes d'optimisation de la production

Une synchronisation efficace est nécessaire entre la production de la déchiqueteuse et la capacité d'évacuation des plaquettes par les camions, afin d'éviter les temps d'attente de l'un ou l'autre des opérateurs.

Il est à noter que le débit de déchiquetage en map / heure annoncé par les constructeurs est un maximum. Il est réalisable dans des conditions optimales, avec des bois tendres, billonnés et ébranchés, et avec un fonctionnement continu de la machine (donc sans temps d'attente et de déplacement).

La première des optimisations consiste à éviter les chantiers mal adaptés ou peu efficaces pour un itinéraire de production de bois énergie. Un certain nombre de contraintes extérieures aux paramètres maîtrisables par l'entreprise peuvent s'avérer néfastes à une production rentable. Ainsi la place et le positionnement du déchiquetage est-il très important. Cf exemple ci-dessous :

Dans les deux cas, il s'agit de la même déchiqueteuse : une machine à moteur autonome de 420 CV ayant un débit maximum de 120 map / heure, déplaçable sur camion, et travaillant en étant posée au sol ; elle est alimentée par la grue d'un tracteur de 150 CV.

Sur les deux chantiers, le transport des plaquettes s'est fait avec des containers de 40 m<sup>3</sup>, à destination d'une plate-forme de stockage.



*Déchiquetage de bois feuillus/résineux en bord de route forestière - Photo D. Barthelet*

*Déchiquetage de houppiers feuillus sur place de dépôt. Photo D. Barthelet*

Pour le déchiquetage **sur une route de 4 m de large** (photo de gauche), la machine a dû travailler dans le même alignement que le camion sur une piste en cul de sac.

Cela a imposé des déplacements fréquents aux deux engins, au fur et à mesure de l'avancée du déchiquetage de la pile de bois entreposée le long de la route (il faut au moins 7 m de large pour qu'une déchiqueteuse et un camion puissent se placer côte à côte afin de limiter les temps de déplacement).

Pour le déchiquetage **sur place de dépôt** (photo de droite), la machine a pu effectuer sans être déplacée une seule fois la transformation en plaquettes de tous les produits bois sortis. Ceux-ci arrivaient par porteur forestier, directement depuis la parcelle forestière, l'évacuation des containers se faisant au fur et à mesure de leur remplissage.

La moyenne de production sur ce 2<sup>ème</sup> chantier a été de deux containers à l'heure (soit 80 map) alors qu'elle n'a pas dépassé un container à l'heure sur le 1<sup>er</sup> chantier (soit 40 map).

***Si l'analyse des contraintes économiques et environnementales doit présider à la décision préalable de mobiliser du BE dans l'exploitation, les facteurs logistiques et techniques sont les critères essentiels de faisabilité économique d'une production de bois énergie sur un chantier donné.***

Produire efficacement de la plaquette forestière ne se mesure pas à une simple équation matière – matériel – marché. Les expériences positives ou négatives des quinze dernières années ont mis en évidence l'importance de l'organisation dans cette activité.

### **La Chaîne logistique :**

Lorsque le déchetage a lieu en forêt ou bord de route, la chaîne logistique est la clef de réussite d'un chantier. Les trois critères à prendre en compte pour rentabiliser toutes les opérations qui sont simultanées sont :

- **Le temps nécessaire à la déchiqueteuse**, mise en place comprise, pour remplir une unité de transport (benne agricole, caisson ou semi-remorque) → donnée fournie par l'opérateur (selon produit à broyer et cahier des charges produit).
- **Le temps nécessaire à l'unité de transport** pour faire une rotation (bâchage, transport, pesée, vidange et retour à vide ou à charge) → donnée fournie par le transporteur.
- **L'amplitude horaire d'accueil sur le lieu** de déchargement → donnée fournie par le client.

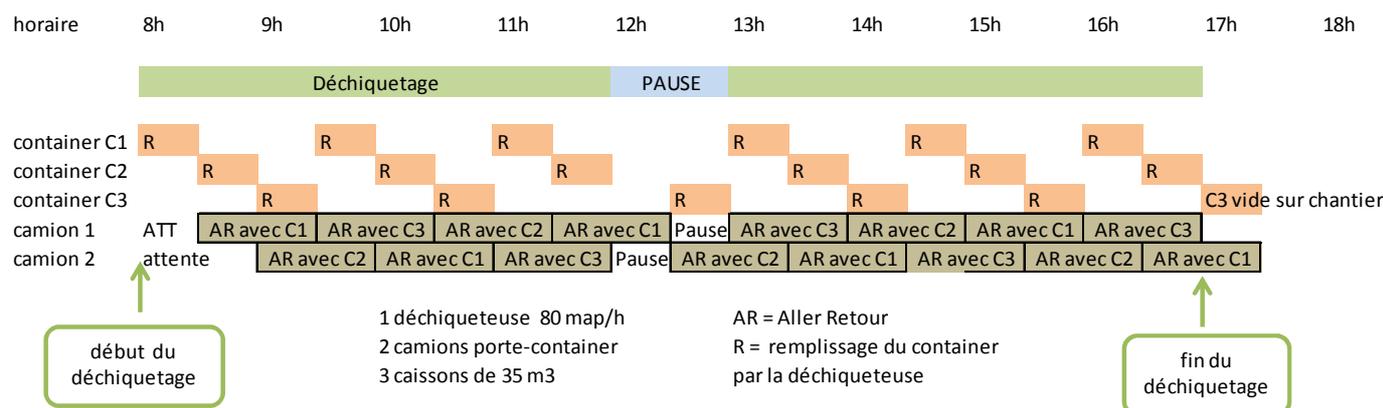


Avant d'organiser la logistique, vérifier que les choix techniques (mode de transport déchiqueteuse) sont compatibles avec le chantier. Toute difficulté supplémentaire induira un décalage perturbateur dans la logistique (montagne, place de retournement, état voirie, météo, ...) et générera des temps d'attente importants. Ces temps d'attente peuvent s'empiler sur certains chantiers et décourager les transporteurs ou les entrepreneurs de déchetage.

Afin d'éliminer ces temps d'attente, des entreprises ont développé d'autres systèmes :

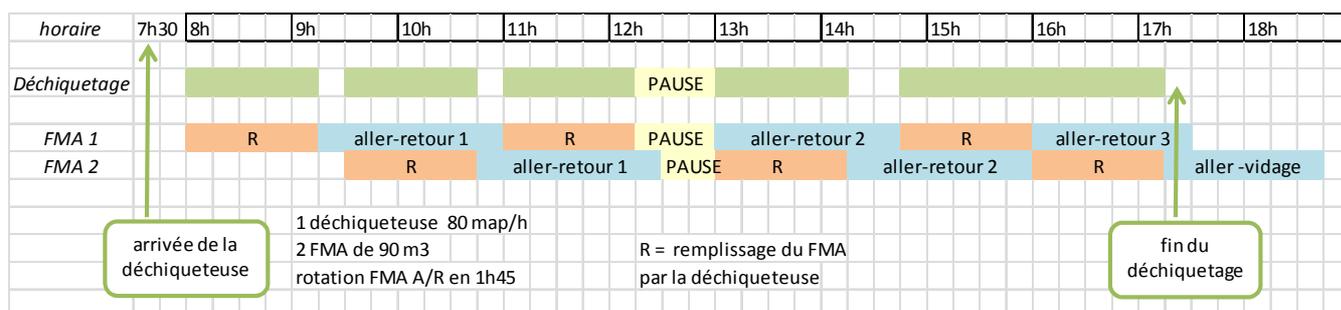
- Caissons de 40 m3 déposables avec un nombre de caissons et de camions suffisants, chaque chauffeur pose un conteneur vide et repart avec un conteneur plein (environ 5 mn). Ceci nécessite néanmoins de la place et une aire de dépose empierrée. Cette solution se prête bien aux chantiers où le débardage et le déchetage sont simultanés.
- Multi-compétence des opérateurs : le broyeur – déchiqueteur est amené devant la pile à broyer et chaque chauffeur charge son camion. Ce système supprime le temps d'attente mais pose le problème de la multi compétence.
- Camion benne ou tracteur agricole + benne en surnombre (+1) : l'opérateur de déchetage remplit l'unité et la déplace jusqu'à une aire de croisement où il récupère un ensemble vide. La marchandise ne change pas de camion, ce sont les chauffeurs qui laissent un véhicule vide et repartent avec un véhicule plein. Les chauffeurs routiers changent donc de véhicule avec toutes les réticences connues (difficulté pour un chauffeur d'accepter de changer de camion).

*Exemple 1 : organisation logistique optimisée en forêt avec une rotation de containers de 35m3*



Remplissage du caisson par la déchetuse en ½ heure, rotation d’un camion en une heure,  
 → rendement de la journée = 17 x 35 map = 595 map/jour

*Exemple 2 : organisation logistique optimisée en forêt avec une rotation de FMA de 90m3*



FMA = camion semi-remorque à fond mouvant alternatif

Remplissage du FMA par la déchetuse en ¾ heure, rotation d’un camion en 1h45,  
 → rendement de la journée = 6 x 90 map = 540 map/jour

**L’importance du Tri**

Le tri des produits en forêt amène à priori une meilleure valorisation de chaque catégorie pour peu que chaque compartiment fournisse un lot commercialisable.

Plus la valeur ajoutée d’un produit sera élevée, plus le lot pourra être petit. Inversement, les produits de faible valeur ajoutée, c’est le cas du bois énergie décheté bord de route, nécessiteront un volume conséquent (le seuil se situe minimum à une journée, voire deux, de déchetage) ou un groupage des chantiers.



Les notions de seuil rendent illusoire l’idée de faire du bois énergie partout, mais mettent en évidence les chantiers forestiers intéressants. Les diamètres de découpe, notamment entre bois énergie et bois d’industrie devront alors être fixés, non plus au seul regard des marchés mais aussi des effets de seuils de rentabilité des chantiers bois énergie.

### L'optimisation du déchetage

Une même unité de déchetage (puissance / diamètre admissible) aura des rendements variant du simple au triple suivant l'itinéraire technique.

- **Sur coupe**, la machine devra se déplacer pour collecter les brins à broyer et les introduire dans la déchiqueteuse. Il faut surveiller le remplissage de la benne autonome ou non, et la vider éventuellement. Les temps de transport forêt – bord de route ne sont pas comptés.
- **Bord de route** : il faut mettre en place la déchiqueteuse, attendre le positionnement de l'unité de transport puis introduire les bois débardés donc groupés, surveiller le remplissage de l'unité de transport et se repositionner.
- **Sur plate-forme** : le broyage se fait en continu avec des bois ronds, ébranchés et sans nécessiter d'arrêt (pas de chargement d'unité de transport). Les plaquettes sont souvent projetées en tas ou sous hangar.



Positionner les tas de bois à broyer en fonction des matériels de déchetage et de transport utilisés (surlargeur, place de retournement, empierrement, ...).

Ne pas hésiter à consulter les professionnels pressentis pour réaliser les opérations de déchetage et de transport (ou leurs organisations) avant d'organiser un chantier bois énergie (voir chapitre 6 – les producteurs de plaquettes forestières).

#### ***Quelles sont les formations à destination des entreprises ?***

Des formations liées à la production de bois énergie se développent. Elles évoquent généralement les points suivants :

- Contexte du bois énergie
- Analyse des peuplements forestiers
- Organisation des chantiers (abattage, débardage, déchetage)
- Règles de sécurité
- Entretien-réparation du matériel
- Analyse économique des chantiers et de son activité
- Qualité des plaquettes...

Ces formations, à destination des chefs d'entreprises et des salariés, peuvent être diplômantes.

Rechercher les formations continues et les centres de formation sur le site [www.educagri.fr](http://www.educagri.fr)  
Certains centres forestiers offrent, après diplôme forestier ou expérience professionnelle, une spécialisation sur la « production de plaquette forestière » (ex [www.centre-forestier.org](http://www.centre-forestier.org))

Fond de formation des salariés : [www.fafsea.com](http://www.fafsea.com)

Fond de formation des non-salariés : [www.vivea.fr](http://www.vivea.fr)

### 3.3.- Coûts « entreprise » des opérations de production de plaquette forestière

Cette partie correspond à la présentation d'une méthode de calcul des coûts pour les entreprises souhaitant produire et commercialiser de la plaquette forestière. Cette méthode se base sur celle développée par la FNEDT et utilisée par un nombre important de ses entreprises adhérentes.

**Avertissement : Tous les coûts « entreprises » et itinéraires techniques sont des coûts 2011, sujets à évolution dans les années à venir.**

Il faut distinguer le « coût de revient », du « prix de la prestation » :

- **Le coût de revient** est le montant des charges nécessaires à l'acquisition ou à la production d'un bien ou d'un service. Il se compose des charges fixes (amortissement, intérêts, assurances), des charges variables (carburant, huile, consommables, entretien...), des charges de personnels, et des charges diverses. Il ne contient pas la marge bénéficiaire souhaitée par l'entreprise. On l'appelle aussi prix de revient, terme qu'il vaut mieux éviter car il occasionne souvent des confusions avec le prix de prestation.
- **Le prix de prestation** est l'expression monétaire de la valeur d'échange d'une unité de bien ou de service. Le prix est le résultat de la rencontre de l'offre et de la demande sur un marché. Il comprend, entre autres, la marge de l'entreprise.

#### 3.3.1/ Méthode de calcul des coûts

Le principe de la méthode est de **calculer un coût horaire de fonctionnement basé sur un nombre d'heures de facturation (= heures de production de chiffre d'affaires)**, afin de correspondre à la fois à l'ensemble des activités réalisées, des matériels en votre possession ou des massifs forestiers travaillés.

Il s'agit d'heures réelles de facturation dans l'année, hors entretiens, panne, temps attente logistique.... Car l'influence du taux d'utilisation facturée des machines sur le coût de revient de l'entreprise est considérable.

Exemple du cas du déchetage :

Taux d'utilisation machine en heures de facturation*	Influence sur le coût de revient par rapport à une base annuelle
75 % = 1 155 heures	+ 9 à 12 %
50 % = 770 heures	+ 28 à 36 %

\*base annuelle 1 540 heures facturation, soit 7 h de production sur 220 jours

La connaissance de la productivité du chantier permettra ensuite, si besoin, de déterminer un autre coût, celui par unité de production (€/m<sup>3</sup>, €/map, €/ha...).

Cette méthode « coût horaire/productivité horaire » est celle utilisée dans le calcul des coûts des itinéraires présentés.

**Attention : Le vocabulaire utilisé dans cette méthode est volontairement différent de celui des documents comptables, afin de maintenir une différenciation entre une réalité passée et une estimation basée sur des hypothèses.**

La méthode mise en œuvre par la FNEDT distingue quatre types de postes :

1. Poste « entreprise »

Éléments à prendre en compte : contribution économique territoriale, taxe foncière, impôts (société), comptable, atelier, adhésions, abonnement, téléphones, internet, document unique d'évaluation des risques professionnels, formations, bureautique, secrétariat, frais véhicules...

Méthode : Estimer le nombre de jours de travail et déterminer son nombre d'heures d'ouverture. Les coûts horaires « entreprises » doivent se répartir par la suite sur chacun des engins/matériels selon le pourcentage de chiffre d'affaire généré par ces derniers.

2. Poste « possession du matériel »

Éléments à prendre en compte : coût de l'outil (amortissement ou coût du leasing), intérêts à rembourser en fonction du capital emprunté, assurance, équipements de protection individuelle, équipements spécifiques matériels, réception, homologation...

Méthode : Estimer le nombre d'heures de facturation dans l'année des matériels pour obtenir ce coût horaire « matériel ».

3. Poste « consommables »

Éléments à prendre en compte : entretiens, réparation, carburant, filtres, huiles, graisses, flexibles, pneumatiques, couteaux...

Méthode : Répartir ces coûts par matériel et les diviser par le nombre d'heures de facturation dans l'année pour obtenir le coût horaires « consommables » par matériel.

NB : Il faut compter 1 à 2 heures d'entretien de la déchiqueteuse pour 7 heures de travail productif (hors pannes)

4. Poste « opérateurs »

Les principaux coûts à prendre en compte sont :

1. pour un salarié : salaires bruts, cotisations patronales sur salaires, frais de repas, heures supplémentaires charges comprises, indemnités de déplacement, prime...
2. pour un gérant non-salarié : rémunération, cotisations, frais de repas, complémentaire santé, assurance indemnités journalières...

Méthode : Il est important de faire la distinction entre les heures embauchées (heures payées) et les heures facturées (heures générant du chiffre d'affaires). Ces coûts horaires « opérateurs » sont à définir selon les heures facturées.

Lors de la réalisation des travaux, il suffira de réaliser la somme des quatre postes (entreprise + outil + consommation de l'outil + opérateur) pour connaître le coût de revient horaire réel de l'activité. En ajoutant la nécessaire marge à appliquer, vous connaîtrez le chiffre d'affaires horaire à réaliser dans l'heure de travail.

Plus d'informations sur le logiciel coût de revient ETF sur [www.etf-aquitaine.org](http://www.etf-aquitaine.org) (rubrique coût de revient)

Exemple de coût annuel par poste selon le type d'entreprises et d'activités (avec matériels neufs) :

Automne 2011	Entreprise spécialisée en déchiquetage	Entreprise de déchiquetage et de livraison	Entreprise d'exploitation et de déchiquetage
<b>Description de l'entreprise (activités et moyens)</b>	Rayon d'action déchiquetage : 50 km Abattage : (sans objet) Débardage : (sans objet)	Rayon d'action déchiquetage : 150 km Abattage : (sans objet)	Rayon d'action déchiquetage : 50 km maximum Abattage : Abatteuse Gros

		Déchiquetage : Tracteur + déchiqueteuse sur prise de force 50-100 map/h Déplacement : 1 véhicule Atelier : oui Livraison : non réalisé Opérateur : 1 Secrétariat : 0,5		Débardage : (sans objet) Déchiquetage : moteur autonome fixée sur camion > 100 map/h Déplacement : 0 Atelier : oui Livraison : 2 camions fond mouvant 90 m3 Opérateurs : 3 Secrétariat : 1		bois Débardage : Porteur 14 t Déchiquetage : moteur autonome transportée > 100 map/h Déplacement : 3 véhicules + un porte-engin Atelier : oui Livraison : non réalisée Opérateurs : 4, dont un mécanicien Secrétariat : 1	
Coût (€/an)	<b>Entreprise</b>	28 000	19,2 %	50 000	12,4 %	60 000	9,5 %
	<b>Matériels</b>	45 000	31,0 %	122 000	30,3 %	251 000	39,7 %
	<b>Consommables</b>	29 000	20,0 %	106 000	26,3 %	155 000	24,5 %
	<b>Opérateurs</b>	45 000	29,7 %	125 000	31,0 %	166 000	26,3 %
	<b>Total</b>	<b>145 000 €/an</b>		<b>403 000 €/an</b>		<b>632 000 €/an</b>	

Afin d'avoir d'autres références que l'évolution du coût des factures, les indices suivants de l'INSEE (liste non-exhaustive, date novembre 2011) permettent de connaître l'évolution officielle des coûts de certains postes :

1. Matériels agricoles et forestiers prix départ usine : identifiant 1559295
2. Energie et lubrifiants : identifiant 1570880
3. Salaires et cotisations (travail du bois, industrie du papier et imprimerie) : identifiant 1567379

Ils peuvent par ailleurs servir dans les formules d'indexation de prix de prestations. Ils sont consultables sur [www.indices.insee.fr](http://www.indices.insee.fr)

### 3.3.2/ Coûts des matériels et des opérations

#### Coûts des matériels d'exploitation :

Source : Fnedt, 2011

Automne 2011		Prix matériels neufs* (€)	Coût Consommables** (€/h)	Coût total de l'opération *** (€/h)	Référence itinéraire Technique (cf chap 4)
Opération	Moyens utilisés				
<b>Abattage</b>	Tronçonneuse	1 000 – 1 500	3 – 4	33-37	3-5-6
	Abatteuse Petit Bois	260 000 – 300 000	28 – 31	100-110	2
	Abatteuse Bois Moyen	300 000 – 360 000	29 – 32	110-130	9
	Abatteuse Gros Bois	380 000 – 450 000	31 – 34	145-155	4-8
<b>Débardage</b>	Porteur 10 tonnes	210 000 – 240 000	20 – 22	100-110	2-3
	Porteur 12 tonnes	240 000 – 320 000	21 – 23	110-120	4-5-9
	Porteur 14 tonnes	260 000 – 350 000	21 – 24	115-130	8-10
	Skidder à pince	250 000 – 300 000	25 - 30	100-110	-
	Skidder à câble	160 000 – 220 000	17 - 20	65-75	6

\*Prix moyens observés en France HT, hors subvention

\*\*Hypothèse de conditions optimales de chantier avec du matériel neuf (zones faciles d'accès et de travail, volumes unitaires moyens adaptés,...)

\*\*\* Hypothèses : matériels neufs amortis sur 5 ans, heures facturées abattage : 1 540 h/an, débardage : 1 540 h/an

**Quel ratio coût / bénéfice attendu d'une tête d'abatteuse pour la production de bois énergie?**

Le différentiel de prix entre les types de tête d'abatteuse étant important (de 30 à 80 000 €), la question de la rentabilité d'un investissement donné sur une tête d'abatteuse peut être posée selon le type d'intervention et de peuplement exploité par une entreprise forestière pour la production de plaquette forestières. Dans le cas de chantiers à faible rendement (ex : sélection dans taillis pauvre, 50 stères/jour, dépressage), il sera préférable d'opter pour une tête d'abatteuse simple et peu onéreuse (scie ou cisaille sur pelle mécanique). Par contre les têtes plus onéreuses et lourdes (tête à disque et grappin groupeur), ainsi que le mode combiné (porteur-tête abattage cisaille) nécessitent de cibler les peuplements et les interventions adaptés, car pour être rentables elles doivent permettre d'augmenter significativement les rendements journaliers sortis.

**Coûts des déchiqueteuses :**

Source : Fnedt, 2011

<i>Automne 2011</i>		<b>Débit maximum* (map/h)</b>	<b>Prix matériels neufs** (€)</b>	<b>Coût consommables** (€/h)</b>	<b>Coût total opération de déchiquetage *** (€/h)</b>	<b>référence itinéraire (cf chap 4)</b>
<b>Sur prise de force d'un tracteur</b>		< 50	35 000 – 60 000	20-30	90-110	1
		50<<100	130 000 – 200 000	35-40	130-155	5
		> 100	220 000 – 250 000	45-60	190-210	3-9
<b>Moteur autonome</b>	<b>Transportée (coût avec élément mobile)</b>	> 100	300 000 – 450 000	60-90	175-255	2-4-6-10
	<b>Fixée sur camion (coût avec camion)</b>	> 100	450 000 – 550 000	70-100	240-310	-
<b>Automotrice (mobilité dans parcelle)</b>		> 100	430 000 – 550 000	60-75	250-280	7-8

\* Réalisable dans des conditions optimales, avec des bois tendres, billonnés et ébranchés et avec un fonctionnement continu de la machine (ce débit max peut être différent des données constructeurs)

\*\* Prix moyens observés en France HT, hors subvention

\*\*\*Hypothèse de conditions optimales de chantier avec du matériel neuf (nature et propreté des produits déchiquetés, zones faciles d'accès et de travail...)

\*\*\*\* Hypothèses : matériels neufs amortis sur 5 ans, heures facturées déchiquetage : 1 000 h/an

A savoir / retour d'expérience :

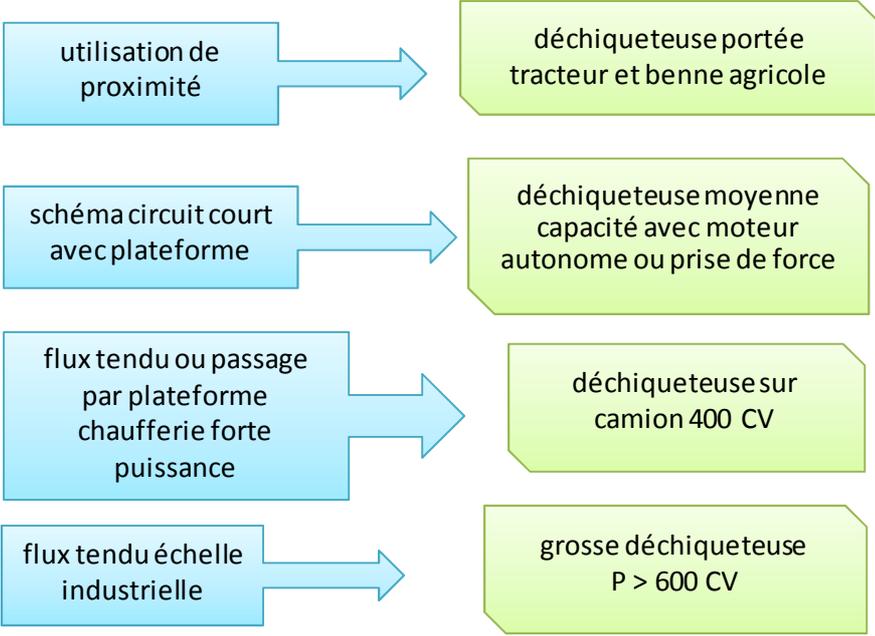
- il est important que les chantiers de déchiquetage en forêt permettent de mobiliser un nombre de jours minimum de présence de la déchiqueteuse (préférentiellement de 2 jours à 1 semaine). Car tout déplacement excessif de la déchiqueteuse va engendrer des surcoûts.

- une déchiqueteuse à poste fixe présente en général une durée de vie supérieure à une déchiqueteuse mobile. D'une part car elle travaille en conditions plus faciles et plus contrôlées sur plateforme, mais aussi parce qu'elle aura un rendement continu et une qualité de produit à déchiqueter plus régulier, avec notamment moins de matières vertes ou d'indésirables (les produits à déchiqueter ayant été triés pour être amenés sur la plateforme). En conséquence au niveau des consommables et des frais d'entretien, une déchiqueteuse à poste fixe sera moins coûteuse qu'une déchiqueteuse mobile en forêt.

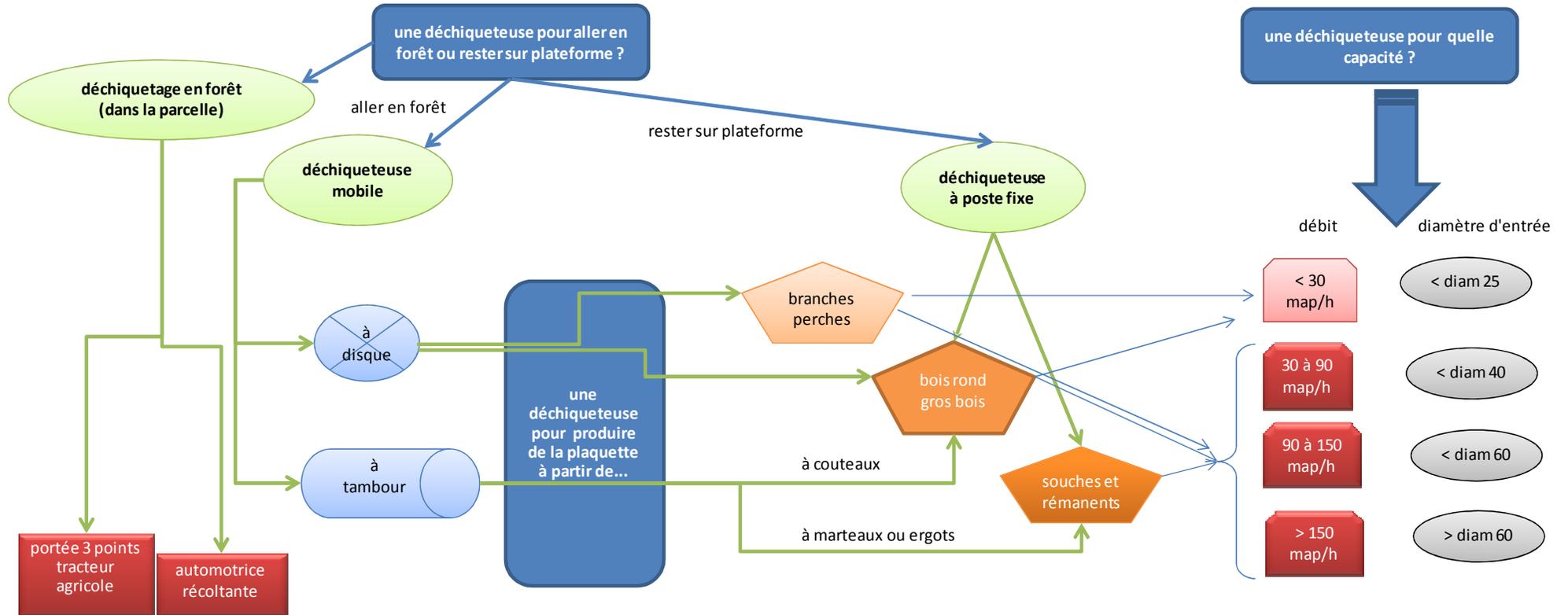


Déchiqueteuse à couteaux à poste fixe  
SCIC Fumel Energie Durable (47)  
Photo : R. Grovel

**une déchiqueteuse autonome pour quel type de condition et quel schéma d'approvisionnement ?**



### Quel type de déchiqueteuse choisir ?



## Chapitre 4- Itinéraires et coûts de production de plaquettes forestières

### 4.1.- Paramètres généraux des itinéraires de récolte

#### Avertissements :

- Les cas forestiers présentés ne prétendent pas à l'exhaustivité mais seulement à une représentativité de situations forestières fréquentes (pour le propriétaire, le gestionnaire forestier et l'entreprise) et des cas de figure les plus proches.
- Pour chaque itinéraire, des facteurs favorables et des points de vigilance pour la production de bois énergie sont exposés et correspondent à des paramètres sylvicoles qu'il est nécessaire de prendre en compte au cas par cas.

#### Eléments communs à l'ensemble des itinéraires techniques de production :

##### **Facteurs favorables :**

Le bois énergie est un débouché qui permet de mobiliser davantage de volume par rapport aux débouchés classiques. D'une part sur une même parcelle la quantité de bois commercialement valorisable est plus importante notamment avec les Menus Bois et les rémanents d'exploitation ; d'autre part ce débouché permet de réaliser des exploitations forestières dans des parcelles où, pour des raisons économiques et/ou techniques, il n'est pas envisageable de mobiliser du bois (BO, BI) actuellement. Enfin, le bois énergie est un débouché qui offre a priori aux propriétaires forestiers une stabilité dans la demande car les projets de chaufferie s'inscrivent sur le long terme avec un débouché marchand connu à l'avance pour les opérateurs de la filière industriels.

##### **Points de vigilance :**

- La production de bois énergie induit, pour les opérateurs, des modifications de leurs habitudes de travail plus ou moins importantes en fonction des itinéraires de production. Pour cette raison, quel que soit l'itinéraire, il est important d'anticiper la production de bois énergie, dès le commencement des travaux d'exploitation. Dans le cas contraire, il pourra être impossible économiquement de produire du bois énergie car pour être intéressante, la filière bois énergie doit être optimisée à chaque maillon de la chaîne.
- La mobilisation d'une quantité supplémentaire de biomasse au sein des peuplements forestiers impacte inévitablement la quantité de matière minérale qui retourne au sol. Cet impact et ses conséquences pour les peuplements sont très différents selon le type de sol et ses capacités de production intrinsèques et difficilement évaluables à court terme. Il est donc important pour un propriétaire forestier désireux de gérer durablement sa forêt de prendre en compte cette dimension environnementale pour raisonner dans le temps les prélèvements de matière sur ses parcelles forestières. (Cf arbre de décision et le guide « La récolte raisonnée des rémanents en forêt » – ADEME, 2006). Il pourra être intéressant, quand c'est possible, d'inclure des clauses spécifiques au contrat d'exploitation des menus bois prévoyant un temps de séchage (ou ressuyage) des arbres en forêt pour que les feuilles

et les aiguilles tombent au sol avant débardage. Cela aura également pour conséquence d'améliorer la qualité de la plaquette produite.

- Pour limiter les phénomènes de tassement dû au passage des engins d'exploitation et améliorer la portance des sols, une partie des Menus Bois exploités (rémanents d'exploitation) sont généralement disposés au sol dans le cloisonnement d'exploitation. Leur utilisation dans le cadre de la production de BE réduit cette protection et expose aux risques d'érosion et de dégradation, les parcelles aux sols sensibles ou avec une pente prononcée.
- Le déchetage et la production des plaquettes en forêt impliquent le déplacement d'un broyeur déchetageur spécifique pour l'intervention. Pour justifier le déplacement d'une telle machine en forêt, il est essentiel de disposer d'un volume de matière correspondant, au minimum, à une journée complète de déchetage (en temps machine). Par conséquent, si le volume bois énergie sur une même parcelle travaillée est trop faible, l'opérateur devra soit rechercher une autre parcelle à proximité, pouvant rentrer dans le cadre d'une production de bois énergie, sur la même propriété ou chez un riverain, soit décider de faire fluctuer la part du compartiment de bois à broyer au détriment des autres produits (par exemple bois d'industrie ou bois bûche). Cette dernière décision doit être suffisamment réfléchie car il peut être préférable dans certains cas de décider de ne pas produire du bois énergie. Toutefois, il faut rappeler que la faisabilité d'un chantier est extrêmement dépendante des conditions de marché du moment, et ce qui n'est pas réalisable une année peut le devenir si le contexte change.

## 4.2- Fiches détaillées par itinéraire et coûts de production

### Hypothèses de calcul :

1. poste entreprise : 13 % du chiffre d'affaires
2. Rémunération nette de l'opérateur : 1 600 €/mois
3. Marge de l'entreprise : 10 % (futurs investissements, aléas, risques...)
4. Heures facturées :
  - Abattage : 1 540 h/an (7h productives sur 220 jours par an)
  - Débardage : 1 540 h/an (7h productives sur 220 jours par an)
  - Déchetage : 1 000 h/an (7h productives sur 143 jours par an)
5. Matériels neufs amortis sur 5 ans
6. Conversions : 1 m<sup>3</sup>br = 2,5 map, 1 map = 0,33 tonne



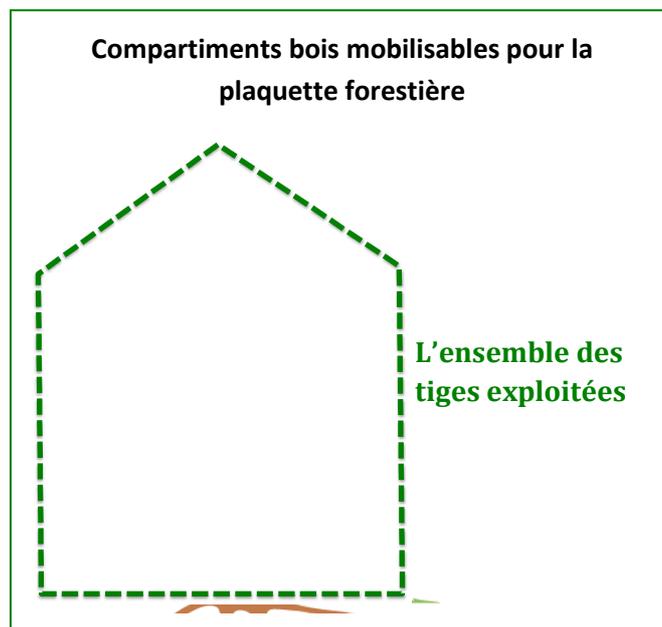
**Ces coûts ne comprennent pas l'achat des bois, les frais de transport bois ronds, de stockage, de séchage, de criblage, de reprise, de perte d'humidité et de livraison de plaquettes. Il s'agit de coûts exprimés en €/t pour des plaquettes à 35 % d'humidité. Il ne s'agit en aucun cas de recommandations de tarifs ou de prix. Les productivités annoncées correspondent à des moyennes nationales et renseignent un ordre de grandeur. Le contexte réel du peuplement (volume de la récolte, volume unitaire moyen des arbres, densité de prélèvement, cloisonnements, martelage visible...) et de la desserte font fortement varier la productivité des chantiers.**



**IT1- Travaux d’entretien dans des jeunes peuplements**

**Exemples : Plantation de résineux de 10 ans envahie par des feuillus, dépressage de régénération naturelle de feuillus**

**Principe de l’intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** La coupe des feuillus est très importante pour la réussite future de la plantation car ceux-ci freinent la croissance des jeunes tiges ou les font dépérir. Par ailleurs cette intervention prépare et facilite les futures étapes de récolte de bois. Les revenus pour la première éclaircie qui suivra devront être supérieurs par rapport au cas d’une non-intervention. On passera donc d’une densité globale feuillus-résineux de 4 000 tiges/ha à une densité finale de 800 tiges/ha.



Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>Le bois énergie est la seule valorisation possible de ces feuillus de petite dimension.</p> <p>Pour le propriétaire la recette liée à cette intervention peut être nulle. Par contre elle représente une économie sur le coût des travaux d’entretien qu’il aurait dû payer dans le cadre d’une intervention à « bois perdu ».</p>	<p>Les dégâts induits par la circulation d’engin d’exploitation peuvent être importants car les cloisonnements ne sont pas véritablement créés. Il vaudra parfois mieux préférer travailler à « bois perdu » si la récolte est trop compliquée pour préserver le peuplement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Abattage</b> manuel (sans véritable façonnage à la tronçonneuse ou débroussailleuse) ou débroussaillage mécanisé avec du petit matériel type mini pelle</li> <li>• <b>Débardage</b> avec de petits engins qui peuvent circuler entre les tiges restantes (petit porteur ou un petit tracteur muni d’une remorque)</li> <li>• <b>Déchiquetage</b> bord de piste ou bord de route car les produits ne sont pas facilement transportables</li> </ul>

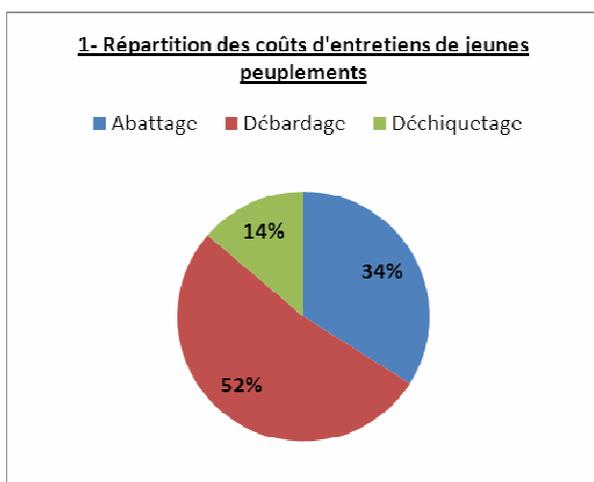
- **Conditions d’optimisation et retours d’expériences**
  - Pour les entrepreneurs de travaux, notamment pour l’entreprise détenant la déchiqueteuse, il est nécessaire que le volume mobilisé soit suffisant pour justifier le déplacement de l’engin. Par conséquent, la surface traitée doit être importante et les conditions d’exploitabilités (pente, débardage, place de dépôt, accessibilité pour les camions) doivent être bonnes pour que l’opération soit rentable. Il pourra donc être intéressant de coupler cette intervention soit avec

d'autres propriétaires riverains si les peuplements sont dans le même cas soit avec une autre opération sylvicole mobilisant du bois sur la propriété.

- Dans le cas des régénérations naturelles, les cloisonnements sylvicoles permettant aux opérateurs de réaliser les dépressages pourront être utilisés par de petits matériels circulants pour récolter la biomasse. Les distances de débardage devront être faibles et les places de dépôts adaptées.

- Les plaquettes vertes sont produites à partir de la totalité de la tige et des branches. De ce fait, la qualité des plaquettes est souvent médiocre car le déchiquetage des petits diamètres a tendance à laisser des queues de déchiquetage ou des bois défibrés. Dans le feuillu, il est préférable de laisser ressuyer les bois pour faire tomber les feuilles avant le déchiquetage.

	Matériel	Hypothèses de productivité	
	Débroussailluse manuelle	5-8 m3/j	8-12 m3/j
	orteur 8 tonnes	10-14 m3/j	15-20 m3/j
	échiqueteuse sur se de force < 50 map/h	105-130 map/j	155-190 map/j



Coût de production plaquettes forestières **113-132 €/t** **79-105 €/t**

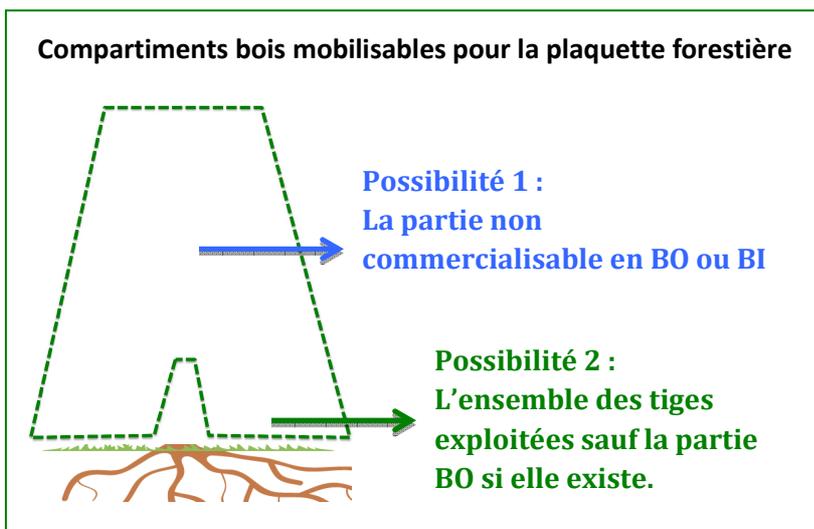
Volume minimum BE bord de piste : 50 tonnes



**IT2- Premières éclaircies**

**Exemple :** Plantations résineuses d'environ 20 à 25 ans non encore éclaircies, peuplement feuillus plantés

**Principe d'intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** Les tiges qui mesurent entre 10 et 15 mètres en moyenne de hauteur nécessitent d'être éclaircies pour continuer à avoir une croissance rapide. Cette première intervention est la « mise en exploitation de la parcelle » : création de cloisonnements réutilisables dans le futur, création de places de dépôts...



Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>Lors de ces opérations, les tiges prélevées sont celles de plus mauvaise qualité. Leur valorisation peut donc être difficile en BO ou en BI à cause de fourches ou de courbures importantes. Le BE n'est pas sélectif et permet une valorisation totale de la matière. De plus, l'absence de contraintes sur la taille des produits permet d'intervenir assez tôt dans les peuplements pour maximiser la croissance des jeunes tiges et limiter leur compression.</p>	<p>Le bois énergie récolté dans ce cadre diminue la proportion de rémanents restants après la coupe. Or cette matière permet lorsqu'elle est positionnée dans le cloisonnement de limiter les phénomènes de tassement et de création d'ornières. Ce point est d'autant plus important que les sols sont sensibles (exemple des sols limoneux) et qu'à ce stade l'enracinement des arbres est encore limité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abattage très souvent mécanisé pour les résineux lorsque la topographie du terrain le permet et manuel pour les feuillus. Le matériel s'adapte de plus en plus aux feuillus et la mécanisation se développe fortement.</li> <li>• Débardage de bois billonnés au porteur forestier ou au tracteur muni d'une remorque.</li> <li>• Déchiquetage bord de route (produit mis en tas bord de parcelle ou bord de piste) ou sur plateforme si les bois sont billonnés et les MB laissés sur coupe</li> </ul>

**Conditions d'optimisation et retours d'expériences**

- Sur ce type d'intervention, il est délicat de produire les trois produits BO, BI et BE car les volumes de prélèvement à l'hectare sont faibles : de l'ordre de 30 à 70 m3/ha en moyenne tous produits confondus. On peut optimiser la récolte en produisant BO+BE ou BI+BE. Le choix entre les deux méthodes s'effectue en fonction de la qualité des peuplements forestiers et des marchés bois régionaux sur chacun de ces produits.
- Dans de nombreux cas, des feuillus concurrents subsistent dans ces peuplements et le BE représente une réelle opportunité de valorisation de ces produits car le tri des essences n'est pas nécessaire. De plus la vente conjointe de ces arbres peut améliorer la rentabilité du chantier car elle maximise le volume de BE produit sur une même parcelle.
- Produit obtenu : plaquettes vertes à partir de la totalité de la tige et des branches et les produits sont faciles à broyer
- Pour garantir un débardage efficace, l'abatteuse devra ranger les billons correctement et les cloisonnements devront être espacés d'une quinzaine de mètres.

- Le débouché BE permet une véritable dynamisation de la sylviculture en garantissant un débouché pour ces produits de faibles dimensions. La croissance et la stabilité du futur peuplement sont donc accrues par ces interventions précoces.
- La mécanisation de ces opérations a parfois pour conséquence une disparition d’une partie du sous-étage qui s’installe dans les jeunes peuplements et joue un rôle non négligeable en terme biodiversité et éducation des tiges d’avenir

Matériel	Hypothèses de productivité	
----------	----------------------------	--



Abatteuse petit bois	35-40 m3/j	50-60 m3/j
----------------------	------------	------------



Porteur 10 tonnes	35-40 m3/j	50-60 m3/j
-------------------	------------	------------



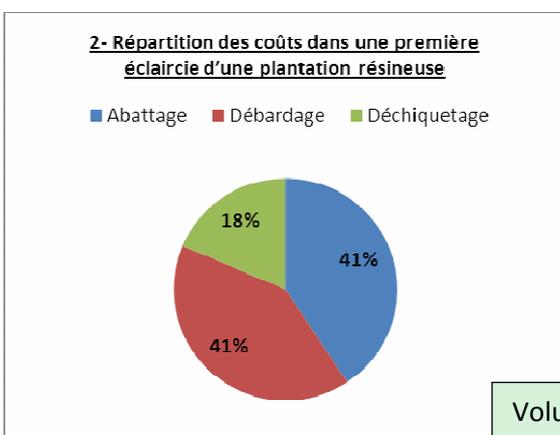
*Transport bois rond forêt plateforme*

*(non pris en compte dans le calcul)*



Déchetuseuse moteur autonome transportée > 100 map/h sur plateforme

390-490 map/j	560-700 map/j
---------------	---------------



Coût de production plaquettes forestières	52-63 €/t	34-47 €/t
---	-----------	-----------

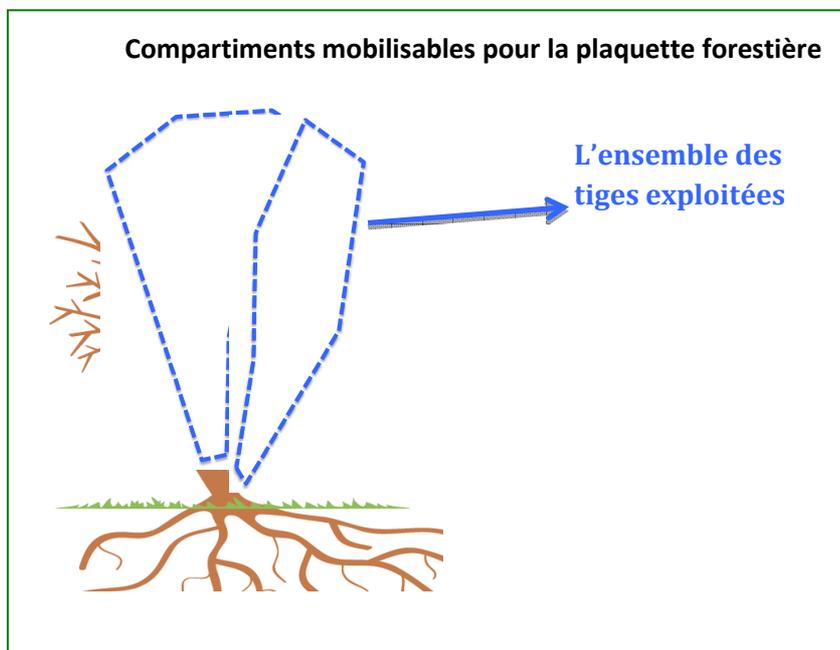
Volume minimum BE bord de piste : contenance d’un grumier



**IT3- Balivage de taillis**

**Exemple : Balivage de taillis de châtaignier, régénération naturelle dense de feuillus au stade gaulis et perchis.**

**Principe d'intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** La densité de la régénération naturelle sous forme de taillis est très forte et pour obtenir à terme des tiges utilisables en bois d'œuvre, il est nécessaire de les sélectionner le plus tôt possible pour maximiser leur croissance. Des cloisonnements d'exploitation sont créés environ tous les 15 mètres selon la densité des peuplements et la topographie de la parcelle. Dans le peuplement interstitiel, une sélection des brins à couper est effectuée pour améliorer la qualité du peuplement futur.



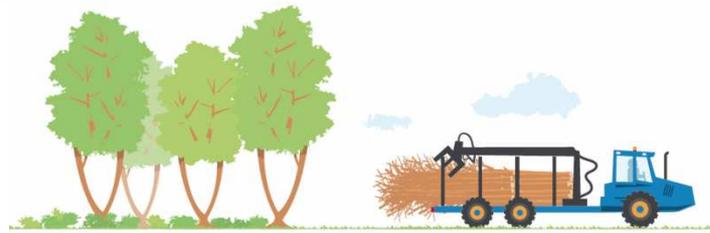
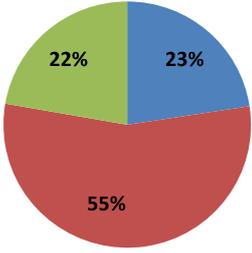
Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>Le BE étant très peu sélectif sur les critères dimensionnels des tiges, on peut intervenir très tôt dans ces peuplements pour optimiser leur croissance et maximiser la production future de bois d'œuvre. Le passage des engins de débardage crée des cloisonnements d'exploitation qui perdureront tout au long la vie du peuplement.</p>	<p>Les taillis sont des systèmes forestiers très gourmands au niveau des éléments du sol et donc l'export trop important de matière organique contenue dans les Menus Bois peut accélérer l'appauvrissement des parcelles.</p> <p>Il faut donc être très vigilant et veiller à pratiquer ces interventions de récolte de MB dans les zones qui peuvent le supporter.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abattage manuel car les têtes d'abattage classiques sont peu adaptées aux éclaircies dans les cépées de taillis. Des machines spécifiques combinées peuvent être utilisées pour réaliser simultanément le débardage.</li> <li>• Débardage au porteur de faible capacité ou au tracteur muni d'une remorque de débardage ou avec une machine combinée.</li> <li>• Déchiquetage bord de route</li> </ul>

**Conditions d'optimisation et retours d'expériences**

- Les quantités de bois produites peuvent être assez faibles. Le tri des produits sur ce type de peuplement et la production de BE avec du BI ou du bois bûche doit véritablement être justifiée par rapport à un schéma où une seule production serait effectuée. L'essence, la taille des tiges et les conditions économiques locales sont des

éléments très importants dans ce choix car les différentes valorisations possibles en BI et en bois bûche en dépendent.

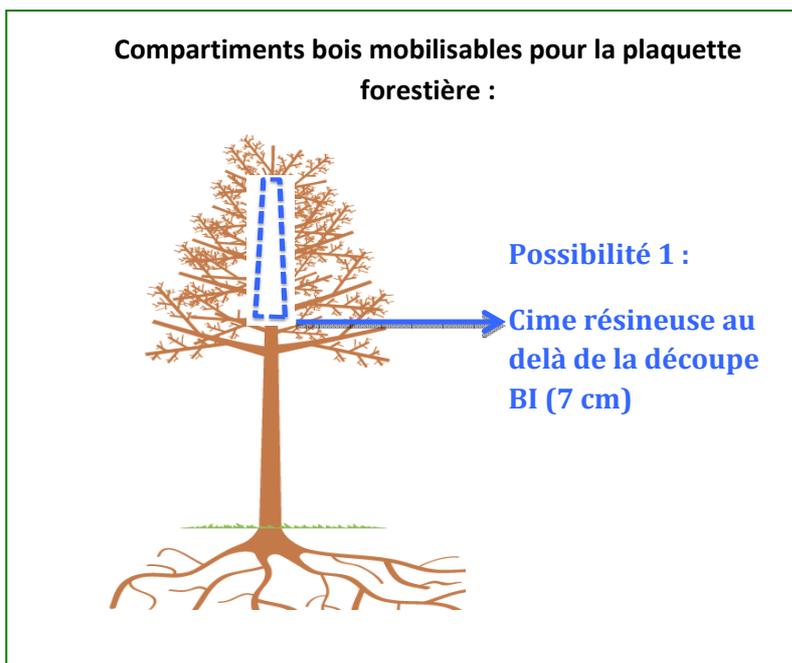
- Le cloisonnement d'exploitation est un élément primordial pour la réussite de l'opération.

	Matériel	Hypothèses de productivité	
	Bûcheronnage manuel	30-35 m3/j	40-50 m3/j
	Porteur 10 tonnes	35-40 m3/j	50-60 m3/j
	Déchetuseuse prise de force > 100 map /h	390-490 map/j	560-700 map/j
<p><b>3- Répartition des coûts dans un balivage de taillis</b></p> <p>■ Abattage ■ Débardage ■ Déchetage</p> 	Coûts de production plaquettes forestières	38-47 €/t	25-34 €/t
Volume minimum BE bord de piste : 100 tonnes			

**IT4- Eclaircies secondaires en futaies résineuses**

**Exemple : Futaie de résineux entre 35 et 45 ans dont le diamètre moyen varie entre 25 et 40 cm ayant été déjà deux fois éclaircie,** peuplements mélangés et hétérogène où une intervention est nécessaire mais où la coupe rase est trop prématurée.

**Principe d'intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** L'éclaircie de ces parcelles a pour but de se rapprocher de la densité finale souhaitée à la coupe rase. Cette densité varie en fonction des essences et des stations. Il est important de concentrer l'accroissement sur les tiges de meilleure qualité. Le peuplement est déjà cloisonné à la suite des premières éclaircies. Les arbres à prélever sont marqués au préalable. L'abattage s'effectue depuis le cloisonnement et les produits sont conditionnés en bordure de cloisonnement pour être débardés.



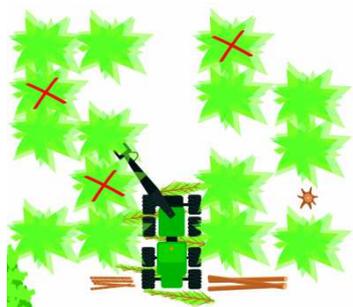
Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>Dans cet itinéraire, les branches ne sont généralement pas exportées. Leur volume est important par rapport à celui de la cime valorisée en bois énergie et le retour de la matière minérale au sol est donc important. De plus, le façonnage systématique des têtes d'arbres permet facilement de créer un « tapis de roulement » pour les machines avec les branches, ce qui diminue considérablement l'impact au sol et accélère leur dégradation.</p>	<p>Les volumes et la valeur supplémentaires générés par le BE sont assez faibles au regard de la valorisation économique du bois d'œuvre. Pour des raisons économiques, il peut être préférable de dissocier la vente du BO de celle du BE car les acheteurs de la coupe ne sont pas forcément adaptés aux marchés du bois énergie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abattage mécanisé avec une abatteuse gros bois</li> <li>• Débardage au porteur de capacité moyenne à grosse (12 t),</li> <li>• Déchiquetage bord de route ou plateforme car les produits étant ébranchés sont transportables</li> </ul>

**Conditions d'optimisation et retours d'expériences**

- Pour cet itinéraire, la production de bois énergie ne représente a priori pas un enjeu sylvicole majeur par rapport au bois d'œuvre. Néanmoins, la valorisation économique de cette matière représente un intérêt. Pour maximiser l'ensemble des revenus, le propriétaire désireux de produire du bois énergie

pourra vendre la matière à deux entreprises différentes : une le BO et l’autre le BE. Dans le cas contraire, il risquerait aujourd’hui, en imposant une valorisation globale de la matière, de limiter de fait le nombre d’acheteurs potentiels de son bois d’œuvre. Cependant pour limiter les interventions de matériel sur sa parcelle, il peut payer une prestation d’abattage et de débardage à l’entreprise qui exploite le BO pour le compartiment BE. Dans ce cas, il procédera par la suite à une vente bord de route du BE.

- Si le BO est débardé à l’aide d’un skidder car il est conditionné sous forme de grumes, alors le compartiment BE pourra être façonné en grande longueur y compris dans les bois de gros diamètre et de mauvaise qualité. On pourra alors valoriser des bois de mauvaise qualité pour lesquels la valorisation en BI nécessiterait un façonnage supplémentaire.



Matériel	Hypothèses de productivité	
----------	----------------------------	--

Abatteuse gros bois

55-70 m3/j

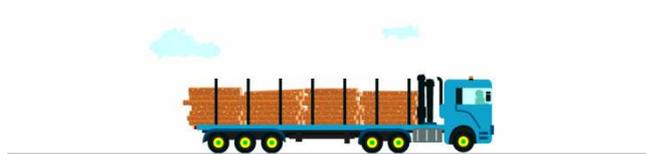
80-100 m3/j



Porteur 12 tonnes

55-70 m3/j

80-100 m3/j



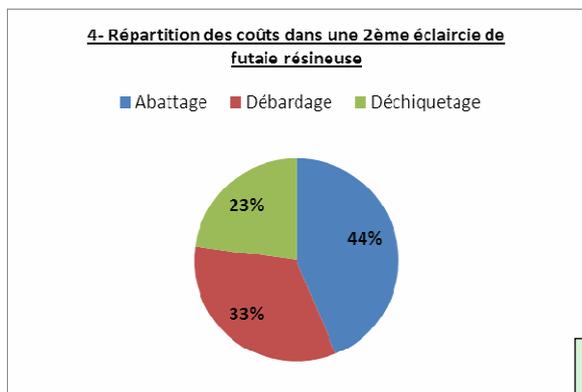
*Transport bois rond forêt plateforme  
(non pris en compte dans le calcul)*



Déchiqueteuse moteur autonome transportée > 100 map/h sur plateforme

390-490 map/j

560-700 map/j



Coût de production plaquettes forestières

43-51 €/t

27-39 €/t

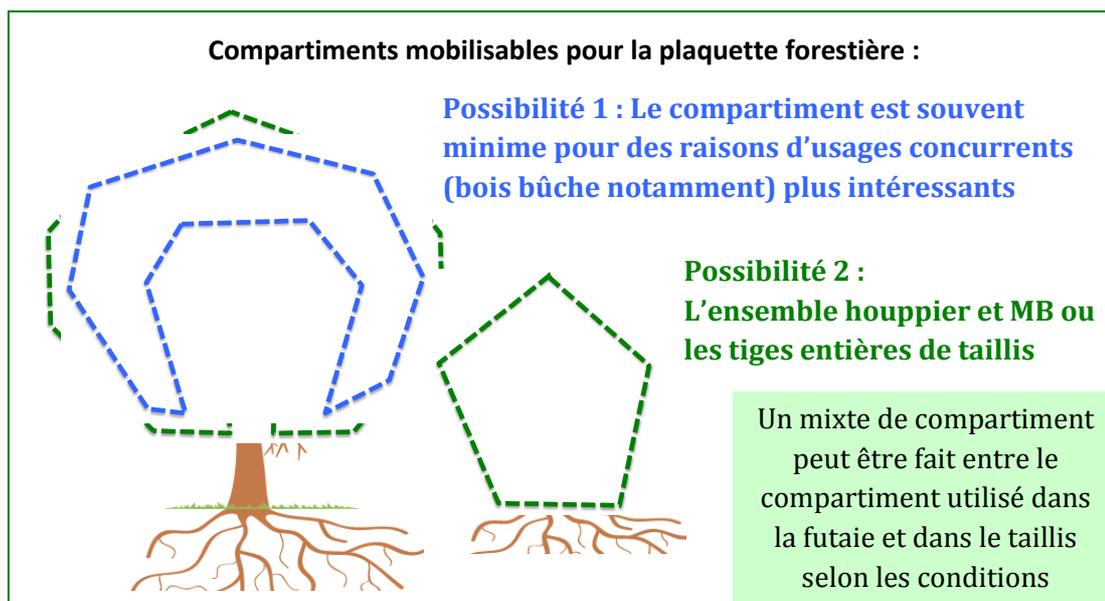
Volume minimum BE bord de piste : contenance d’un grumier



**IT5- Eclaircies dans un mélange de futaies feuillues avec du taillis**

**Exemples : Taillis sous futaie feuillus avec une futaie à base de chêne ou de hêtre et un taillis composé d'essences diverses (charme, châtaignier, tilleul...),** peuplement mélangés en essences voire mixte (feuillus et résineux) hétérogènes jamais éclaircis.

**Principe d'intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** La récolte de bois a pour objectifs principaux de récolter des grumes, diminuer la densité du taillis sans déprécier la qualité de la futaie et créer des trouées dans le couvert pour faciliter les phases de régénération de ces peuplements bien souvent vieillissants.



Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>Le bois énergie représente une réelle opportunité pour la valorisation de l'ensemble des houppiers des arbres de futaie exploité car la rectitude de ce genre de produit est rarement bonne et il est donc difficile de les commercialiser en BI même billonnés en 2 mètres.</p> <p>La gestion du taillis permet de doser la quantité de lumière arrivant au sol. Le bois énergie apporte un débouché très intéressant notamment pour les essences de bois non recherchées en bois bûche comme le tremble, le tilleul ou le bouleau.</p>	<p>L'histoire de ces peuplements est souvent liée à une exploitation intensive du taillis pour la production de bois bûche et/ou de charbon de bois. Les sols ont souvent été dégradés et il faut donc être très vigilant à un export trop important de matière organique.</p> <p>D'autre part, compte tenu du déplacement de machines de grosse capacité pour la production de bois énergie, il faut rester vigilant sur les prélèvements qui ne doivent pas dépasser un certain seuil car le taillis joue un rôle très important dans le dosage de la lumière et il ne faut pas procéder à des coupes rases systématiques au risque de voir se déprécier la futaie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abattage manuel pour les arbres de futaie et manuel ou mécanisé pour le taillis. Pour le façonnage des houppiers on pourra avoir des équipes mixtes entre bucherons et porteur pour des aspects sécuritaires</li> <li>• Débardage porteur pour les bois billonnés ou les perches de taillis laissées entières, il peut être effectué au skidder pour les grumes et le taillis, dans ce cas les skidders à pince seront privilégiés</li> <li>• Déchiquetage bord de route ou sur plateforme</li> </ul>

**Conditions d’optimisation et retours d’expériences**

- Pour ce type de coupe, il est envisageable de différencier les houppiers de la futaie et le taillis. En effet, les opérations peuvent se dissocier dans le temps et les essences sont généralement différentes. La conformation des houppiers et du taillis, spécifique à chaque parcelle, détermine la répartition des compartiments bois bûche et BE qui permet d’optimiser au mieux le chantier.
- L’utilisation du skidder, utile pour les grosses grumes de feuillus, doit être limitée (ou proscrite) pour le compartiment dédié au bois énergie car cela transporte trop de matière minérale par contact avec le sol. L’utilisation d’un skidder à pince permet de limiter ce phénomène.
- Si les bois sont trop gros alors l’abattage pourra également être manuel. Il en va de même si les cépées de taillis sont trop serrées car la tête d’abattage ne permet pas de réaliser un travail de qualité dans ces peuplements.
- Pour le déchetage, les bois tordus et mal conformés nécessitent une surcapacité en terme de diamètre admissible.

Matériel	Hypothèses de productivité	
----------	----------------------------	--



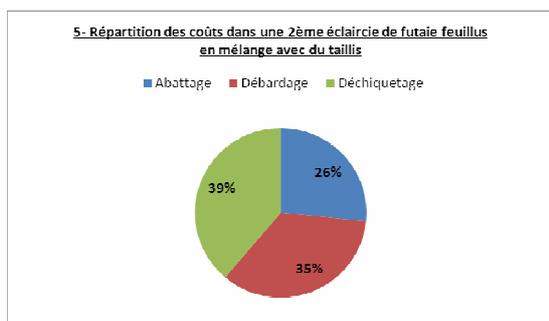
Bûcheronnage	25-30 m3/j	35-45 m3/j
--------------	------------	------------



Porteur 12 tonnes	60-80 m3/j	90-110 m3/j
-------------------	------------	-------------



Déchetuse prise de force 50 à 100 map/h	170-220 map/j	245-315 map/j
---	---------------	---------------



Coût de production plaquettes forestières	36-45 €/t	24-34€/t
---	-----------	----------

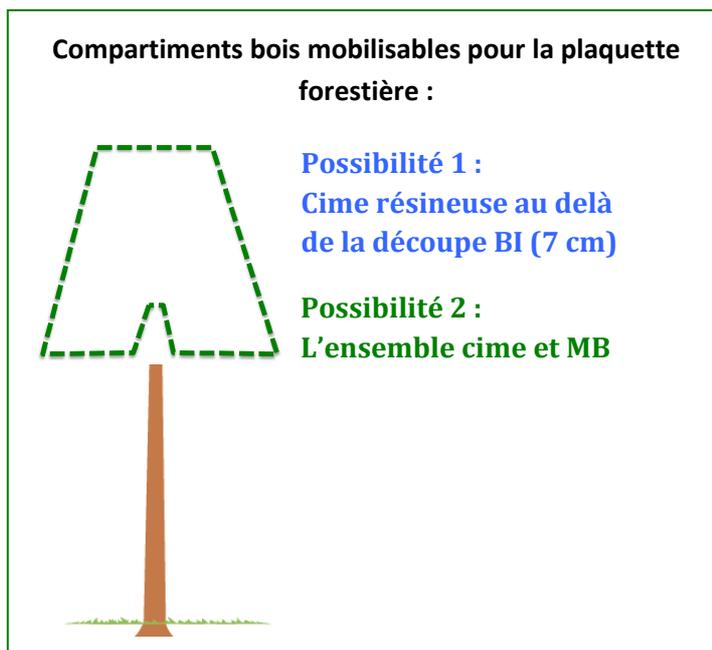
Volume minimum BE bord de piste : 70 tonnes



**IT6- Eclaircies en futaies jardinées de montagne**

**Exemples :** Futaie jardinée d'épicéa, de sapin ou de douglas dans les massifs montagneux, futaie de résineux en cours d'irrégularisation.

**Principe d'intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** La récolte de bois assure le renouvellement et la continuité du système forestier jardiné. Les prélèvements sont majoritairement constitués de bois de dimensions importantes et la proportion de petits bois est souvent réduite.



Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>La production de BE ne nécessitant pas de préconisations techniques particulières en terme de diamètre, de qualité ni de longueur, elle permet d'exploiter les petites tiges en grande longueur et de limiter ainsi les contraintes d'exploitation et d'utiliser le même engin de débardage (skidder) que celui utilisé pour les grumes.</p>	<p>La production de bois énergie dans ce genre de peuplement ne représente pas une grande valorisation économique comparée au BO. Le fait de produire du BE dans les têtes de ces arbres peut représenter un travail important d'ébranchage manuel pour une faible valorisation économique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abattage très souvent manuel</li> <li>• Débardage soit au skidder soit au câble mât et possibilité d'effectuer le tri sur la place de dépôt</li> <li>• Déchiquetage bord de route ou sur plateforme car les produits sont très souvent ébranchés</li> </ul>

**Conditions d'optimisation et retours d'expériences**

- Cette production de BE peut également être envisagée dans les coupes à câble pour les arbres de faible dimension ou pour les surbilles, le façonnage est limité et le volume exploité maximisé ce qui est extrêmement important pour la rentabilité de ces opérations.
- Les produits pouvant être utilisés à la production de bois énergie sont très diversifiés en diamètres et en longueurs. Il peut en effet s'agir de bois de 15 cm de diamètre pour 10 mètres de longueur et à l'inverse des purges de 2 mètres pour un diamètre de 80 cm. L'optimisation du déchiquetage impliquerait donc un dépôt important permettant de produire de la plaquette sur place (bord de piste ou sur dépôt).



Matériel	Hypothèses de productivité	
----------	----------------------------	--

Bûcheronnage manuel	10-15 m <sup>3</sup> /j	15-20 m <sup>3</sup> /j
---------------------	-------------------------	-------------------------



Skidder à câble	30-40 m <sup>3</sup> /j	40-60 m <sup>3</sup> /j
-----------------	-------------------------	-------------------------

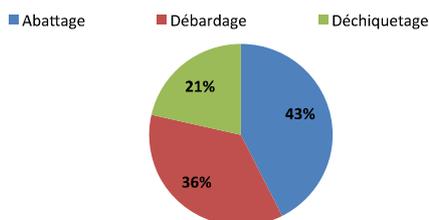


*Transport bois rond forêt plateforme  
(non pris en compte dans le calcul)*



Déchiquteuse moteur autonome transportée > 100 map/h sur plateforme	390-490 map/j	560-700 map/j
---	---------------	---------------

6- Répartition des coûts dans une éclaircie dans une futaie jardinée de montagne



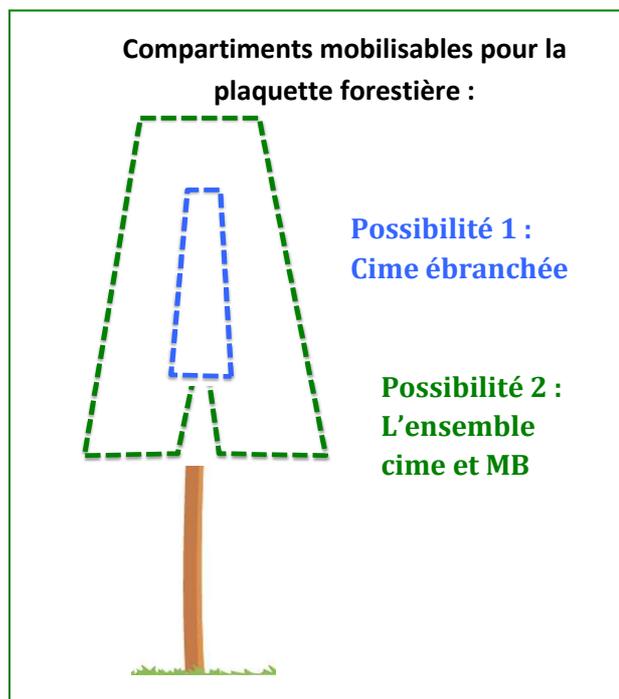
Coût de production plaquettes forestières	47-59 €/t	29-41 €/t
---	-----------	-----------

Volume minimum BE bord de piste : contenance d'un grumier

**IT7- Récolte de cimes de peupliers**

**Exemple : Peupleraie de 25 ans**

**Principe d'intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** Il s'agit de la récolte des bois arrivés à maturité incluant la préparation du terrain pour le reboisement. L'itinéraire présenté ne prend en considération que les cimes abattues (pas de façonnage de têtes) et pas les grumes.



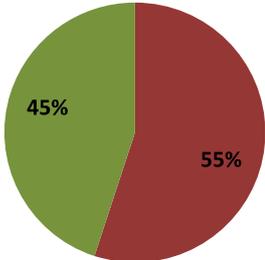
Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>La production de bois énergie à partir des têtes de peuplier permet de limiter le volume de bois restant après l'exploitation pour faciliter la reconstitution par la suite.</p>	<p>Les peupleraies sont souvent installées sur des zones où l'humidité du sol les rend très sensibles au tassement. Par conséquent l'export de l'ensemble des houppiers ne permet pas de constituer un tapis de branches limitant ce phénomène.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abattage manuel ou mécanisé avec des abatteuses spécialisées peuplier ou résineuses,</li> <li>• Le débardage des grumes s'effectue au skidder ou au clambunk (débusqueur à pince portante) ce qui permet avec une même machine de débarder également les têtes lorsqu'elles sont façonnées en perches ou en billon (dans ce cas les branches restent sur la parcelle)</li> <li>• Groupage et alignement des têtes possible avec un engin de type trax (bull) équipé d'un rateau fléco (outil de groupage)</li> <li>• Déchiquetage sur la parcelle (par déplacement du déchiqueteur automoteur au niveau des alignements de têtes) ou bord de route</li> </ul>

**Conditions d'optimisation et retours d'expériences**

- Il est nécessaire d'anticiper la production de bois énergie dès le démarrage du chantier d'exploitation. L'abattage doit être réalisé de sorte à aligner l'ensemble des têtes pour

qu’elles soient le moins enchevêtrées possible et que le débardage et le déchiquetage puissent s’effectuer dans de bonnes conditions.

- Si la zone est très sensible au tassement il faut faire en sorte que l’exploitation de la parcelle s’effectue dans les meilleures conditions météorologiques possibles. Une certaine partie des rémanents pourra être utilisée pour réaliser un tapis de branches. Cette matière sera laissée au sol car elle sera non valorisable par la suite.
- Pour ce genre de produit, le taux de silice est très important et l’affûtage des couteaux doit donc être très régulier.

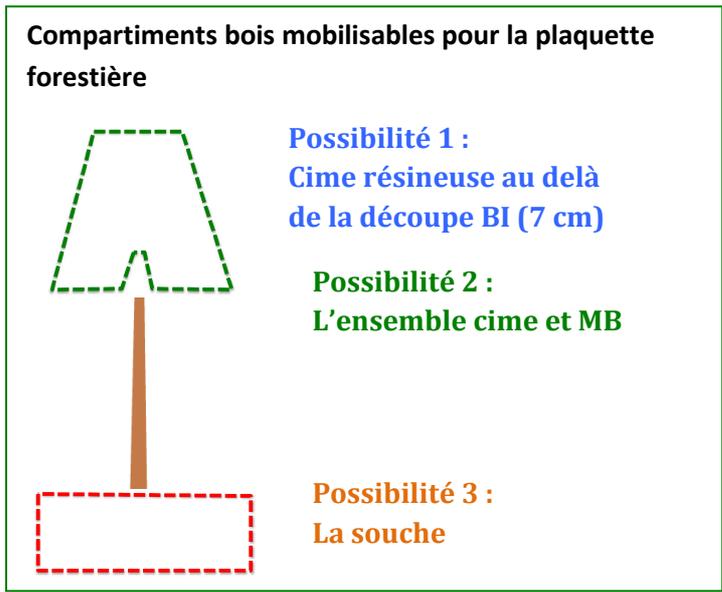
	Matériel	Hypothèses de productivité	
	Bûcheronnage		
	Trax râteau Fleco	220-230 map/j	310-330 map/j
	Déchiqueteuse automotrice > 100 map/h	525-560 map/j	750-800 map/j
	Porte caisson	260-280 map/j	375-400 map/j
<p><b>7 - Répartition des coûts dans une valorisation des cimes de peupliers</b></p> <p>■ Débardage ■ Déchiquetage</p> 			
	Coûts production plaquettes forestière	21- 25€/t	15-18 €/t
Volume minimum BE sur chantier : 3 ha de cimes de peuplier			



**IT8- Coupe définitive en peuplement résineux mature**

**Exemple : Peuplement résineux arrivé à maturité,** peuplements résineux touchés par des parasites qu’il faut couper à blanc

**Principe d’intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** La récolte finale représente l’opération la plus intéressante pour le propriétaire et l’organisation de cette intervention détermine en partie l’efficacité du reboisement ou de la régénération naturelle à suivre



Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>Dans cet itinéraire, les souches peuvent être récoltées.</p> <p>Le fait de récolter un maximum de matière va d’une part augmenter le volume valorisé pour le propriétaire et d’autre part diminuer les coûts futurs de reboisement et d’entretien des plantations tout en maximisant la surface de la parcelle utilisable par rapport à la technique de mise en andain des souches et des rémanents.</p> <p>De plus, la valorisation maximale de la matière peut dans certains cas être indispensable pour limiter la propagation de parasites des arbres ou pour limiter les risques de départ de feu.</p>	<p>Le dessouchage peut être délicat notamment sur les parcelles pentues car il peut déclencher des phénomènes de glissement de terrains. Avec cette technique, l’export de matière minérale est maximum.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abattage réalisable manuellement ou avec une machine de grosse capacité. La sélection s’opère en fonction des conditions de chantier et de la taille des arbres. Pour les très gros bois, il s’effectue manuellement et pour les diamètres &lt; 60 cm la mécanisation domine. Des organisations mixtes bûcheron/machine sont possibles.</li> <li>• Le débardage s’effectue soit au porteur 8 roues soit au débusqueur en fonction des longueurs de produits et des conditions de chantier.</li> <li>• Groupage des têtes possible notamment avec une fagoteuse ou grâce à l’abatteuse</li> <li>• Déchiquetage bord de piste (déchiqueteuse automotrice télécommandée, sans cabine opérateur) ou sur plateforme</li> </ul>

**Conditions d’optimisation et retours d’expériences**

- Pour l’exploitation des cimes de résineux entières, il faut veiller à ce que l’abattage oriente les cimes et les éloigne des cloisonnements pour éviter que les engins de débardage ne roulent dessus.

- Comparativement, le débardage du bois énergie par porteur a un faible impact dans cet itinéraire rapporté au volume sorti car ce produit à un coefficient de foisonnement beaucoup plus fort que les billons de BO façonnés (par contre pour un même tonnage, il faudra plus de tour de porteur)
- Le groupage est une opération très intéressante voire indispensable pour l’exploitation des Menus Bois (MB)



Matériel	Hypothèses de productivité	
----------	----------------------------	--

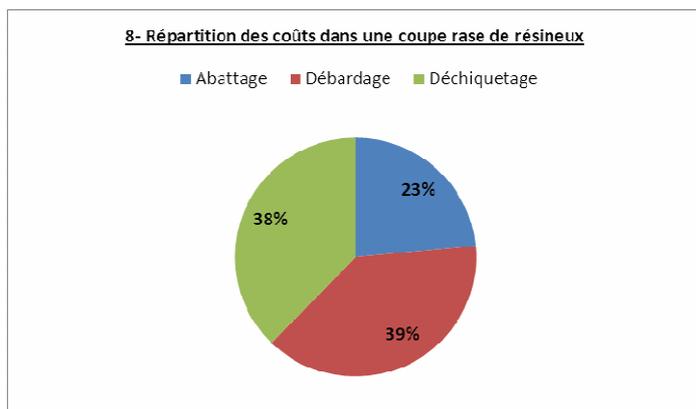
Abatteuse gros bois	170-190 m3/j	240-270 m3/j
---------------------	--------------	--------------



Porteur 14 tonnes	80-90 m3/j	110-130 m3/j
-------------------	------------	--------------



Automotrice télécommandée > 100 map /h	455-470 map/j	650-670 map/j
---	---------------	---------------



Coût de production plaquettes forestières	29-34 €/t	21-25 €/t
---	-----------	-----------

Volume minimum BE bord de piste : 100 tonnes



### IT9- Coupe rase d'un peuplement pauvre

**Exemple :** Peuplement très hétérogène de bouleau et de pin sylvestre issu d'accrus naturels sans potentiel de production de bois de qualité rapidement. Le volume est de 120 m<sup>3</sup>/ha toutes essences confondues

**Peuplement se rapprochant de cet itinéraire :** peuplement artificiel non adapté à la station qu'il faut remplacer

- **Principe d'intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** La coupe rase suivie d'une plantation est dans certains cas une option à suivre pour améliorer les peuplements rapidement (substitution d'essence). L'exploitation de BE permet de limiter les coûts de ces travaux de régénération et de maximiser les revenus même s'ils sont faibles dans ce cas et qu'ils ne couvrent pas le réinvestissement nécessaire.
- **Compartiments bois mobilisables pour la plaquette forestière :** Extrêmement diversifiés en fonction de la qualité des tiges présentes et de leurs dimensions, du contexte économique de la région considérée, il peut s'agir des seuls bois non commerciaux (diamètre inférieur à 7 cm) à la totalité de la biomasse présente, y compris les souches. Il faut se reporter aux autres itinéraires et trouver celui qui correspond le plus au peuplement à remplacer.

Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
La récolte de BE permet de limiter les phases de tri des produits et de récolter un maximum de matière pour diminuer les coûts de la plantation et des entretiens futurs tout en maximisant les revenus des propriétaires au moment de la coupe.	Si le sol est pauvre, ce qui est souvent le cas pour ces peuplements naturels peu favorables, l'export de matière minérale peut être trop important.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abattage réalisable par une très grande diversité de matériel. La sélection s'opère en fonction des conditions de chantier et de la taille des arbres. Des organisations mixtes bucheron/machine sont possibles.</li> <li>• Le débardage s'effectue le plus souvent au porteur mais le débusqueur peut se justifier selon les cas</li> <li>• Déchiquetage s'effectue bord et route</li> </ul>



**Abatteuse bois moyen**

85-105 m<sup>3</sup>/j

120 -150 m<sup>3</sup>/j



**Porteur 12 tonnes**

55-85 m<sup>3</sup>/j

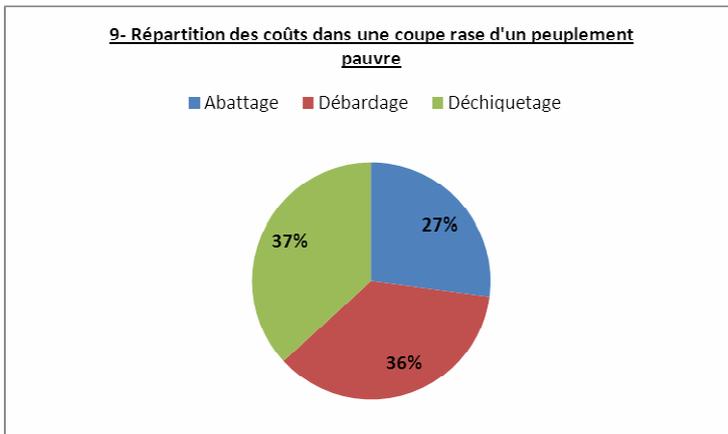
80-120 m<sup>3</sup>/j



**Déchetuseuse prise de force > 100 map /h**

245-340 map/j

350-490 map/j



**Coûts de production des plaquettes forestières**

34-47€/t

22-35 €/t

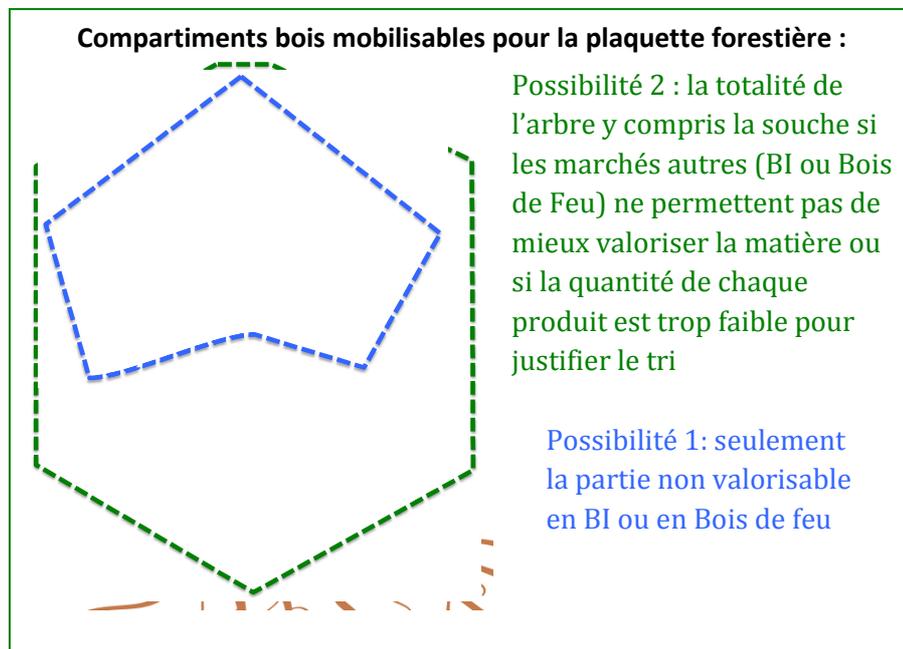
Volume minimum BE bord de piste : 100 tonnes



**IT10- Coupe rase de taillis feuillu mature ou dépérissant**

**Exemple : Taillis feuillu arrivé à maturité et/ou dépérissant (exemple de la châtaigneraie du centre ouest de la France), Coupe rase du taillis dans le cadre d’une conversion de TSF en futaie régulière**

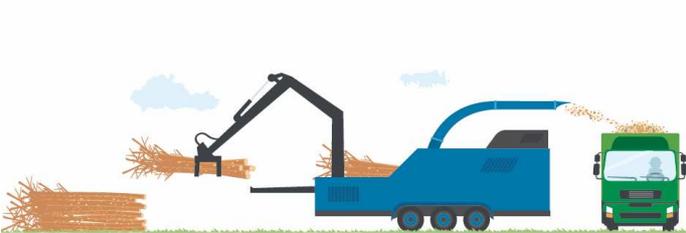
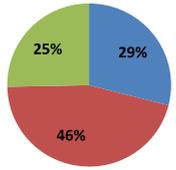
**Principe d’intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois :** Le propriétaire réalise une récolte lui procurant des revenus importants pour repartir sur un nouveau cycle de taillis. Si les souches sont épuisées et/ ou les arbres atteints par des maladies, il peut être intéressant de repartir sur un reboisement après coupe rase et dans cette situation, l’exploitation des souches peut être intéressant pour limiter les rejets de taillis et les coûts de nettoyage.



Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>Le volume récolté est maximisé et représente dans certain cas (notamment de dépérissement) la seule valorisation intéressante pour les bois de faibles dimensions. Le volume restant après coupe est minimum pour faciliter les entretiens futurs. La récolte des souches dans ce genre de peuplement facilite également la réussite des plantations à venir car la concurrence des rejets de taillis est très forte et les entretiens sont donc chers.</p>	<p>Généralement ces peuplements sont installés sur des sols plutôt pauvres, ce qui peut interdire tout export général de matière. Dans les zones pentues, le dessouchage peut déstabiliser les terrains.</p> <p>L’utilisation de têtes d’abatteuses scie ou cisaille peut donner un résultat non satisfaisant si les cépées de taillis sont trop denses. La hauteur de la découpe sera trop haute. Il peut être intéressant de coupler la machine à un bucheron mais dans ce cas le rendement global du chantier baisse.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abattage réalisable par une très grande diversité de matériel. La sélection s’opère en fonction des conditions de chantier et de la taille des arbres. Des organisations mixtes bucheron/machine sont possibles.</li> <li>• Le groupage des bois peut s’effectuer grâce à une tête spécifique feller-buncher (tête d’abattage à disque et bras groupeur) ou on peut avoir plusieurs tiges abattues simultanément.</li> <li>• Le débardage s’effectue le plus souvent au porteur mais le débusqueur peut se justifier selon les cas</li> <li>• Déchiquetage s’effectue bord et route</li> </ul>

**Conditions d’optimisation et retours d’expériences**

- Dans ces schémas d’exploitation la machine combinée (porteur munie d’une tête avec cisaille ou disque) peut être efficace par rapport à la tête feller-buncher car elle permet de trier les produits et de récolte un mixte BO/BI/BE. Dans ce cas le tri entre le BI et le BE est plus facile que pour les éclaircies de taillis car le volume mobilisé est plus important.
- Il s’agit principalement de peuplements très médiocres voire dépérissant où le bois énergie représente une réelle opportunité de valorisation
- Lorsque les bois sont non façonnés, le système d’amenée de la déchiqueteuse est très important pour presser les bois à son entrée

	Matériel	Hypothèses de productivité	
	feller-buncher à disque	100-110 m3/j	140-155 m3/j
	porteur 14 tonnes	55-85 m3/j	80-120 m3/j
	Déchiqueteuse moteur autonome transportée > 100 map/h	490-590 map/j	700-840 map/j
<p><b>10- Répartition des coûts dans une coupe rase d'un taillis mature ou dépérissant</b></p> <p>■ Abattage ■ Débardage ■ Déchiquetage</p> 	Coûts plaquettes forestière	28-41 €/t	19-29 €/t

Volume minimum bois énergie bord de piste : une à deux journées de déchiqueteuse

**Cas particulier 1 : Peuplements résineux semi-dédiés**

**Exemple : Adaptation itinéraire sylvicole dans le pin maritime**

- **Enjeux sylvicoles de récolte de bois :** Technique mise au point notamment par les coopératives forestières du sud ouest dans le pin maritime, en collaboration avec des organismes de recherche et les industriels de l'énergie, en vue de bénéficier d'une éclaircie/dépressage biomasse dans les plantations de pin maritime à raison de 30 t/ha à 8 ans pour ramener la densité initiale de plantation de 2500 à 1250 tiges/ha (CAFSA, 2011) et de combiner dans le temps le BE avec le BO.
- **Compartiments bois mobilisables pour la plaquette forestière :** la totalité de la tige

Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
Cet itinéraire spécifique bois énergie permet d'avoir une optimisation de la production dans l'espace et dans le temps pour correspondre aux besoins des industriels	L'export de biomasse est très important et il faut réserver cette démarche aux stations fertiles	Pas de systèmes de récolte mis en place actuellement car la démarche est trop récente.

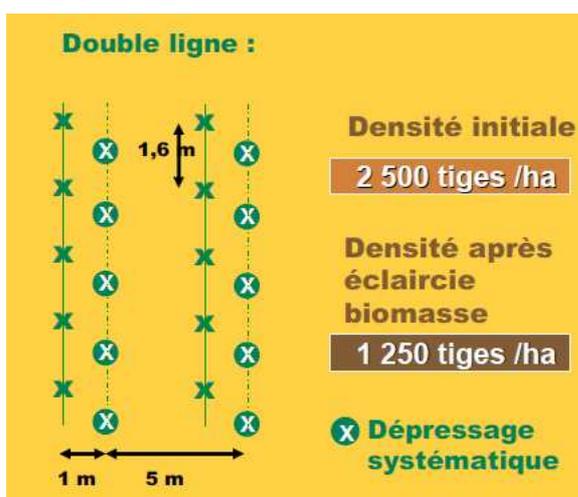


Schéma de mise en place de peuplements semis dédiés dans le Pin maritime

(CAFSA, 2011)

## Cas particulier 2 : travaux de défrichage ou débroussaillage

### Exemple : travaux de débroussaillage ou de défrichage

- **Peuplement se rapprochant de cet itinéraire** : en région méditerranéenne, tout peuplement sur lesquels des travaux de prévention incendie sont menés qui se traduisent par une réduction de la biomasse inflammable et la création de coupure de combustible.
- **Principe d'intervention et enjeux sylvicoles de récolte de bois** : Il s'agit de travaux de nettoyage de parcelle visant à enlever toute la biomasse ligneuse présente dans un but de protection contre les risques d'invasion (lignes HT) ou contre les incendies (piste DFCI, bandes de débroussaillage), voire de changement d'affectation de la parcelle dans le cadre de travaux d'infrastructures
- **Types de produits mobilisables pour la plaquette forestière** : tout type de biomasse (bois toutes longueurs, rémanents, branchages, souche)

Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Principaux itinéraires de récolte possibles
<p>Pour la DFCI, s'agissant de travaux forestiers et non de récolte marchande, les produits récoltés n'ont pas d'autre vocation que le bois énergie (même s'il peut rester sur la parcelle des bois valorisables en BI).</p> <p>Les volumes récoltés en biomasse peuvent être comptés en déduction du prix des travaux.</p>	<p>Ces travaux souvent linéaires et dans des zones escarpées peuvent poser des problèmes sur la tenue des sols.</p> <p>La biomasse produite comporte une forte proportion de houppier ce qui réduit la qualité du broyat.</p>	<p>Techniquement ce cas s'apparente aux coupes rases. Les bois pouvant ne pas être arrivés à maturité, ils peuvent être de petite dimension. Pour trouver le matériel adapté, il faut se reporter aux différents itinéraires décrits précédemment.</p>

### Conditions d'optimisation et retours d'expériences

En région méditerranéenne, le risque incendie interdit de laisser de la biomasse combustible sur la parcelle. Elle est donc soit broyée au sol directement à bois perdu (en l'absence de débouché) soit exportée.

Les opérations de DFCI (Défense des Forêts Contre les Incendies) lancées par les maîtres d'ouvrage (collectivités) permettent généralement de couvrir l'exploitation, mais ni le débardage, ni le déchiquetage, ni le transport. En l'absence de débouché suffisant, cette biomasse forestière reste souvent en forêt d'autant plus que l'utilisation de cette matière demande juridiquement une autorisation des propriétaires des parcelles traversées par l'infrastructure DFCI. La rentabilité des opérations se révèle finalement pas meilleure qu'une opération de coupe ou d'éclaircie (faibles volumes dispersés), avec bien souvent une matière de qualité médiocre pour la production de plaquette bois énergie (du fait du taux de broussailles et petits bois).

### Cas particuliers 3 : dessouchage

#### Exemple : travaux de dessouchage sur une coupe rase de pin maritime dans les landes

- **Peuplement se rapprochant de cet itinéraire** : tout peuplement issu d'une coupe rase pour lequel le reboisement sur sol nu est envisagé (ex taillis de châtaignier dépérissant)
- **Enjeux sylvicoles de récolte de bois** : Valorisation de la totalité de la biomasse après la coupe rase. Permet de faciliter le reboisement à venir et ses entretiens
- **Compartiments bois mobilisables pour la plaquette forestière** : Les souches extraites du sol sont débarrassées de la terre ou du sable par secouage et sectionnées à l'aide d'une cisaille. Les rémanents d'exploitation peuvent aussi être intégrés

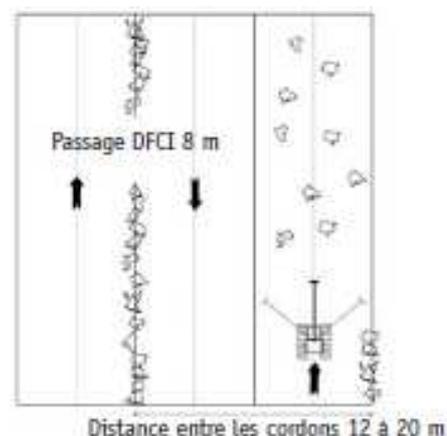
Facteurs favorables à la production de plaquettes forestières	Points de vigilance pour la production de plaquettes forestières	Itinéraire type de récolte constaté
Permet de récupérer des volumes significatifs après coupe ou lors de nettoyage.	Exportation limitée de matière minérale	mise en cordons ou valorisation directe si regroupement en tas
Pas de concurrence vis-à-vis d'autres secteurs (BI, BO, bois bûche)	Il s'agit d'un broyat de souche et par conséquent la qualité de la plaquette est ensuite très dépendante des opérations de nettoyage et criblage en vue d'éliminer le sable et la terre, ce qui augmente le coût du combustible final.	Cisaille à souche sur peuplement pin maritime.
Réduction partielle du coût de la préparation du terrain pour le reboisement et des entretiens des premières années car ils peuvent être facilement mécanisés.	En fonction de sa taille, la souche nécessite d'être fendue avant de passer au broyeur.	Mise en cordons distants de 10 à 20 m
Opération sanitaire (fomes)		Exportation des souches entières ou broyage direct bord de parcelle si possibilité de commercialisation rapide

#### Conditions d'optimisation et retours d'expériences

L'arrachage de souche s'effectue au moyen de cisaille à souche qui permet à la fois de soulever la souche sans bouleverser les horizons du sol, la fragmenter en plusieurs morceaux afin de faire tomber le maximum de terre et de favoriser le séchage de la souche. Cet appareil permet également de traiter les parties aériennes en les sectionnant en longueurs permettant leur passage dans le broyeur. Les souches sont stockées en tas ou en andains sur coupe de 3 à 9 mois suivant la période à laquelle a été effectué le dessouchage. Le déchiquetage (broyage) se fait ensuite sur plateforme, ou directement sur site (plus rare), avec des broyeurs à marteaux ou ergots (dents carbure). Le broyage et dessablage se réalise sur plateforme pour diminuer les coûts et garantir un dessablage suffisant (le broyage bord de route est plus cher et ne permet pas de maîtriser suffisamment le dessablage).

Selon la destination en chaufferie les broyats seront criblés et rebroyés (plusieurs grilles de calibrage). Il est possible d'envisager un débardage et livraison à la plateforme en flux tendu pour éviter l'encombrement des places de dépôt.

Dans les peuplements de pin maritime, il est obligatoire de prévoir un passage DFCI de 8 m de large tous les 100 m afin de faciliter la circulation des engins. La distance entre cordons est raisonnée en fonction de la taille du matériel utilisé, de la taille des souches et des travaux de reboisement ultérieur dans le cas où les cordons seront laissés sur place.



La récupération des cordons de souches n'est envisageable que si la parcelle est facilement accessible et si le volume à enlever par chantier est relativement conséquent permettant de rentabiliser le déplacement de la machine sur plusieurs jours de travail.

- Rendement croquage souche + mise en cordons : max 1 ha/jour
- Rendement broyage après mise en cordon : 250. Tonnes/jour (soit environ 5 ha/jour)

### **Retour d'expériences - bonnes pratiques / erreurs à éviter**

- La surface occupée par les cordons ne doit pas excéder 10% de la surface travaillée. L'arrachage des souches peut être total ou bien partiel (en bande) en cas d'enrichissement



- Pour les peuplements de pin maritime en ligne présentant des souches de faible dimension (peuplement jeune, faible diamètre, densité de souche importante), il est conseillé de broyer la partie supérieure de la souche sans l'extraire.

- Dans la pratique seul le cœur de souche est prélevé et les rémanents sont laissés sur la parcelle. Les racines sont laissées sur place, ce qui favorise le dessablage. Il s'agit du meilleur compromis coût de récolte / qualité du combustible (moins de sable, moins d'encombrement, facilité de manipulation). Ce cœur de souche est ensuite fragmenté ce qui permet d'enlever la majorité du sable : ne pas trop fragmenter ce qui affecterait les opérations de manipulation, débardage et déchiquetage.

- L'export de matière minérale lié à l'exploitation des souches semble cependant limité : le retour d'expérience des essais comparatifs menés avec et sans dessouchage, installés dans les années 80 (ex : Sylvogène) démontrent qu'il n'y a pas d'effet négatif du dessouchage sur la croissance des arbres et qu'aucun changement de flore n'a été observé dans les 30 ans qui ont suivi. L'exportation en fin de cycle de matière minérale fait l'objet de mesures de suivi visant analyser l'impact de l'enlèvement tous les 30 à 50 ans des corps de souches, pauvres en éléments fertilisants. Un cahier des charges sur la récolte des rémanents incluant souches est en cours d'élaboration (PEFC).

- Sur le pin maritime, effet positif sur l'amélioration de l'état sanitaire de la forêt, notamment pour la lutte curative contre le *fomes* et la diminution des dégâts d'hylobes.

- Pour le châtaignier la récupération de souches s'adresse aux parcelles issues de coupe rase où l'ensouchement est vieillissant et ne permettra pas le développement correct d'une autre génération de taillis. Il est aussi particulièrement adapté aux surfaces de taillis dépérissant. La matière est mise en cordon plus ou moins dense (à l'aide d'un râteau fléco) en fonction de

l'ensouchement et de la présence de taillis dégradé. Ces andains de biomasse sont laissés au repos pendant environ un an (tonnage obtenu : 70 à 100 tonnes/ha selon peuplement).

**Tableau récapitulatif des opérations types possibles par itinéraire**

	Opérations types	Itinéraires									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Abattage</b>	Bûcheronnage manuel (op 1)	€		€		€	€				
	Groupage de bois (op 2)							€			
	Bûcheronnage mécanisé scie (op 3)		€		€				€	€	
	Bûcheronnage mécanisé scie sur porteur (op 3)										
	Bûcheronnage mécanisé cisaille (op 4)										
	Bûcheronnage mécanisé cisaille sur porteur (op 3)										
	Bûcheronnage mécanisé disque (op 5)										€
	Bûcheronnage déchiquetage (op 14)										
	Déchiquetage sur coupe (op 15)							€			
<b>Débardage</b>	Fagotage (op 6)										
	Tracteur + grue + remorque (op 7)										
	Porteur forestier (op 8)	€	€	€	€	€			€	€	€
	Débusqueur grue/pince (op 9)										
	Débusqueur à câble (op 10)						€				
	Traction animale (op 11)										
	Câble-mât (op 12)										
Réception, façonnage, tri											
<b>Déchiquetage – transport</b>	Déchiquetage bord de route (op 16)	€		€		€			€	€	€
	Transport forêt plate-forme (op 13)										
	Déchiquetage sur plate-forme (op 17)		€		€		€				
<b>Déplacement</b>	Déplacement des engins (op 19)	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€

 Opération étudiée dans l'analyse économique
  Autres Possibles
  Etape indispensable mais non chiffrée dans les coûts

### 4.3.- Quelques données et sources de référence sur les coûts de production

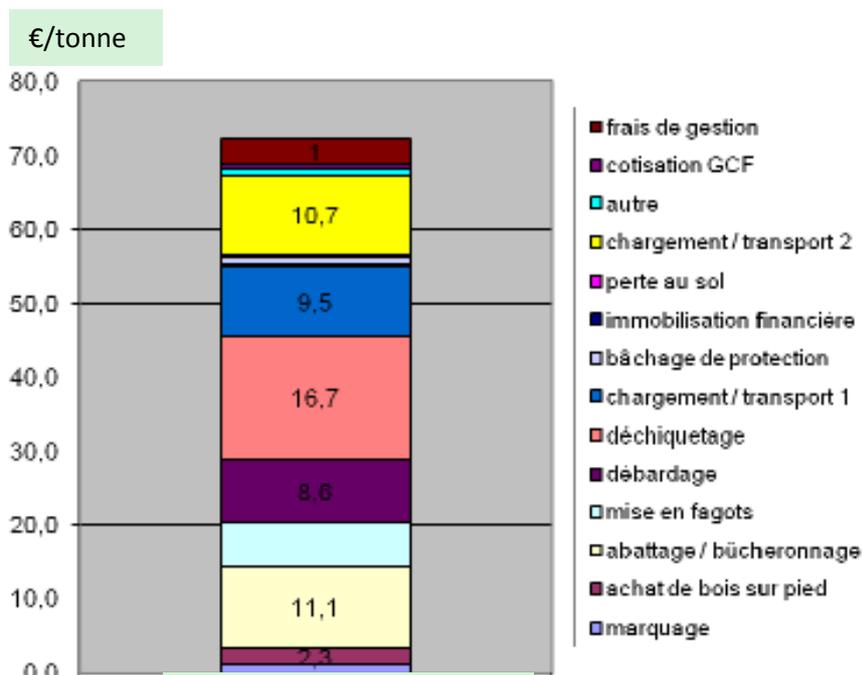
De nombreuses références existent sur les coûts de production de plaquettes forestières selon les itinéraires techniques et les peuplements forestiers. Elles ont généralement été produites dans le cadre de chantiers expérimentaux, de programme de recherche-développement ou de retours d'expérience à l'initiative de représentants des principaux acteurs, propriétaires et gestionnaires forestiers : Coopératives forestières, ONF, communes forestières, syndicats de propriétaires forestiers, organismes de la forêt privée, CRPF, ... mais aussi de structures interprofessionnelles et/ou chargées de l'animation de la filière bois énergie.

Leur point commun est de constituer des références techniques très détaillées qui cherchent à coller aux réalités locales des peuplements forestiers d'une région donnée ou d'une intervention spécifique, et répondre ainsi à un questionnement précis des propriétaires, gestionnaires et techniciens forestiers sur les coûts et les méthodes possibles permettant de produire de la plaquette forestière. De ce fait, les résultats ne sont généralement pas extrapolables en dehors des cas de situation similaire. Par ailleurs, les techniques et machines utilisées ainsi que les coûts ont pu évoluer fortement entre la date de ces références (pour certaines datant de 10 ans) et le contexte actuel. Ils n'en constituent pas moins des références techniques importantes qu'il convient d'avoir à l'esprit sur les conditions de mobilisation de la plaquette forestière.

#### Les références des Coopératives forestières et de l'ONF : le programme national REGIX

Dans le cadre du programme national de recherche REGIX, le réseau des coopératives forestières (UCFF) en partenariat avec l'ONF et le FCBA, a réalisé **entre 2004 et 2008**, une quarantaine de

**Prix de revient moyen par poste des plaquettes forestières produites dans le cadre des chantiers REGIX en euros/T**



chantiers expérimentaux grandeur nature répartis dans les principales régions françaises, à partir d'une vaste gamme de gisements potentiels, de matériels et techniques de mobilisation testés. La décomposition des coûts par poste a été très détaillée pour intégrer toutes les opérations analytiques, du marquage de la coupe, achat de bois, abattage/bûcheronnage, fagotage éventuel, débardage, déchetage, chargements et transports, frais de gestion et frais

divers. Les résultats montrent une forte variabilité des coûts de production de plaquettes forestières (entre 35 et 100 €/tonne) à l'image de la forte diversité des chantiers et des situations forestières analysées, avec un prix moyen « expérimental » de 72 €/tonne, soit 23 €/MWh (chiffres 2008-2009). Il s'agit de prix de plaquettes forestières livrées sans passer par une plateforme de conditionnement, ni séchage.

Retrouver la documentation  
du programme REGIX sur :  
[www.biomasse-energie-info.fr](http://www.biomasse-energie-info.fr)

Plusieurs scénarii de production ont été testés avec comme paramètre principal le poste de déchiquetage. Les résultats ont montré que certains scénarios sont plutôt à privilégier (déchiquetage sur piste/bord de parcelle) tandis que d'autres à éviter (compactage préalable).



### **Les références des Communes Forestières : le programme « 1000 chaufferies bois en milieu rural »**

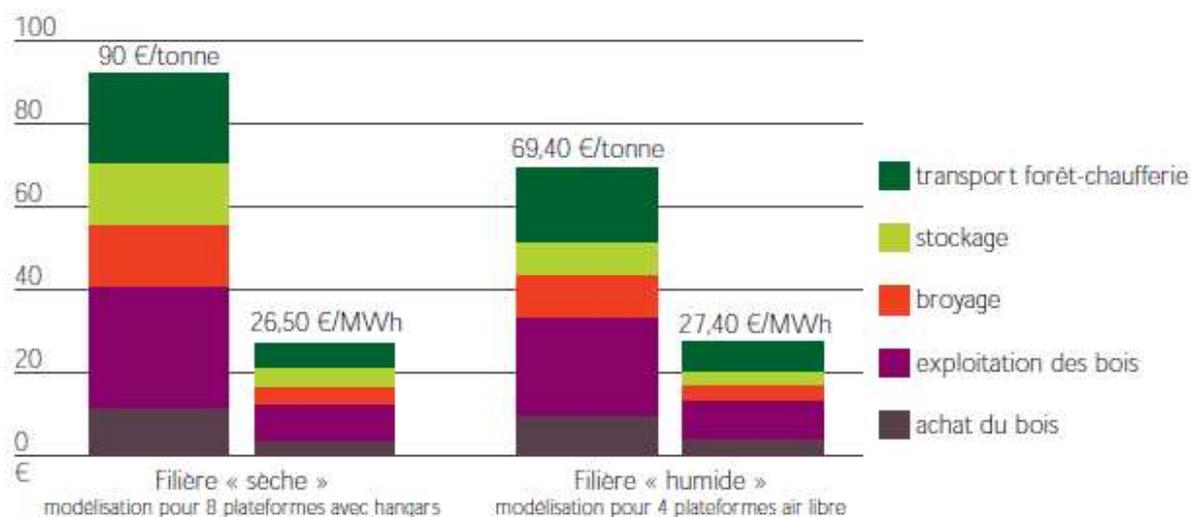
Dans le cadre du programme national « 1000 chaufferies bois en milieu rural », la FNCOFOR élabore des outils d'aide à la décision pour les élus des collectivités au travers des Plans d'Approvisionnement Territoriaux. L'objectif étant de répondre aux questions clés sur un territoire :

- Peut-on approvisionner localement les projets de chaufferie bois du territoire et à quel prix ?
- Où mobiliser de la plaquette forestière sur le territoire ?
- Comment optimiser les filières locales d'approvisionnement ?

Des études de coûts mettent en évidence la structure de coûts de production de la plaquette forestière à des échelles territoriales organisées, plus restreintes que les études régionales. Il s'agit à la fois de données collectées localement au niveau des acteurs de terrain (entreprises, propriétaires, ONF, coopérative, expert) et de tentative de modélisation de la mobilisation de la biomasse forestière selon des hypothèses et des scénarios débattus localement.

Les coûts de mobilisation de la plaquette forestière sont des ordres de grandeurs qui intègrent les contraintes et se déclinent selon deux principaux scénarios logistiques de mobilisation de la plaquette forestière :

- une filière locale dite « sèche », comprenant le passage par plateforme de séchage avec hangar
- une filière industrielle dite « humide », sans séchage sous abri



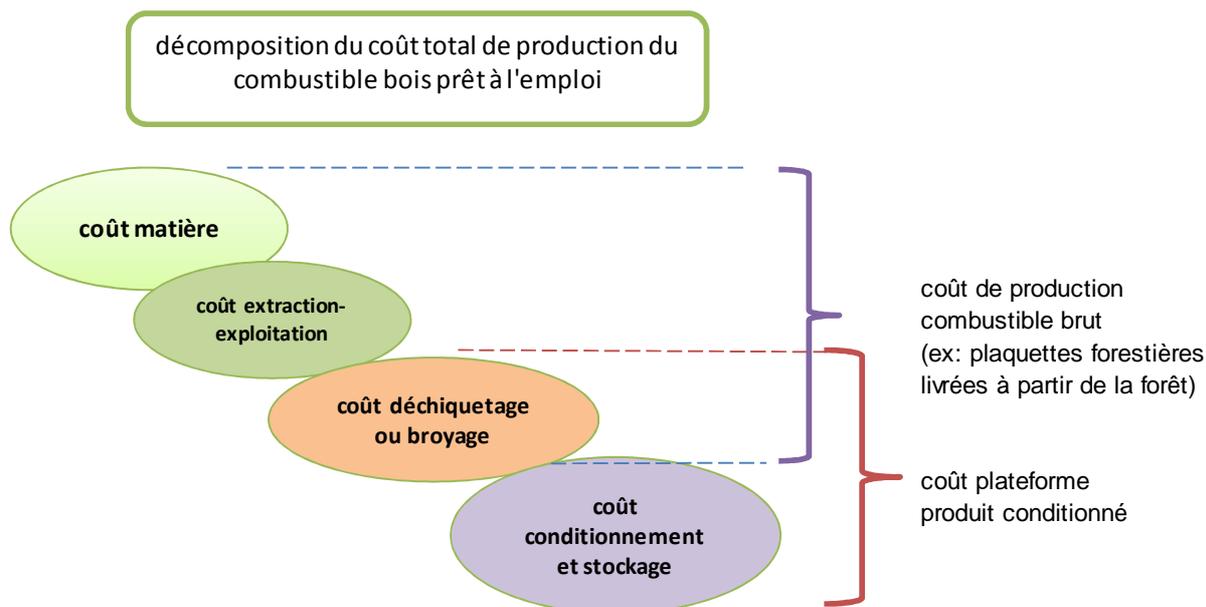
*Exemple de l'estimation des coûts de mobilisation de plaquettes forestières sur un territoire de Rhône Alpes (source FNCOFOR, 2010)*

Une douzaine de PAT a été élaborée entre 2005 et 2011 sur des territoires forestiers de montagne où généralement le taux de forêt publique (appartenant aux collectivités) est plus important. Consulter les synthèses des études PAT sur le portail : <http://portail.fncofor.fr/>

### **Les références des entreprises du CIBE (Comité Interprofessionnel du Bois Energie)**

Le Comité Interprofessionnel du Bois Energie (CIBE) a réalisé entre 2010 et 2011 une enquête auprès d'un échantillon significatif de producteurs de combustibles bois déchiquetés afin de **constituer des références simplifiées sur la décomposition des coûts** de production des principaux combustibles bois déchiquetés (avec ou sans passage par une plateforme) et d'éclairer ainsi les maîtres d'ouvrages de chaufferies bois et les acteurs de la filière. Cette enquête a concerné les plaquettes forestières mais également les autres types de combustibles bois déchiquetés.

Il s'agit d'une évaluation auprès des entreprises, selon leurs propres retours d'expérience, de la part respective des paramètres structurants les coûts de production, sur la base d'une grille d'itinéraires-type de production de combustibles bois déchiquetés.

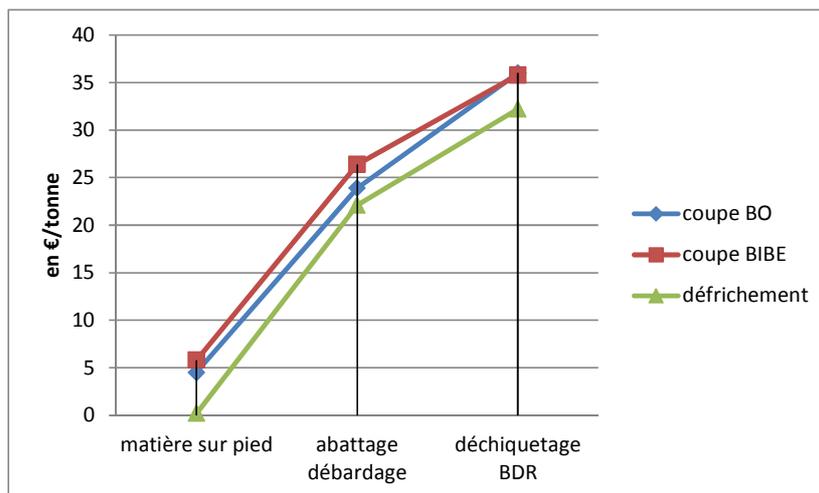


**3 cas-type d'itinéraires** de production simplifiés ont été considérés **pour la plaquette forestière** :

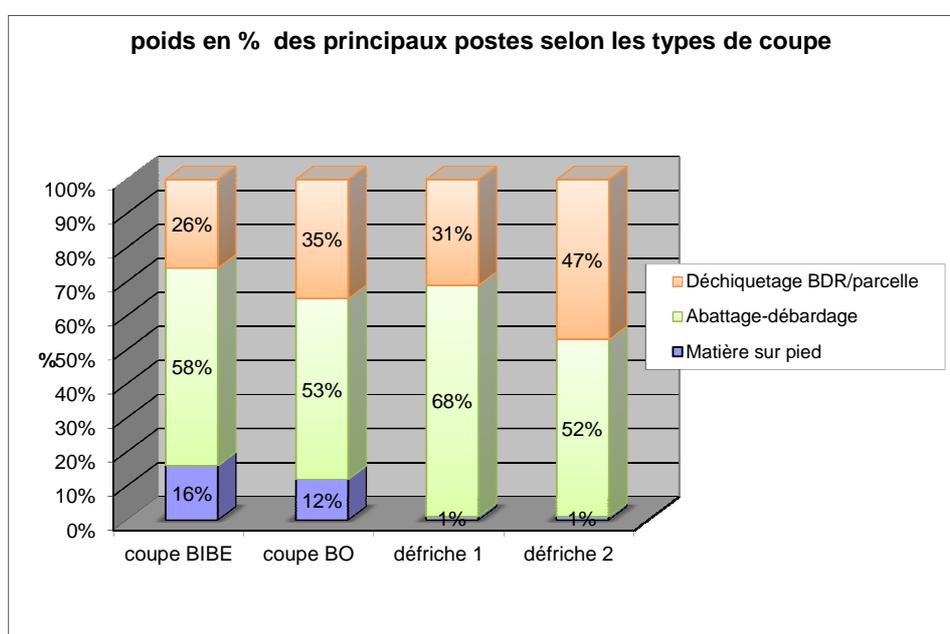
- **Les coupes de bois d'industrie (ou coupe BI ou BIBE) où ce compartiment exploité n'est pas lié au BO** (coupe dédiée BIBE, 1<sup>ère</sup> éclaircie résineuse, coupe rase, récolte rémanents valorisables). Les bois mobilisés sont concurrentiels avec les marchés de la trituration et peuvent partir indistinctement à destination de l'usage BI ou de l'usage BE. Dans la quasi-totalité des cas, le déchetage se réalise bord de route. La plage de variation constatée des coûts est importante, soit entre 30 et 40 €/tonne (coût HT sortie forêt).
- **Les coupes d'éclaircie de bois d'œuvre (coupe BO) où la mobilisation du BE est liée au BO** ; il s'agit d'intervention visant à récupérer du bois énergie à partir d'une éclaircie ou d'une coupe de bois d'œuvre. Le coût est ici lié à l'intégration ou la prise en charge d'une partie ou non des coûts d'exploitation du BE dans les coûts spécifiques BO. La plage de variation des coûts est la plus importante constatée, soit entre 28 et 47 €/tonne (coût HT sortie forêt).
- **Les coupes de travaux de nettoyage et de défrichement** : Il s'agit de coupe non marchande (récupération de bois toute nature et rémanents forestiers), où l'entreprise est rémunérée pour effectuer des travaux de défrichement, de nettoyage de parcelle, de sécurisation d'emprise, etc.... La matière n'est pas vendue, mais fait l'objet d'une récupération car elle doit être éliminée (évacuée). La matière peut toutefois venir en déduction du coût des travaux. Deux modalités de déchetage existent sur ce cas : sur parcelle (défriche 2) ou bord de route (défriche 1). La plage de variation des coûts constatée est la plus faible, soit entre 30 et 34 €/tonne (coût HT sortie forêt).

Il a été considéré que cette simplification en 3 cas-types est représentative des principaux schémas d'intervention des professionnels en forêt et itinéraires techniques de production de la plaquette forestière.

*Coûts cumulés des différents postes (moyenne pondérée) selon la nature de la coupe*



Source :  
CIBE, 2011



Les enseignements tirés :

- **Le coût matière**, qui représente la rémunération du propriétaire sylviculteur, varie de 0 à 16% du coût total de production de la plaquette forestière (soit entre 0 et 10 €/tonne sur pied). Il est fortement lié à l'essence et aux facteurs régionaux, notamment l'existence ou non d'une concurrence sur l'essence au regard du contexte régional des marchés de la trituration (panneau/papier) et du bois bûche. Ainsi il est le plus élevé dans le cas de coupes BIBE qui représentent les coupes marchandes concurrentielles avec le secteur de la trituration et avec le bois bûche dans le feuillu. Il faut cependant noter que pour le bois-énergie, la totalité de la biomasse est valorisée, pas seulement la part marchande, comme c'est le cas pour la trituration qui n'accepte que des bois d'un certain diamètre.

- **les coûts d'exploitation (abattage-débardage)** affichent une très forte variabilité en valeur absolue selon les types de coupes (12 à 30 €/t) ; Cette variabilité reflète la diversité des cas de figure des interventions (selon type de peuplements, type de coupe, etc...) et des modalités d'organisation de chantiers propres à l'entreprise. Ces coûts représentent environ 60% du coût total de production de

la plaquette forestière départ forêt. Les coûts d'exploitation les moins élevés se situent dans le cas de coupe BO (une partie des coûts d'exploitation BE étant probablement intégrée dans les coûts du BO) et dans les travaux de défrichement avec broyage en forêt. En dehors des cas de conditions difficiles (montagne), l'articulation du type d'abattage (manuel/mécanisé), des modalités terrain du broyage (BDR/parcelle) ainsi que du matériel utilisé pour le débardage (porteur/skidder) ne semblent avoir qu'un impact réduit sur le coût final dans certaines catégories.

- **les coûts de déchiquetage bord de route** ou bord de piste varient de 8 à 15 €/tonne, représentant entre 26 et 35% des coûts de production de plaquette forestière départ forêt. Dans le cas de déchiquetage sur parcelle, ce coût devient nettement plus élevé. Mais la variation des coûts de déchiquetage semble moins due aux cas-types qu'à un taux d'utilisation du broyeur assez différent d'une entreprise à l'autre. Il est possible d'envisager une diminution des coûts avec une augmentation de la rentabilité des équipements par leur utilisation plus intensive.

- Dans le cas de **coupe de travaux, nettoyage ou de défrichement**, le coût « déchiquetage sur parcelle » est supérieur au coût « déchiquetage bord de route » mais le coût d'abattage est moins élevé dans cette modalité. Au final le coût total est relativement équivalent.

### **Etudes et données régionales**

Un certain nombre d'études de coûts de production de plaquettes forestières (et bocagères) ont été réalisées dans plusieurs régions françaises : Normandie, Bretagne, Rhône Alpes (avec une attention particulière sur les chantiers de montagne), Provence-Alpes Côte d'Azur, Pays de Loire, Alsace, Aquitaine (avec une attention particulière sur les souches et rémanents), ...

Réalisées à l'initiative des interprofessions forêt-bois, des structures d'animation de la filière bois énergie ou encore de certains acteurs clés de la filière forestière, elles mettent en évidence les caractéristiques clés des coûts et contraintes de production de plaquettes forestières à destination énergie selon les peuplements forestiers de la région.

Ces données sont disponibles auprès des organismes en région (cf liste en annexe) mais il convient de se renseigner sur les conditions de réalisation de ces études afin d'en connaître les paramètres et les limites d'utilisation pour éviter toute erreur d'interprétation.

#### **En savoir plus : quelques références à consulter**

« Analyses technico-économiques de divers systèmes de mobilisation des plaquettes forestières » Projet REGIX, VOLET 2, Livrable L16-b2, UCFF, FCBA, ONF, février 2010

« Recommandation d'itinéraires sylvicoles adaptés à la production de plaquettes forestières pour l'énergie ». Projet REGIX, VOLET 2, Livrable L11-b, UCFF, Janvier 2010

« Tester des méthodes, des équipements et des organisations innovantes de récolte de la biomasse forestière en zone de pente ». Programme PNRB, projet MOBIPE, FCBA, CEMAGREF, CFPF Châteauneuf du Rhône, ONF Chambéry, UCFF, Janvier 2010

« Organisation de la récolte de bois énergie en forêt publique : Expertise technique pour l'approvisionnement du marché en plaquette forestière » ONF DT Rhône Alpes, ADEME, Février 2008

« Préparation rationnelle des plaquettes de bois au sein de l'exploitation forestière » Publication n°409, Énergie bois Suisse, mars 2006

### **Les instituts techniques et la recherche**

Le lecteur trouvera également de nombreuses informations pratiques et techniques auprès des instituts techniques et de recherche développement qui accompagnent les professionnels et les acteurs du bois énergie dans l'analyse des conditions de mobilisation du bois énergie en forêt et les coûts de production de plaquettes forestières.

On citera notamment l'institut technologique FCBA qui a produit plusieurs fiches techniques sur ces sujets : [www.fcba.fr](http://www.fcba.fr) (pôle 1<sup>ère</sup> transformation – approvisionnement)

La plupart de ces instituts et organismes de recherche et développement dans le domaine de la forêt (IRSTEA/CEMAGREF, INRA, CNPF, IFN, ONF, CNRS,...) sont regroupés au sein du Groupement d'Intérêt public GIP ECOFOR [http://www.gip-](http://www.gip-ecofor.fr)

## Chapitre 5- Stockage, séchage, conditionnement et livraison

Il existe plusieurs types d'opérations ou modalités possibles pour le stockage, le séchage et le conditionnement des plaquettes forestières. Dans le vocabulaire courant, les opérations de stockage et de séchage sont souvent associées. C'est effectivement le cas habituel sur plate-forme, où les plaquettes stockées subissent une phase de séchage avant d'être livrées en chaufferie.

Pour tout itinéraire de production de plaquettes forestières, il faudra se poser la question de :

- **la pertinence technique du séchage** au regard du cahier des charges de la plaquette demandée : peut-on livrer de la plaquette forestière humide, un ressuyage des bois suffit-il ou doit-on passer par un séchage contrôlé du produit final ?
- **la pertinence économique de la modalité choisie** : au regard des coûts à supporter et des valorisations économiques attendues doit-on envisager un séchage sur plateforme à l'air libre, à l'abri (hangar) voire un séchage artificiel ?
- **des modalités pratiques** retenues et leur incidence : quelles sont les incidences sur la chaîne logistique (rupture de charge) selon que le séchage s'effectue en bois rond ou en plaquettes, en forêt ou sur plateforme ?

### Rappel des avantages du combustible bois séché :

- énergétique : augmentation de la puissance et du rendement du foyer de la chaufferie
- technique et environnemental : adaptation à tout type de chaufferie sans besoin de pré-séchage, donc on évite les surconsommations de bois
- économique : plus juste valorisation du contenu énergétique du bois (on paye le bois, pas l'eau !)

### 5.1- Le processus naturel de séchage de la plaquette humide en tas

*(source : étude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des plaquettes forestières en fonction des modalités de stockage et de séchage » J. AST, 2009 – UHP Nancy)*

Le processus de séchage naturel de la plaquette provient d'un phénomène d'auto-échauffement lorsque les plaquettes sont fraîchement broyées, humides et amoncelées en tas.

Les retours d'expérience du stockage de combustible bois déchiqueté vert (humide), suffisamment aéré, montrent une fermentation dans les premières semaines au sein du tas de plaquette qui provoque un échauffement (élévation de la température au cœur du tas jusqu'à 60-70°C) et un séchage en quelques mois par dissipation de la chaleur du centre du tas vers la périphérie :

On observe un passage de 50% à 25-30% d'humidité sur masse brute en 3 à 6 mois environ. La perte de matière est alors de 10 à 15% de la masse. On considère un combustible bois déchiqueté stable au stockage lorsqu'il présente moins de 30% d'humidité sur masse brute, ce qui est le cas généralement lors de stockage aéré sous abri.

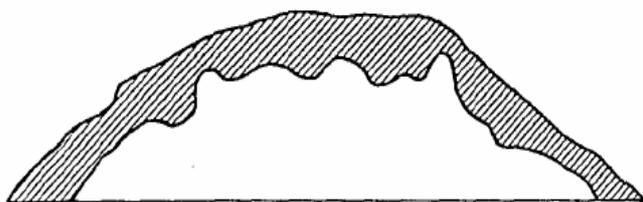
Ce processus de séchage par phénomène d'auto-échauffement s'effectue en 3 temps :

- La respiration cellulaire activée par le broyage qui dégage de la chaleur (courte durée, baisse de 1 à 2% de l'humidité et production d'eau)
- Le développement de bactéries et de champignons qui libère également de la chaleur (fermentation provoquée par l'apparition de bactérie, alternance des phases aérobie/forte production de chaleur- et anaérobie/faible production de chaleur) ; ce phénomène est moins important chez les résineux que chez les feuillus
- Oxydation au-delà de 65°C (l'oxydation produit de l'acide acétique et noircit le bois)

Ce processus de séchage par stockage en tas de plaquettes humides peut entraîner des dégradations biochimiques (compostage) et une perte de matière sèche, surtout si les plaquettes contiennent un fort pourcentage de fines, d'écorces et de feuilles ou d'aiguilles : en ce cas un processus de compostage avancé peut se produire en moins de 3 mois (et par conséquent une dégradation du contenu énergétique). Il y a 3 à 8 fois plus d'azote dans l'écorce que dans le bois, source de développement de champignons.

Plus il y a de feuilles, d'écorces et de nutriments dans le tas, plus la fermentation est rapide et intense. Plus la quantité de lignine dans le bois est importante, moins la fermentation est forte. Ce développement a été identifié comme le phénomène produisant le plus de chaleur (J. Ast 2009)

Selon J. Ast (2009), « la quantité de chaleur produite, ainsi que la température au sein du tas de plaquettes dépendent de plusieurs caractéristiques du tas : la quantité de bois entreposé, la compaction du tas, la granulométrie des plaquettes, le type de bois utilisé et son humidité. La production de chaleur est proportionnelle au volume de l'amoncellement, lui-même proportionnel au cube du rayon du tas. Dans le même temps, la perte de chaleur est proportionnelle à la surface du tas, donc au carré du rayon. Cette valeur limite du rayon est appelée rayon critique »



*Allure de la zone humide dans un tas de plaquettes forestières stockées à l'air libre*

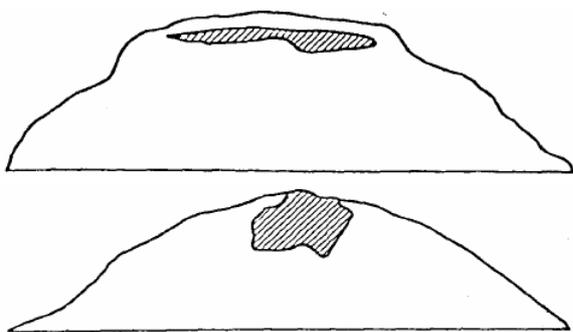
Plus le tas est compact et plus l'espace entre les plaquettes est faible, plus les échanges par convection diminuent, ce qui fait que la chaleur stagne, favorisant le séchage, mais augmentant aussi les risques d'auto inflammation.

Dans le cas des plaquettes forestières, une hauteur de tas d'environ 10 mètres paraît être le meilleur compromis. Pour des tas de faibles dimensions, un auto-échauffement se produit également, mais la quantité de chaleur générée sera plus faible.

Plus les plaquettes sont petites (faible granulométrie), plus la surface en contact avec l'air est importante et plus les réactions sont importantes, augmentant la température du tas de plaquettes.

La granulométrie influe davantage sur l'élévation et la stagnation de la température que la hauteur du tas.

L'auto-inflammation reste un phénomène mal connu : il semble que la température d'auto-inflammation des plaquettes forestières en cours de fermentation soit inférieure à la température d'inflammation naturelle du bois par oxydation (environ 200-250°C).



Allure de la zone humide dans un tas de plaquettes forestières stockées sous abris

Les essais de mesure de la température et de l'humidité de tas de plaquettes selon différentes conditions de stockage afin de caractériser les processus de séchage réalisés par J. Ast (2009) ont montré que pour une durée de 2 à 3 mois, avec une température maximum observée dans le tas entre 60 et 80°C, les résultats en taux d'humidité sur brut obtenus ont été :

- sous bâche agricole : h = 40%
- sans bâche : h = 35%
- sous bâche respirante : h = 25 - 30%
- sous abri : h = 20 - 25%

Enfin il est admis que la perte de masse sèche lors de stockage est inférieure à 3 % par mois de stockage, mais plus élevée dans les bois jeunes ou contenant plus d'écorce.

## 5.2- Quel intérêt à stocker et sécher le bois en forêt ?

Sécher ou ressuyer les bois en forêt présente 2 avantages :

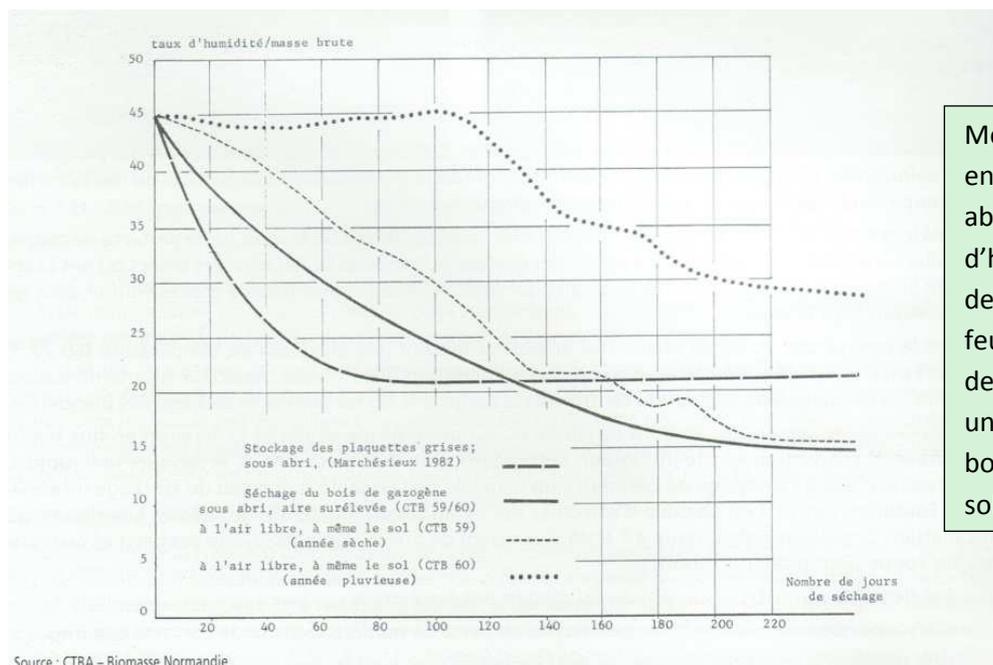
- réduire les coûts de transport au contenu énergétique (MWh) transporté (plaquette de bois ressuyé avec un meilleur contenu énergétique au volume et tonnage)
- valoriser directement en flux direct en chaufferie les bois ainsi ressuyés, dès lors que le taux d'humidité atteint 35% sur brut ou moins



Le stockage de bois en forêt, très pratiqué en Autriche, doit respecter les règles suivantes :

- stockage bord de route avec une aire de déchetage et de manutention
- les bois doivent être exposés au soleil et au vent et de préférence pas en contact direct avec le sol
- accès facile par tous engins
- préférer des bois durs, de diamètre > 4 cm

Stockage-ressuyage de perches en forêt (photo R. Grovel)



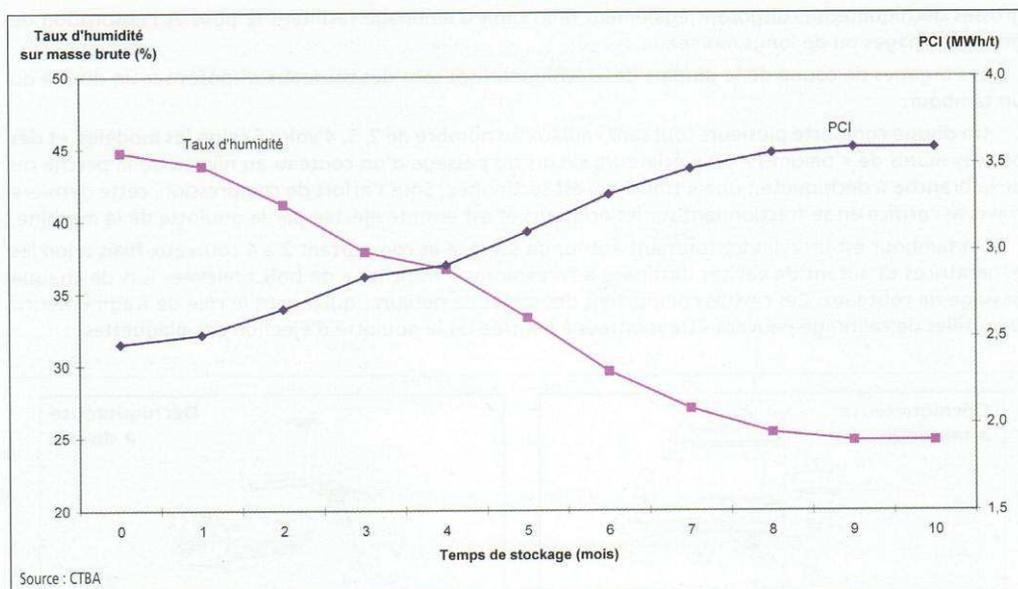
Même avec les feuillus en hiver on peut abaisser le taux d'humidité de 35% sur des perches avec feuilles. En effet ces dernières auront pompé une partie de l'eau du bois avant de tomber au sol.

Méthode : les bois abattus sont stockés en rémanents, perches ou bois ronds soit sur le parterre de la coupe dans la parcelle, soit en bord de parcelle le long de la piste. Ils sont laissés ainsi de 6 à 10 mois en forêt de telle sorte que les feuilles et aiguilles tombent, que l'écorce commence à se détacher du tronc ou des branches de même que certaines brindilles, permettant de limiter ainsi l'exportation des minéraux. Après la période de ressuyage ces bois sont repris directement par une déchiqueteuse à grue qui remplit les camions alimentant en flux direct les chaufferies bois.

Cette méthode est très utilisée dans certains pays comme l'Autriche, qui alimente ainsi une majorité de chaufferie de petite, moyenne et forte puissance.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Permet un flux direct d'approvisionnement de la forêt vers plusieurs types de chaufferies (contrairement à une livraison de plaquettes humides)</li> <li>. Evite le surcoût d'une plateforme avec hangar, le stockage étant supporté par le propriétaire de la forêt (occupation de surface) et par le propriétaire des bois (avance de trésorerie)</li> <li>. Limite les reprises et les coûts de transports</li> <li>. Limite l'exportation des minéraux de la forêt</li> <li>. Pas de dégradation du bois, en perte de matière sèche ou en contenu énergétique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Nécessite une bonne desserte et de nombreuses places de dépôt en forêt (ce qui est rarement le cas)</li> <li>. Lorsqu'il s'agit de stockage sur parcelle, le propriétaire peut être réticent à un stockage de longue durée qui empêche toute valorisation forestière des superficies occupées et augmente les risques de vols</li> <li>. Le déchiquetage de bois sec produira davantage de fines</li> <li>. correspond à une avance de trésorerie pour le propriétaire des bois (entreprise)</li> </ul>

Dans certains cas, comme en région méditerranéenne où le risque incendie est élevé, aucun stockage de rémanents en forêt ne peut être autorisé.



*Evolution du taux d'humidité et du pouvoir calorifique inférieur (PCI) de perches de feuillus en fonction du temps de ressuyage sur coupe*

Il existe des cas de **stockage temporaire de plaquettes en forêt** (bord de route ou sur place de dépôt), où les plaquettes sont stockées provisoirement à même le sol et à l'air libre, et donc soumises aux remontées d'humidité et aux intempéries éventuelles. Cette méthode se pratique peu et la constitution d'un stock de plaquettes bois produites en forêt est dans la mesure du possible à éviter pour les raisons suivantes :

- Elle implique une rupture de charge entre l'opération de déchiquetage et la livraison en flux tendu à la chaufferie et donc ne permet pas d'optimiser la logistique de livraison : elle impose de déplacer spécialement un engin de manutention pour reprendre les plaquettes en forêt et les charger sur camion,
- Elle ne permet pas de contrôler précisément la qualité et le taux d'humidité des plaquettes du fait de l'absence d'abri et de dalle. Par ailleurs la solution du bâchage en forêt impose des contraintes techniques de suivi ainsi que des volumes de tas limités.
- Elle génère une perte de produit : il faut en effet laisser une couche de plaquettes au sol, afin d'éviter la reprise de terre et de cailloux. Ce risque de reprise d'impuretés au sol impactera sur la qualité de la plaquette livrée en chaufferie.

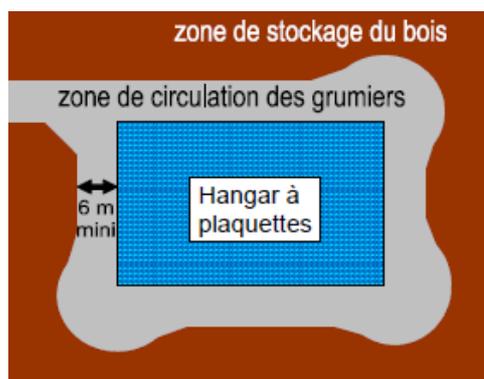
Cette solution n'est observée que dans des cas particuliers où l'opération de déchiquetage s'est réalisée indépendamment de l'organisation logistique de la livraison, ou par manque d'optimisation de celle-ci (ex : insuffisance des rotations de camions). L'entreprise de prestation de déchiquetage peut alors avoir décidé ou être obligée de poursuivre sa prestation de déchiquetage bord de piste ou sur place de dépôt en l'absence de containers ou camions.

### 5.3- Le conditionnement sur plateforme

Une plate-forme de **stockage aménagée** permet de recevoir des bois ronds et bois toutes longueurs (perches mais aussi fagots) qui seront déchiquetés sur plateforme. Elle peut également recevoir bien directement des plaquettes issues du déchiquetage en forêt qui nécessitent des opérations de conditionnement (séchage, criblage) pour être commercialisées selon les qualités demandées par le client. Les opérations menées sur une plateforme de stockage aménagée sont : le tri, le déchiquetage/broyage, le criblage/dépoussiérage, le séchage, le stockage.

Une telle plateforme comporte généralement une aire de manœuvre et d'entreposage bétonnée ou bitumée, les équipements nécessaires à l'activité (chargeur, crible, pont-bascule ...), et dispose le plus souvent d'un hangar permettant de stocker sous abri. Il existe aussi plus rarement des plateformes sans hangar, où le bois est stocké à l'extérieur.

L'intérêt d'une plateforme est de mieux maîtriser les flux d'entrée et de sortie. Cela passe par la **traçabilité et le pesage des tonnages entrants ou sortants**. Pour ce faire, la plateforme peut disposer d'un pont bascule simple, mais en général cette opération peut se réaliser sur les équipements collectifs existants à proximité afin de ne pas grever les coûts des investissements si les flux sont limités.



Lorsqu'il s'agit d'une plateforme pour la production et le stockage de plaquettes forestières uniquement, celle-ci comporte *a minima*, une zone de stockage pour le bois (empierrée ou bitumée) et un hangar ou abri pour les plaquettes. Celui-ci se trouvera de préférence au centre de la plateforme pour faciliter la circulation des grumiers et le stockage/déstockage des plaquettes sous hangar (avec une distance de 6 à 7 m entre les stocks de bois ronds et le hangar à plaquettes afin de faciliter le travail du déchiquetage).

#### Mise en tas des plaquettes sur plate-forme

Ce travail concerne à la fois les **plaquettes produites** (cf opération 17) ou **amenées** (cf opération 21) **sur plate-forme**. Il se fait avec un engin équipé d'un godet (tracteur, pelle, chargeur ...) et consiste à entasser les plaquettes sous un hangar, à les mettre **en meule extérieure**, ou bien à les disposer **en andains destinés à être bâchés**.

**Si le déchiquetage se fait sur plate-forme** et que les plaquettes sont stockées sous abri, la technique la plus couramment employée est celle de la projection directe des plaquettes par la machine sous le hangar :

Au préalable, la pile de bois aura été disposée à environ 5 m du côté ouvert du hangar : cette distance est variable selon la portée de la grue qui alimente la déchiqueteuse. La machine se place entre la pile de bois et le hangar et, durant l'opération, la goulotte d'éjection de la déchiqueteuse est orientée de façon à remplir au mieux le hangar (voir photo p80 ).

Dans ce cas de figure, l'essentiel de la mise en tas est faite par la déchiqueteuse. Il est cependant nécessaire de « relever » au godet le bas du tas de plaquettes une ou plusieurs fois par journée de déchiquetage, selon la configuration du hangar.

**Si les plaquettes sont amenées sur plate-forme**, depuis un site de déchiquetage fonctionnant en continu sur une journée, la mise en tas sous hangar devra souvent se faire au fur et à mesure de l'arrivée des camions :

En effet, que la livraison se fasse par bennage (camion porte-container / tracteur + benne) ou par débarquement arrière (camion à fond mouvant), l'engin est toujours obligé d'avancer durant la phase de déchargement pour pouvoir vider le contenu transporté. Les plaquettes sont de ce fait déposées au sol sous le hangar sur une hauteur ne dépassant pas 1,5 à 2 m, et sur une longueur pouvant avoisiner 10 à 12 m de long. Il est donc nécessaire de les mettre en tas avant l'arrivée des camions suivants, pour que ceux-ci puissent accéder sous le hangar.

*A titre indicatif, le champ d'action d'un camion à fond mouvant de 90 m<sup>3</sup> pour un déchargement contre un mur de hangar à accès latéral est au minimum le suivant :*

- *A son arrivée, l'avant du camion sera à **19 m du mur** (longueur du camion 17 m + marge arrière pour l'ouverture des portes de 2 m).*
- *En fin de déchargement, l'avant du camion se situera à **30 m du mur** (tas de plaquettes au sol d'environ 11 m + longueur du camion 17 m + marge arrière pour la fermeture des portes de 2 m).*

### Stockage – séchage des plaquettes

Le **stockage extérieur** des plaquettes en tas sur plate-forme aménagée se fait sous deux formes principales :

- La technique de la **meule tassée** est originaire de Suisse et également utilisée dans les pays scandinaves. Elle consiste à mettre en tas avec un chargeur un volume minimum de 1 000 m<sup>3</sup> sous forme conique, genre meule de foin. Les plaquettes sont tassées par le chargeur au fur et à mesure de l'élévation du tas ; ce tassement induit une mise en fermentation rapide de la meule formée. Durant la période de stockage, les pluies vont ruisseler sur la croûte extérieure de la meule, sans s'infiltrer au cœur de celle-ci. Cependant, une fois le tas entamé, il faut l'utiliser rapidement dans sa totalité sous peine d'une reprise importante d'humidité au cœur du tas.
- 
- La **meule bâchée** se fait souvent avec une déchiqueteuse travaillant sur plate-forme. La goulotte d'éjection de la machine est orientée de façon à créer un tas de plaquettes qui sera recouvert d'une bâche respirante (géotextile). Les plaquettes peuvent également être stockées sous forme d'**andains bâchés**. La mise en forme de ces andains se fait avec un engin équipé d'un godet, avant la pose de la bâche géotextile. Cette technique est peu répandue du fait des contraintes de manutention. Cependant elle présente un intérêt technique et économique réel. La bâche ou feutre géotextile est une bâche en polypropylène vierge aiguilletée, imputrescible qui laisse passer la vapeur d'eau mais sur laquelle l'eau de pluie ruisselle. La
- 
- Photo : Ets Gangloff

perméabilité à la vapeur d'eau est essentielle dans le séchage car sinon, l'humidité ne diminuant pas, les plaquettes forestières finiront par se dégrader selon un phénomène proche du compostage. Une certaine hauteur de neige sur les bâches peut rendre la reprise des plaquettes problématique.

Le **stockage sous abri** : méthode la plus couramment employée, ce stockage sous abri peut se faire sous hangar fixe ou sous hangar léger bâché.

#### Hangar de stockage

S'il n'est pas situé sur une plate-forme, le terme **hangar de stockage** va s'appliquer habituellement à un hangar attenant ou à proximité d'une chaufferie et dédié à son approvisionnement. Le volume de plaquettes correspondant à la consommation de la chaufferie sera livré sous le hangar au début de la saison de chauffe. Les plaquettes seront ensuite reprises et transférées dans le silo d'approvisionnement de l'installation, au fur et à mesure des besoins.

Ce terme peut néanmoins s'appliquer à un hangar de stockage-séchage sans plateforme destiné à l'alimentation de plusieurs petites chaufferies ; le but recherché est de stocker au plus près des clients les volumes correspondant aux consommations annuelles de petites chaufferies.



Photo : R. Grovel

La création d'un **hangar fixe** sur plate-forme aménagée est un investissement important, qui mérite d'être sérieusement étudié. Que le porteur du projet soit public ou privé, il faut dans un premier temps identifier les marchés de consommation existants et à venir, la disponibilité en ressource forestière ainsi que l'état de la concurrence sur le secteur. Il faut ensuite s'orienter soit vers la réhabilitation d'un site existant, selon disponibilités sur la zone concernée, soit vers une création. Dans les deux cas, la possibilité de réalisation du projet doit être étudiée avec attention. Il est recommandé de déposer en mairie une demande de Certificat d'Urbanisme opérationnel qui permettra dans un délai de deux mois de savoir si l'opération est envisageable.



Photos : R. Grovel

Pour un volume de bois stocké entre 1 000 m<sup>3</sup> et 20 000 m<sup>3</sup>, une déclaration au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (I.C.P.E.) est à faire en Préfecture. Le récépissé de cette déclaration sera à joindre impérativement à la demande de permis de construire.

Concernant les critères de faisabilité du projet, seront soigneusement étudiés :

- l'environnement (proximité d'habitations et de cours d'eau, nature du terrain, altitude, pluviométrie, ensoleillement, vents – éviter les trous à gelée et fonds de vallée...)

- l'accès au terrain (limitations en tonnage, largeur, hauteur, pente...), notamment en période hivernale.
- le positionnement du hangar sur le terrain, en fonction des vents dominants, du sens des pluies et de la neige.

NB : Si une option de production d'électricité photovoltaïque est envisagée, elle doit être prise en compte au tout début du projet.

Concernant la configuration du hangar, les critères principaux sont la ventilation et la facilité de mise en stock et de reprise des plaquettes, en fonction du gabarit et du champ de manœuvre des engins. Il peut s'agir d'un hangar de type « tunnel » ouvert aux deux pignons (toit 2 pans), ou bien avec un accès par un côté ouvert (toit 2 pans ou monopan avec ou sans auvent). Selon la situation climatique, les ouvertures du hangar peuvent être sans porte ou avec une simple occultation par rideau ou lanières.



Photos : R.Grovel

Le hangar peut être doté de compartiments destinés à recevoir et séparer des types de combustibles différents dans leur nature, leur destination ou leur stade de séchage. Ces cloisonnements sont souvent réalisés avec des madriers en bois amovibles (pour une plus grande modularité) ou parfois avec un soubassement en béton (cloisonnements fixes qui offrent une meilleure résistance aux chocs et poussées des

engins de chargement).

Pour en savoir plus :

- *Guide technique de mise en œuvre des plateformes et hangars de stockage bois énergie à destination des collectivités. Janvier 2012, version complétée. Région Rhône Alpes, ADEME, Union Régionale des Communes Forestières Rhône Alpes.*

- *Note technique pour un projet d'aire de stockage de bois. ADEME Franche Comté, Région Franche Comté, Mai 2006*

Le stockage sous **hangar léger bâché** se fait sous structure démontable de type agricole à armature en tubes ronds (acier), de forme arrondie (demi-lune) ou avec faitage pointu (cathédrale), couvert d'une toile thermo-soudée garantie 10 ans. Le modèle cathédrale est implantable jusqu'à 1 300 m d'altitude. Le recours à un hangar bâché pour le stockage est très économique par rapport aux hangars fixes (coût 10 fois inférieur environ), mais nécessitent cependant un réhaussement en dur afin d'atteindre une hauteur de 7m en faitière et de permettre une poussée des engins lors des reprises de combustibles.



*Hangar tunnel bâché modèle cathédrale  
photo FNEDT 2011*



*hangar tunnel bâché type serre  
photo sté Copobois*

### Le séchage artificiel de plaquettes: quelle pertinence ?

Le séchage artificiel du bois est assez rare. Il se rencontre davantage sur le bois bûche et peu sur les plaquettes forestières. Dans ce cas (exemple en Autriche ou en Suisse), le séchage de



*Hangar fermé avec grille de soufflage d'air chaud par le sol  
Photo : R.Grovel*

de bois bûche ou de fines pour le granulé. Bien que disposant de peu de retour d'expérience il semble que le séchage artificiel n'ait pas de véritable pertinence économique pour la plaquette bois comparé à un séchage naturel sous abri qui ne prend que quelques mois. Son intérêt réside dans la rapidité du séchage en tas (4 à 5 jours) permettant de satisfaire en fin de saison de chauffe des demandes de combustible sec en l'absence de stock.

#### A savoir / retour d'expérience

- il faut environ une surface de 1 ha de plateforme pour transformer 10 à 15.000 tonnes de bois/an ; un hangar de 1000 m<sup>2</sup> peut stocker environ 1500 tonnes de plaquettes (sur une hauteur de 5 m), soit 3 000 tonnes sur l'année avec la rotation des stocks (2 rotations/an).
- il a été montré que la **perte de masse sèche est globalement inférieure à 3 % par mois de stockage** ; elle est en moyenne comprise entre 1 et 2 %. Cette perte de masse sèche augmente lorsque le bois est peu âgé ou contient beaucoup d'écorces.
- le stockage doit être effectué sur dalle bétonnée ou bitumée pour éviter la reprise d'humidité une fois les plaquettes sèches et faciliter leur reprise en évitant l'entraînement de terre ou de cailloux.
- en hiver, le bois humide, notamment les écorces, peut geler et prendre en masse

### Criblage et affinage

Lorsque la matière forestière arrivant brute sur plateforme n'est pas du bois rond mais est constituée de houppiers, cimes, souches, culées, surbilles ayant été traînées au sol, il sera impératif d'effectuer une opération de criblage des plaquettes obtenues pour éliminer les morceaux grossiers, la terre (fréquente dans les écorces), les cailloux, le sable,....

Pour les petites chaufferies nécessitant une plaquette régulière de petit calibre et sans fine, le combustible plaquette devra être criblé pour s'assurer d'une bonne granulométrie et tamisé pour enlever les fines.



*Tamis à étoile*

#### *Trommel rotatif*



Certains sites de stockage disposent en conséquence d'un tamiseur fixe ou mobile (crible, trommel...), permettant le dépoussiérage et le calibrage des plaquettes. On distingue 3 types de matériels de type cribleur / affineur :

- les trommels rotatifs : matériels mobiles (montés sur châssis routiers), ils possèdent des tambours à maillage interchangeable selon la granulométrie souhaitée avec des larges surfaces de contact (de 5 à 55 m<sup>2</sup>).
- les tamis à disques ou à étoiles : matériels plutôt stationnaires sur plateforme permettant de produire plusieurs granulométries
- les tamis vibrants : cribles fixes constitués d'une ou deux grilles animées d'un mouvement alternatif avec une surface active variant de 4 à 8 m<sup>2</sup>. Ces matériels semblent les mieux adaptés

aux bois déchetés comme la plaquette forestière.

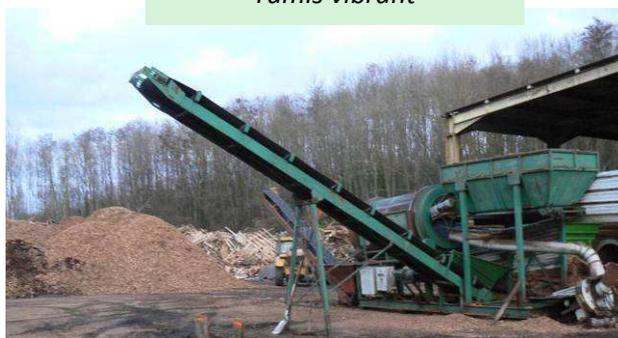
Dans tous les cas, cette opération se réalise lorsque le combustible est sec, avant sa livraison dans les silos d'approvisionnement des installations.

#### *Tamis à bande et crible vibreur*



Photos : R.Grovel

#### *Tamis vibrant*



NB : Si la plateforme accueille des matières bois de nature différente (connexes de scierie, bois de recyclage), elle nécessitera généralement des opérations préalables de déferrailage et d'enlèvement de métaux non ferreux.

### Chargement/reprise et livraison des plaquettes plate-forme > chaufferie

Selon la taille du silo d’approvisionnement de la chaufferie, la livraison peut se faire par camion-souffleur, tracteur + benne agricole, petit camion-benne, camion porte-container ou camion à fond mouvant.

La reprise des plaquettes sur plate-forme et le chargement des camions de livraisons aux chaufferies s’effectue le plus souvent avec un chargeur équipé d’un godet frontal de chargement de 2 à 5 m<sup>3</sup>.

## 5.4- Quels sont les coûts de ces opérations

### 5.4.1/ Coûts du stockage -séchage

Plusieurs types de coûts sont liés aux opérations de stockage et de séchage :

- **les coûts d’immobilisation de la matière :**

Ce sont les coûts relatifs **au temps et au lieu d’immobilisation** du bois à déchiqueter ou déjà en plaquettes, qu’il s’agisse d’un temps de séchage ou d’un temps de stockage, voire les deux. Ces coûts sont souvent oubliés dans le total des coûts de production de plaquettes alors qu’ils peuvent représenter un besoin et une contrainte de trésorerie (frais financier) de plus en plus importante pour les entreprises forestières qui approvisionnent des chaufferies à forte consommation.

Dans le cas d’un stockage du bois sur parcelle ou bord de piste, le coût de l’immobilisation pour l’entreprise correspond au minimum au coût d’achat et d’exploitation des bois bord de route (trésorerie). Le coût de stockage est un coût indirect alors supporté par le propriétaire de la parcelle ou de la place de dépôt sur laquelle les bois (perches, branches, grumes, bois ronds, petits bois) sont stockés pendant plusieurs mois, voire une année. Ce cas est rare par manque de desserte et de place de dépôt en forêt, mais représente la majorité des chantiers dans des pays voisins comme l’Autriche.

*Ces places de dépôts sont des équipements très précieux dans la mobilisation et la commercialisation des bois pour les propriétaires car elles facilitent la sortie et la mise en marché des bois, mais leur création ne se justifie pour un propriétaire que s’il y a des produits bien valorisables (bois d’œuvre, bois d’industrie, bois de chauffage). Certains propriétaires forestiers privés ont ainsi investi, avec l’aide de l’Etat, dans des places de dépôts de petite taille (350 m<sup>2</sup>) à proximité des axes routiers afin de commercialisation du bois de chauffage et des grumes (ex : région Centre).*

Dans le cas d’un stockage du bois sur plateforme, le coût de l’immobilisation correspond au coût de mobilisation des bois en forêts (prix payé au propriétaire + coût d’exploitation forestière + frais financier + coût transport de la forêt à la plateforme).

Une entreprise qui stocke quelques milliers de tonnes de bois ou plaquettes en préparation de la saison de chauffe doit supporter l’immobilisation de plusieurs centaines de milliers d’euros.

- **les coûts d’infrastructure de stockage : les plateformes**

La réalisation et l’usage de plateforme et hangar de stockage-séchage présente un coût généralement élevé correspondant soit à la **location** soit à l’**amortissement des infrastructures**. Toutefois, on observe une grande variabilité des coûts qui est dépendante des facteurs suivants :

- . la superficie et la capacité de stockage souhaité, c'est-à-dire du dimensionnement du projet. Dans cette capacité il faut distinguer la capacité de stockage sous abri (pour le séchage), de la capacité totale de stockage des bois (aire de stockage de grumes et bois divers à l'air libre)
- . la nature des bois entrants sur la plateforme et la diversité de combustibles produits (*on améliore la rentabilité de la plateforme en traitant des bois ronds plutôt que des rémanents trop foisonnant et peu productif en volume de plaquettes, ainsi qu'en diversifiant les produits bois entrants permettant de capter des marchés plus nombreux*)
- . les revêtements envisagés et leur superficie respective : dalle bétonnée, goudron/ bitume, stabilisé
- . les partis pris architecturaux sur les bâtiments (structure métallique, bois, béton, mixte ; parois extérieurs et clairevoies plus ou moins importantes et/ou amovibles, compartimentage ou cloisonnement intérieur, type de couverture, possibilité d'installer du photovoltaïque, etc...)
- . les contraintes environnementales et d'accessibilité (pouvant engendrer des surcoûts).

Dans la pratique on observe des coûts rapporté au m<sup>2</sup> de surface ou au m<sup>3</sup> de stockage qui vont du simple au triple (de 250 000 à plus de 700 000 € y compris le terrain et VRD), en particulier entre des plateformes de petite capacité (< 5.000 t/an) en maîtrise d'ouvrage par les collectivités et des plateformes d'entreprises forestières :

- de 200 à 400 €/m<sup>2</sup> en moyenne pour des plateformes avec hangar de moins de 600m<sup>2</sup> ou hangar métallique simple
- jusqu'à plus de 600 €/m<sup>2</sup> pour des plateformes avec enrobé et hangar plus vaste ou construction plus aboutie

(NB : Le guide technique 2008 des communes forestières de Rhône Alpes propose des schémas constructifs de hangar de stockage à partir d'ossature bois avec des exemples de coûts– cf référence)

Dans le cas de plateforme portée par les collectivités, selon les caractéristiques du projet et le taux de subvention auquel elles pourront finalement accéder (de 50 à 80%), le coût d'amortissement annuel observé d'une plateforme varie de 6 à 14 €/tonne plaquette forestière produite sous hangar. Ce coût d'amortissement est fortement dépendant, non seulement de la capacité utile du hangar (volume utile) mais surtout de la production réelle attendue annuellement (incluant le nombre de rotation dans le hangar). Selon le mode de gestion choisie par la collectivité (régie, bail commercial, marché avec exploitation), le hangar peut être loué à un prestataire ou un professionnel du bois énergie permettant de couvrir les coûts d'amortissement.

L'enquête menée par le CIBE en 2010-2011 a montré une variation de 4 à 12 €/tonne pour le coût de location ou d'amortissement d'une plateforme de petite capacité dédiée aux plaquettes forestières, tandis que cette variation n'était que de 2 à 5 €/tonne pour l'amortissement ou la location d'une plateforme de moyenne capacité (< 25.000 tonnes/an) et à mix-produit, ceci s'expliquant bien souvent par l'existence préalable d'un usage lié au bois (ex : plateforme chez un scieur).

#### Quelles alternatives pour limiter les coûts d'infrastructures bâties ?

*La bâche géotextile :*

Avantages : coût très faible au m<sup>2</sup> couvert (environ 2 à 3 €/m<sup>2</sup> pour la bâche hors manutention), bâche respirante plus efficace qu'une bâche plastique pour le séchage du bois, évite un abri en dur, amovible, réutilisable plusieurs fois.

Inconvénients : moins performant qu'un abri en dur, rouleau de largeur fixe (6 m x 50m) nécessitant des hauteurs et largeurs de tas limitées et induisant plusieurs manutentions à chaque reprise de matière, avec une bonne gestion des laies (chevauchement dans le bon sens + lests)

Coût estimé de mise en œuvre de la bâche géotextile : environ 10 €/tonne dont 5 €/tonne pour la manutention

#### *Le tunnel abri (acier et toile) :*

Avantages : coût réduit au m<sup>2</sup> couvert (de 30 à 50 €/m<sup>2</sup>), flexibilité et mobilité de la structure, à priori pas besoin de permis de construire (à vérifier en mairie) donc mise en œuvre rapide et économique.

Inconvénients : moins pratique qu'un hangar, de hauteur limitée (4,5 m), le tunnel nécessite d'être surélevé sur un muret de 2,5 m pour atteindre une hauteur intéressante et pour permettre l'utilisation d'un godet à l'intérieur du tunnel sans risque pour la bâche.

#### *La récupération et la réhabilitation de bâtiments existants :*

Avantages : des bâtiments agricoles abandonnés peuvent être très intéressants à réutiliser pour des stockages de proximité ; seul le coût de la location est alors facturé ou bien l'agriculteur est rémunéré sur le coût de stockage-séchage (ex : 8 €/t pour la saison). Il peut aussi s'agir d'anciens bâtiments industriels mis en location par une collectivité (communauté de communes), parfois plus adaptés à l'activité.

Inconvénients : ces bâtiments agricoles n'étant pas conçu pour un tel type d'activité, leur configuration est parfois inadaptée à un bon stockage ou à une facilité de reprise (par exemple, hauteur limitée ne permettant pas à un camion de benner, largeur faible, sol non bétonné, pas de cloisonnement possible...)

### **PHOTO pour aérer**

- **les coûts d'équipement matériels sur plateforme**

Ces coûts sont très variables car ils dépendent de plusieurs paramètres :

- Les choix faits par l'entreprise sur le matériel au regard de son itinéraire de production de la plaquette forestière et de la nature des bois collectés pour l'énergie : déchiquetage en forêt, déchiquetage ou broyage à poste fixe sur plateforme, solution mixte
- Le nombre de combustibles différents à produire donc le besoin en matériels et équipements pour le criblage et l'affinage.
- L'externalisation possible de prestations ou leur mutualisation avec un professionnel associé (ex : criblage, utilisation d'un chargeur, pesée)

L'investissement de certains équipements peut se révéler superflu selon les volumes à traiter annuellement, en particulier lorsque le maître d'ouvrage est une collectivité. Les principaux matériels et équipements d'une plateforme sont :

Type d'équipement	Estimation du coût d'investissement
Chargeur télescopique ou à godet	de 35 à 70 000 € (selon taille du chargeur et du godet)
Crible simple	de 20 à 50 000 €
Cribleur-affineur	100 à 350 000 €(crible à étoile, trommel,..)
Pont bascule	30 à 40 000 € pour pont bascule enterré ; 15 000 € pour un pont bascule hors sol, ou pour les types amovibles douanes
Kit de contrôle du taux d'humidité	2 à 6 000 €

Les coûts d'affinage-criblage relevés dans l'enquête du CIBE 2010-2011 montrent une moyenne de 4 €/tonne sur les petites plateformes dédiées à la plaquette forestière contre seulement 1,5 €/tonne sur les plateformes de plus forte capacité à mix-produit.

- **Les coûts liés à la gestion et au conditionnement des stocks**

Ces coûts comprennent :

- la gestion des stocks, entrée et sortie
- le suivi de la qualité des plaquettes produites
- les coûts de reprise (au chargeur) des tas de plaquettes
- les coûts de main d'œuvre en général
- les frais de gestion et d'administration

Le retour d'expérience du CIBE montre des coûts moyens de « gestion stock-plateforme » de 13 à 14 €/tonne dans le cas des plateformes de petite capacité (<5000 t/an) dédiées à la plaquette forestière, alors qu'ils ne sont que de 6 à 7 €/tonne dans le cas de plateforme à mix-produit de capacité > 5.000 tonnes/an.

- **Les coûts liés à la perte de matière sèche**

Lors des différentes phases de préparation du combustible, on constate une perte de matière première, qui se traduit à plusieurs étapes de la production :

- lors du déchiquetage (pertes dues aux poussières, éléments fins),
- lors des reprises et des transports : pertes au sol et dans les transports
- lors du criblage : séparation des fines
- lors du séchage : dégradation par fermentation (voir chapitre 1 – processus de séchage)

Ces pertes sont de l'ordre de 10 à 15% de la biomasse initiale, soit entre 4 et 8 €/tonne.

Le coût du passage par une plateforme pour la production de la plaquette forestière :

Selon l'enquête CIBE (2010), le coût à la tonne du passage par une plateforme avec les différentes opérations de conditionnement supposées (déchiquetage, stockage, séchage, gestion stock, criblage éventuel), varie de 13 à 47 €/tonne, selon la capacité de la plateforme et la nature des opérations effectuées. Deux cas de figure doivent être distingués :

- La plaquette forestière produite en forêt est à destination de petites chaufferies bois ; elle doit donc être conditionnée c'est-à-dire séchée, voire criblée, puis stockée, et nécessite de fait le passage par une plateforme avec hangar. Ce passage par plateforme pèse pour 36 à 39% du coût total de production de la plaquette sortie plateforme.
- La plaquette forestière est produite à partir de bois ronds et bois toutes longueurs qui sont amenés sur la plateforme pour être déchiquetés puis séchés au besoin. Dans ce cas, le passage par plateforme pèse entre 52 et 55% du coût de production de la plaquette forestière sortie plateforme (puisqu'il comprend le déchiquetage réalisé sur plateforme).

Au global, **le coût total sortie plateforme n'est guère différent entre une modalité déchiquetage en forêt et une modalité déchiquetage sur plateforme** : le stockage sur plateforme de bois ronds présente toutefois un avantage car les coûts de déchiquetage sont moins élevés du fait d'une optimisation du temps de mobilisation de la déchiqueteuse (meilleur rendement et donc meilleure efficacité énergétique). La variable transport reste néanmoins un paramètre à évaluer précisément si l'on a le choix entre les 2 modalités car les coûts peuvent se révéler assez différents d'un cas à l'autre (voir paragraphe coût de transport).

Dans le cas de produits forestiers à destination de plateforme de plus grosse capacité qui accueillent des bois de nature différente et préparent des mix-produits pour des chaufferies de plus grosse puissance, la reconstitution des coûts de production est plus complexe. Toutefois il est observé que les coûts moyens sortie plateforme restent significativement inférieurs à ceux des plateformes dédiées aux plaquettes forestières seuls notamment du fait des volumes et de la mutualisation des matières, donc des coûts matière hors déchiquetage inférieurs.

Pour aller plus loin :

- Guide technique de mise en œuvre des plateformes et hangars de stockage de bois énergie, à destination des collectivités. Juillet 2008. Union Régionale des Communes Forestières de Rhône Alpes, Région Rhône Alpes, ADEME. (en cours d'actualisation)

#### 5.4.2/ Coûts de livraison - transport

Les principales difficultés pour l'évaluation des coûts de transport résident dans :

- les conditions d'accessibilité des camions qui peuvent générer un surcoût (réflexions « temps de route » / réflexions « kilomètres »)
- le choix de l'unité de réflexions et de facturation (€/km total, €/km en charge, € map/km...)
- la nécessaire mise à jour du coût du carburant compte-tenu de sa proportion dans le coût global
- la fréquence de mise à jour de la formule d'indexation choisie
- l'optimisation du taux d'utilisation du camion et du ratio volume transporté et du volume transportable

Les paramètres principaux qui influencent les coûts de transport et de livraison de combustible bois déchiqueté en chaufferie sont :

- La fréquence de livraison à effectuer, dépendante des consommations de la chaufferie et de l'autonomie du silo
- Le type de camion utilisé pour les livraisons de la chaufferie, c'est-à-dire l'adéquation entre les caractéristiques du silo à remplir et les volumes et capacités des bennes (30, 45, 60, 70, 90 m3) : bien vérifier que la totalité du volume de la benne peut être vidangée dans le silo.
- L'externalisation ou non de la prestation de transport : la propriété de la flotte de camion utilisée
- La possibilité d'optimiser un circuit logistique de transport à partir de la livraison d'une chaufferie (sans retour total à vide)

Ces coûts de transport pour livraison de plaquette sont généralement indiqués par kilomètre (tranches) ce qui nécessite également d'avoir un raisonnement analytique.

Le Comité National Routier (CNR) propose, pour calculer un coût livraison, de faire la somme des postes suivants :

1. Terme kilométrique (carburant, pneumatiques, entretien-réparation...), en €/km
2. Terme horaire (coût horaire du conducteur), en €/h
3. Terme journalier (coût entreprise, coût matériel), en €/h de fonctionnement

Une fois la distance de livraison connue (aller-retour), il est possible de convertir les coûts « terme horaire » et le « terme journalier » en €/km, et additionner ces trois postes.

Plus d'informations sur l'évolution des indices transports sur [www.cnr.fr](http://www.cnr.fr)

Il faudrait rajouter à cette méthode les temps de chargement-déchargement, éventuels péages, entretien-réparation des équipements attelés...

Le rapport du CGAAER et CGEDD intitulé « Le transport du bois et sa logistique » (juillet 2008) utilise la formule suivante pour estimer les coûts de transport du bois :

$$\text{Coût} = 6 \text{ €} + 0,055 * \text{Distance}$$

*(Coût en € par tonne, Distance en kilomètres)*

Celle-ci permet d’estimer à 7,7 €/tonne la livraison de bois énergie à 30 km.

Cette formule, de type « fiscale » et peu technique, perd cependant de sa pertinence au-delà de 300 km (cf. rapport CGAAER). Les limites d’utilisation de cette formule pour le bois énergie, tiennent notamment dans le fait qu’elle n’intègre pas la masse volumique apparente du combustible laquelle peut varier assez fortement selon le taux d’humidité (poids de l’eau) et la granulométrie (foisonnement du volume).

Selon l’Institut technique FCBA, « le transport est un élément clef de la compétitivité des industries du bois : ce poste représente de 20 à 40 % du coût d’une tonne de bois (bois rond et non bois déchiqueté) rendue usine » ; *Action d’appui sur le transport des bois ronds pour renforcer la compétitivité de la filière bois française, décembre 2009.*

Comment choisir le mode de livraison ?

Les tracteurs équipés de benne agricole (contenance 25 m3) ont un rayon d’action limité à une vingtaine de kilomètres. Les camions porte-conteneur ou les camions à fond mouvant automatique peuvent, eux, livrer sur des longues distances, avec des quantités plus importantes (40-90 m3). Le nombre de rotations réalisables par jour, qui dépend de la distance et de l’accessibilité, influe fortement sur le prix matière rendue (cf. tableaux). En dehors de contrats spécifiques, l’intérêt économique de choisir une modalité plutôt qu’une autre dépendra notamment du couple « temps d’accès » et « volume à livrer ». Ce choix doit s’inscrire dans une réflexion plus large sur la logistique d’approvisionnement et de livraison aux chaufferies (accès aux silos, type de silos, volume du silo, fréquence de livraison et contractualisations...).

La facturation des livraisons peut s’effectuer de différentes manières qui dépendront du contexte de la commande (quantité à livrer, distance et accessibilité, véhicule de livraison, relation contractuelle spécifique...) :

- à l’unité (map, tonne, km...)
- au voyage
- au temps nécessaire d’utilisation du véhicule de livraison (journée, ½ journée), qui est lié à la distance et à l’accessibilité

Exemples de simulations des coûts de livraison selon le nombre de rotations réalisables, avec une facturation à la journée :

- **Camion à fond mouvant alternatif (FMA), d’une contenance de 90 m3**, roulant à une vitesse moyenne de 60 km/h. Le nombre de tours que peut effectuer le camion dépendant de la distance de livraison, si celle-ci dépasse par exemple 120 km, seuls deux tours sont possibles dans la journée

120 km FMA	8h	9h	10h	11h	12h	13h déj	14h	15h	16h	17h	18h	19h
Chargement												
Aller-Retour 60 km/h		aller 1				retour à vide			aller 2		retour à vide	
Déchargement												
temps chargement du FMA = 1 h	1er tour						2ème tour					
Total livré sur 1 journée = 180 m3												

<b>60 km FMA</b>	8h		9h		10h		11h		12h		13h déj	14h		15h		16h		17h		18h		19h	
Chargement																							
Aller-Retour 60km/h			aller 1		retour 1				aller 2		retour 2				aller 3		retour 3						
Déchargement																							
temps chargement du FMA = 1 h			1er tour				2ème tour				3ème tour												
Total livré sur 1 journée = 270 m3																							

<b>Contenance : 90 m3</b>		<b>Quantité livrée</b>	<b>Coût €/map</b>	<b>Coût €/t à 35%</b>
<b>Vitesse moyenne : 60 km/h</b>				
<b>Prix journée : 700 €/j</b>				
<b>Nombre de tours par jour</b>	<b>1</b>	90 map	7,78	23,57
	<b>2</b>	180 map	3,89	11,78
	<b>3</b>	270 map	2,59	7,86

- **Camion porte-conteneur, d'une contenance de 40 m3**, roulant à une vitesse moyenne de 60 km/h. Il gère deux conteneurs : le camion livre un conteneur plein pendant que la déchiqueteuse remplit le conteneur vide. Cela évite une attente du chauffeur camion. Pour une distance de 35 km par exemple, le camion peut effectuer jusqu'à 6 tours dans la journée

<b>35 km porte-containers</b>	8h		9h		10h		11h		12h		13h déj	14h		15h		16h		17h		18h		19h		
Chargement	C1	C2																						
Aller-Retour 60km/h		C1		R		C2		R		C1		R		C2		R		C1		R		C2		R
Déchargement				C1				C2					C1				C2				C1			C2
temps chargement container = 40'			1er tour		2e tour		3e tour		4e tour		5e tour		6e tour		7e tour									
Total livré sur 1 journée = 240 m3																								

<b>Contenance : 40 m3</b>		<b>Quantité livrée</b>	<b>Coût €/map</b>	<b>Coût €/t à 35%</b>
<b>Vitesse moyenne : 60 km/h</b>				
<b>Prix journée : 430 €/j</b>				
<b>Nombre de tours par jour</b>	<b>2</b>	80 map	5,38	16,29
	<b>4</b>	160 map	2,69	8,14
	<b>6</b>	240 map	1,79	5,43

- **Tracteur avec benne agricole, d'une contenance de 25 m3**, roulant à une vitesse moyenne de 25 km/h. Pour une distance de 15 km par exemple, le tracteur peut effectuer jusqu'à 7 tours dans la journée

<b>15 km tracteur</b>	8h		9h		10h		11h		12h		13h déj	14h		15h		16h		17h		18h				
Chargement																								
Aller-Retour 25km/h		aller 1		R		aller2		R		aller3		R		aller4		R		aller5		R		aller6		R
Déchargement																								
temps chargement tracteur = 15'		1er tour		2e tour		3e tour		4e tour		5e tour		6e tour		7e tour										
Total livré sur 1 journée = 175 m3																								

<b>Contenance : 25 m3</b>		<b>Quantité livrée</b>	<b>Coût €/map</b>	<b>Coût €/t à 35%</b>
<b>Vitesse moyenne : 25 km/h</b>				
<b>Prix journée : 250 €/j</b>				
<b>Nombre de tours par jour</b>	<b>1</b>	25 map	10,00	30,30
	<b>2</b>	50 map	5,00	15,15
	<b>3</b>	75 map	3,33	10,10
	<b>4</b>	100 map	2,50	7,58
	<b>5</b>	125 map	2,00	6,06
	<b>6</b>	150 map	1,67	5,05
	<b>7</b>	175 map	1,43	4,33

## Chapitre 6- Approvisionnement en plaquettes forestières des chaufferies bois

### 6.1- Les prix des combustibles « plaquettes forestières »



#### Attention ne pas confondre

##### **prix de matières brutes (ou grossièrement transformées) et prix de combustibles bois déchiquetés prêts à l'emploi en chaufferie :**

cette confusion provient de ce que certaines matières premières peuvent être utilisées en l'état comme des combustibles prêts à l'emploi dans certaines chaufferies sans opération complémentaire de conditionnement (ex : plaquettes de scierie, sciures, plaquettes urbaines, et même plaquettes forestières issues directement de la forêt) ; mais la plupart du temps les produits bois demandent une transformation et une élaboration beaucoup plus poussée (séchage, criblage, stockage, mélange) avant de pouvoir être livrés comme combustibles dans une chaufferie.

#### *6.1.1/ Ce que recouvre la notion de prix du bois énergie pour les plaquettes forestières*

Il faut bien distinguer le prix de revient du combustible « plaquette forestière pour une qualité donnée », du prix de marché local ou régional du bois énergie.

**Le prix de revient du combustible bois déchiqueté « plaquettes forestières »** représente l'addition des coûts de production, de conditionnement et de livraison, ainsi que la marge commerciale du fournisseur :

- **Les coûts de production selon la nature et l'origine des bois forestiers:** Les plaquettes forestières peuvent provenir d'une association de différentes matières premières (bois ronds, rémanents forestiers, bois bocagers, ...) dont la mobilisation et la transformation ne nécessitent pas les mêmes opérations et les mêmes moyens. Les coûts de production de la plaquette forestière correspondent donc à la somme des coûts issus des différents itinéraires technico-économiques mis en œuvre pour le produire. Comme décrit précédemment ces coûts comprennent :
  - Le prix matière bois à l'achat au propriétaire
  - Les coûts d'exploitation, débardage
  - Les coûts de transport
  - Les coûts de déchiquetage

Selon l'itinéraire technique, le type de peuplement et de compartiment bois prélevé ainsi que les moyens matériels des entreprises, ces coûts de production peuvent sensiblement varier pour une même nature de plaquette forestière.

- **Les coûts de conditionnement du bois déchiqueté en combustible de qualité donnée**, selon le cahier des charges de la chaufferie à approvisionner ; selon sa catégorie d'usage (voir classification des combustibles CIBE chapitres 1 - 5), le type et le niveau de conditionnement (granulométrie, taux d'humidité) influent sur le prix final puisque cela entraîne des coûts (stockage, séchage, criblage, affinage, perte de matière). A cela s'ajoutent les coûts de reprise du produit et de livraison au client.
- **Le service rendu par le fournisseur/distributeur** : contrôle qualité et suivi du produit de la source au point de réception final, parfois complétés de prestations secondaires comme l'enlèvement/valorisation des cendres sous foyer
- **Les charges de structure du fournisseur/distributeur** : frais de gestion (personnel, administration, assurances, fourniture, frais financiers – notamment pour le stockage et le besoin de trésorerie), y compris sa marge commerciale

**Le prix de marché**, quant à lui, dépend du prix de revient, mais aussi de plusieurs autres paramètres :

- La « **loi du marché** » : c'est le rapport en l'offre et la demande en combustible sur la région mais également l'existence d'un débouché concurrentiel (trituration, bois de chauffage) qui pèse essentiellement sur le prix de la matière première bois : ce prix de marché est aujourd'hui mesuré par l'enquête CEEB (voir ci-dessous).
- Le **facteur transport**, c'est-à-dire l'éloignement du fournisseur par rapport à la chaufferie, étant entendu que le coût de transport impacte assez fortement sur le prix final du combustible préparé rendu dans le silo. Il faut considérer le transport comme un paramètre du prix de marché dans le cas des chaufferies à forte consommation où la logistique est fortement dépendante des flux de transport interrégionaux (voir ci-dessus chapitre précédent).
- Le **prix consenti ou « acceptable » par l'acheteur** de combustible bois déchiqueté en chaufferie bois. Celui-ci s'établit au regard du prix de revient de la chaleur qu'il veut atteindre, (en tant qu'exploitant de chauffage par exemple) ou auquel il peut prétendre vendre de la chaleur à son client.

L'avantage comparatif du prix combustible bois vis-à-vis des énergies fossiles se révèle néanmoins souvent insuffisant en termes de coût global de la chaleur produite sortie chaufferie, du fait de charges d'investissement et d'exploitation plus élevées que celles requises pour les combustibles fossiles. C'est ce qui justifie les politiques publiques d'aide à l'investissement des chaufferies bois. Ainsi par exemple pour une chaufferie bois de taille moyenne associée à un réseau de chaleur, on constate que le combustible bois ne représente que 30 à 40 % du coût final de la chaleur, quand pour le même projet avec une énergie fossile, cette dernière représente 80% du coût de la chaleur.

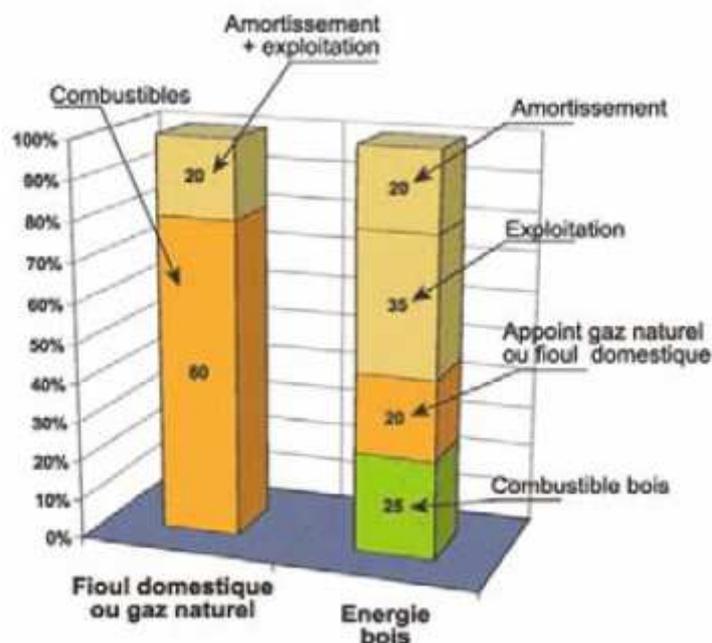


Figure ci-contre : Décomposition des coûts de production de chaleur : comparaison entre le bois et les énergies fossiles

Source : CIBE

Finalement c'est de cette rencontre entre un prix de marché et un prix de revient « plaquettes forestières » que va dépendre la concrétisation des opérations de récolte bois énergie en forêt.

### Le prix de marché face aux usages concurrents et l'importance du facteur transport :

Le prix de revient des plaquettes forestières à destination de l'énergie est confronté aux prix de marché de référence, celui des bois d'industrie ou bois de trituration (papeterie, panneaux) et celui du bois de chauffage (bûche), ainsi qu'aux autres marchés, plus restreints, utilisateurs d'une matière brute ou conditionnée identique (paillage, granulé). Il s'agit d'une logique de marchés segmentés et de proximité, fortement influencés par les conditions locales et en particulier la disponibilité de telle ou telle catégorie de ressource, et où les entreprises produisant des combustibles bois font appel en priorité aux matières premières les moins chères et/ou les plus faciles à transformer et dans la mesure du possible proches des sites utilisateurs.

En principe, les débouchés trituration et énergie sont plutôt complémentaires : marché de la trituration pour les produits les plus nobles (de type billons, rondins, plaquettes de scierie), et marché de l'énergie pour les produits « bas de gamme » (de type résidus d'exploitation, petits bois, branches, bois mal conformés, têtes d'arbre, surbilles, culées, écorces...). Dans la pratique les concurrences existent puisqu'en fonction de la conjoncture industrielle (demande plus ou moins forte de la trituration), de la proximité des usines de transformation du bois et de la montée en puissance des chaufferies industrielles et collectives, certains produits sont susceptibles d'être dirigés tantôt vers le papier ou le panneau, tantôt vers l'énergie (voir chapitres 2 et 3).

Lorsque le gisement bois déchiqueté est éloigné des débouchés de trituration, le renchérissement des coûts des transports sur de longues distances peut faire basculer certains produits vers l'énergie, considérant qu'un débouché de proximité offre la possibilité à un producteur de bois déchiqueté de capter à son profit une partie de la différence du coût de transport pour un même prix de vente rendu à l'utilisateur.

Chacun s'accorde à considérer que les produits de type bois ronds et plaquettes de scierie continuent d'aller en priorité vers les entreprises de la trituration, la logique de marché et de concurrence entre trituration et énergie reste cependant évolutive. Pour mieux gérer et anticiper à long terme les

besoins des deux filières et limiter des arbitrages sur les marchés de la plaquette forestière qui se focaliseraient sur les seuls coûts de transport, au gré de l'offre et de la demande, les démarches de planification concertée et de contractualisation des ressources disponibles à l'échelle de bassin d'approvisionnement seront incontournables (voir chapitre 2).

### 6.1.2/ Les indices de prix du bois énergie CEEB

Les enquêtes de prix du bois énergie mesurent les transactions commerciales sur les combustibles bois entre un client et un fournisseur. **C'est un prix de marché** (prix de vente au client moyenné au niveau national), non un coût de production ou un prix de revient.

Le Centre d'Etude de l'Economie du Bois (CEEB), organisme agréé par arrêtés Ministériels du 15 octobre 2008 et du 07 octobre 2011, représente l'instance officielle chargée de la récolte des prix du bois énergie.

#### Qui répond à cette enquête ?

L'enquête sur les prix du bois énergie du CEEB est désormais intégrée aux **enquêtes statistiques nationales rendues obligatoires pour toutes les entreprises commercialisant du bois énergie** (entreprises forestières, négociants, recycleurs, ...). Elle porte sur tous les produits commercialisés en bois énergie quelle que soit leur nature et leur origine (bois fin de vie, connexes des industries du bois, plaquettes forestières ou assimilées).

Pour la plaquette forestière il s'agit des entreprises qui commercialisent les produits forestiers en plaquette forestière et apporte une valeur ajoutée au produit commercialisé (à distinguer des négociants ou intermédiaires sauf si ces deniers apportent un conditionnement supplémentaire).

Le CEEB dispose d'une convention cadre sur les prix du bois énergie avec l'INSEE depuis 2006, et avec le Service Statistique du Ministère de l'Agriculture depuis 2011 pour ce qui est plus spécifiquement des produits forestiers type plaquette forestière.

Une nouvelle grille d'enquête a été mise en place depuis janvier 2011 avec l'appui du CIBE et de plusieurs structures professionnelles afin de coller à la réalité des produits combustibles bois et la totalité des marchés et des fournisseurs.

Cette enquête trimestrielle permet de :

- caractériser les prix par types de combustibles en faisant référence à la classification des combustibles CIBE : le prix des plaquettes forestières fait référence à une classe d'humidité et de granulométrie selon un usage en chaufferie
- distinguer les produits bruts (bois bord de route pour l'énergie, connexes de scierie) des produits élaborés (combustibles prêts à l'emploi)

Toutefois la caractérisation du prix de la plaquette forestière ne prend pas encore en compte son origine : bois ronds, rémanents, coupe non valorisée.

Les produits de type plaquettes forestières soumis à l'enquête de prix en 2011 sont libellés comme suit : « *Plaquettes provenant de bois forestiers, vendus en toutes longueurs, puis broyés sur la coupe ou sur une plateforme de broyage* »

- *Plaquettes forestières C1 : Petite granulométrie, Humidité <30% ; PCI indicatif retenu 3,7 MWh/tonne*
- *Plaquettes forestières C2 : Moyenne granulométrie, Humidité entre 30 et 40% ; PCI indicatif retenu 3,1 MWh/tonne*
- *Plaquettes forestières C3-C5 : Granulométrie grossière, Humidité >40% ; PCI indicatif retenu 2,55 MWh/tonne*

Il existe également une catégorie « mélanges » qui peut inclure un pourcentage non défini de plaquettes forestières puisqu'il s'agit de « *mélanges assemblés à partir de divers composants à humidités différentes, broyés en dimensions compatibles avec les contraintes des chaudières* ».

Il s'agit de **prix de vente hors taxe, départ unité de production**, c'est-à-dire pour la plaquette forestière, un prix « départ forêt » sans transport ou un prix « départ plateforme » selon conditionnement de la plaquette forestière.

Ce sont des prix moyens toutes régions confondues, les résultats étant pondérés par la taille des entreprises (tonnages commercialisés) et par type de produit. Ils sont exprimés **en €/tonne et en €/MWh**. La diversité des prix de marché en fonction des grandes régions ou bassins d'approvisionnement, pourrait progressivement amener une démarche de pondération par grande région afin de mieux appréhender les concurrences d'usages et les effets régionaux spécifiques.

**Prix de la plaquette forestière en 2011  
(prix départ – moyenne des 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> trimestre 2011)**

*Plaquettes forestières C1 : 77 €/t soit 20,6 €/MWh*

*Plaquettes forestières C2 : 53 €/t soit environ 17 €/MWh*

*Plaquettes forestières C3-C5 : 43 €/t soit environ 16,8 €/MWh*

Des indices semestriels agrégés des prix du bois énergie relatifs aux plaquettes forestières et produits assimilés (plaquettes bocagères) seront consultables dès 2012 sur le site internet Agreste du Ministère de l'Agriculture (MAAP), rubrique Conjoncture/Bois et dérivés.

**Où trouver les prix des combustibles bois énergie du CEEB ?**

site du CIBE : [www.cibe.fr](http://www.cibe.fr)

site FNEDT : [www.e-d-t.org](http://www.e-d-t.org)

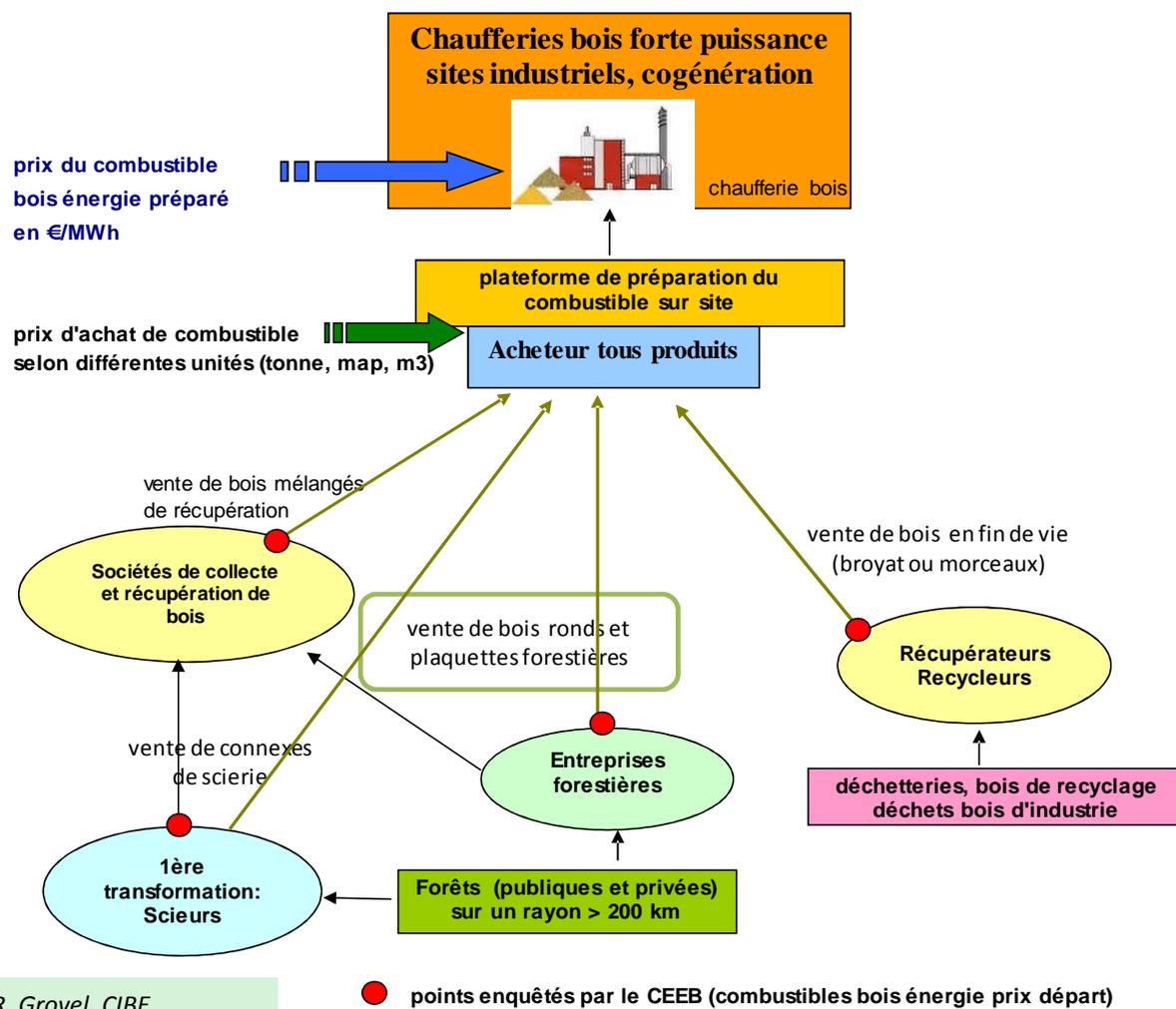
revue Le Bois International : [www.boisinternational.com](http://www.boisinternational.com)

site Agreste : [www.agreste.agriculture.gouv.fr](http://www.agreste.agriculture.gouv.fr)

### **6.1.3/ Les prix de combustibles bois associant des matières premières de différentes origines**

La grande majorité des chaufferies bois d'une puissance supérieure à 1 MW consomme des mélanges de plaquettes d'origines et de qualités diverses. Le prix peut sensiblement varier selon la composition

du mélange (taux respectif de plaquettes forestières, de connexes d'industrie du bois ou de bois en fin de vie) et selon les qualités de ce mélange (matières minérales, humidité et granulométrie). D'autre part dans le cas de chaufferie de très forte puissance, la production de combustibles bois déchiqueté se réalise sur le site de la chaufferie à partir de matières différentes.



Le prix du combustible entrant en chaufferie est difficile à calculer pour les raisons suivantes :

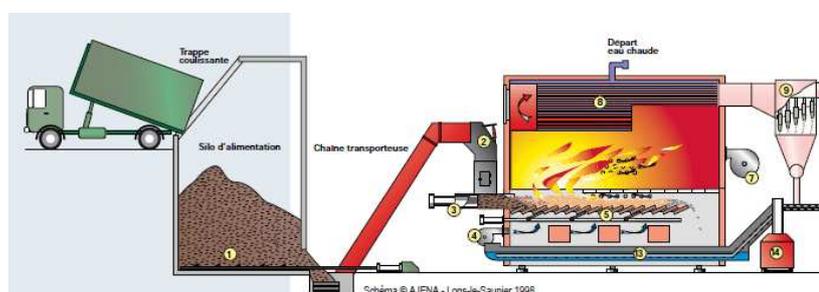
- 1- L'existence de plusieurs itinéraires technico-économiques très différents (filière directe selon des origines diverses, préparation sur plate-forme de plusieurs types de combustibles, réception sur le site de la chaufferie de plusieurs matières premières transformées in situ) rend difficile la saisie des prix des combustibles aux différents stades de leur élaboration.
- 2- L'hétérogénéité des produits se traduit par une hétérogénéité des unités utilisées selon le stade de l'élaboration du produit donc des risques d'erreur ou d'imprécision dans les calculs d'équivalences (m3 de bois rond en bord de route, m3 apparent plaquettes « map » dans une remorque sur un chantier, tonnes de matière fraîche à l'entrée d'une plate-forme, tonne de matières sèches à la sortie, tonnes de matière sèche à l'entrée d'une chaufferie ou tonne PCI, MWh PCI dans un silo avant le foyer d'une chaudière....)
- 3- Il est difficile d'appréhender le contenu énergétique d'un combustible bois dans le cas d'un mélange de matières différentes : le PCI varie en fonction des essences, de leur masse respective, de leur teneur en cendres, des taux d'humidité. La vente de combustibles au MWh

« entrée chaudière » nécessite alors de recourir à un coefficient de conversion moyen (tonne/MWh « entrée chaudière ») approximatif du fait des facteurs de variation. L'application de ce taux de conversion moyen sur des produits très divers pourra être de nature à fausser le prix du MWh obtenu (d'autant plus pour les unités industrielles qui traitent des forts volumes avec une forte diversité de matières entrantes).

## 6.2- Consommation de combustible selon le type de chaufferies bois

***Avertissement*** : Le lecteur se reportera au guide « Mise en place d'une chaufferie au bois » (ADEME-EDP, 2007 en cours de réactualisation) pour une compréhension détaillée des principes de combustion du bois en plaquettes, des technologies de chaufferie bois (types de foyer, mode de transfert du combustible) et de l'évaluation du rendement d'une chaufferie bois selon la qualité énergétique du combustible rentrant (compteur de chaleur).

La plaquette forestière peut être utilisée en combustible dans tous les types de chaufferies automatiques au bois. Selon son itinéraire de production et de préparation, elle peut répondre aux caractéristiques des différentes



classes de combustibles énoncées dans la classification du CIBE correspondant aux principaux types de chaufferies. Les principaux critères de qualité fondant les classes de combustibles sont la granulométrie et le taux d'humidité : le lecteur se reportera au tableau de la classification des combustibles CIBE (chap 1.3.2 et annexe 1) pour identifier la classe de caractérisation et d'usage de son combustible plaquette forestière.

La plaquette forestière est souvent en mélange dans la classe C5 car il s'agit de combustibles destinés à des chaufferies de très forte consommation qui mutualisent des bois d'origine diverses (connexes de scierie, écorces, plaquettes forestières, broyats de palettes,...)

### **Quelles sont les consommations d'une chaufferie bois ?**

Pour une puissance donnée, les consommations d'une chaufferie bois dépendent d'une part de la qualité du combustible bois (bois sec, ressuyé ou humide, taux de cendres) et d'autre part des caractéristiques du projet alimenté par la chaudière bois, notamment :

- Usage du bâtiment chauffé (température de consigne), surface chauffée et intermittence
- Durée de la saison de chauffe : saisonnalité ou fonctionnement annuel (piscine, hôpital, industriel)
- Besoins de chaleur (selon les conditions climatiques de la région)
- Existence ou non d'un réseau de chaleur (consommation supplémentaire)
- Densité de bâtiments fortement consommateurs (hôpital, maison de retraite, piscine,...) ou au contraire à forte intermittence (salle des fêtes, petite mairie, école, centre de vacances...)
- Alimentation d'un process industriel (ex : besoin de vapeur)

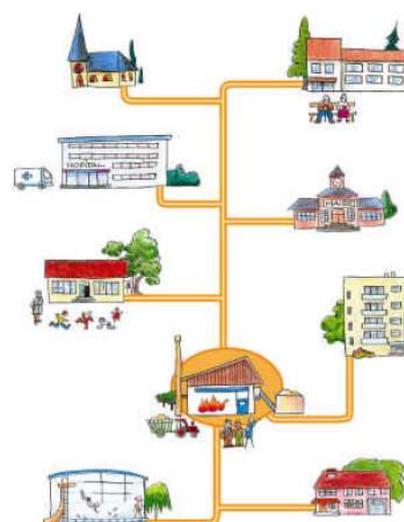
Ces caractéristiques permettent de déterminer le besoin annuel en chaleur délivrée exprimé en MWh. En tenant compte du rendement de l'installation (chaudière et réseau) et du PCI moyen du combustible,

on obtient la quantité de bois à fournir à un taux d'humidité donné. Ces données peuvent être affinées mois par mois pour prévoir les plannings de livraisons en fonction du volume du silo.

Puissance chaudière bois	consommation annuelle	exemples-types de chaufferie et de projet
150 kW	60 à 100 tonnes	chaufferie dédiée à des bâtiments communaux en Isère
	100 tonnes	petit réseau de chaleur communal en Bourgogne
	150 tonnes	petit réseau de chaleur avec maison de retraite en Franche Comté
500 kW	300 tonnes	collège en Bretagne avec bois à 30% humidité
	500 tonnes	petit réseau de chaleur communal en Alsace
1200 kW	700 tonnes	lycée en Normandie
	1500 tonnes	réseau de chaleur avec logements HLM en Franche Comté
3,2 MW	3 à 6 000 tonnes	réseau de chaleur urbain saisonnier selon humidité et qualité du bois utilisé
	10 000 tonnes	réseau de chaleur urbain en Franche Comté fonctionnant toute l'année
6 MW	5 à 6 000 tonnes	chauffage saisonnier sur gros réseau chaleur urbain
	13 000 tonnes	gros réseau de chaleur fonctionnant toute l'année
	16 000 tonnes	chaufferie industrielle avec process vapeur

**Où trouver la liste des chaufferies bois en fonctionnement et en projet dans ma région ?**

- ➔ **S'adresser aux structures d'animation de la filière bois énergie en région et/ou de mon département (voir liste en annexe)**
- ➔ **Consulter les sites de l'ADEME (national et en région) et le site SINOE ENR (prochainement en ligne)**



A savoir / rappel :

- Le tonnage de plaquettes bois consommé par une chaufferie est fortement influencé par le taux d'humidité et la qualité du bois déchiqueté fourni (voir chapitre 1.2 – p.7-14). Ainsi par exemple, pour une consommation annuelle entrée chaufferie de 10.000 MWh (avec chaudière bois de 3 MW) :

- il faut 2.800 tonnes de plaquettes résineuses à 30% d'humidité (PCI = 3,5 MWh/t)
- ou 4.000 tonnes de plaquettes résineuses à 45% d'humidité (PCI = 2,5 MWh/t)

Pour les petites chaufferies bois (inférieures à 300 kW), le combustible bois déchiqueté devra avoir impérativement un taux d'humidité faible (< 30%), et la contrainte résiduelle sera souvent la granulométrie (petite granulométrie, régulière, peu de fines, pas de queues de déchiquetage, pas de bois défibré).

- Les forestiers ou les industriels du bois raisonnent à la tonne verte, alors que l'énergéticien est intéressé par la tonne sèche, ou plus exactement l'énergie entrée chaudière mesurée en kWh. Il faut donc opérer une conversion qui ne soulève pas de difficulté dans son principe mais quelquefois dans

son application pratique. Si les forestiers livrent du bois en se faisant rémunérer au MWh entrée chaudière (ou sortie chaudière en arrêtant avec le chauffagiste un rendement de production forfaitaire), ils ont évidemment intérêt à livrer du bois le plus sec possible.

Pour aller plus loin :

- Mise en place d'une chaufferie au bois. Etude et installation d'une unité à alimentation automatique. ADEME, EDP, 2007 (en cours de réactualisation)
- Les combustibles bois : définition et adéquation combustibles-chaudière. FIBRA, ADEME, Région Rhône Alpes, mars 2010. ([www.fibra.net](http://www.fibra.net))
- Guide pratique pour les projets collectifs des communes et des décideurs locaux. EnergieVie, ADEME, Région Alsace. Juin 2005
- Classification des combustibles - Site internet du CIBE ([www.cibe.fr](http://www.cibe.fr))

**Ne pas confondre MWh et MW**

Le MWh (Méga-Watt-Heure) est une unité de mesure d'énergie (1 MWh = 1000 kWh = 3,6 GJ ou GigaJoule). Elle est utilisée pour caractériser l'énergie contenue dans le bois. Le PCI du combustible bois est ainsi exprimé en MWh/tonne (ou MWh/map).

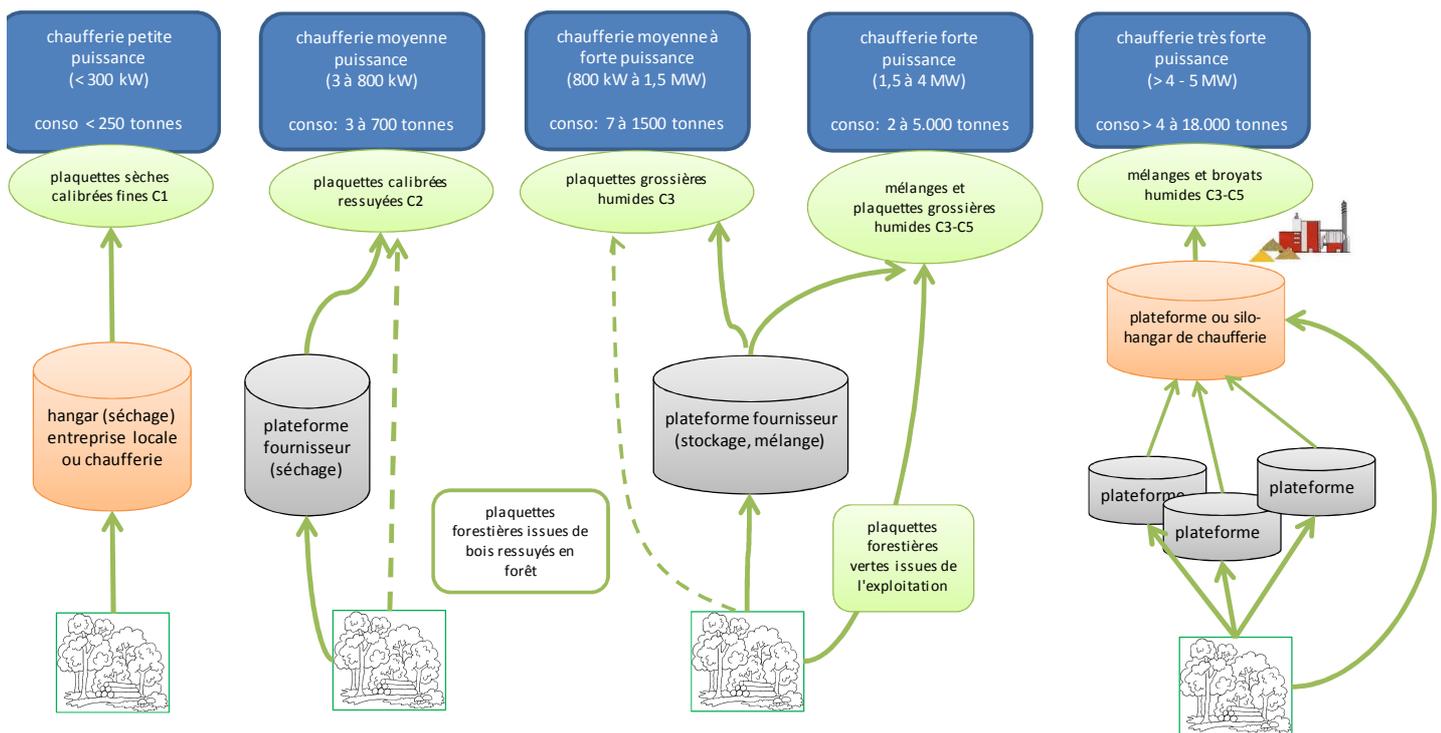
Le MW (Mégawatt) est une unité de puissance (taux de génération d'énergie par unité de temps) ; elle est utilisée pour caractériser les chaudières.

Une chaudière de 1 MW de puissance produit 1 MWh d'énergie pendant une durée d'une heure.

## 6.3. Modes d'approvisionnement et fournisseurs

### 6.3.1/ Les modes d'approvisionnements en plaquettes forestières des chaufferies

Suivant le type de chaufferie (puissance, technologie, chaufferie industrielle ou chauffage saisonnier) et les besoins en combustibles plaquettes forestières (qualités, tonnages), on distingue plusieurs cas-types de modalité d'approvisionnement en plaquettes forestières :



En règle générale, l'approvisionnement d'une chaufferie de forte puissance faisant appel à d'importants volumes et des prix entrée chaufferie limités, les fournisseurs ont besoin de mutualiser des combustibles de différentes natures (plaquettes forestières, connexes de scierie,...) : dans ce cas, tout ou partie des approvisionnements passe par une plateforme de conditionnement avec utilisation de déchiqueteuse mais aussi de broyeur.

En résumé, les producteurs et fournisseurs de plaquettes forestières peuvent livrer le combustible préparé soit :

- à partir de la forêt (**flux direct**) : dans ce cas il s'agit de plaquettes forestières grossières et humides pour chaufferie de forte puissance, ou de plaquettes produites à partir de bois ressuyés en forêt (humidité réduite autour de 35%) permettant d'alimenter des chaufferies de moyenne puissance.
- à partir de hangar ou plateforme de préparation et de conditionnement (**flux indirect**) qui assure le séchage et le criblage (obligatoire pour petite puissance), et le mélange de plaquettes s'il s'agit de mix-produit pour des chaufferies de moyenne ou forte puissance.

Exemples d’approvisionnement en plaquette forestière selon le type de chaufferie :

Type de chaufferie	Approvisionnement en plaquette forestière	Flux et modalités d’approvisionnement depuis la forêt	type de fournisseurs
<b>Chaufferies moyenne et forte puissance</b>	mélange plaquettes forestières et connexes qualité C3-C5	Passage par une plateforme de préparation d’un négociant ou société	Négociants, sociétés dédiées, groupement régional d’entreprises
<b>Chaufferie forte à très forte puissance (&gt; 1,5 MW)</b>	100% plaquette forestière Qualité C3 - C5	Flux direct de la forêt à la chaufferie, pas de conditionnement par une plateforme	entreprises forestières, opérateurs publics, coopératives forestières, sociétés dédiées, négociants
<b>Chaufferie moyenne puissance (0,3 à 1,5 MW)</b>	100% plaquette forestière Qualité C2 - C3	Passage par plateforme ou flux direct de la forêt si bois ressuyé (<35% humidité)	Négociants, entreprises forestières, coopérative forestière
<b>Chaufferie petite puissance (&lt; 300 kW)</b>	100% plaquette forestière Qualité C1	Circuit court et passage par plateforme pour séchage et conditionnement	Entreprises forestières, SCIC, propriétaire forestier, collectivités

### 6.3.2/ Qui sont les fournisseurs de plaquettes forestières ?

Les acteurs de l’approvisionnement des chaufferies bois en plaquettes forestières peuvent être caractérisés selon l’échelle à laquelle ils interviennent et selon la nature de l’activité qu’ils réalisent dans la chaîne de production de la forêt à la chaufferie.

#### **Les acteurs de l’approvisionnement en plaquettes forestières aux différentes échelles**

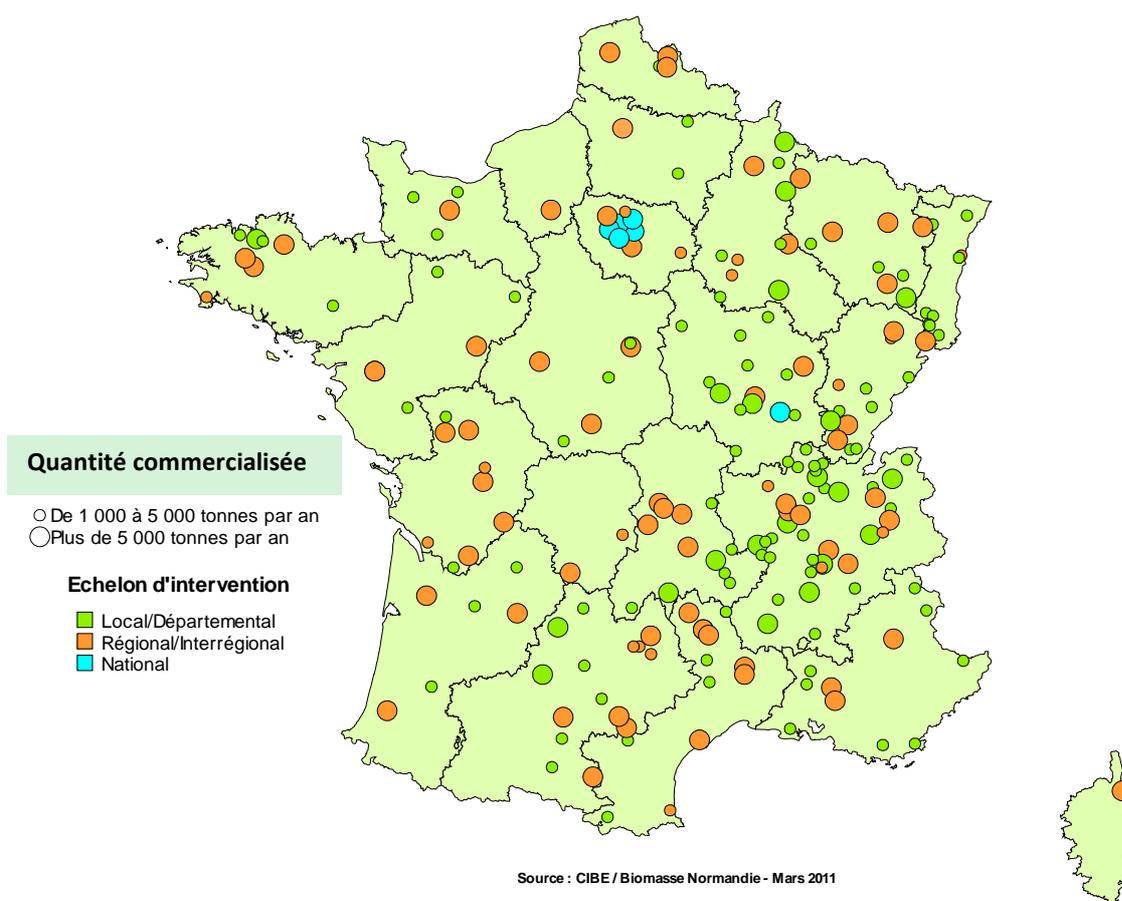
**Les fournisseurs de plaquettes forestières** peuvent être de nature et d’envergure très différente ; certains sont des producteurs et d’autres simplement des négociants et préparateurs. On distingue 4 catégories d’acteurs en capacité de fournir de la plaquette forestière selon l’échelle de territoire et l’importance des besoins :

- **les fournisseurs locaux ou régionaux** : il s’agit d’entrepreneurs de travaux forestiers, exploitants forestiers ou sociétés forestières (voire entreprises de travaux agricoles), indépendants, qui utilisent leur implantation locale pour valoriser tout ou partie de leurs produits bois en énergie sur des contrats locaux ou régionaux. La plupart ne produisent que de la plaquette forestière et disposent de volumes de bois énergie de plus en plus importants. Aujourd’hui leurs équipements de déchiquetage, de stockage (hangar), de conditionnement et de livraison, les rendent performants non seulement sur les petites installations (leur client privilégié) mais également sur les projets de toute taille en circuit court.

- **les entreprises du bois regroupées ou mises en réseau au niveau d’une région** : Il s’agit d’une logique économique de regroupement et de mutualisation de produits combustibles bois divers entre entreprises de la forêt et du bois d’une même région. Ce regroupement

dont l'objectif est de constituer un acteur économique fort et crédible à une échelle régionale, et d'être le partenaire privilégié des chaufferies de la région, prend généralement la forme d'une société dédiée (ex : *Biocombustibles SA en Normandie, Auvergne Loire Biocombustibles, Bois Chauds Berry et BoisSynergie en région Centre, BEMA en Pays de Loire,...*). Toutefois la part de plaquettes forestières est généralement réduite du fait de l'absence fréquente d'entreprises forestières dans ces regroupements, mais tend à augmenter ces dernières années.

- **Les organisations territoriales** : de forme juridique variable (SI, SCIC, SEM), ces structures illustrent une démarche volontariste partagée entre collectivités (communauté de communes, pays, syndicat intercommunal, département, région...) et acteurs économiques du territoire (agriculteurs, scieurs, exploitants, entreprises de recyclage). Cette recherche d'organisation répond à la fois à une démarche politique et à un besoin de sécurisation de l'approvisionnement de chaufferies d'un territoire donné avec un souci de retombées économiques locales (ex: *SYDED Lot, SCIC BBE, SCIC Pays de Dinan, SCIC Haute Mayenne Bois Energie, SEM CBE, SCIC Picardie Energie Bois, SEM Fumélois Energie Bois*). Hormis dans le cas du Syndicat de déchets du Lot, la composante plaquette forestière (ou bocagère) est ici prépondérante.



- les **structures d'envergure nationale (ou « ensembliers »)** dont l'objectif est l'approvisionnement de projets de forte puissance ayant besoin de forts volumes de

combustibles bois (cogénération, projets industriels, gros réseaux de chaleur). Pour ce faire, ces structures, représentant des grands groupes ou des sociétés dédiées d'envergure supra-régionale, recherchent et mutualisent des combustibles à coûts divers, disposent d'implantations-relais dans plusieurs régions et ont une capacité à capter la matière sur des rayons d'approvisionnement importants (ONF Energie/GCF, Bois Energie France/Dalkia, SOVEN/Cofely, SITA-RBM, Véolia-propreté, Bois 2, etc...). Même si certaines structures, comme le groupement ONF-GCF, présentent une capacité principale de mobilisation de combustibles à partir de plaquettes forestières, les contrats d'approvisionnement demandent une mutualisation et un assemblage de produits d'origine diverse, visant à satisfaire une demande de prix bas par les chauffagistes et industriels.

Ce sont généralement les entreprises régionales et les ensembliers qui approvisionnent les chaufferies bois de très forte puissance (> 5 MW)

***Aujourd'hui toutes les régions sont couvertes par des capacités de fourniture de plaquettes forestières. Où trouver la liste des fournisseurs de combustibles bois déchiquetés dans ma région ?***

- ➔ ***Contacter la structure d'animation bois énergie de votre région ou de votre département (voir liste en annexe)***
- ➔ ***Consulter le catalogue des opérateurs sur le site de Biomasse Normandie ([www.biomasse-normandie.org](http://www.biomasse-normandie.org))***

### **Les opérateurs de la production de plaquettes forestières :**

Les acteurs de la production de plaquette forestière peuvent être également classés ou définis selon la nature des activités qu'ils réalisent dans la chaîne de la production de la forêt à la chaufferie.

Les activités de production proprement dite (de l'achat des bois à la production de plaquette forestière) sont majoritairement réalisées par deux types de professionnels :

#### **Les entrepreneurs de travaux forestiers**

Un entrepreneur de travaux forestiers (ETF) réalise à titre principal des prestations de services en sylviculture-reboisement, exploitation forestière (abattage, débardage), déchiquetage ou en gestion forestière. Ses clients peuvent être des propriétaires ou gestionnaires forestier (public et privé), une autre entreprise forestière (exploitant, scieur...), une filiale d'approvisionnement... Inscrits au Registre du Commerce et des Sociétés, ils peuvent également effectuer des achats-ventes de bois en conservant le statut d'ETF si la part de cette activité reste minoritaire par rapport au chiffre d'affaires global annuel. Ils sont ressortissants de la Mutualité Sociale Agricole (MSA). Dans une moindre mesure, certains Entrepreneurs de Travaux Agricoles (ETA) proposent également leurs activités en déchiquetage.

#### **Les exploitants forestiers**

Outre l'achat et la revente de bois sur pied ou bord de route et les opérations de coupes découlant directement de ce négoce, les exploitants forestiers peuvent réaliser à titre accessoire des prestations de services en milieu forestier pour le compte de tiers à la condition d'avoir obtenu un avis favorable de la commission de levée de présomption de salariat gérée par la MSA. Ils relèvent du régime général de la sécurité sociale (URSSAF)



Activité*...	Gestion forestière	Achat bois sur pied	Abattage-débardage	Achat bois bord de route	Déchiquetage PF	Livraison PF	Commercialisation PF
Entrepreneur de Travaux Forestiers (ETF)	Secondaire	Secondaire	<b>Principale</b>	Secondaire	<b>Principale</b>	Secondaire	Secondaire
Exploitant forestier	-	<b>Principale</b>	Secondaire	<b>Principale</b>	Secondaire	Secondaire	<b>Principale</b>
Négociant et société de commercialisation de plaquettes	-	-	-	Secondaire	Généralement sous-traité à ETF	Secondaire	Principale (avec d'autres types de plaquettes)
Structures territoriales (SEM, SCIC...)	-	-	-	Secondaire	Généralement sous-traité à ETF	Sous-traité	<b>Principale</b>
ONF Energie	-	Secondaire	Sous-traité à ETF	Principale	Sous-traité à ETF	Sous-traité	<b>Principale</b>
Coopératives forestières	Principale	Principale (apport de bois des sociétaires)	Généralement sous-traité à ETF	Secondaire	Généralement sous-traité à ETF	Sous-traité	Secondaire

\* activité principale / secondaire par rapport au chiffre d'affaires. Certains de vos interlocuteurs forestiers réalisent tout ou partie des différentes activités mentionnées ci-dessus

Ce tableau reflète la situation actuelle du marché du bois énergie et est donc sujet à évolution, notamment sur l'amont par une implication plus forte des propriétaires dans commercialisation des plaquettes forestières (appuis des gestionnaires, groupements...)

**Office National des Forêts et ONF Energie :** Organisme gestionnaire des forêts publiques (domaniales, communales...), soit 25 % des forêts françaises, l'ONF met en vente près de 40 % des bois commercialisés. Sa filiale, ONF Energie a pour objet de commercialiser des plaquettes forestières.

**Coopérative forestière :** Les coopératives forestières sont des organismes de gestion en commun gérés par un conseil d'administration composé de propriétaires forestiers. Elles ont pour but entre autres de gérer le patrimoine des propriétaires forestiers sociétaires et de valoriser leur bois. 27 d'entre elles sont regroupées au sein de l'Union de la Coopération Forestière Française. Pour la plaquette forestière, elles ont constitué le Groupement de la Coopération Forestière (GCF) qui leur permet de mutualiser les savoirs faire et les productions pour répondre aux enjeux de la filière bois énergie à l'échelle nationale.

### ***A qui s'adresser pour trouver une entreprise ?***

#### **Fédérations professionnelles :**

- FNEDT : [www.e-d-t.org](http://www.e-d-t.org)
- FNB : [www.fnbois.com](http://www.fnbois.com)
- FNTR : [www.fntr.fr](http://www.fntr.fr)

**Interprofessions forêt-bois :** [www.irbois.com](http://www.irbois.com) - renseignez-vous dans votre région

**Structures d'animation bois énergie** de votre région : voir en annexe

### ***Titres de qualification QualiTerritoires***

L'Association QualiTerritoires est l'organisme national professionnel de délivrance de titres de qualification pour les travaux agricoles, forestiers et ruraux.

Un titre de qualification est une reconnaissance délivrée par un organisme indépendant vérifiant la réalité administrative, les compétences humaines et les capacités matérielles d'une entreprise pour exercer une activité donnée.

Créée en 2006 à l'initiative de la Fédération Nationale Entrepreneurs Des Territoires, QualiTerritoires est constituée de représentants des entrepreneurs de travaux, de leurs clients et d'experts avec le concours du Ministère de l'Agriculture. QualiTerritoires bénéficie d'une convention de reconnaissance et de fonctionnement du Ministère de l'Agriculture.

**QualiTerritoires délivre un titre de qualification « Travaux du bois énergie ».**

[www.qualiterritoires.org](http://www.qualiterritoires.org)

### ***6.3.3. Quels sont les différents cas de circuit court ?***

- **L'auto-approvisionnement à partir de sa forêt :** ce cas s'applique soit aux particuliers (propriétaires forestiers, agriculteurs) disposant de ressources forestières et d'une chaudière bois, soit aux collectivités propriétaires de forêt communale (sectionnale ou départementale) qui s'auto-approvisionnent en combustible bois avec des moyens propres (personnel de la collectivité) ou en faisant appel à des prestataires (abattage, débardage, déchetage). L'auto-approvisionnement nécessite de disposer d'un hangar de stockage et de séchage pour la plaquette. L'auto-approvisionnement se justifie économiquement s'il y a mutualisation d'équipement et de prestation comme ce peut être le cas pour un groupement de communes disposant chacune de forêt. A déconseiller pour une commune seule, sauf si elle est isolée et en l'absence d'entreprises locales en capacité de lui procurer de la plaquette.

- **L’approvisionnement avec une entreprise locale du territoire** : cas le plus fréquent en circuit court, le maître d’ouvrage de chaufferie bois cherche à sécuriser son approvisionnement avec une entreprise locale connue sur le territoire. Cette contractualisation directe n’est pas toujours évidente pour une collectivité car elle doit se réaliser dans le cadre du code des marchés publics (cf 5.3.1) ; par ailleurs l’entreprise forestière locale (exploitant, ETF, scieur, menuiserie,...) ne dispose pas toujours des moyens, infrastructures et des compétences pour produire la qualité de plaquette demandée.
- **L’approvisionnement territorial** : il s’agit d’un approvisionnement organisé à une échelle territoriale (communauté de communes, Pays, PNR, syndicat intercommunal) où la collectivité est pilote et partenaire (financier) d’une structure dédiée à l’approvisionnement en bois énergie avec des entreprises et acteurs de son territoire. C’est le cas des organisations territoriales citées ci-dessus (SCIC, SEM, Syndicat intercommunal, ...) où le circuit d’approvisionnement concerne l’assiette géographique d’un territoire ayant fait l’objet d’une analyse de ressources bois et d’une validation politique d’une stratégie de valorisation énergétique (ex : CFT, PAT, charte de Pays ou de Parc naturel régional).
- **L’approvisionnement par marché** : dans le cas où une collectivité ne se trouve dans aucune des 3 situations ci-dessus, la consultation publique par marché peut permettre d’introduire une préférence locale (voir chapitre 5.3.1) tout en s’assurant de la compétence de l’entreprise qui sera retenue.

	<b>Atouts Intérêts</b>	<b>Inconvénients facteurs limitants</b>
<b>Auto-approvisionnement</b>	Circuit très court Valorisation de sa propre ressource forestière	Peut s’avérer plus coûteux et moins efficace que de faire appel à un fournisseur
<b>A l’entreprise locale</b>	Circuit court Traçabilité des produits Soutien à l’économie locale	Appro contraint par le savoir- faire et la capacité limitée de l’entreprise locale en matière de BE
<b>Approvisionnement territorial</b>	Mutualisation de moyens et de dynamique à une échelle territoriale cohérente	Demande une forte volonté politique et partenariats avec les entreprises du territoire
<b>Approvisionnement par marché</b>	Schéma le plus simple Pas d’implication de la collectivité	Pas de véritable garantie de circuit court

Pour en savoir plus :

- les fiches techniques du programme 1000 chaufferies bois / FNCOFOR consultables sur [www.1000chaufferies.com](http://www.1000chaufferies.com)

### 6.3.4. Place des producteurs forestiers, propriétaires privés et collectivités, dans l'approvisionnement des chaufferies bois

**Quelle est la place du propriétaire et du producteur forestier dans la diversité des logiques d'approvisionnement qui s'entrecroisent sur les territoires ?**

Les solutions s'offrant au propriétaire forestier souhaitant s'investir dans la filière approvisionnement bois énergie sont de 3 ordres et peuvent se concrétiser de différentes manières. Les itinéraires techniques développés dans le chapitre 3 nous montrent comment les forêts contribuent à produire la matière première et comment les professionnels la mobilisent. Les propriétaires forestiers ont ainsi la possibilité d'alimenter cette filière :

- En vendant leurs produits bois énergie sur pied ou sur coupe
- En effectuant une partie des travaux et commercialisant du produit prêt à déchiqeter bord de route
- En produisant eux-mêmes des plaquettes forestières à partir de leur forêt

Selon la modalité choisie, ils peuvent :

- Participer à **des groupements de type « filière industrielle » garanties par des professionnels de la filière bois** et de la logistique (Coopératives forestières, entreprises forestières) ; le propriétaire peut alors signer des contrats d'approvisionnement sur du moyen terme avec les producteurs de plaquette forestière qui ont un débouché industriel.
- S'intégrer et contribuer à construire **des logiques « territoire » garanties par une collectivité territoriale** (collaboration public-privé) qui souhaite s'investir sur le développement forestier de son territoire (exemple des SCIC BBE41, Haute Mayenne Bois Energie, Landes Bois Energie...). Dans ce cas, le propriétaire fait partie intégrante de la structure (membre coopérateur).
- Développer **des logiques plus directes et « intégratives » de la forêt à la vente de chaleur** (contrats directs entre les propriétaires forestiers et des exploitants de chaufferies de forte puissance). Cette logique d'intégration directe, très fréquente en Autriche par l'intermédiaire de coopératives locales, n'existe pratiquement pas en France (hormis au niveau des communes forestières possédant leur chaufferie bois). Elle pourrait cependant trouver une voie d'application à travers les logiques territoires construites avec les collectivités.

**Quelle est la place et le rôle de la collectivité dans la construction de logiques d'approvisionnement en circuit court sur les territoires ?**

Plusieurs démarches peuvent contribuer à impliquer les collectivités dans **l'approvisionnement de chaufferies bois en plaquettes forestières à partir de leur territoire, c'est-à-dire en circuit court**. On citera tout d'abord, en amont, les démarches forestières que sont principalement (voir chapitre 2.3) :

- Le PAT (Plan d'Approvisionnement Territorial), un outil d'analyse et d'aide à la décision sur les ressources forestières mobilisables sur le territoire, les coûts de mobilisation et les besoins en structuration pour approvisionner des chaufferies locales
- Le PDM (Plan de Développement de Massif), un outil de mobilisation mutualisée de l'offre bois à partir de la forêt privée

- La CFT (Charte Forestière de Territoire), une politique territoriale partagée qui peut donner sens à un programme d'action sur la filière bois énergie

Ensuite, la question de la place et du rôle de la collectivité dans la construction de circuits et d'outils d'approvisionnement territorialisés est légitime si :

- **la collectivité possède des ressources forestières**, soit en propre de type forêt communale, soit du fait d'un taux de boisement privé important sur le territoire de la commune ou de la collectivité (*dans quelles conditions, la forêt de mon territoire peut alimenter ma chaufferie ?*)
- **la collectivité a mis en place une ou plusieurs chaufferies en maîtrise d'ouvrage publique** sur son territoire dont elle souhaite garantir et sécuriser leur approvisionnement (*la collectivité doit-elle s'équiper et construire une plateforme BE pour sécuriser l'approvisionnement de sa chaufferie, ou faire appel à des professionnels ?*)

Les réponses à donner à ces questions dépendent de plusieurs paramètres (voir arbre de décision ci-dessous) :

- La présence de professionnels du bois énergie sur les territoires de proximité ou au contraire la carence d'initiatives privées
- La volonté politique d'ancrer le développement de la filière bois énergie sur des compétences d'aménagement du territoire ou des compétences économiques de la collectivité
- Le nombre et le type de chaufferies à approvisionner (c'est-à-dire la consommation ou la demande prévisionnelle) ainsi que la nature juridique de leur maître d'ouvrage (public, privé)
- La nature de la collectivité (commune, communauté de communes, syndicat intercommunal, bailleur social, conseil général...) et son champ de compétence (juridique, économique, territorial)

**→ demandez conseil à votre structure d'animation bois énergie (voir annexe)**

A savoir / retours d'expérience :

- L'expérience montre que seules les collectivités qui se sont parallèlement (voire préalablement) investies, directement ou indirectement, dans la création de chaufferies bois ont pu rendre concrètes et durables les initiatives publiques de création de plateformes de stockage bois énergie.

- le partenariat entre une collectivité et des entreprises privées sur la création d'un outil d'approvisionnement en combustibles bois déchiquetés sur un territoire pertinent permet de dynamiser et de mutualiser les acteurs et les initiatives sur ce territoire en mettant en cohérence un bassin de consommation avec une filière de production locale. Il peut prendre la forme de SCIC (Sociétés Coopératives d'Intérêt Collectif), de SEM (Société d'Economie Mixte) ou de marchés publics particuliers (contrats de location, contrat d'occupation temporaire du domaine public, régie avec marchés, ...) et colle toujours à une organisation territoriale et politique. En 2011, on recense une douzaine de SCIC ayant pour objet la valorisation des ressources forestières ou bocagères par la constitution de filière de production de combustibles bois déchiquetés.

*NB : la SCIC est, avec la SEM, la seule forme de société permettant à une collectivité de rentrer au capital. Voir information sur [www.scic.coop](http://www.scic.coop)*

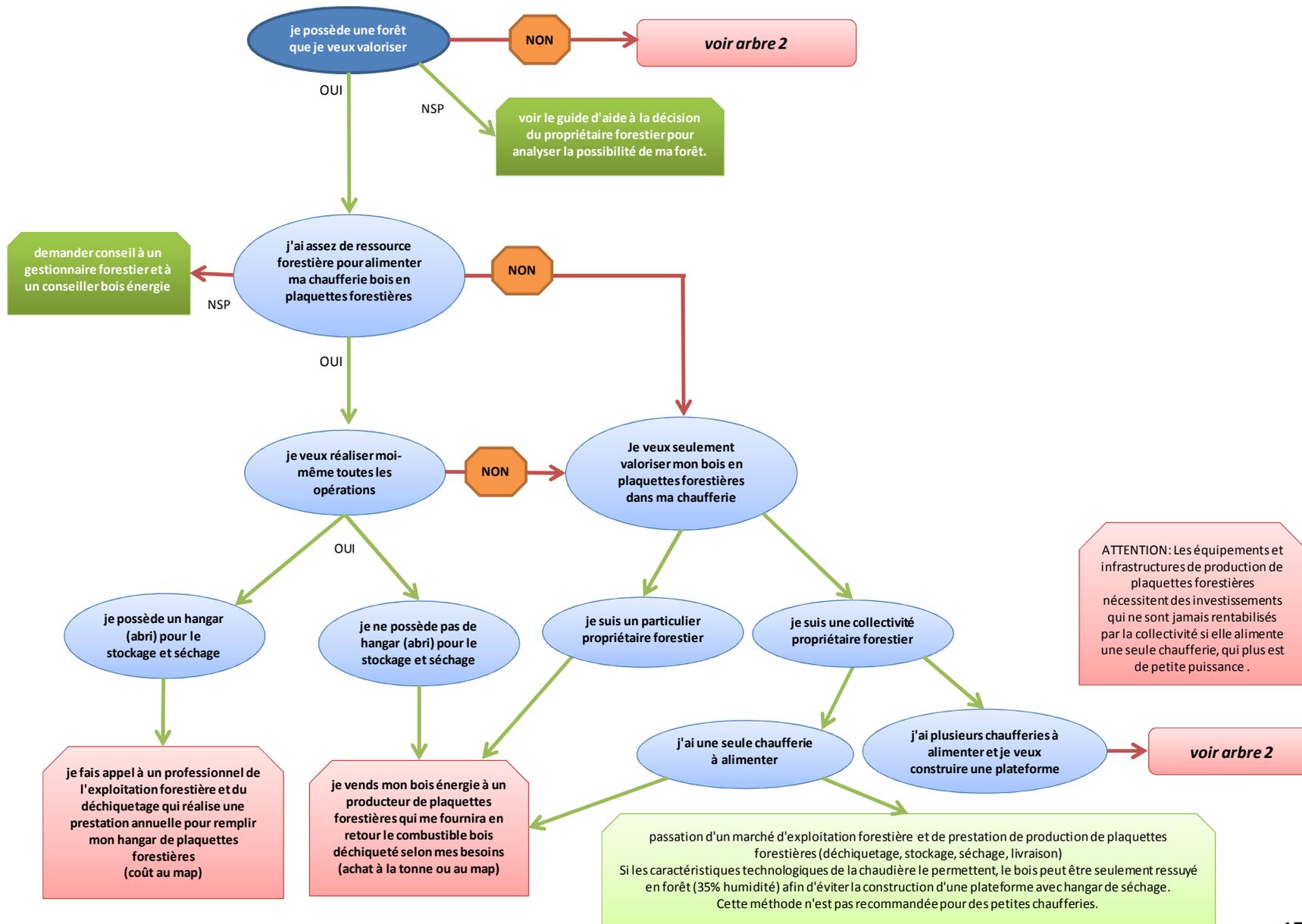
- la conjonction de projets de forte puissance et de petites puissances sur un même territoire n'est pas un facteur de déstabilisation d'une démarche de structuration de l'approvisionnement mais plutôt de complémentarité en terme de diversification des fournisseurs et des offres combustibles et de capacité de mutualisation de matières différentes.

- l'impact des projets de chaufferies bois sur la mobilisation des bois forestiers du territoire est difficile à évaluer sauf dans le cas où une chaufferie de forte puissance est approvisionnée à partir de forêts gérées dont les prélèvements ont été évalués et sont suivis dans le cadre de plans d'aménagement ou de gestion des forêts (exemple de la chaufferie La Planoise de Besançon, alimentée par les forêts domaniales et communales de la communauté de communes)

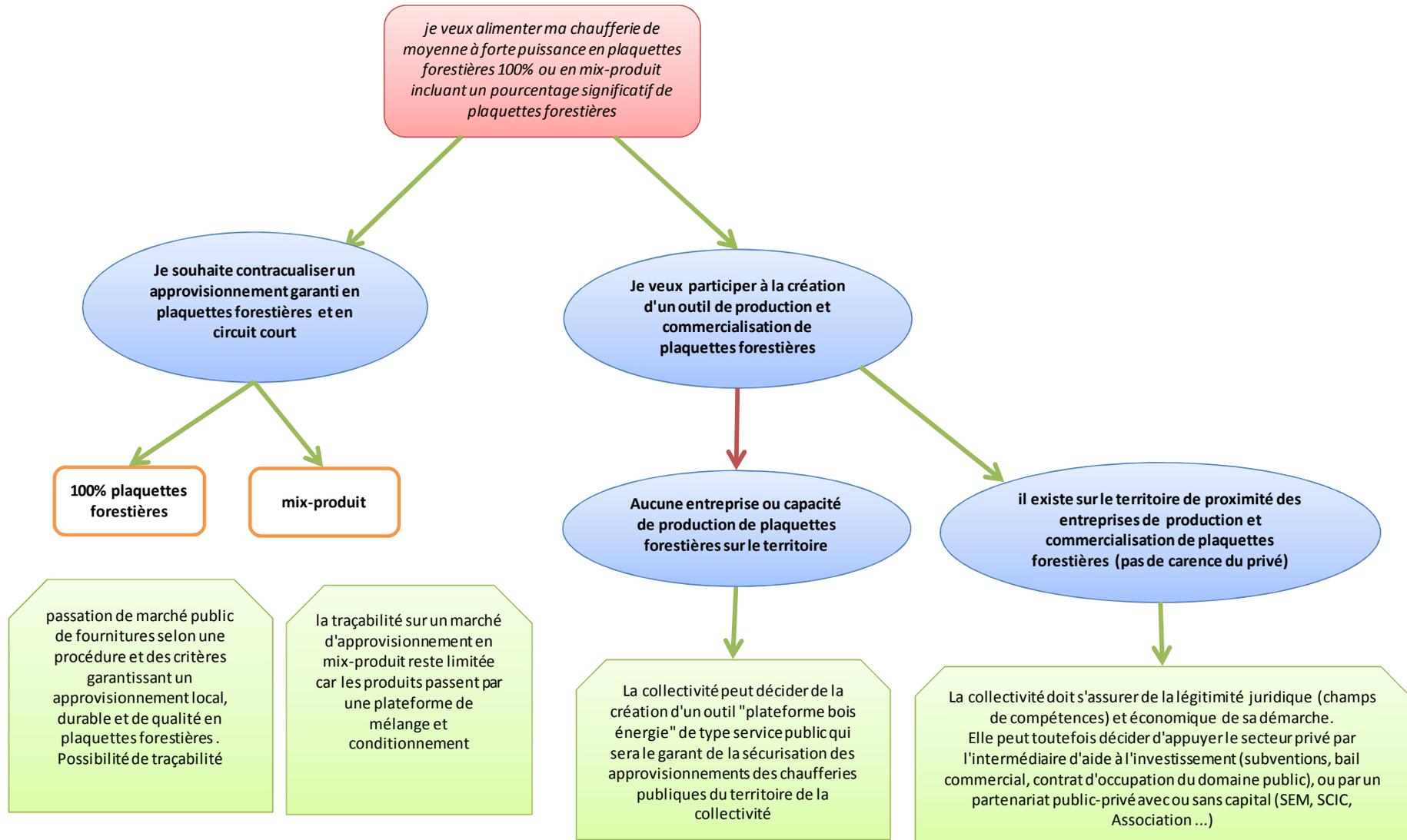
*Voir arbre d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage de chaufferies*

Dois-je m'équiper et construire une plateforme BE pour sécuriser l'approvisionnement en PF de ma chaufferie ?

je veux alimenter ma chaufferie de petite ou moyenne puissance en plaquettes forestières



ATTENTION: Les équipements et infrastructures de production de plaquettes forestières nécessitent des investissements qui ne sont jamais rentabilisés par la collectivité si elle alimente une seule chaufferie, qui plus est de petite puissance.



schémas types modes de gestion  
schémas types modes d'exploitation

## 6.4- La sécurisation technique et contractuelle des approvisionnements en chaufferie

### 6.4.1/ Comment intégrer le circuit court dans un marché public de fourniture ?

L'achat de bois énergie par les collectivités locales et l'Etat doit respecter le code des marchés publics, dans lequel est considéré comme « discriminant » et donc invalide tout critère de sélection assimilable à une forme quelconque de préférence locale. Toutefois, selon les caractéristiques de la personne publique, précisément selon si la collectivité est qualifiée d'« entité adjudicatrice » ou de « pouvoir adjudicateur », il est possible d'introduire une certaine préférence locale.

#### **La préférence locale appliquée aux collectivités « entités adjudicatrices » :**

- La qualité d'entité adjudicatrice est reconnue aux collectivités qui exercent une activité **d'opérateur de réseau** (article 135 du code des marchés publics transposant la directive 2004/17/CE) : la collectivité doit gérer en régie un réseau de chaleur avec vente de chaleur à des tiers.
- Dans ce cas, la collectivité « entité adjudicatrice » n'a aucune obligation de publicité et de mise en concurrence pour ses achats de combustibles bois énergie quel qu'en soit le montant (article 137 du CMP 2006) : tout en respectant les règles de consultation, elle peut donc se fournir selon une préférence locale de manière légale.

#### **La préférence locale appliquée aux collectivités « pouvoirs adjudicateurs » :**

- La collectivité possède une chaufferie bois dédiée ou un réseau de chaleur exploité par le biais d'un marché d'exploitation ou une délégation de service public, elle doit appliquer la première partie du code des marchés publics relative aux « pouvoirs adjudicateurs », c'est-à-dire une mise en concurrence de ses achats bois
- L'achat public doit s'effectuer dans le strict respect des principes généraux de la commande publique qui visent à la non-discrimination des candidats potentiels (liberté d'accès à la commande publique, égalité de traitement des candidats, transparence des procédures). Ces principes interdisent par principe toute préférence, notamment à un produit ou une entreprise locale.

***Si le montant estimé est inférieur au seuil de publicité et de procédure (article 29 du CMP)***, le marché peut être passé sans publicité ni mise en concurrence préalables (art 28 CMP) : Bien que le montant du seuil ait été révisé fin 2011 (15 000 €HT par décret n° 2011-1853 du 9 décembre 2011 modifiant certains seuils du code des marchés publics), cette modalité concerne principalement l'approvisionnement des petites chaufferies bois (soit par exemple moins de 200 tonnes/an à 80 € HT/tonne et beaucoup moins si le marché est pluriannuel).

***Si le montant estimé est supérieur à ce seuil*** (dans la majorité des cas), le marché public avec publicité et mise en concurrence est obligatoire. Il existe alors un panel de critères non discriminatoires, qui permet non pas de favoriser directement les entreprises ou les combustibles locaux, mais qui peut générer cette préférence locale.

Ces critères peuvent être classés en 4 catégories :

- le critère prix (en décomposant les coûts, notamment de transport),
- l'appel à un référentiel (qualité plaquette, gestion durable),
- le bilan carbone,
- les critères techniques et les conditions d'exécution (réactivité, délais, traçabilité du combustible,...).

Le code des marchés publics permet de fixer des spécifications prenant en compte la protection de l'environnement dans les marchés publics (articles 5, 6, 45, 50 et 53 du CMP).

Un acheteur public peut donc intégrer des caractéristiques environnementales dans un marché public par référence à des outils de gestion forestière (certificat de gestion durable, attestation de plan d'aménagement/gestion de la forêt, attestation d'adhésion à un code de bonnes pratiques,...)

*Exemple de facteurs d'émissions en kg eq C pour le calcul du bilan carbone transport*

type de camion	kg eq C/km	kg eq C/km
	vehicule vide	véhicule plein
3,5 tonnes	0,0995	0,0995
3,6 à 5 tonnes	0,1343	0,1933
5,1 à 6 tonnes	0,1053	0,1515
6,1 à 10,9 tonnes	0,1562	0,2247
11 à 19 tonnes	0,2054	0,2956
19,1 à 21 tonnes	0,2369	0,3410
plus de 21 tonnes	0,2979	0,4287
tracteurs routiers	0,2485	0,3575

*source : facteurs d'émissions Bilan carbone ADEME 2009*

Le bilan carbone est un des critères environnementaux les plus utilisés dans les marchés publics (article 53 du CMP)

La réglementation sanctionne la mise en place d'un bilan carbone qui serait discriminatoire. Mais il est possible de demander la réalisation d'un bilan carbone afin de comparer des process ou des prestations qui peuvent être réalisés de manière différente à partir du moment où cette demande n'est pas discriminatoire.

*exemples* : type de camion utilisé pour le transport, localisation de la flotte de camion, type de bois broyé et process,...

Renseignez-vous auprès de votre structure régionale d'animation de la filière bois énergie ou de votre assistant à maîtrise d'ouvrage

A savoir/ retour d'expériences :

- On peut imposer la nature du combustible dans un marché public, donc imposer la plaquette forestière. Mais on ne peut pas imposer la provenance de cette plaquette (ex : territoire du Pays ou dans un rayon de 30 km) : c'est contraire à la règle de libre concurrence.
- Le critère « bilan carbone » est à utiliser avec précaution, car d'une part il ne doit pas être discriminant entre les concurrents (donc bien explicité dans le cahier des charges) et d'autre part, mal utilisé, il peut se révéler contre-productif dans la sélection de combustibles locaux.

*Comparatif des facteurs d'émission de quelques biocombustibles solides*

	en kg eq C / tonne	en kg eq C/ MWh PCI		
	facteur émission	facteur émission	dont transformation	dont transport
plaquettes forestières à 30% humidité	13 kg eq C/t	4	3,5	0,5
écorces, sciures et broyats à 30% humidité	4 kg eq C/t	1,2	0,9	0,3
cultures énergétiques type TCR	30 kg eq C/t	9	8,6	0,4

(source : ADEME 2005-2006, *les principaux biocombustibles et leurs facteurs d'émissions*)

Ces données ont été calculées avec pour hypothèse une distance moyenne séparant le lieu de production du lieu d'utilisation, de 50 à 100 km.

Ce type de données reste toutefois une première approche, assez imprécise, notamment du fait de l'absence de prise en compte d'itinéraires technico-économiques de production des plaquettes forestières qui peuvent être assez différents en terme de bilan carbone (par exemple entre un dessouchage, une première éclaircie une coupe à blanc ou un défrichement).

Pour en savoir plus :

- Guide d'approvisionnement des collectivités en bois énergie des chaufferies de Rhône Alpes. Information des acteurs du bois énergie. Cahier n°1. FIBRA, ADEME, RAEE, Septembre 2009 (disponible sur site [www.fibra.net](http://www.fibra.net))
- Mobilisation du bois et structuration de filières bois énergie à l'échelle des territoires. Montages juridiques pour l'approvisionnement en plaquettes forestières : fiches descriptives. ADEME, Conseil Régional de Franche Comté, Communes Forestières de France Comté, 2009

6.4.2/ Contrat et mode de facturation

L'établissement d'un contrat de fourniture de combustible est une nécessité. Ses objectifs sont la sécurisation et la garantie pour les deux parties :

- Fiabilité de l’approvisionnement
- Engagement du fournisseur
- Sécurisation de la qualité du combustible bois livré
- Sécurisation du prix combustible rapporté à l’énergie fournie

A noter qu’un contrat d’approvisionnement prévisionnel sur 5 ans est demandé par l’ADEME pour le versement des subventions dans le cadre du Fonds Chaleur. Un contrat d’approvisionnement doit contenir au minimum les éléments suivants :

#### **Objet et durée du contrat**

Plusieurs années : assure une stabilité de prix au maître d’ouvrage et une garantie d’approvisionnement

Préciser si la reprise des cendres fait partie ou non du contrat

#### **Bases quantitatives**

Quantité annuelle en tonnes considérant un PCI défini ; Engagement sur mini / maxi et un cadencement selon les saisons

#### **Nature et caractéristiques du combustible (avec tolérance mini-maxi pour chaque paramètre)**

Humidité ; Granulométrie ; Taux de poussière (fines) ; Taux de cendres

#### **Modalités de livraison**

Fréquence, volume par livraison, modalités de dépotage (type de camion), conditions, réception

#### **Moyens de contrôle**

Bons de livraison, pesée, humidité, granulométrie

#### **Prix au MWh (entrée ou sortie), à la tonne ou au map**

Relevé de la quantité de chaleur produite par la chaudière bois ou bon de pesée du volume ensilé

#### **Indexation des prix : formule de révision**

#### **Pénalités, forces majeures**

**Attention** : selon l’importance du contrat (tonnage considéré) et de la chaufferie et le mode d’achat (cf ci-dessous), le contrat d’approvisionnement sera plus ou moins détaillé et complexe.

→ retrouver des contrats-types sur le site de l’ADEME ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)), du CIBE ([www.cibe.fr](http://www.cibe.fr)) ou de votre structure d’animation régionale du bois énergie (voir liste en annexe).

## **Modes d’achat du combustible : quelle unité, quelle fiabilité ?**

(cf chapitre 1.2 – qualité combustible et chapitre 2 – modes de vente)

- ➔ **Achat de combustible au volume (au m3 apparent plaquette ou map)** : présente l’avantage d’une variation faible du PCI quand l’humidité varie si l’essence et la granulométrie restent la

même. Utilisé pour les petites chaufferies, il est généralement déconseillé pour les chaufferies à forte consommation car le volume réel, même par livraison en camion à fond mouvant, est difficile à mesurer et nécessite de connaître la masse volumique, l'essence et le tassement dans le camion (forte variabilité du contenu énergétique selon le foisonnement et la granulométrie). Toutefois le contenu énergétique du map constitue un excellent indicateur de l'autonomie d'un silo, davantage que la tonne (voir chapitre 1.2).

*Ex : une livraison de 40 map par container de plaquettes de feuillus durs à un taux d'humidité mesuré autour de 30% va représenter une livraison de 1000 kWh/map x 40 = 40 MWh. Dans ce cas le prix est facturé au map sur la base de son taux d'humidité moyen contractuel mais rarement indexé à une variation d'humidité.*

- **Achat du combustible au poids (à la tonne PCI) :** l'achat à la tonne présente l'avantage de garantir le PCI livré puisqu'il est relativement indépendant du type de combustible (quelles que soient les essences et de leur masse), et surtout dépendant du taux d'humidité. C'est le mode d'achat le plus fréquemment rencontré sur les moyennes et grosses chaufferies. Ce mode d'achat est contraint par l'obligation d'une pesée et d'un contrôle de l'humidité.

*Ex : une livraison de 40 map par camion est pesée sur pont bascule et le ticket de pesée indique 11,5 tonnes. Le taux d'humidité sur brut mesuré avec le client ou après analyse par étuve affiche 26%. L'application de la formule de calcul du PCI à partir de l'humidité indique 3524 kWh/tonne pour le feuillu. Le contenu énergétique livré est donc de 3524 kWh x 11,5 tonnes = 40,5 MWh. Le prix payé par le client est généralement déterminé pour un taux d'humidité donné (par ex 85 €/tonne à 30% hum) avec une formule de réfaction ou d'augmentation du prix au prorata du PCI du combustible entrant, c'est-à-dire de l'humidité sur brut (selon la formule du chapitre 1.2).*

- **Achat du combustible à l'énergie fournie (MWh) :** en entrée chaudière il s'agit de mesurer la masse et la teneur en eau pour avoir le PCI comme pour l'achat à la tonne. Par contre en sortie chaudière, il s'agit de mesurer la chaleur produite par la chaudière, la vente du combustible étant facturée au MWh sortie chaudière. Cela nécessite un compteur de chaleur, une bonne conduite de la chaudière ainsi qu'une transparence de la relation (confiance) entre fournisseur et exploitant chauffagiste. L'intérêt réside dans une relative indépendance par rapport à la masse volumique et à l'humidité. Cependant le relevé de la quantité de chaleur produite par la chaudière bois dépend du rendement global de l'installation lequel dépend du rendement de la combustion, du rendement de la chaudière selon les appels de puissance, du taux d'utilisation annuelle de la chaufferie et de différentes pertes. Afin de fiabiliser les relations entre fournisseurs et clients, ce mode d'achat peut être avantageusement combiné à celui à la tonne.

Dans un certain nombre de cas, **l'achat se réalise à la tonne sèche (tonne anhydre) :** il s'agit d'un prix basé sur la tonne de combustible à 0% d'humidité (donc sur le PCI anhydre). Ce système est utilisé dans l'industrie de la trituration, ainsi que sur les chaufferies bois des pays voisins (Autriche, pays scandinaves,...), mais il n'est pas beaucoup pratiqué dans les chaufferies bois en France. Ici le client ne paie que le bois sec (anhydre), pas l'eau, avec une décote selon le taux d'humidité du bois.

*Ex : une livraison de 11 tonnes de bois à 26% d'humidité est effectuée avec un achat à la tonne sèche par exemple 100 €/tonne. S'agissant de feuillu, la tonne sèche est de 5MWh/t. 11 tonnes à 26% d'humidité ne font que 8,14 tonnes sèches soit 40,7 MWh. Cependant le prix payé à la tonne sèche d'un bois humide est inférieur au prix payé à la tonne sèche d'un bois plus sec pour tenir compte qu'une partie de la matière sera utilisée à fournir de la chaleur pour sécher le bois. Ainsi un prix fixé de 100 € à la tonne sèche pour un bois à 0% d'humidité, sera de 95€ environ à la tonne sèche pour un bois à 30% d'humidité. Le prix payé sera alors de 8,14 tonnes sèches x 95 € = 773,3 €.*

### 6.4.3/ Indexation contractuelle des prix du combustible

La formule de révision doit traduire la réalité économique de la structure de coût de production de la plaquette pour le fournisseur mais également les exigences de circuit court pour le combustible. Il existe de nombreuses formules basées sur des indices et des pondérations variés :

- Coût du transport routier (de 20 à 50%): IT
- Coût de la main d'œuvre dans les industries du bois (10 à 50%): IS
- Prix des énergies fossiles (produits énergétiques: de 10 à 50%): IPE
- Indice des prix à la consommation (10 à 40%): IE
- Prix des machines agricoles à bois (10 à 20%): IM
- Prix de la matière première bois (très rarement)

Le CIBE a établi en 2007 plusieurs formules d'indexation selon l'origine de la plaquette : plaquette forestière, plaquette de scierie, bois de recyclage, mix-produit. A titre indicatif, la formule de révision des prix proposé par le CIBE en 2007 pour la plaquette forestière est la suivante :

$$P_n = 0,15 \times \text{Prix matière bois} + P_o (0,15 + 0,25 \text{ IS}_n/\text{IS}_o + 0,2 \text{ IM}_n/\text{IM}_o + 0,25 \text{ IT}_n/\text{IT}_o)$$

Où  $P_o$  est le prix défini au démarrage du contrat et le prix bois est un prix matière de référence annuelle défini contractuellement. La structure d'approvisionnement et son organisation impactant fortement le prix des combustibles, il convient cependant de nuancer ce type de formule qui ne peut être universelle (notamment en ce qui concerne la pondération), pour un même type de combustible. Ces formules d'indexation posent plusieurs difficultés :

- Le suivi et l'évolution d'indices fiables et accessibles (ex : indices INSEE pouvant changer)
- La non-représentation de la forte variabilité régionale des prix
- L'absence jusqu'en 2011 de valeur d'un indice « matière » pour la plaquette forestière.

#### **Où trouver les différents indices utilisés dans la formule du CIBE ?**

- IS = indice concernant la masse salariale (Indice INSEE ICHTrev-TS, "Salaires du secteur privé et semi-public, indice trimestriel du salaire horaire brut de base de l'ensemble des ouvriers", identifiant INSEE 15674074, fréquence trimestrielle, base 100 décembre 2008)
- IM = indice sur le coût des machines (« Indice de prix d'achat des moyens de production agricole (IPAMPA) - Base 100 en 2000 - Machines et matériel de récolte » - Identifiant INSEE: 1570996, fréquence mensuelle) - <http://www.indices.insee.fr>
- IT = indice pour le transport routier (ex : Indice CNR « régional », source CNR, publication mensuelle ou l'indice IPTRM, indice de transport routier de marchandise SOeS). Pour l'indice transport CNR régional, choisir l'indice synthétique régional porteur pour courte

distance entre 3,5 tonnes et 19 tonnes et l'indice synthétique régional 40 tonnes pour des chargements plus importants sur longue distance. - <http://www.cnr.fr>

NB : les indices des prix du bois énergie relatifs aux produits plaquettes forestières et assimilées seront consultables dès 2012 sur le site internet Agreste du Ministère de l'Agriculture (MAAP), rubrique Conjoncture/Bois et dérivés : <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/>

Les nouvelles mercuriales des prix du bois énergie publiées par le CEEB depuis 2011 selon une nomenclature plus conforme à la réalité des produits (chapitre 4), font la distinction entre produits bruts et produits élaborés ; Ces mercuriales de prix BE permettent aujourd'hui de produire des formules d'indexation plus complètes, plus réalistes et surtout tenant mieux compte des coûts matières (voir site [www.cibe.fr](http://www.cibe.fr)). En effet la partie « matière » doit permettre de prendre en compte les enjeux de la filière forestière et d'impliquer davantage les propriétaires forestiers à l'évolution du prix du combustible bois.

3 démarches sont possibles pour la conception des formules d'indexation des combustibles bois déchetés pour l'énergie :

- Une **approche détaillée par décomposition des coûts analytiques de production du combustible livré** : plus proche de la réalité des coûts de la filière plaquette forestière sur le terrain, la formule peut être plus ou moins détaillée selon le type de combustible. C'est l'exemple initial de la formule CIBE 2007 adaptée au cas par cas où est intégré un indice matière « produit brut » issu des indices CEEB. Dans le cas d'un combustible issu de mélange, il est alors indexé sur les produits bruts le composant, selon l'assortiment ou le mélange constituant le produit final, et en tenant compte des variations possibles de qualité
- Une **approche de type marché du bois énergie par décomposition du combustible livré en produits bois énergie élaborés (indices produits CEEB)** : cette approche d'indexation est en correspondance avec la classification simplifiée des combustibles bois du CIBE. Elle cherche à indexer le combustible livré sur un indice matière relatif à la nature et à la qualité du combustible livré (à partir des indices produits élaborés du CEEB) ex : « plaquette forestière C1 ». Elle peut présenter plusieurs variantes selon si le produit élaboré est un mélange fixé ou non.
- Une **approche de type marché énergétique** qui consiste à indexer le combustible livré sur un seul indice « bois énergie de référence », indice composite qui peut être constitué de sous-indices reflétant la part de marché des différents combustibles bois ou catégories de produits dans la région concernée (par exemple la plaquette de scierie) et que l'on pondère selon le contexte du projet.

Un **indice transport devra être intégré dans toutes les approches**, particulièrement pour les 2 dernières qui ne font pas référence à des coûts analytiques décomposés.

Dans tous les cas il faut rappeler que la constitution d'une formule d'indexation dans un contrat d'approvisionnement reste un élément contractuel de négociation entre un fournisseur et son client : pour chaque contrat, la pertinence et les conditions d'utilisation de l'une ou l'autre de ces démarches devront être analysées.

#### 6.4.4/ Contrôle qualité

##### **Pourquoi un contrôle qualité du combustible livré ?**

Le bois étant un combustible solide naturel présentant des qualités physico-chimiques non homogènes (surtout lorsqu'il provient directement de la forêt), il est important d'effectuer des contrôles qualités sur le combustible livré. En effet de nombreux litiges sont encore observés entre un fournisseur et un client (gestionnaire ou maître d'ouvrage de chaufferies) lorsqu'apparaissent des dysfonctionnements en chaufferie. La qualité du combustible bois déchiqueté est la première accusée et il importe de lever toute ambiguïté dès le stade de la livraison. Ce contrôle qualité a donc pour objectif de :

- vérifier les qualités combustibles et leur conformité au contrat d'approvisionnement, et assurer ainsi une reconnaissance partagée entre le fournisseur et le client des qualités livrées (facilite la relation de confiance entre les deux parties) ;
- permettre une facturation sur la base de la qualité énergétique du combustible (PCI)
- permettre le calcul du rendement énergétique de la chaufferie par l'exploitant et vérifier le bon fonctionnement de l'installation à partir d'une connaissance exacte de la qualité combustible entrante.

##### **Paramètres contrôlés et coût du contrôle qualité :**

Les paramètres contrôlés sont les paramètres normatifs (voir chapitre 1), à savoir, pour la plaquette forestière :

- la granulométrie (incluant le taux de fines)
- le taux d'humidité sur brut
- le taux cendre, c'est-à-dire la teneur en matières minérales

La masse volumique apparente (kg/map) ainsi que le pouvoir calorifique (PCI) sont des paramètres informatifs : Ils sont cependant également mesurés ou calculés par les gestionnaires de chaufferie car ils constituent des éléments importants d'information sur l'efficacité de la gestion des livraisons et sur le rendement de leur installation.

Le coût du contrôle qualité est variable selon le besoin de précision dans le niveau de contrôle (équipement en appareils de mesures, temps passé ou appel à une prestation), les caractéristiques à contrôler et les volumes livrés annuellement. Pour une chaufferie de moyenne à forte puissance, on considère qu'il s'élève à environ 1 €/MWh.

##### **Qui doit faire ce contrôle ? avec quelle fréquence ?**

Dans le cas de petite à moyenne chaufferie bois sans contrat d'exploitation :

- Le maître d'ouvrage réalise lui-même ses contrôles ou peut se faire assister de la structure d'animation bois énergie de son département. Dans certains cas, lorsqu'une démarche de charte qualité a été mis en place avec les professionnels de la fourniture de combustibles, ceux-ci sont contrôlés directement sur leur site de production (ex : charte qualité CBQ+ avec certification en Rhône Alpes).

Dans le cas de chaufferie de moyenne à forte puissance en gestion par un chauffagiste :

- L'exploitant chauffagiste réalise ce contrôle qualité lors des livraisons sur site, car c'est lui qui achète le combustible bois (cas des délégations de service public) ou qui a la responsabilité de la réception du combustible (cas des marchés d'exploitation et maintenance de chaufferie). En général celui-ci se dote de l'équipement nécessaire pour mesurer et suivre les principaux paramètres physico-chimiques du combustible. Le fournisseur de combustibles bois peut, soit faire entièrement confiance à son client quant aux résultats des mesures effectuées par celui-ci et mettre en place des mesures contradictoires avec prises d'échantillons témoins (en cas de litige), soit effectuer de son côté une partie du contrôle qualité (en général le taux d'humidité) et le mentionner sur les bons de livraisons afin de confronter les mesures.

L'intensité et la fréquence des mesures sont variables selon le niveau de précision souhaité. En général le contrôle du taux d'humidité est effectué à chaque livraison pour les chaufferies de forte puissance. Ce peut être également le cas pour les petites chaufferies dans la mesure où le nombre de livraison est limité dans la saison. La granulométrie étant assez fortement dépendante des équipements du producteur, on estime généralement que celle-ci varie peu.

### **Le problème de l'échantillonnage**

La caractérisation du combustible bois déchiqueté nécessite un échantillonnage de la matière bois livrée afin d'être représentatif de la qualité moyenne et de l'hétérogénéité des lots de combustibles bois déchiquetés livrés. Cet échantillonnage, qui précède les mesures, peut se réaliser chez le fournisseur lorsque ce dernier effectue lui-même son contrôle. Il se réalise le plus souvent au moment de la livraison en chaufferie, sortie camion. L'échantillon doit comporter plusieurs prélèvements dans le volume livré puis être réduit de manière homogène pour permettre les mesures sur site ou l'envoi à un laboratoire. Bien que normalisée, cette étape représente une réelle contrainte en temps et en manipulation selon le mode de livraison adopté.

### **Comment mesurer le taux d'humidité ?**

Plusieurs technologies sont disponibles sur le marché. Seule la mesure à l'étuve est normalisée mais elle demande environ 48h pour obtenir les résultats de l'échantillon mesuré. En l'absence d'étuve, le four micro-onde est parfois utilisé selon la même technique (pesée et dessiccation). Les autres techniques à lecture directe (méthode résistive, méthode capacitive) n'ont pas la même fiabilité (plage d'humidité et/ou de granulométrie) mais peuvent être jugées suffisantes dans un certain nombre de cas (petites chaufferies notamment). Dans tous les cas elles doivent être étalonnées selon le combustible entrant. De nouvelles technologies (infra-rouge, autre) sont en cours d'expérimentation afin de fiabiliser les relations entre fournisseurs et clients et permettre une connaissance immédiate du taux d'humidité.

Quelques exemples d'appareils de mesure du taux d'humidité :



*Etuve normalisée  
24 à 48 h séchage  
et pesée*



*Humidimètre  
Méthode capacitive  
Lecture immédiate*

Four micro-onde et balance  
séchage et double pesée



Seau autrichien  
lecture directe méthode capacitive



Sonde à pointe  
lecture directe méthode résistive



Systeme infra-rouge de mesure  
d'humidité sur tapis roulant de  
plaquettes de bois (photo : EDIT  
PC). Adapté aux grosses unités  
en alimentation continue.

### Comment mesurer la granulométrie ?

La granulométrie se définit par la taille des particules de la fraction principale (P), la taille des particules composant la fraction grossière (G) et le pourcentage en masse de la fraction fine < 1 mm (voir chapitre 1). Elle se mesure à l'aide de plusieurs tamis ou d'un système de tamis oscillants possédant des cribles circulaires correspondant à la classe de granulométrie considérée. Attention cette méthode entraîne une sous-estimation de la granulométrie des plaquettes, d'autant plus important que le rapport longueur sur largeur est grand. Pour réduire les erreurs, il peut être utilisé un tamis rotatif.

Tamis simple



Tamis oscillant



Tamis rotatif

### Faut-il faire une analyse laboratoire de PCI réel du combustible livré ?

Bien que le PCI puisse se calculer (de manière estimative) avec le taux d'humidité (voir la formule au chapitre 1), la composition physico-chimique et particulièrement le taux d'éléments minéraux dans le combustible peut avoir une influence sur le PCI. C'est pourquoi il est conseillé, *a minima* en début de contrat d'approvisionnement de réaliser une analyse PCS en laboratoire (à la bombe calorimétrique) afin de caractériser le combustible livré (le PCI est déduit du PCS). Malgré le coût laboratoire, il peut se révéler nécessaire de reconduire régulièrement cette mesure de PCI réel dans le cas de

chaufferies à forte consommation et de combustible susceptible de fluctuation dans la composition (mix-produit).

#### **La gestion des cendres sous foyer : peuvent-elles revenir au sol et en forêt ?**

Lorsqu'il s'agit de cendres sous foyer issues de la combustion de plaquettes forestières, celles-ci ont valeur d'amendements agricoles minéro-basiques ; en effet elles contiennent un ensemble de minéraux tels que : *calcium (CaO)*, *potassium (K<sub>2</sub>O)*, *silicium*, *magnésium*, *phosphore*, *azote*. Cependant il existe un flou réglementaire quant à leur valorisation avec 2 voies possibles selon **l'art. L255-1 du code rural sur le retour au sol des matières fertilisantes**. La logique « produit » qui permettrait d'assimiler les cendres à la catégorie « engrais composé P, K » de la norme NF U 42001 avec la dénomination « cendres végétales » mais nécessite une procédure d'homologation. La logique « déchets » qui fait dépendre sa valorisation d'une autorisation d'épandage dans le cadre du règlement sanitaire départemental s'il s'agit d'une installation < 2MW. Dans tous les cas une analyse laboratoire est indispensable avant toute utilisation.

Plusieurs chaufferies bois ont ainsi passé des conventions de reprises des cendres avec des groupements d'agriculteurs en prenant en charge des analyses laboratoires régulières en vue d'un épandage dans les champs.

Par contre l'épandage en forêt est peu pratiqué en France : des études sont actuellement en cours pour analyser la faisabilité de leur retour au sol. Un premier point a été réalisé par l'ADEME sur ce sujet en 2005 (Gestion et valorisation des cendres de chaufferies bois : Epandage en forêt. Aquasol, Solagro ; ADEME Décembre 2005) faisant ressortir les intérêts et les contraintes techniques et financières à partir de l'exemple de la Suède et de la Finlande.

NB : selon la nomenclature de la biomasse utilisée en combustion, l'arrêté du 25/07/1997 définit la rubrique réglementaire dont dépend l'installation (chaufferie). Les plaquettes forestières font partie de la catégorie « biomasse propre » et par conséquent les chaufferies bois utilisant ce combustible relèvent de la rubrique 2910 A. Selon la gamme de puissance, un régime d'autorisation (> 20 MW) ou de déclaration (entre 2 et 20 MW) est défini. Ce classement d'installation est aujourd'hui en cours de modification ainsi que les régimes associés.

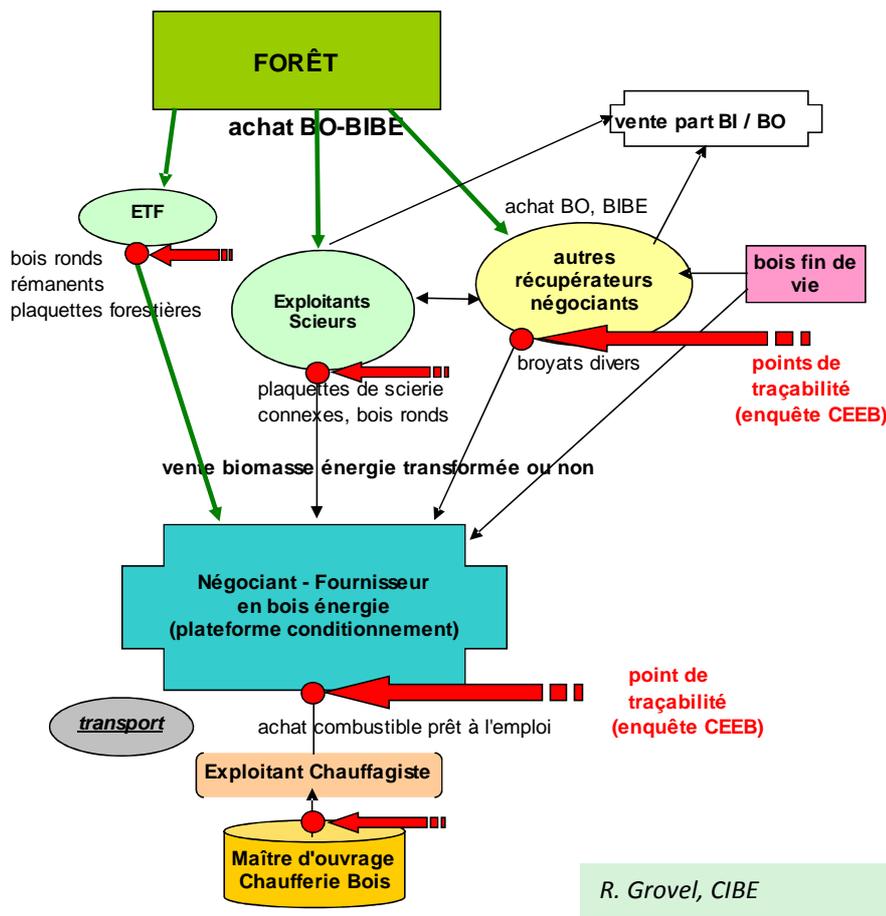
#### **Pour aller plus loin :**

- Les combustibles bois : méthodes de caractérisation des produits. ADEME, Région Rhône Alpes, FIBRA, février 2010. 6 p (disponible sur [www.fibra.net](http://www.fibra.net) )
- Référentiel 2008-1-PF, référentiel combustible bois énergie : les plaquettes forestières Définition et exigences, 25 avril 2008. ADEME, FCBA
- Validation des méthodes de mesures des caractéristiques des combustibles bois déchiquetés. Mars 2002. CRITT Bois, Fibois 07-26. ADEME
- Mesure des caractéristiques des combustibles bois. Juillet 2001 CRITT Bois, Fibois 07-26, FCBA. ADEME
- norme NF EN14774-1 à 3 Biocombustibles solides : détermination de la teneur en humidité, méthode par séchage à l'étuve. Mars 2010. ANFOR
- norme NF EN 14918 Biocombustibles solides : détermination du pouvoir calorifique. Mars 2010. ANFOR

- norme NF EN 14775 Biocombustibles solides : méthode de détermination de la teneur en cendres. Mars 2010. AFNOR
- norme NF EN15103 Biocombustibles solides : détermination de la masse volumique apparente. Mars 2010. AFNOR

### 6.4.5/ Le suivi et la traçabilité des bois forestiers en chaufferie bois

La traçabilité des combustibles forestiers est indispensable à moyen terme si l'on veut connaître le suivi des flux de bois pour l'énergie à partir de la forêt et l'impact du développement des chaufferies bois sur la gestion et l'exploitation des forêts.



R. Grovel, CIBE

Cette traçabilité des combustibles forestiers nécessite de disposer d'une connaissance fine de l'organisation des approvisionnements et de la chaîne logistique de fourniture de combustibles bois tels que décrits dans les plans d'approvisionnement ou le contrat d'une chaufferie, surtout lorsqu'il s'agit de mix-produit où des ruptures de charge et de logistique sont observées.

Une bonne traçabilité doit permettre :

- L'identification des fournisseurs de rang 1 (principal) et de rang 2 (fournisseur secondaire ou complémentaire)
- Un descriptif de l'organisation de l'approvisionnement avec les circuits et flux de matière et les points de ruptures de traçabilité (plateforme de mélanges)
- L'identification des points d'enquête et/ou de contrôle pour les audits.
- le contrôle et le test des outils de fiabilisation et de traçabilité des approvisionnements indiqués dans les plans d'approvisionnement : niveau de contractualisation et d'engagement des fournisseurs, contenu, moyens de suivi-vérification, outils de contrôle (pesée, humidité, nature, origine, sources des données), ...

Le principal outil de traçabilité et de recollement entre les informations fournisseurs et les informations clients est le bon de livraison et la lettre de voiture. Cet outil est indispensable à un suivi et une traçabilité mais ne permet pas de recoller les flux de matière avec l’exploitation des forêts. Une bonne traçabilité demande donc une pleine coopération entre les acteurs de l’amont de la forêt (propriétaires et gestionnaires), ceux de l’exploitation et de la production de bois, et les utilisateurs du bois énergie ; c’est l’objet des premiers observatoires régionaux du bois énergie qui voient le jour en région.

*Exemple de bon de livraison pour une bonne traçabilité de la plaquette forestière*

**BON DE LIVRAISON**

**NUMERO BL:**

<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">date de la livraison</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Nom du fournisseur combustible</td> <td><input style="width: 95%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Lieu de chargement</td> <td><input style="width: 95%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>lieu de destination (chaufferie)</td> <td><input style="width: 95%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>type de matière (cocher)</td> <td style="text-align: center;"> <table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">PF</td> <td style="padding: 0 5px;">BR</td> <td style="padding: 0 5px;">MB</td> <td style="padding: 0 5px;">CIB</td> <td style="padding: 0 5px;">BFV</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	date de la livraison	<input style="width: 60%;" type="text"/>	Nom du fournisseur combustible	<input style="width: 95%;" type="text"/>	Lieu de chargement	<input style="width: 95%;" type="text"/>	lieu de destination (chaufferie)	<input style="width: 95%;" type="text"/>	type de matière (cocher)	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">PF</td> <td style="padding: 0 5px;">BR</td> <td style="padding: 0 5px;">MB</td> <td style="padding: 0 5px;">CIB</td> <td style="padding: 0 5px;">BFV</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	PF	BR	MB	CIB	BFV	<input type="checkbox"/>	<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">nom du transporteur</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>kilométrage départ</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>kilométrage arrivée</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>immatriculation camion</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/></td> </tr> </table>	nom du transporteur	<input style="width: 60%;" type="text"/>	kilométrage départ	<input style="width: 60%;" type="text"/>	kilométrage arrivée	<input style="width: 60%;" type="text"/>	immatriculation camion	<input style="width: 60%;" type="text"/>				
date de la livraison	<input style="width: 60%;" type="text"/>																												
Nom du fournisseur combustible	<input style="width: 95%;" type="text"/>																												
Lieu de chargement	<input style="width: 95%;" type="text"/>																												
lieu de destination (chaufferie)	<input style="width: 95%;" type="text"/>																												
type de matière (cocher)	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">PF</td> <td style="padding: 0 5px;">BR</td> <td style="padding: 0 5px;">MB</td> <td style="padding: 0 5px;">CIB</td> <td style="padding: 0 5px;">BFV</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	PF	BR	MB	CIB	BFV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
PF	BR	MB	CIB	BFV																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																									
nom du transporteur	<input style="width: 60%;" type="text"/>																												
kilométrage départ	<input style="width: 60%;" type="text"/>																												
kilométrage arrivée	<input style="width: 60%;" type="text"/>																												
immatriculation camion	<input style="width: 60%;" type="text"/>																												

<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">quantité livrée:</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>unité (tonne, tonne sèche, map, m3)</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>PCI livré (en MWh)</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>humidité sur brut du produit (%)</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>moyen de mesure humidité (cocher)</td> <td style="text-align: center;"> <table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">lecture directe</td> <td style="padding: 0 5px;">étuve</td> <td style="padding: 0 5px;">micro-onde</td> <td style="padding: 0 5px;">estimation</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>part de plaquette forestière (PF)</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/> en % de la quantité livrée</td> </tr> </table>	quantité livrée:	<input style="width: 60%;" type="text"/>	unité (tonne, tonne sèche, map, m3)	<input style="width: 60%;" type="text"/>	PCI livré (en MWh)	<input style="width: 60%;" type="text"/>	humidité sur brut du produit (%)	<input style="width: 60%;" type="text"/>	moyen de mesure humidité (cocher)	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">lecture directe</td> <td style="padding: 0 5px;">étuve</td> <td style="padding: 0 5px;">micro-onde</td> <td style="padding: 0 5px;">estimation</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	lecture directe	étuve	micro-onde	estimation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	part de plaquette forestière (PF)	<input style="width: 60%;" type="text"/> en % de la quantité livrée	<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">provenance forêt</td> <td style="text-align: center;"> <table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">publique</td> <td style="padding: 0 5px;">privée</td> <td style="padding: 0 5px;">inconnu</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>quantité de rémanents</td> <td><input style="width: 60%;" type="text"/> % Menus Bois</td> </tr> <tr> <td>certification</td> <td style="text-align: center;"> <table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">OUI</td> <td style="padding: 0 5px;">NON</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	provenance forêt	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">publique</td> <td style="padding: 0 5px;">privée</td> <td style="padding: 0 5px;">inconnu</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	publique	privée	inconnu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	quantité de rémanents	<input style="width: 60%;" type="text"/> % Menus Bois	certification	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">OUI</td> <td style="padding: 0 5px;">NON</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	OUI	NON	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
quantité livrée:	<input style="width: 60%;" type="text"/>																																				
unité (tonne, tonne sèche, map, m3)	<input style="width: 60%;" type="text"/>																																				
PCI livré (en MWh)	<input style="width: 60%;" type="text"/>																																				
humidité sur brut du produit (%)	<input style="width: 60%;" type="text"/>																																				
moyen de mesure humidité (cocher)	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">lecture directe</td> <td style="padding: 0 5px;">étuve</td> <td style="padding: 0 5px;">micro-onde</td> <td style="padding: 0 5px;">estimation</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	lecture directe	étuve	micro-onde	estimation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																												
lecture directe	étuve	micro-onde	estimation																																		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																		
part de plaquette forestière (PF)	<input style="width: 60%;" type="text"/> en % de la quantité livrée																																				
provenance forêt	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">publique</td> <td style="padding: 0 5px;">privée</td> <td style="padding: 0 5px;">inconnu</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	publique	privée	inconnu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																														
publique	privée	inconnu																																			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																			
quantité de rémanents	<input style="width: 60%;" type="text"/> % Menus Bois																																				
certification	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">OUI</td> <td style="padding: 0 5px;">NON</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	OUI	NON	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
OUI	NON																																				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																				

Date et visa du fournisseur:	Date et visa du transporteur:	Date et visa du client:
------------------------------	-------------------------------	-------------------------

**A savoir :**

A compter de 2012, l’ADEME met en place un dispositif d’audit aléatoire d’approvisionnement de chaufferie bois permettant de contrôler que les chaufferies consomment plus de 50% (en PCI) de plaquettes forestières dans leur approvisionnement. Cet audit est basé sur un principe de bilan combustible et d’états des approvisionnements selon des exigences et des référentiels établis en 2011 :

- Exigences applicables aux fournisseurs de biomasse d’origine forestières (plaquettes forestières, connexes des industries du bois et produits bois en fin de vie) des installations subventionnées. Mai 2011. ADEME, MEDDTL.
- Référentiel pour l’élaboration d’un bilan combustible biomasse - produits d’origine forestière (plaquettes forestières, connexes des industries du bois et produits bois en fin de vie). Mai 2011, ADEME, MEDDTL.