

FAURE Gaëlle
MARQUET Louis
MUNTEAN Andreea

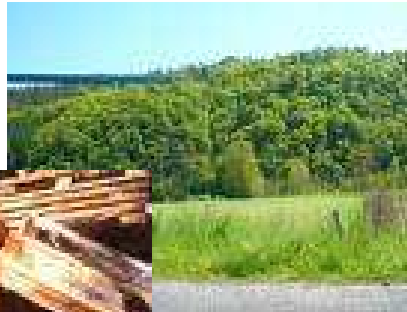
2 MIC
2 IMACS
2 ICBE



Module d'ouverture Bois

THEME 3 **BILAN CARBONE ET BOIS EN FIN DE VIE**

*Quelles sont les utilisations du bois ? Quelles durées de vie ?
Comment peut-on valoriser le bois en fin de vie ?
En quoi le recyclage peut-il améliorer la séquestration du carbone ?*



Tuteur : M. DRENOU Christophe

Soutenance : le 18 juin 2007



Année scolaire : 2006-2007

SOMMAIRE

<u>Introduction</u>	<u>4</u>
I. <u>Durée de vie d'utilisation des différents types de bois</u>	<u>5</u>
1. Les diverses utilisations du bois.....	5
2. Les altérations et attaques du bois.....	6
3. Classification des bois.....	6
4. L'enjeu environnemental du bois en fin de vie.....	8
II. <u>Recyclage : que faire du bois en fin de vie ?</u>	<u>9</u>
1. Que sont les bois en fin de vie ?.....	9
2. Quelques généralités sur le recyclage des matériaux bois.....	10
3. Réparation et réutilisation : les palettes.....	11
4. La valorisation énergétique.....	12
5. La valorisation matière.....	15
6. Les bois traités.....	17
III. <u>Bilan carbone du bois et recyclage</u>	<u>18</u>
1. La séquestration du carbone en forêt.....	18
2. La forêt française : un important puit de carbone ?.....	19
3. Recyclage du bois en fin de vie et bilan carbone.....	20
4. Conclusion sur la séquestration du carbone par le matériau bois.....	22
<u>Conclusion</u>	<u>23</u>
<u>Bibliographie</u>	<u>24</u>

Introduction

Le bois occupe aujourd'hui une place prépondérante dans le monde de la construction et de l'énergie, et il risque de se développer encore, du fait de l'importance croissante des énergies renouvelables et de la facilité avec laquelle le bois peut être exploité.

Cependant, bien que le bois possède de nombreuses propriétés recherchées dans le monde actuel, aussi bien mécaniques qu'écologiques, certains autres aspects du matériau peuvent poser problème. En effet, le bois est vulnérable à des attaques extérieures, comme les insectes xylophages, ou les moisissures en cas de trop forte humidité.

Cette vulnérabilité, même affaiblie par des traitements, met en évidence le problème de la longévité de ce matériau. Même si elle dépend de l'essence du bois, de sa provenance, de son utilisation, la longueur de vie du bois reste limitée. De ce fait, on peut comprendre qu'un sujet soit primordial dans l'exploitation du bois : le bois en fin de vie et le recyclage.

Dans l'étude de cette étape, nous étudierons les différents types de recyclage du bois (aussi appelé valorisation), selon les différents types de déchets. Ainsi découvrirons-nous les différentes filiales de la valorisation énergétique et de la valorisation matière, en évoquant bien sûr le problème des bois traités qui nécessitent des précautions particulières.

Ensuite, pour bien comprendre l'intérêt environnemental de cette valorisation du bois en fin de vie, nous étudierons le bilan carbone des forêts, de la valorisation énergétique, de la valorisation matière et comprendrons ainsi le rôle que le bois peut jouer dans la régulation du taux de CO₂ dans l'air et l'influence qu'aurait une augmentation de l'exploitation des forêts.

Mais avant toute chose, les processus de valorisation dépendant en grande partie de l'utilisation et des aspects du bois à recycler, nous verrons donc les différents types d'utilisation du bois, les altérations qui peuvent toucher le matériau bois, et enfin le classement des bois, qui a été instauré selon leur durée de vie en fonction de leur vulnérabilité et de leur environnement.

I - Durée de vie d'utilisation des différents types de bois

Le bois est un élément qui se caractérise par une multitude de variétés, qui vont définir ses propriétés. Ainsi on ne peut pas considérer le bois comme un matériau prédéfini, les caractéristiques de ce dernier vont en effet dépendre de son essence, de sa provenance, et bien sûr de la forme sous laquelle il a été exploité, c'est-à-dire son utilisation. Parmi ces caractéristiques on s'intéressera surtout à la durée de vie de ce bois, qui va dépendre de l'environnement d'utilisation, la forme de transformation

1. Les diverses utilisations du bois

Le bois est employé à de multiples usages et sous de multiples formes, il constituait, et de plus en plus reprend, une place d'honneur dans les matériaux de base. C'est pourquoi on le retrouve au foyer, dans l'industrie, et au quotidien sous de nombreuses formes :

a. Bois brut

Sous forme de poteaux et rondins, après sciage généralement.

b. Bois énergie

L'utilisation du bois comme combustible est sa première utilisation au niveau mondial : il apporte 3000 calories par kg (1 stère de bois équivaut à 0,147 tonne équivalent-pétrole).
Bois de chauffage : 1 797 millions de m³ (2003, source FAO)

c. Bois d'œuvre

Bois de structure: charpentes ... Ces bois peuvent être bruts de sciage ou rabotés.
Sciages bruts, bois à usage domestique : coffrages à béton, échafaudages, palettes, emballages...
Bois rabotés : lambris, parquets, menuiserie
Placages: Bois déroulés ou tranchés. Essences fines ébénisterie...
Bois d'ingénierie, bois de la seconde transformation : lamellé-collé, reconstitué, abouté, contreplaqué, laminé, poutrelle en "I"...
Bois de marine, aéronautiques (mâts, structures, puis contreplacage...)

d. Bois d'industrie

Bois de mines, poteaux télégraphiques et autres...
Bois de trituration : pâte à papier, panneaux de fibres et de particules, agglomérés, laine de bois...

Produits industrialisés:

Le bois peut être transformé en éléments industrialisés tels que:

- Les éléments de structure: Bois lamellé-collé, bois contrecollés, bois aboutés, poutres..
- Les panneaux: Panneaux de grande particules OSB, Panneaux de particule ou aggloméré, panneaux de fibre moyenne densité (MDF) ou haute densité (HDF) et bien d'autres encore...

Malgré la longévité effective de certains bois, comme en témoignent de nombreuses charpentes d'anciennes constructions, le bois n'en reste pas moins un matériau biodégradable. La durabilité des bois dépend de quelques paramètres environnementaux ou de composition, comme l'humidité de l'atmosphère ou tout simplement les essences de bois.

On peut remarquer quelques essences plus durables comme le cèdre, le séquoïa, le mélèze, le chêne, le châtaignier... et d'autres moins durables : le sapin, l'épicéa, le hêtre, le peuplier, le tilleul... Mais la plupart des bois sont en fait soumis à des attaques « extérieures », de différentes natures, qui nuisent au bon vieillissement de ces derniers.

2. Les altérations et attaques du bois

Les champignons attaquent le bois lorsqu'il contient plus de 20% d'humidité. Un bois sec (<20 % d'humidité) n'est jamais attaqué par les champignons.

Beaucoup de bois résineux et feuillus bleussent lorsqu'ils restent exposés aux intempéries. Cette altération est uniquement esthétique et n'altère en rien les propriétés du bois attaqué.

En revanche, la pourriture blanche, la pourriture cubique (aspect de bois calciné brun) ou la pourriture brune provoquent des altérations mécaniques du bois.

D'autres dégradations du bois peuvent poser problèmes comme les attaques d'insectes xylophages, les défauts naturels du bois (nœuds, excentricités du cœur, les poches de résine...). Ces défauts fragilisent les propriétés mécaniques et de résistance du bois, ce qui met en évidence un problème récurrent dans le domaine sylvicole : les bois en fin de vie, et leur valorisation. On a créé une classification des bois selon leurs caractéristiques propres aux essences, et leurs lieux d'utilisations privilégiés, afin de bien différencier les différents problèmes que peuvent rencontrer les bois, ainsi que leur durée de vie propre.

3. Classification des bois

La résistance du bois parfait (duramen) aux agents d'altération biologique est variable selon les essences, alors que celle de l'aubier est généralement nulle. Lorsque la durabilité naturelle est insuffisante par rapport aux risques encourus, seule l'application d'un traitement de préservation pourra assurer la protection nécessaire, à condition que la pénétration des produits de traitement dans le bois soit suffisante.

Cinq classes de risques déterminent la situation du bois en service et l'évaluation des risques d'altérations biologiques :

Classes de risques	Situation en service	Exemples d'emplois	Risques biologiques
. Classe 01	Bois toujours sec Humidité inférieure à 18 %	Parquets, lambris, escaliers, menuiseries et aménagements	Insectes Termites dans les régions infestées

Classes de risques	Situation en service	Exemples d'emplois	Risques biologiques
. Classe 02	Bois sec mais dont la surface est humidifiée temporairement ou accidentellement Humidité des bois en moyenne inférieur à 18%	Charpente, ossatures correctement ventilées en service	Insectes Champignons de surface Termites dans les régions infestées
. Classe 03	Bois soumis à des alternances humidité/sécheresse Humidité fréquemment supérieure à 20 %	Toutes pièces de construction ou menuiseries extérieures soumises à la pluie : bardages, fenêtres,...	Pourriture Insectes Termites dans les régions infestées
. Classe 04	Bois à une humidité toujours supérieure à 20 %	Bois horizontaux en extérieur (balcons, coursives,...) et bois en contact avec le sol ou une source d'humidification prolongée ou permanente	Pourriture Insectes Termites dans les régions infestées
. Classe 05	Bois en contact permanent avec l'eau de mer	Piliers, pontons, bois immergés	Pourriture Insectes Térébrants marins

Cette classification permet de fixer des objectifs de résistance et de longévité des bois nécessaires à l'emploi qui en sera fait. C'est dans ce but que de nombreux procédés se sont développés, des procédés de traitement du bois (Séchage, hydrophobation...). Ces traitements allongent la durée de vie des bois en extérieurs particulièrement, en leur offrant une plus grande résistivité aux attaques diverses.

Exemple de traitement : l'hydrophobation

Composé selon les espèces de 40 à 50% de cellulose, 25 à 30% d'hémicellulose et 20% de lignine, le matériau bois est particulièrement sensible à l'humidité, aux champignons lignivores et aux insectes xylophages, comme indiqué précédemment. Un traitement à base d'anhydride mixte, produit obtenu par réaction chimique entre des dérivés d'huiles de colza ou de tournesol (acides gras) et l'anhydride acétique, a été développé. Ce produit agit par « greffage chimique » puisque le produit se fixe aux fibres de cellulose. Le bois est ainsi protégé de l'humidité et des agressions extérieures et ne nécessite plus d'entretien. L'imprégnation du bois par l'anhydride mixte se déroule en deux étapes : d'abord au sein d'un autoclave, où le vide et la pression permettent sa pénétration au cœur du bois, puis dans un bac où le bois est trempé dans un bain d'anhydride chauffé à 140°C pour

favoriser le greffage du produit sur le bois. Ce traitement, à base de produits naturels ne produit pas de sous-produit toxique et ne contamine pas le bois, traité naturellement.



Les bienfaits de tels traitements sont remarquables sur la photo, et c'est pourquoi d'autres traitements un peu moins compliqués se développent, comme le Thermo-traitement, permettant d'allonger la vie des bois utilisés, et leur capacité de lutte contre les agressions animales, végétales (champignons, insectes..) ou climatiques.

Ces Manœuvres pour palier à la rapidité des dégradations ne donnent cependant pas au bois une éternité, et ne font que repousser un peu les déformations du bois ou limiter le besoin d'entretien. De ce fait, le problème des bois en fin de vie se pose toujours, et le traitement de ces bois sur leur fin occupe une place importante dans les réflexions actuelles car il représente un réel enjeu pour l'environnement.

4. L'enjeu environnemental du bois en fin de vie

Le bois est un matériau fondamental pour le développement durable, il constitue une ressource renouvelable. Un arbre se régénère en 100 ans environ. Un litre de pétrole brut, utilisé mettra plusieurs milliers d'années à se régénérer, par contre. Cette différence plutôt remarquable explique d'elle-même l'intérêt et le caractère renouvelable du bois.

Les deux avantages écologiques principaux du bois sont:

Premièrement, le bois présente une alternative pour absorber le dioxyde de carbone (gaz à effet de serre responsable du changement climatique de la planète) en surplus dans notre atmosphère. Une tonne de bois stocke une tonne de CO₂. Plus nous consommons de bois (hors bois énergie - en brûlant le bois réémet du CO₂) plus nous stockons de CO₂ (à conditions de gérer convenablement les forêts). Mais nous verrons ceci plus en détail plus tard...

Deuxièmement, le bois est un matériau qui demande très peu d'énergie pour sa production. Pour obtenir du bois nul besoin d'engin lourd ni de chauffage. L'extraction en forêt s'avère assez facile, tout comme son exploitation. Alors que par exemple, le ciment et l'acier vont demander une extraction minière et un chauffage lourd pour leur élaboration.

Ces deux aspects font du bois une des matières premières les plus écologiques.

Cependant, pour exploiter au maximum ces caractéristiques écologiques, il faut se poser la question de la valorisation de ce bois en fin de vie. En effet, comme expliqué plus haut, le véritable enjeu écologique du bois va en fait être sa valorisation en fin de vie.

L'enjeu est de redonner une seconde vie au bois, en le transformant en gardant le CO₂ stocké dans les fibres. Quelle est alors la meilleure solution pour ces bois en fin de vie ? Différents procédés de valorisation existent.

II- Bois de rebut et recyclage : que faire du bois en fin de vie ?

Comme nous avons pu le voir précédemment, les matériaux bois n'ont pas une durée de vie éternelle... A l'exception de l'exploitation forestière, la production annuelle des déchets de bois et de sous-produits du bois s'élève à plus de 10 millions de t. A elles seules, les scieries génèrent 60 % de ce tonnage. On comprend donc l'importance de la question de la valorisation du bois...

1. Que sont les bois en fin de vie ?

Nous allons essentiellement nous pencher sur le problème du bois en fin de fin lequel entre dans la catégorie plus large du **bois de rebut**.

a. Définition

Les bois de rebut sont les bois usagés ou en fin de vie. Ils ont plusieurs provenances :

- les usines de seconde transformation du bois
- les déchetteries (meubles, huisseries... : déchets des particuliers)
- les entreprises du bâtiment (chantiers de démolition, coffrages,...)
- la collecte des emballages, qui peut se faire par l'intermédiaire de centres de tri de DIB (palettes, cassettes, caisses,... : déchets des entreprises et commerces).

Ce sont a priori des bois non sains qui ont été transformés. Leur valorisation peut donc s'avérer difficile.

→ Les DIB (Déchets Industriels Banals) sont des déchets non dangereux produits par les industries et les entreprises de commerce. Ils sont traités comme les ordures ménagères.

On comprendra que les provenances des bois en fin de vie sont les mêmes que celles des bois de rebut, à l'exception des usines de seconde transformation qui ne rejettent que des déchets...

b. Classification

On distingue trois types de bois en fin de vie :

- Les bois non traités : bois n'ayant subi que des transformations mécaniques mais pas de traitement chimique. Ce sont les palettes, caisses et cassettes non traitées, les planches brutes,
- Les bois ayant reçu un traitement ou ajout chimique : colles, peintures, revêtements, traitements. Ce sont les bois agglomérés, les meubles et bois de construction.

- Les bois ayant été traités et contenant des métaux lourds, de la créosote ou des composés organo-halogénés. Ces déchets sont des déchets industriels spéciaux (DIS) et doivent suivre des filières spécifiques d'élimination. Ce sont notamment les traverses de chemin de fer, les poteaux porteurs de câbles, les mobiliers extérieurs et certains bois de construction.

2. Quelques généralités sur le recyclage des matériaux bois

a. Qu'est-ce que le recyclage ?

Définition de Wikipedia : « *Le recyclage est un procédé par lequel les matériaux qui composent un produit en fin de vie (généralement, des déchets industriels ou ménagers) sont réutilisés en tout ou en partie. Ils seront donc réintroduits dans le cycle de production dont le produit est issu.* »

Par extension, le mot « recyclage » est aujourd'hui un synonyme de « valorisation ».

b. Comment valoriser les matériaux bois ?

Une fois triés, les objets en bois peuvent être:

- soit réparés (meubles, essentiellement les palettes multirotations et autres emballages bois...), puis réemployés ;
- soit utilisés comme matières premières (usines de panneaux de particules), c'est ce qu'on appelle la **valorisation matière** ;
- soit utilisés comme combustibles bois dans des chaudières, il s'agit d'une **valorisation énergétique**.

Bien évidemment, plus un bois a été traité ou « souillé », plus la valorisation sera difficile car soumise à des contraintes environnementales...

c. Un point sur la réglementation

Réglementations spécifiques aux déchets bois :

- Les déchets de bois sont soumis aux dispositions générales aux déchets.
- Les déchets d'emballage bois sont soumis à la réglementation spécifique aux déchets d'emballages.

Responsabilité du producteur :

Toute personne qui détient des déchets de bois est responsable de leur devenir (art. L. 541-2 du code de l'environnement).

L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter des nuisances (art. L.541-2).

Les conditions réglementaires de l'élimination du déchet bois :

- Depuis le 01/07/2002, ne sont admis en décharge que les déchets ultimes, dont les déchets bois ne font pas partie, ce qui encourage leur valorisation !
- Les déchets de bois entrent dans la catégorie des déchets admissibles en Centre d'Enfouissement Technique de classe II2.
- Certains règlements départementaux interdisent le brûlage des déchets de bois à l'air libre. Le brûlage des déchets de bois à l'air libre est strictement interdit pour toutes les Installations Classées soumises à autorisation.

→Déchets ultimes : déchets qui ne peuvent pas être traités dans les conditions économiques et techniques du moment. Le caractère ultime d'un déchet dépend aussi des conditions locales d'élimination.

Les déchets dangereux :

- La majorité des déchets de bois sont des déchets non dangereux. Selon la réglementation le déchet de bois est dangereux lorsqu'il a été souillé par une matière dangereuse (exemple : l'ajout d'un produit de préservation en profondeur du bois car ces produits contiennent des sels métalliques). En pratique, les bois traités CCA sont classés comme des déchets dangereux, de même que les traverses de bois créosotées.

- Les déchets de bois considérés comme dangereux sont soumis à la réglementation spécifique sur les déchets dangereux ou DIS (déchets industriels spéciaux). Ils doivent être séparés des autres déchets et faire l'objet d'un traitement particulier ou être traités en décharge de classe I.

→CCA : mélange de cuivre, de chrome et d'arsenic utilisé pour traiter le bois d'extérieur afin d'allonger sa durée de vie. Il est reconnaissable par la couleur verte qu'il donne au bois.

→Créosote : mélange de substances obtenu par distillation de goudron, utilisé dans le traitement des bois extérieurs. Classée cancérigène à cause de certaines de ces substances, notamment le benzo-a-pyrène.

→Décharge de classe I : décharge de déchets industriels spéciaux, titulaire d'une autorisation préfectorale au titre de la législation sur les Installations Classées. Elle est équipée de moyens importants de rétention et de récupération des polluants.

3. Réparation et réutilisation : les palettes

Nous parlerons exclusivement des palettes, bien que d'autres matériaux en fin de vie tels les meubles, par exemple, peuvent suivre cette filière. Ceci parce que le re-conditionnement des palettes représente une filière très importante.

Les palettes se classent dans deux catégories principales :

- les palettes unirotations ou emballages perdus (poids de 10kg, 70 % du marché, durée de vie de l'ordre de 12 mois) ;
- les palettes réutilisables, dites multirotations (poids de 25 kg, 30 % du marché, durée de vie de 3 à 4 ans).

Comme leur nom l'indique, les palettes réutilisables sont réparées puis réutilisées plusieurs fois avant de devenir inutilisables.

Le re-conditionnement de palettes est une activité très importante en France avec plus de **440 millions** de palettes re-conditionnées chaque année.

Une palette en fin de vie est :

- soit une palette usagée, libérée de sa charge, qui présente trop de dégradations pour être économiquement réparée.
- soit d'une palette en bon état ou potentiellement réparable mais qui, compte tenu de ses caractéristiques, ne convient plus aux exigences ni aux besoins du marché...

Elle suit alors les filières classiques de valorisation énergétique ou matière...

4. La valorisation énergétique

La valorisation énergétique est actuellement la principale filière de valorisation des matériaux bois en France. C'est une filière encore en pleine expansion et très encouragée par les principaux acteurs de la défense de l'environnement (ADEME, Ministère de l'Ecologie...), comme en témoignent les différents plans bois-énergie (1994-1999, 2000-2006) mis en place par le gouvernement...

Actuellement, le bois fournit près de **6% de l'énergie finale consommée en France**.

Sont concernés par une valorisation énergétique les bois sains ou les bois traités mais ne contenant pas de métaux lourds (dans le second cas, les dégagements gazeux doivent être traités).



Chaufferie bois et centrale de cogénération à Calais

→ *ADEME*: L'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) est une agence française, chargée d'agir pour le respect de l'environnement, par la réduction et le recyclage des déchets, le développement des énergies renouvelables, la réhabilitation de sites pollués, la réduction du bruit, et d'autres facteurs environnementaux.

a. La transformation des bois de rebut en combustible

L'utilisation énergétique des bois de rebut se fait, en général, à l'aide de technologies qui requièrent des bois précisément calibrés, réguliers, et de petites dimensions. Afin d'élaborer de tels combustibles prêts à l'emploi, plusieurs opérations doivent être effectuées :

- un tri visuel ou par la collecte pour différencier les trois catégories définies précédemment,
- un broyage grossier,
- un affinage à l'aide de broyeurs rapides,
- un calibrage avec dépierrage,
- un dépoussiérage,
- un déferrailage, voire une démétallisation plus poussée.

Cette chaîne de transformation est réalisée sur une plate-forme de conditionnement. La plate-forme a également la fonction de stockage car la gestion des bois en fin de vie se fait toute l'année et les débouchés peuvent être saisonniers ou ponctuels.

On obtient au final des **plaquettes** de bois.

La valorisation énergétique des bois de rebut comprend plusieurs filières, dont :

b. La combustion pour la production de chaleur (valorisation thermique)

La combustion est actuellement la technique de valorisation énergétique la plus répandue en France. Pour beaucoup, la valorisation énergétique est même synonyme de valorisation thermique...

La combustion est la voie la plus rapide de valorisation énergétique du bois. En présence d'un excès d'oxygène, le bois est complètement brûlé en libérant une forte quantité de chaleur. Lorsque la combustion se déroule dans une chaudière, la chaleur produite assure la production d'eau chaude ou de vapeur.

A l'heure actuelle, la combustion du bois est exploitée soit directement par flux d'air chaud, soit par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur, porté à température dans une chaudière. Ces

deux voies sont largement utilisées dans les gammes de puissance faible par les particuliers ou, pour des puissances plus élevées, dans les entreprises.

Bien que l'**usage individuel** - encore bien souvent en cheminée – représente **plus de 80%** de la consommation, on constate une multiplication des chaudières et chaufferies collectives, lesquelles ont un bien meilleur rendement énergétique.

- Les chaufferies collectives et les réseaux de chaleur :

L'exploitation de la chaleur produite par la chaudière ne se fait pas nécessairement sur les lieux même de la chaufferie et elle n'est pas non plus nécessairement réservée à un seul utilisateur. Le fluide caloporteur est en effet facilement transportable jusqu'à des distances de quelques kilomètres sans pertes trop importantes d'énergie.

Le plus souvent enterrés, les réseaux de chaleur sont composés d'un réseau primaire lié à la chaudière et d'autant de réseaux secondaires qu'il y a d'utilisateurs finaux de la chaleur.

En fonction de l'utilisation escomptée de la chaleur (chauffage, eau chaude sanitaire, procédé industriel comme le séchage du bois, etc.), chaque réseau secondaire est susceptible de véhiculer un fluide aux caractéristiques propres (température, pression). Pour l'utilisateur final, rien ne change si ce n'est qu'il ne doit plus se charger de l'entretien de la chaudière ni de l'approvisionnement en combustible.

c. La cogénération

La vapeur sous pression produite par une chaudière au bois est capable de générer une force motrice. Le principe est exploité depuis des siècles (c'est le principe des locomotives à vapeur). Couplée à un alternateur, cette force fournit une puissance électrique. A l'heure actuelle, deux technologies s'imposent pour transformer l'énergie que renferme la vapeur sous pression en force motrice :

- les turbines-vapeur (particulièrement adaptées à la génération d'électricité au dessus de 3 MW)
- les moteurs à vapeur : pour des puissances électrique de l'ordre de la centaine de kW, le moteur à vapeur connaît un regain d'intérêt. Il fonctionne selon le même principe que les anciennes locomotives où la force de la vapeur sous pression entraîne un ou des pistons en mouvement.

Ces installations connaissent encore des problèmes techniques freinant leur nouvelle percée sur le marché. Autre inconvénient, il n'y a plus qu'un seul constructeur de telles machines en Europe.

d. La co-combustion

Afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre générées par les centrales thermiques existantes, différentes technologies ont été développées pour utiliser, au sein d'une même installation, un combustible fossile – le plus souvent du charbon – et un combustible renouvelable tel le bois. Cette utilisation simultanée de combustibles dans un même foyer s'appelle la co-combustion.

Ainsi, des centrales thermiques ont été transformées de manière à pouvoir y utiliser, à l'aide d'injecteurs spéciaux, du bois pulvérisé dans les foyers à charbon, comme c'est le cas à Grenoble par exemple. La reconversion de ces centrales de grande puissance (plusieurs dizaines voire centaines de MW) permet aux compagnies d'électricité de bénéficier des incitants gouvernementaux pour la production d'électricité verte, et cela, pour de faibles investissements. En effet, le coût de la modification du foyer d'une centrale existante est

relativement faible par rapport au montage d'une installation complète fonctionnant entièrement à la biomasse.

C'est également la voie la plus facile en terme d'implantation : partout en France, il existe des installations au charbon sous-exploitées ou même arrêtées. Il y a bien entendu déclassement de la puissance initiale de la chaudière car le pouvoir calorifique volumique du bois est plus faible que celui de tous les combustibles fossiles. Mais quelle importance, dans la situation actuelle de parcs de chaufferies largement surpuissants ?

Cette solution présente en outre plusieurs autres avantages :

- introduction une part d'énergie renouvelable et diminution des émissions de CO₂ dans l'atmosphère pour les installations fonctionnant uniquement avec des énergies fossiles.
- pas de surcoût important au niveau du traitement de fumées (lorsque l'installation est déjà équipée d'un système de traitement des fumées) d'où l'utilisation de bois de rebut possible.
- diversification et donc sécurisation de l'approvisionnement avec la possibilité de fonctionner uniquement avec des biocombustibles variés.

e. La pyrolyse

La pyrolyse est une décomposition – ici du bois - par action de la chaleur. Le bois pyrolysé est chauffé à température moyenne (500 à 700°C) pendant un temps donné et en atmosphère contrôlée (absence d'oxygène). Il est ainsi fractionné en trois produits :

- solides (charbon de bois),
- gazeux (récupérés et débarrassés des substances nocives afin de produire le combustible nécessaire au chauffage de fours pyrolytiques),
- gazeux condensables en liquides (huiles pyrolytiques valorisées en produit de raffinerie de qualité ou transformées par gazéification en gaz de synthèse).

Selon la température à laquelle le bois est soumis, son temps de séjour dans le four et la pression qui y règne, la réaction de pyrolyse sera orientée vers l'obtention préférentielle d'un type de produit :

- la **pyrolyse flash** vise l'optimisation de la production d'huiles pyrolytiques
- la **carbonisation** favorise la formation de charbon de bois.

f. La gazéification

Vieille de plus de deux siècles, la gazéification connaît aujourd'hui un regain d'intérêt. Elle consiste à transformer, à l'aide d'un agent oxydant, un combustible solide – ici le bois - en un mélange gazeux. Celui-ci contient notamment de l'hydrogène (H₂), du mono- et du di- oxyde de carbone (CO et CO₂), un peu d'eau ainsi qu'une quantité variable de goudrons. L'hydrogène et le monoxyde de carbone sont combustibles ; leur teneur dans le gaz régira son pouvoir calorifique. La quantité de goudrons à la sortie du gazogène dépend de la technologie utilisée. Même si les goudrons ont pour effet d'augmenter le PCI des effluents gazeux, certaines applications nécessitent l'utilisation d'un gaz exempt de goudrons.

Il existe deux principaux agents oxydants l'air et la vapeur (on parle alors d'oxy-gazéification). Le second procédé a une rentabilité énergétique supérieure, mais il est très lourd à mettre en œuvre et n'existe pour le moment que sous forme d'installations pilotes.

→ Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) : c'est l'énergie résultant de la combustion sans tenir compte de l'énergie consacrée à la vaporisation de l'eau.

5. La valorisation matière

Bien qu'en général moins développées que les filières du bois-énergie, les filières de la valorisation matière des matériaux bois en fin de vie existent et prennent de plus en plus d'importance.

a. La pâte à papier

Sont concernés l'ensemble des produits en papiers et cartons arrivés en fin de vie – caisses en carton ondulé, journaux, magazines, sacs papier, emballages ménagers. Ils ont tous pour dénominateur commun : la fibre de cellulose, matière première d'origine qui reste réutilisable pour la fabrication de nouveaux produits en papiers et cartons. Ainsi le journal redeviendra journal, la caisse carton et les emballages en papiers ou en cartons donneront naissance à de nouveaux emballages...

Le carton est fabriqué à partir de papier récupéré **depuis le XVIIIe siècle** : on voit que l'idée du recyclage n'est pas nouvelle dans le domaine papetier ! Aujourd'hui, le papier recyclé est devenu une nécessité pour préserver l'environnement, aussi la valorisation des déchets papiers est-elle de plus en plus importante: en 2002, 5,5 millions de tonnes de papiers et cartons ont été récupérés, sur 11 millions consommés. Tous les secteurs papetiers sont utilisateurs de papiers et cartons récupérés (PCR). En France, 67 usines papetières (sur un total de 116 usines) recyclent des PCR, et 39 d'entre elles fabriquent des papiers et des cartons exclusivement par recyclage. Ce n'est pas pour rien que l'industrie papetière est la **première industrie de recyclage en France** !

La préparation s'effectue en trois phases principales :

- le pulpage et le défibrage : Les produits papier-cartons usagés sont d'abord placés dans un pulpeur. Ce brassage dans de l'eau permet de rompre les liaisons entre les fibres de cellulose et de les séparer des produits résiduels qu'ils pourraient contenir.
- l'épuration : L'épuration sépare les fibres des éléments qui leur sont associés : colles, vernis, agrafes.
- le désencrage : Il est nécessaire simplement pour la fabrication de pâte blanche, et le procédé est essentiellement utilisé dans le cas du recyclage des journaux-magazines.

Les fibres rejoignent alors le procédé habituel de fabrication du papier-carton. Elles sont déposées sur une toile en mouvement où elles s'égouttent pour former une feuille qui sera pressée et séchée sur des cylindres chauffés à la vapeur. Une nouvelle feuille de papier ou de carton est ainsi fabriquée.

b. Les panneaux de particules

Comme dans le cas d'une valorisation énergétique, le bois en fin de vie doit suivre une filière de broyage classique (cf § III.4.a) avant de rejoindre une fabrique de panneaux de particules. Sont concernés, les déchets de type palettes, caisses, tourets, cagettes, portes et fenêtres (sans verre), volets, bois de charpente (litesaux, chevrons, planches, poutres), contreplaqués, panneaux de particules, aggloméré, mobilier en bois (chaises, commodes, armoires). En fait, tous les bois sains, ni pourris, ni échauffés.

Actuellement, à coté des résidus des scieries et du bois de coupe forestière, de plus en plus de bois de recyclage entre dans la fabrication des panneaux de particules

Le développement technique des panneaux de particules remonte au début du siècle dernier. Les premières productions industrielles eurent lieu au début des années 40 en Allemagne mais c'est seulement dans les années 50 que ces panneaux connaissent un triomphe avec le développement d'un panneau aux dimensions stables et aux coûts de production comparativement avantageux.

Un panneau de particules est un matériau en forme de plaque fabriqué au moyen de particules de bois et/ou d'autres matériaux ligno-cellulosiques, de dimensions données, dont l'agglomération est réalisée par collage et pressage.

Pour le fabriquer, on colle des copeaux de dimensions variables et on les presse pour obtenir des produits sous forme de panneau de haute qualité. Dans une grande majorité des cas, les panneaux de particules sont fabriqués en tant que panneaux à plusieurs couches pressés « à plat » (horizontalement), et en moindre quantité comme panneau à une couche, fabriqué dans une presse verticale pour l'utilisation dans des éléments de construction. Le plus souvent, les panneaux de particules sont composés de 3 à 5 couches, avec les couches extérieures constituées presque toujours de particules de bois relativement fines. De par leur haute stabilité dimensionnelle, les panneaux de particules sont tout à fait appropriés pour la fabrication de meubles. On peut les obtenir à l'état brut ou avec les surfaces revêtues de décorations synthétiques (mélamine, feuilles synthétiques) ou de placages en bois véritable.

c. Le réemploi d'éléments sains

Les meubles, caquettes, poutres, planches, etc en fin de vie peuvent fournir des éléments encore sains qui peuvent être directement réutilisés...

d. Autres...

La plupart des bois en fin de vie non traités peuvent suivre des filières de broyage telles que celle décrite dans le paragraphe III.4.a.. Les broyats peuvent avoir de multiples utilisations aujourd'hui, autres que celles citées précédemment :

- le compostage
- le bois moulé : les objets en bois moulé sont des produits composés de fines particules de bois compressées et amalgamées entre elles par une résine.
- le mulch color : ce sont des copeaux de bois naturels ou colorés obtenus par une technique de broyage et de tamisage spécialement étudiée pour couvrir les sols (utilisation décorative) ou en revêtement de sol pour aires de jeux.
- les composites ciment-bois type "Lithoxyl" ou "Agresta" : ce mode de valorisation est encore peu répandu car il est très récent. L'objectif est de valoriser les palettes cimentières en fin de vie en intégrant ce broyat de palette avec du béton (enrobage granulats de bois selon le procédé breveté "LITHOXYL").
- et encore : paillage en horticulture, litières animales, nettoyage des sols, fumage des viandes et poissons, dégraissage des pièces métalliques...

La valorisation matière est une filière encore en pleine expansion et en pleine diversification, du fait de la récente prise de conscience de l'importance du recyclage...

6. Les bois traités

Comme on a pu le remarquer, l'ensemble des filières de valorisation du bois présentées jusqu'à ce point ne permettent de valoriser que des bois non souillés. Qu'en est-il donc des bois traités ?

a. Le problème des bois traités

Il existe aujourd'hui en France des dizaines de milliers de tonnes de vieux bois et de déchets de bois classés dangereux tels que des poteaux téléphoniques ou électriques, des traverses créosotées de chemin de fer, des bois de jardin, de construction, de démolition etc ...

Le recyclage de ces déchets de bois traités est problématique car ils contiennent des éléments polluants, ce qui les classe dans la catégorie des déchets dangereux. Ces déchets de bois ne doivent être ni abandonnés, ni brûlés à l'air libre. Ils doivent être collectés et traités comme les déchets par lesquels ils ont été souillés.

Les principales recherches concernent l'incinération (donc utilisation en bois-énergie).

- Le problème de l'incinération :

La combustion des bois traités peut s'avérer très dangereuse (pollution de l'environnement, risques pour la santé des personnes).

L'incinération dans des incinérateurs classiques avec d'autres déchets n'est pas réalisable car les éléments contenus dans le bois traité, notamment l'arsenic du CCA, ont tendance, pendant la combustion, à se combiner avec d'autres éléments présents dans les déchets pour former des composés qui ne sont pas maîtrisables. En outre, sous influence du choc thermique air ambiant/température foyer, la plus grande partie de l'arsenic contenu dans le bois traité au CCA s'évapore entraînant avec lui d'autres métaux lourds.

De nombreuses études et expérimentations sur la combustion des bois pollués ont été menées par des établissements ou des instituts universitaires partout dans le monde. En étudiant leurs conclusions on retrouve trois points communs :

- La combustion du bois traité exige des précautions spéciales en raison de la toxicité des fumées émises lors de cette opération. Cette toxicité est due au fait que la chaleur dégage les produits chimiques et libère la plupart de leurs composants sous forme gazeuse.
- Les incinérateurs d'ordures ménagères et la majorité des incinérateurs de déchets industriels sont équipés pour capter la plupart de ces types d'éléments toxiques cependant ils ne sont pas en mesure de tous les capter et encore moins à de telles concentrations.
- Les essais menés pour faire baisser ces niveaux de concentration d'éléments toxiques dans les fumées par dilution, en mélangeant différents pourcentages de bois pollués et d'ordures, se sont soldés par des échecs. A chaque tentative, ces mélanges ont provoqué la déstabilisation des conditions de combustion dans les incinérateurs, entraînant l'apparition dans le foyer de composés chimiques très dangereux et incontrôlables.

Plus critique encore : l'expérimentation menée sur du bois traité au CCA a montré qu'il ne pouvait être incinéré que seul et dans un incinérateur dont les conditions de fonctionnement ont été spécialement adaptés à cet usage.

b. Solutions

- Le procédé "**Chartherm**", développé par la société Thermya, permet de recycler et de revaloriser les déchets de bois, quel que soit leur niveau de pollution, en les transformant en charbon de bois "propre" de haute qualité.

Ce procédé comprend trois étapes : broyage, "charthérisation" (traitement thermique spécifique), extraction des métaux lourds.

Des équipements spécifiques ont été développés pour réaliser chacune des trois étapes. La société a ouvert une unité pilote à Saint Médard d'Eyrans en Gironde qui fonctionne depuis plus d'un an.

- Le procédé **PGI** (Société ANCOR) permet le traitement des bois imprégnés de substances fongicides (cuivre, chrome, arsenic) et organiques (créosote).

Tous les procédés de valorisation matière du bois en fin de vie ont permis aux matériaux bois d'avoir une « nouvelle vie », et permettent d'allonger la durée de stockage du carbone. Les avantages de la valorisation matière (s'il y en a) semblent quant à eux moins évidents pour la séquestration du carbone...

Ces bienfaits du bois viennent de sa grande capacité à emmagasiner le carbone. La forêt-poumon de la terre, peut selon les étapes de son développement passer du puits à la source de carbone en cas de feu. Il faut donc pour comprendre le rapport Bois/Carbone, en forêt ou après utilisation. Intéressons-nous aux bilans carbone selon les différents cas.

III- Bois – Bilan Carbone

1. La séquestration de carbone en forêt

→ *La séquestration du carbone (ou piégeage, ou emprisonnement du carbone) : processus au cours duquel le carbone ou le CO₂ est extrait de la biosphère et est stocké dans un puits de carbone.*

Les forêts jouent un rôle direct dans le cycle du principal gaz à effet de serre, le dioxyde de carbone. Par la photosynthèse, les végétaux fixent ce gaz dans la biomasse terrestre, principalement forestière. Il repart dans l'atmosphère, par la respiration des plantes et lors de la décomposition ou la combustion du bois, après un délai plus ou moins long de stockage. Ce recyclage du carbone dans le compartiment forestier est extrêmement important, puisque chaque année, 120 Gt de carbone sont échangées entre l'atmosphère terrestre et la végétation, à comparer aux 6 Gt de carbone émis par la combustion des sources fossiles. Cet échange n'est jamais complètement équilibré, et les forêts jouent donc un rôle positif (lorsque les entrées sont supérieures aux sorties, on parle alors de séquestration) ou négatif (lorsque la déforestation excède les reboisements, par exemple), dans la régulation de l'effet de serre. Les forêts jouent de plus un rôle d'une toute autre nature: le bois peut être utilisé en remplacement de matériaux à plus forte "contenance" en énergie fossile, dans la construction et, surtout, dans la production d'énergie. C'est ce qu'on appelle la substitution du carbone fossile.

2. La forêt française : un important puits de carbone ?

A travers la photosynthèse, un arbre qui pousse dégage de l'oxygène et consomme de l'eau, de la lumière et du CO₂. C'est pourquoi les forêts en expansion sont qualifiées de «puits de carbone». En revanche, une fois à maturité, les forêts ne sont plus des puits mais des réservoirs de carbone: elles en stockent d'énormes quantités, en surface et dans les sols, mais jouent un rôle neutre dans le bilan de CO₂. Le gaz carbonique qui se dégage quand les vieux arbres se décomposent est compensé par celui qui est absorbé quand les jeunes repoussent à leur place. Enfin, lorsqu'elles brûlent, les forêts rejettent du CO₂: elles deviennent des sources de carbone.

Le concept de puits de carbone s'est diffusé avec le Protocole de Kyōto créé dans le but de réduire les concentrations élevées et croissantes de CO₂ atmosphériques et ainsi lutter contre le réchauffement climatique.

Connaître le rôle des forêts dans le cycle du carbone est devenu un enjeu national, dans le cadre du protocole et des engagements pris par chacun des pays signataires. Il y a 7 ans étaient publiés le premier bilan de carbone de la biomasse des forêts françaises (Dupouey et al., 1999). Celui-ci indiquait qu'elle se comportait comme un important puits de carbone, ayant séquestré 10,5 MtC/an sur la période 1979-1991. Lors du programme Carbofor (Pignard et al., 2006), on a actualisé ces calculs, d'une part parce que la forêt française est en évolution permanente, d'autre part parce que nos connaissances scientifiques sur ces calculs se sont affinées.

a. Méthode actualisée de calcul des stocks et flux de carbone des forêts françaises

Deux méthodes de calcul peuvent être employées pour évaluer la séquestration de carbone dans la biomasse des forêts françaises :

- en estimant le stock de carbone dans ces forêts à différentes dates, on peut calculer le flux par différence entre ces stocks ;
- en calculant directement la différence entre les flux entrant (accroissement en volume) et sortant (récolte de bois, mortalité) des forêts.

La première méthode est aujourd'hui la plus fiable, car l'évaluation des stocks est techniquement plus simple, et en conséquence plus précise que celle des flux entrant et sortant. Elle repose sur l'utilisation de données homogènes, alors que la seconde nécessite de faire appel à des sources diverses en matière de définitions, de modes de collecte et de précision.

→ *L'Inventaire forestier national (IFN) : créé en 1958 pour mieux connaître les potentialités des forêts françaises, il est chargé de l'inventaire permanent des ressources forestières nationales, indépendamment de toute question de propriété.*

b. Un stockage de carbone en augmentation

Le stock de carbone dans la biomasse forestière, aérienne et souterraine, est évalué à 71,2tC/ha à l'occasion de l'inventaire réalisé en moyenne en 1996 (inventaires départementaux échelonnés de 1988 à 2003), le volume sur pied étant de 154 m³/ha. Pour les

14,9 millions d'ha de la forêt française, on obtient un stock total estimé de 1 060 MtC en 1996. Lors de l'inventaire précédent, réalisé en moyenne en 1984 (de 1975 à 1991), le volume sur pied était de 133 m³/ha et le stock de carbone dans la biomasse forestière (aérienne et souterraine) est évalué à 60,1 tC/ha. Le stock total sur la totalité de la surface boisée, soit 14,0 millions d'ha, était alors de 840 MtC.

Ces deux inventaires permettent d'évaluer, par différence de stocks, le flux annuel net de carbone dans la biomasse des forêts à 17,1 MtC/an entre 1984 et 1996. La biomasse forestière constitue donc un important puits de carbone, qui représente environ 17 % des émissions de carbone fossile de la France.

Plusieurs facteurs contribuent à l'augmentation du stockage annuel net de carbone dans les forêts françaises :

- l'accroissement en volume par unité de surface augmente en moyenne de + 1 % par an depuis au moins 2 à 3 décennies, alors que la récolte de bois progresse moins rapidement, voire stagne depuis le début des années 90 ;
- la connaît, superficie forestière depuis deux siècles, une croissance régulière, qui demeure forte en dépit de la diminution des reboisements ;
- en dépit d'un volume inférieur, les peuplements feuillus présentent globalement un stock de carbone supérieur. Cette situation est la conséquence de densités et de proportions de branches plus importantes.

c. Un stockage confirmé par la méthode des bilans

On peut utiliser une autre approche, indépendante de la précédente, pour calculer l'accroissement du stock de bois de la forêt française, en utilisant l'équation reliant la production courante (PRO), les prélèvements (quantité de bois exportée hors de la forêt, PRE), la variation du stock (STO) et la mortalité (MOR) :

$$\text{STO} = \text{PRO} - \text{PRE} - \text{MOR}$$

La production et la mortalité sont mesurées par l'IFN à chacun de ses passages, en moyenne sur les 5 années précédents la date d'inventaire.

Finalement, même si de grandes incertitudes persistent, on confirme l'important rôle positif joué par la biomasse des forêts françaises dans le bilan de carbone national. Ces incertitudes concernent la validité des tarifs de volume utilisés, les valeurs de densité du bois et les volumes de bois de feu auto-consommé.

3. Recyclage du bois en fin de vie et bilan carbone...

a. Valorisation matière et séquestration

Il est évident que la valorisation matière allonge la durée de vie du bois et donc la séquestration du carbone qu'il contient. En effet, si on brûle ou si on laisse se décomposer les bois en fin de vie, ils rejettent le dioxyde de carbone qu'ils contenaient dans l'air.

Lochu (2004) estime à 1,2 MtC/an le stockage de carbone dans les produits en usage.

b. Valorisation énergétique et bilan

L'analyse de la fixation du carbone peut conduire à un paradoxe apparent: en effet, en imaginant que le bois énergie ne soit pas utilisé et qu'à la place pour fournir 9.5 Mtep on lui substitue le mixte moyen actuel d'énergies fossiles (fuel, gaz, charbon) ce serait 8.5 Mt de carbone (31 Mt de CO²) qui seraient rejetées à l'atmosphère soit un peu moins que par le bois. Ce paradoxe apparent pourrait conduire à douter de l'intérêt du bois en tant que source d'énergie vis à vis de l'effet de serre...

A l'accroissement végétal naturel, correspond une fixation de carbone de 21.3 Mt par an. L'utilisation en bois énergie correspond à un rejet de carbone de 10 Mt/an. Le bilan carbone annuel est donc de **11.3 Mt C stockées à situer par rapport aux 115 MtC rejetées par les combustibles fossiles**. A l'heure actuelle donc, la valorisation énergétique n'empêche pas un bon bilan carbone...

Les chiffres les plus récents (Ademe 2005) indiquent que la valorisation énergétique de la biomasse en France (principalement du bois) représentait au total 9,2 millions de tonne équivalent pétrole en 2004 et permettait d'éviter l'émission de 4,3 millions de tonnes de carbone par an.

De plus, l'amélioration des rendements énergétiques de la combustion du bois (utilisation de chaudière à la place de cheminées par exemple...) permettrait d'améliorer encore le bilan carbone ainsi que la comparaison avec les énergies fossiles. Les combustibles fossiles non utilisés, lesquels sont également de grands réservoirs de carbone, continueraient donc à exercer leur fonction de séquestration du carbone....

c. Importance d'une exploitation réfléchie des forêts

De façon évidente la croissance de la forêt (accompagnée d'une amélioration du bilan carbone) ne peut être éternelle et progressivement cette croissance diminue, suivie de la destruction naturelle du bois avec rejet de CO² et éventuellement décomposition en méthane. La révolution (temps écoulé entre la naissance et la coupe des arbres mûrs) est ainsi d'environ 60 à 100 ans pour l'épicéa, de 150 ans pour le hêtre, de 180 ans et plus pour le chêne. Il faut donc entretenir les forêts pour éviter qu'elles ne deviennent productrices de carbone...

L'exploitation normale de la forêt pour une bonne qualité de bois d'oeuvre suppose des coupes, la futaie à tailler et prise en compte du taillis. Il y a donc complémentarité bois d'oeuvre et bois énergie (le bois énergie représentant dans ce cas, les déchets forestiers). Le bois d'oeuvre longue vie est donc très important même si en définitif il se transforme en bois de feu. Les 14,3 Mm³, stabilisés en bois d'oeuvre, représentent une fixation de carbone de 3.3 Mt.

d. Utilisation de bois d'oeuvre

Il faut noter aussi que lorsque le bois peut remplacer d'autres matériaux de construction, l'intérêt vis-à-vis des rejets de CO² est accru et par exemple à usage identique, 1 m³ de bois d'oeuvre évite un rejet de 0.3 tonne de CO² s'il remplace le béton et 1.2 tonne s'il remplace de l'acier.

4. Conclusion sur la séquestration du carbone par le matériau bois

Le rôle de séquestration des forêts françaises semble donc aujourd'hui largement supérieur à leur rôle de substitution. Ceci est sans doute dû à leur exploitation pensée. A cette séquestration dans la biomasse vivante s'ajoute celle dans les produits bois. Au total, les rôles connus de la forêt et des produits bois, en substitution et en séquestration, permettent de maintenir nos émissions de carbone fossile à un niveau inférieur de plus de 20% de ce qu'elles seraient sinon. La pérennité du puits de carbone dans la biomasse est liée à la poursuite de l'extension forestière et à une gestion réfléchie de la forêt. L'augmentation de la surface forestière s'est ralentie au cours des 15 dernières années, mais son avenir est très difficile à cerner, car il dépend in fine des pressions qui s'exerceront sur les terres agricoles, elles-mêmes liées à l'évolution de l'économie mondiale, et en particulier du secteur de l'énergie.

L'engouement pressenti pour le bois-énergie pourrait conduire, dans les années à venir, à une augmentation des prélèvements en forêt, et donc à un transfert de la fonction de séquestration de carbone des forêts françaises, qui diminuerait, vers une fonction de substitution du carbone fossile, qui augmenterait. Le bilan de carbone de ces transferts reste à faire.

En fait l'idéal serait:

- d'avoir une gestion réfléchie de la forêt,
- de stocker sous forme de composés longue vie (charpentes, meubles...),
- de privilégier une valorisation matière à une valorisation énergétique,
- de développer les technologies de valorisation énergétique à hauts rendements et de généraliser leur utilisation (particulièrement en usage domestique...)

Conclusion

Nous avons pu voir à travers ce dossier l'importance du développement des procédés de valorisation du bois. Matériau naturellement stockeur de carbone, le bois intéresse de plus en plus la société actuelle pour les bienfaits qu'il peut avoir sur l'atmosphère. Mais comme nous l'avons développé, le bois n'est pas un matériau éternel. En effet, il est vulnérable à de nombreuses attaques, et n'a pas la même durée de vie selon l'utilisation qui en est faite (il existe cinq classes de bois). Quoiqu'il en soit fait, le bois arrive tôt ou tard en fin de vie, et il nécessite à ce moment d'être valorisé au mieux pour que son bilan carbone soit positif pour l'environnement.

Mis à part le problème des bois traités, dont la solution se cherche encore, le bois peut être valorisé de deux façons (énergétique ou matière), la façon privilégiée dépendant de l'utilisation et de l'état du bois à valoriser. Ce caractère écologique du bois en fait un des matériaux à la mode : contrairement aux autres matériaux qui nécessitent beaucoup d'énergie à l'extraction et à la fabrication (béton, aluminium...), le bois présente un bilan positif de carbone. De plus, son extraction et sa transformation se révèlent relativement facile.

A côté de cela, on peut considérer que les forêts constituent en elles-mêmes de véritables puits de carbone, dont la pérennité serait mise en danger par une surexploitation du bois. Ce bilan positif du bois et des forêts comme stockeur de carbone dépend en effet forcément de la valorisation qui en est faite. Les bienfaits de la forêt sont dus en partie à son extension constante depuis des années.

Or le développement de la production de bois-énergie, très en vogue en ce moment, pourrait à l'avenir mener à une surexploitation des forêts et donc à une diminution de leur surface qui serait, elle, mauvaise pour l'environnement.

La valorisation du bois en fin de vie est, et doit être un sujet primordial dans les utilisations du bois. Cependant, les conséquences néfastes que pourraient avoir un surdéveloppement de la valorisation énergétique nous conduisent à privilégier tant que possible la valorisation matière, qui semble aujourd'hui la plus bénéfique en matière de stockage de carbone.

Bibliographie

Augusto L., Belkacem S., Nys C., 1999. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises, Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 85 (6), 293-310.

Lochu S., 2004. Le bois et la lutte contre l'effet de serre, Revue forestière française, 56, 167-173.

<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13488>

<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr>

http://www.ameter.net/docs/Valorisation_bois_rebut.pdf

http://www.bois.be/documents/pdf_faq/Chang%20clim%20Fr.pdf

http://www.boisforet-info.com/bfi2/02_doc/2_decouv_10.asp

<http://www.chartherm.com>

http://www.cg66.fr/environnement/foret/bois_energie/index.html

<http://www.crdp-reims.fr>

[/cddp10/ressources/mediatheque/dossiers/themadoc/reperes/reperes3.htm](http://www.crdp-reims.fr/cddp10/ressources/mediatheque/dossiers/themadoc/reperes/reperes3.htm)

<http://www.debat-energie.gouv.fr/site/pdf/fnb.pdf>

<http://www.ifn.fr>

<http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/boisenergie.htm>

http://www.inra.fr/les_recherches/exemples_de_recherche

http://labogc.egletons.unilim.fr/2_Axe_de_Recherche/bois/BOIS.HTM

<http://www.lepapier.fr>

<http://www.ofme.org/documents/ForetPrivee/fiches/424103.pdf>

<http://www.onf.fr>

<http://www.parcours-bois.com/>

http://www.regionpaca.fr/uploads/media/MBE_02.pdf

<http://seme.cer.free.fr/index.php?cat=recyclagebois>

<http://www.sfen.org/fr/energie/boismai2006.pdf>

http://site.abibois.com/atout_bois.html

http://www.starpal.fr/nouveau_site/FR/dossiers/recyclage/broyat.php

http://www.valbiom.be/uploadPDF/La_filiere_bois_energie.pdf

http://fr.wikipedia.org/wiki/Fili%C3%A8re_bois