



**GREThA**

Groupe de Recherche en  
Économie Théorique et Appliquée

---

**Séquestration des flux de carbone forestier:  
Mise en place d'un projet d'additionnalité des usages du  
bois dans la construction**

*Jean Jacques MALFAIT*

*GREThA UMR CNRS 5113*

*Guillaume PAJOT*

*Macaulay Institute, Aberdeen, UK*

*Université de BORDEAUX*

***Cahiers du GREThA***

***n° 2008-16***

---

**GREThA UMR CNRS 5113**

Université Montesquieu Bordeaux IV

Avenue Léon Duguit - 33608 PESSAC - FRANCE

Tel : +33 (0)5.56.84.25.75 - Fax : +33 (0)5.56.84.86.47 - [www.gretha.fr](http://www.gretha.fr)

## Séquestration des flux de carbone forestier : Mise en place d'un projet d'additionnalité des usages du bois dans la construction

### Résumé

*On cherche à analyser les potentialités de séquestration du carbone dans les produits bois à partir d'une réaffectation de l'usage vers des produits à durée de vie longue et par la promotion du recyclage des produits existants. On a resitué ce projet dans le cadre des mécanismes retenus dans le cadre du protocole de Kyoto, en montrant que ce dernier est dans sa première phase impropre à permettre une politique incitatrice en la matière. Après avoir rappelé ce qui caractérise un projet additionnel de séquestration dans sa dimension environnementale et économique on analyse les effets du projet que soit par la prise en compte des stocks des produits ou par les émissions évitées par la substitution du bois à d'autres matériaux. Le projet est mené au niveau de la région Aquitaine. Ce travail est à replacer dans la perspective de la prise en compte de la séquestration éventuelle du carbone des produits bois, dans le cadre des discussions sur la poursuite des engagements du protocole de Kyoto au-delà de l'année 2012.*

**Mots-clés :** Protocole de Kyoto, Séquestration du Carbone, Additionnalité, Emissions Évitées, Durée de Vie, Modélisation, Produits Bois, Secteur Forestier.

### Carbon sequestration and the forest sector: Implementing an additional project based on wood products in the construction sector

### Abstract

*The aim of the paper is to analyse the implementation of a climate change mitigation strategy for the forest sector. We suggest a strategy based on an increased storage capacity in wood products. An additional resource is provided by recycling and a reallocation of timber usages. In the first part of the paper, the additionality notion ("Kyoto meaning") is discussed (environmental and economic aspects). Then a case study is conducted on the "Landes de Gascogne forest". The project is assessed on the basis of additional carbon storage and on the basis of avoided emissions, as wood can replace CO<sub>2</sub> intensive materials (concrete, steel). Results will be useful in view of the discussions dealing with the post 2012 Kyoto period and the possible inclusion of wood products in the carbon stocks.*

**Keywords:** Kyoto Protocol, carbon sequestration, additionality, avoided emissions, life lengths, modelling, wood products, forest sector.

**JEL:** L73; Q23; Q54

**Reference to this paper:** MALFAIT Jean-Jacques, PAJOT Guillaume "Séquestration des flux de carbone forestier : mise en place d'un projet d'additionnalité des usages du bois dans la construction", Working Papers of GREThA, n° 2008-16, <http://ideas.repec.org/p/grt/wpegrt/2008-16.html>.

## Introduction\*

Dans le cadre d'une réflexion menée avec des responsables sylvicoles un scénario d'incitation à la séquestration du carbone dans les produits bois a été analysé<sup>1</sup>. En dehors de sa fonction naturelle de puits de carbone, la forêt posséderait une fonction séquestratrice additive, le carbone stocké dans le bois issu du prélèvement d'une coupe dans une forêt (certifiée PEFC), étant compensée à terme par le reboisement qui en est le corollaire obligatoire. C'est cette propriété qui sera envisagée dans cette étude. Cette dernière s'appuiera sur le cas concret du massif forestier de pin maritime des Landes de Gascogne.

Pour ce faire, on s'attache dans un premier temps à resituer cette problématique dans le cadre actuel du Protocole de Kyoto. On cherchera dans un second temps à partir du concept d'additionnalité à analyser la fonction séquestratrice des flux de la ressource forestière. On présentera les résultats d'une illustration chiffrée réalisée sur le massif forestier des Landes de Gascogne.

## 1. Le contexte: La forêt et les règles du Protocole de Kyoto

Dans le Protocole de Kyoto, une partie des pays signataires s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Des limites d'émissions de gaz à effet de serre ont été établies pour chaque pays. Une valeur économique sur le carbone est apparue à cette occasion. Les pays peuvent en effet s'échanger les réductions d'émissions qu'ils ont réalisées ; un pays ayant émis moins de gaz à effet de serre que la limite lui ayant été imposée par le Protocole pourra vendre des « crédits carbone » à un pays désirant émettre plus que les limites fixées. Il existe également au niveau européen un marché entre entités privées émettrices de gaz à effet de serre. Les secteurs énergétiques et industriels sont concernés ; la forêt l'est également. Une première partie sera l'occasion de rappeler les règles de comptabilisation relatives à la forêt. On s'intéressera ensuite à l'attribution des crédits carbone relatifs à la forêt et à l'utilisation du bois.

### a. Les principes de comptabilisation

Les principes de comptabilisation concernent les stocks sur pied, les prélèvements et l'utilisation du bois.

#### i. La gestion des stocks sur pied

Les spécificités de ce secteur, à la fois source et puits de carbone, sont prises en compte dans deux articles du protocole de Kyoto :

- selon l'article 3-3, les pays doivent comptabiliser la séquestration obtenue grâce à la plantation de forêts sur des terres qui ne portaient pas de forêts au 31 décembre 1989.

---

\* Cette recherche a bénéficié du soutien financier de la région Aquitaine dans le cadre du contrat de recherche numéro 2007-1204002 sur la « Durabilité du Système de production forêt-bois d'Aquitaine dans un environnement changeant ».

<sup>1</sup> La Société Forestière de la Caisse des Dépôts et le Syndicat des Sylviculteurs du Sud-Ouest ont décidé en 2006 de poursuivre une réflexion portant sur le rôle dynamique de la forêt et des produits bois dans la séquestration du Carbone.

Ils doivent également comptabiliser les émissions de carbone issues de la déforestation (coupe de forêt suivie d'un changement d'utilisation de la terre).

Les activités usuelles de gestion de la forêt ne sont pas concernées par cet article. Le reboisement après une coupe rase ne génère pas de crédits carbone, tout comme la colonisation naturelle de terres agricoles abandonnées. De même, la coupe rase ne s'ensuivant pas d'un changement d'usage de la terre n'implique pas de débits ;

- selon l'article 3-4, les pays peuvent choisir de comptabiliser la séquestration s'étant produite depuis 1990 dans les forêts gérées. La gestion des forêts cultivées fait partie d'un panel d'activités liées à l'utilisation de la terre (gestion des terres cultivées, des pâturages, des forêts etc.). Si des pratiques visant à maintenir ou augmenter le stockage de carbone dans les sols ou la végétation ont été mises en place depuis 1990, les pays peuvent revendiquer les quantités séquestrées.

Lors de la Conférence de Marrakech, les quantités que les pays peuvent revendiquer ont été limitées. La comptabilisation au titre de cet article n'est pas obligatoire. Toutefois, si un pays choisit de comptabiliser les quantités séquestrées dans certaines activités pour une période d'engagement, il devra le faire pour les périodes suivantes.

## **ii. La gestion des prélèvements**

En ce qui concerne les prélèvements sur la forêt, ceux-ci sont assimilés selon le Protocole de Kyoto à une perte de stocks de carbone ; la coupe correspond à une émission. L'hypothèse de calcul adoptée par le GIEC concernant les produits bois amène à *supposer que les produits bois sont détruits dans l'année qui suit la coupe*. Le stockage de carbone des produits bois n'est pas directement pris en compte dans les Inventaires Nationaux des émissions de gaz à effet de serre.

## **iii. La prise en compte indirecte des bénéfices environnementaux liés à l'utilisation du bois :**

Les règles de comptabilisation des émissions adoptées dans le Protocole de Kyoto amènent cependant à considérer que l'utilisation du bois présente en réalité un double avantage. Cependant, cet avantage n'est pris en compte que de façon indirecte. Cette prise en compte indirecte passe au travers *d'émissions évitées* dans deux configurations :

- dans le domaine de la production d'énergie, les émissions liées à la combustion de bois ne sont pas comptabilisées dans les inventaires de gaz à effet de serre ; cela incite le secteur énergétique à remplacer des combustibles fossiles par du bois. Pourtant, avec ce type d'utilisation, le carbone retourne directement à l'atmosphère. A l'échelle d'un massif à usage énergétique on peut considérer que le cycle du carbone est neutre, la reconstitution du stock utilisé pour la production d'énergie étant permanente. On note également que l'utilisation du bois en tant que source d'énergie présente un coût d'opportunité dans la mesure où le bois affecté à la production d'énergie ne peut être utilisé en tant que matériau de substitution ;
- dans les secteurs où le bois peut être mis en œuvre en tant que matériau. Si la production de ces matériaux (acier, plastique, aluminium) est à l'origine d'émissions de Co<sub>2</sub>, l'utilisation du bois permet d'éviter des émissions tout en pérennisant la séquestration de carbone effectuée précédemment sur pied.

Si les règles adoptées à Kyoto incitent plus à utiliser du bois en tant que source d'énergie, c'est en raison de la non comptabilisation des émissions associées à sa combustion. Pourtant, ceci constitue une émission. On peut *a contrario* montrer qu'à l'échelle d'un massif ou d'une parcelle, favoriser les usages de long terme du bois peut donner un cycle du carbone croissant dans le temps.

## **b. L'attribution des crédits carbone**

On s'intéresse ici à l'attribution des crédits carbone obtenus grâce à la gestion des stocks sur pied, ainsi qu'à ceux attribués indirectement par l'utilisation du bois.

### **i. Crédits carbone obtenus par la gestion des stocks sur pied**

La gestion forestière pratiquée dans les forêts françaises depuis 1990 génère des crédits carbone valorisables par la France dans le cadre des échanges de crédits internationaux. Les activités de l'article 3-3 du Protocole impliquent cependant un débit ; les défrichements sont plus importants que les reboisements. Une première évaluation réalisée par l'IFN sur la période 1990/2003 (Colin et Gaborit, 2005) donne pour le territoire métropolitain un défrichement équivalent à 15 249 hectares par an et un boisement égal à 8 513 hectares par an<sup>2</sup>. Le débit carbone est de 0,62 millions de tonnes de carbone par an.

Cependant, au titre de l'article 3-4 du Protocole, la France va pouvoir compenser ces émissions de l'article 3-3 en incluant la gestion forestière ayant permis l'augmentation des stocks de carbone dans les forêts gérées (correspondant aux forêts de production de l'IFN). Les crédits carbone vont rester la propriété de l'Etat qui va pouvoir réduire sa demande de crédits auprès des autres pays, ou réduire la contrainte pesant sur les autres secteurs. Les propriétaires forestiers à l'origine de ces augmentations de stocks de carbone ne recevront pas de crédits.

### **ii. L'attribution indirecte de crédits carbone par l'utilisation du bois**

*Si l'utilisation du bois ne donne pas directement lieu à des crédits carbone, elle permet à certains secteurs d'éviter des émissions de Co2.*

Les producteurs d'énergie utilisant de la biomasse ligneuse n'ont pas à comptabiliser les émissions de Co2. Il en est de même des secteurs qui peuvent utiliser du bois en remplacement de matériaux à l'origine d'émissions de Co2 et réduisent ainsi leurs émissions (ou réduisent leur demande de matériaux auprès des fabricants). Ces activités génèrent des crédits carbone. Deux situations sont alors envisageables :

- le secteur est soumis au PNAQ<sup>3</sup> ; dans cette situation, il obtient des crédits carbone de par la réduction de sa production (voir remarque ci-dessous) ;

---

<sup>2</sup> Il est à noter qu'il existe une asymétrie entre les boisements et les défrichements. En règle générale, les défrichements concernent des peuplements relativement âgés aux stocks de carbone importants tandis qu'on observe dans les premières années de pousse des peuplements des stocks de carbone relativement faibles. Cet effet s'ajoute à l'effet de l'évolution des surfaces.

<sup>3</sup> Plan National d'Allocation des Quotas

- le secteur n'est pas soumis au PNAQ, et dans ce cas, c'est la France qui réduit ses émissions et obtient des crédits carbone. On peut envisager dans cette situation la mise en place de mécanismes de projets domestiques.

Il est à noter par ailleurs que les prélèvements accrus sur la forêt, tant dans le cas où le bois est destiné à des usages énergétiques que dans le cas où le bois est destiné à des usages de substitution, font du secteur forestier un secteur émetteur de Co2 pour lequel les émissions doivent être compensées au niveau national. Cela peut conduire à l'apparition de situations paradoxales ; un recours accru au bois dans la construction pouvant se traduire par des émissions du secteur forestier, alors que le bois continue à être stocké pour de longues périodes. Concernant la France, cette situation est cependant difficilement envisageable. En effet, alors que les stocks de carbone des forêts gérées ont largement augmenté depuis 1990, la part compensatoire accordée à la France est relativement faible. Les conséquences de ces règles de comptabilisation en sont que la France peut choisir de prélever largement sur ses stocks en forêt. Les baisses de stocks en forêt n'auront pas de conséquences sur les comptes considérés au titre de l'article 3-4.

La stratégie idéale consisterait à utiliser le bois dans les domaines où il peut se substituer à des matériaux dont la fabrication est à l'origine d'émissions de Co2. Les émissions de la France prise dans son ensemble seraient réduites sans que les baisses de stocks de carbone en forêt affectent son bilan, si l'on reste dans le cadre comptable précédemment défini.

Remarquons que les mécanismes d'échanges de permis d'émissions sont censés permettre aux acteurs impliqués dans les émissions de gaz à effet de serre d'internaliser les conséquences environnementales de leurs productions. La mise en place d'un prix doit, selon les conditions techniques, favoriser l'apparition des changements vers des technologies économes en carbone. Par souci d'efficacité économique, les secteurs dont la production diminue ne doivent pas recevoir de crédits carbone.

#### ***Exemple numérique :***

Supposons une économie dont les émissions de gaz à effet de serre sont fixées. Cette économie est composée de deux secteurs dont les émissions sont comptabilisées dans un inventaire de gaz à effet de serre. On a un secteur dont les émissions sont fixées dans un Plan national de distribution de quotas (secteur (A)). Le second secteur est le secteur forestier (secteur (F)). On suppose que ses émissions sont nulles.

***Remarque : on suppose dans tous les exemples présentés dans ce document, à des fins de simplification, qu'une unité de bois remplace une unité de combustible fossile (tant pour la production d'énergie que pour la production de matériaux). Voir en annexe 2 le potentiel du bois en tant que matériau de substitution pour une analyse réelle de ce rapport de substitution.***

Les émissions du secteur (A) s'établissent à 1000 unités et le secteur forestier (F) a des émissions nulles. On se place à l'année  $T$  ; les émissions du pays sont égales à la somme des émissions des deux secteurs, soit 1000 unités.

En  $T+1$ , le secteur (A) remplace un procédé émetteur de Co2 par du bois. De fait, il émet moins de Co2 ; ses émissions passent à 800 unités. Le secteur (A) doit donc recevoir les crédits carbone équivalents. Le secteur forestier (F) émet de son côté 200 unités, qui ont été

utilisées par le secteur A. Les émissions du pays n'ont pas diminué ; elles sont toujours égales à 1000 unités.

Les tableaux suivants représentent les comptes de secteurs relatifs aux crédits carbone :



On arrive à une situation où grâce à l'utilisation du bois, le secteur (A) reçoit des crédits carbone ; le secteur forestier devient émetteur de carbone, alors que le stockage se poursuit dans les produits utilisés par le secteur (A). En réalité, ce sont les règles comptables utilisées qui aboutissent à ce paradoxe ; le secteur (A) réduit bel et bien ses émissions ; côté forestier, le stock baisse, c'est en ce sens qu'il devient émetteur. Pourtant, une partie du stockage dans les produits permet de pérenniser le stockage de carbone. Ce stockage est complété par la replantation de la forêt.

Dans tous les cas, que le recours au bois permette de réduire les émissions d'installations soumises au PNAQ, ou que le recours au bois permette de réduire les émissions d'installation non soumises au PNAQ et permette ainsi à la France d'atteindre son objectif d'émissions, le secteur forestier ne bénéficie pas de sa contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre comptabilisées dans l'inventaire national.

## 2. La mise en place de crédits carbone pour les produits bois:

La création de crédits carbone sur les réductions d'émissions fait, dans le cadre de Kyoto, référence au concept d'additionnalité. Avant d'examiner les modalités de mise en place d'un projet de séquestration de carbone, on rappelle la façon dont est envisagée cette notion dans le Protocole de Kyoto et comment dans ce contexte pourrait être mis en place un projet impliquant la forêt.

### a. L'additionnalité dans le cadre actuel de Kyoto:

#### i. Le concept :

L'additionnalité est un concept inhérent aux mécanismes de projets de Kyoto (MDP et MOC)<sup>4</sup>. On entend en général la notion d'additionnalité sous deux formes :

- l'additionnalité environnementale. Cela signifie que le projet devra engendrer des réductions d'émissions supérieures à celles qui auraient prévalu en l'absence de projet. Mettre en place l'additionnalité environnementale d'un projet nécessite donc la définition d'un scénario de référence dans lequel les émissions se produisent selon une hypothèse dite de « business as usual » ;

<sup>4</sup> Mécanisme de Développement Propre et Mise en Œuvre Conjointe.

- l'additionnalité économique d'un projet s'entend par le fait que l'on ne doit pas subventionner des projets qui auraient de toute façon été entrepris. La mise en place d'un paiement pour le carbone doit servir à financer des projets qui sans cela ne seraient pas viables économiquement ; ou encore servir à compenser un éventuel surcoût associé à la politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Au niveau domestique, chaque pays est responsable du respect de ses objectifs et organise comme il l'entend sa politique climatique. Les projets doivent permettre de réduire les émissions ou atténuer leurs tendances d'évolution et contribuer à remplir l'objectif fixé pour le pays dans le Protocole de Kyoto.

## **ii. La mise en place d'un projet :**

Définir un projet passe par deux étapes. Il s'agit premièrement de définir un scénario de référence. Ensuite, il faut émettre une hypothèse alternative à ce scénario de référence.

**Première étape :** *La construction d'un scénario de référence :*

Pour qu'un projet soit considéré comme étant additionnel, celui-ci doit permettre de réduire les émissions par rapport à un scénario de référence. Ce scénario de référence est défini par un niveau d'émission. La plupart du temps, ce scénario de référence est fondé sur les observations des tendances passées.

A l'occasion de la construction du scénario de référence on évaluera le rôle des produits bois dans la séquestration du carbone. *On répondra ainsi à la première attente de cette étude : quelle place accorder à la durabilité de la séquestration du carbone dans les produits bois.*

**Deuxième étape :** *Mettre en place un scénario alternatif au scénario de référence :*

*Scénario de référence :* le scénario de référence est un scénario où les secteurs émetteurs de Co2 utilisent du bois dans les proportions actuelles.

*Hypothèse d'additionnalité :* on suppose que le bois est utilisé en remplacement de matériaux dont la fabrication est à l'origine d'émissions de Co2.

*Définition de l'additionnalité :*

*L'additionnalité environnementale* serait alors définie par le fait que le secteur émetteur de Co2 utilise une proportion de bois plus importante que celle qu'il utilise dans le scénario de référence

On choisit de répartir de façon différente la récolte actuelle. Il s'agit ici d'affecter la récolte à des utilisations où le bois remplace *durablement* des matériaux dont la fabrication génère des émissions de Co2 comptabilisées au titre de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre. Dans ce cas, la situation pourrait être doublement favorable :

- la séquestration du carbone s'effectue dans des produits caractérisés par une longue durée de vie puis par un stockage du carbone sur le long terme. *La prise en compte de cette fonction se situe hors du cadre actuel de Kyoto ;*
- en utilisant des matériaux bois elle conduit à un différentiel positif dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les secteurs émetteurs de Co2 associés aux matériaux substitués réduisent leurs émissions.

L'additionnalité économique du projet, pourra être associée au fait que, sans la mise en place de crédits carbone pour la réduction des émissions de Co2, ces projets ne seraient pas entrepris.

Simultanément il faut résoudre le problème de la réaffectation de la ressource en rétablissant sa disponibilité par recyclage, amélioration du rendement de l'exploitation forestière, augmentation des prélèvements en forêt, importation de sciages ou de produits substitués.

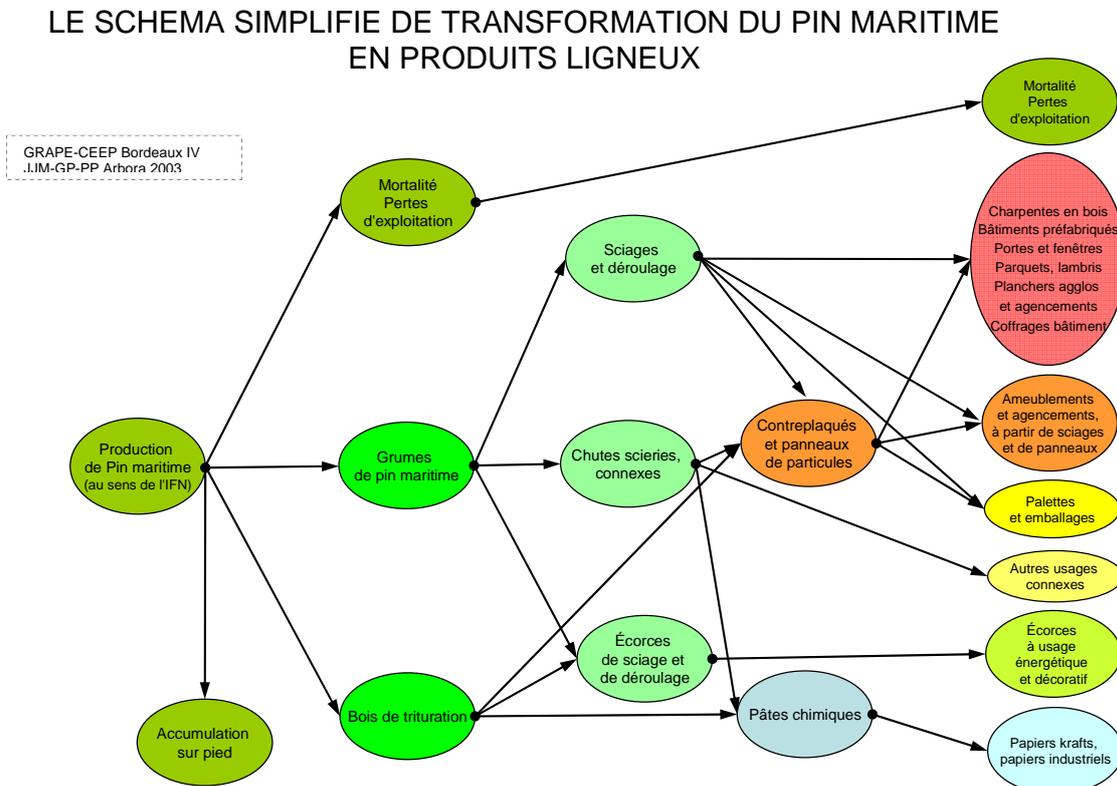
## b. La construction d'un projet additionnel pour le massif forestier des Landes de Gascogne:

Les simulations montrent que les quantités de carbone séquestrées dans les produits bois perdurent pendant de longues périodes. Les prélèvements qui sont issus de la forêt ne sont plus une perte. Ils contribuent à pérenniser les stocks de carbone constitués en forêt et sont pris en compte en tant que tel. On illustre cette approche pour le massif Landais. On analyse d'abord la situation existante ou scénario de référence. Dans un second temps, on esquisse un scénario alternatif qui permette d'évaluer le caractère additionnel par rapport à l'existant.

### i. L'existant ou scénario de référence

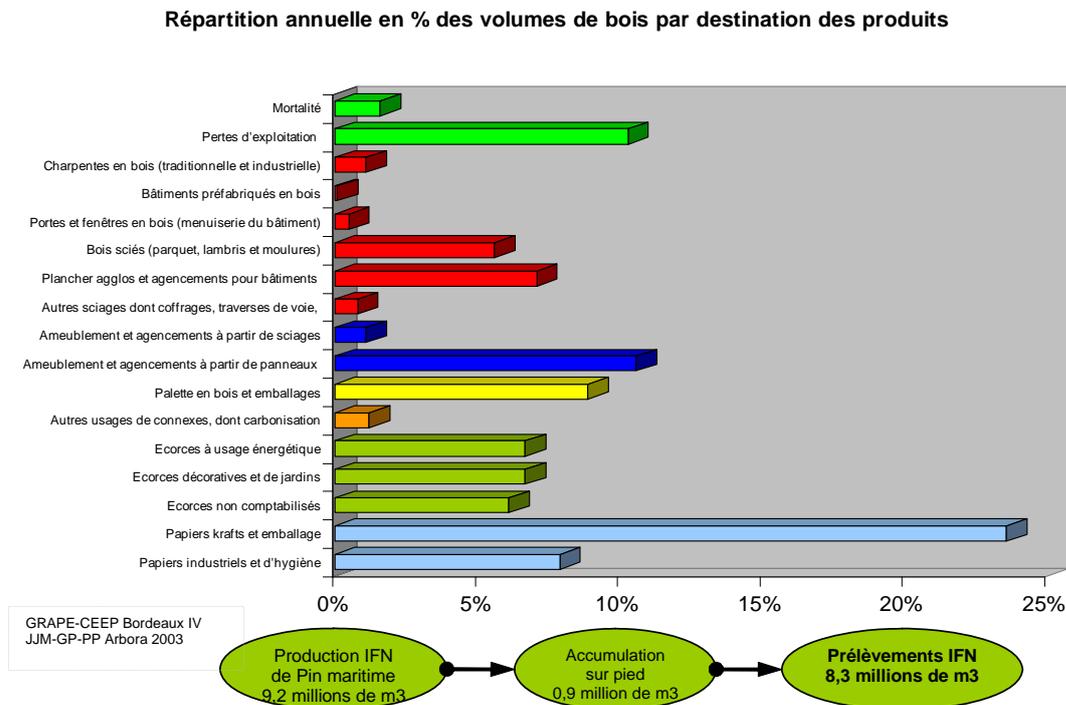
On considère ici uniquement les stocks de carbone constitués dans les produits bois. Les quantités concernées sont évaluées en fonction de la répartition des produits de la récolte de pin maritime en 1999. Dans ce scénario, on cherche à étudier l'évolution dans le temps de la séquestration du carbone résultant des flux de ressource prélevés en 1999.

Le schéma ci-dessous présente le circuit d'affectation de la ressource forestière dans les différents produits :



On ne s'intéresse ici qu'au devenir des produits qui ne subissent plus de transformation *si ce n'est le recyclage ou la destruction par incinération ou mise en décharge ultime*<sup>5</sup>. C'est le cas de la dernière colonne du schéma précédent.

Le diagramme ci-dessous montre les proportions de la ressource affectées selon les différents usages<sup>6</sup> :



Les flux de l'année<sup>7</sup> correspondent à un prélèvement de 8,3 millions de m<sup>3</sup> de bois qui après différentes applications de coefficients de conversion conduisent à une quantité de 1,407 million de tonnes de carbone<sup>8</sup>. L'essentiel de la transformation consiste à passer aux quantités de matière sèche présentes dans la ressource, puis à appliquer le coefficient de passage en tonne de carbone, en tenant compte du cas spécifique de la transformation de la ressource en pâtes à papier qui entraîne une déperdition importante de matière ligneuse<sup>9</sup>. Le diagramme de la page suivante illustre cette répartition.

<sup>5</sup> On notera la confusion possible qu'induit la notion de « gisement de bois » utilisé par l'ADEME qui comptabilise simultanément des sous-produits de la 1<sup>o</sup> et 2<sup>o</sup> transformation de la filière bois

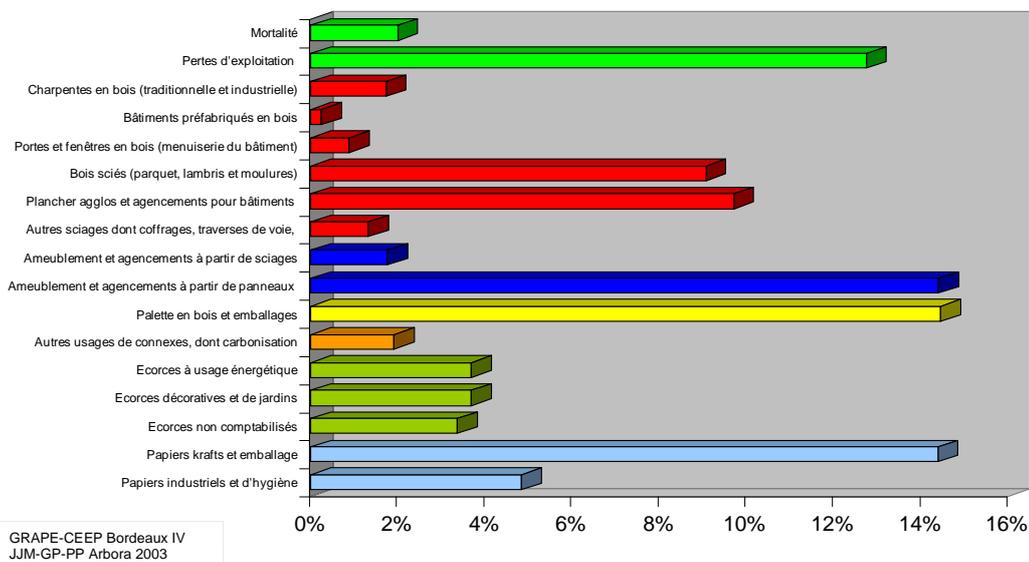
<sup>6</sup> Pour de plus amples précisions on pourra se reporter à JJ MALFAIT, G. PAJOT, P. POINT « le Puits de carbone Landais » VII<sup>o</sup> colloque ARBORA, 2003, Bordeaux .

<sup>7</sup> C'est une moyenne annuelle observée entre le 3<sup>o</sup> et 4<sup>o</sup> inventaire de l'Inventaire Forestier National

<sup>8</sup> Ce chiffre intègre un complément importé dans la région de 250 000 de m<sup>3</sup> de connexes

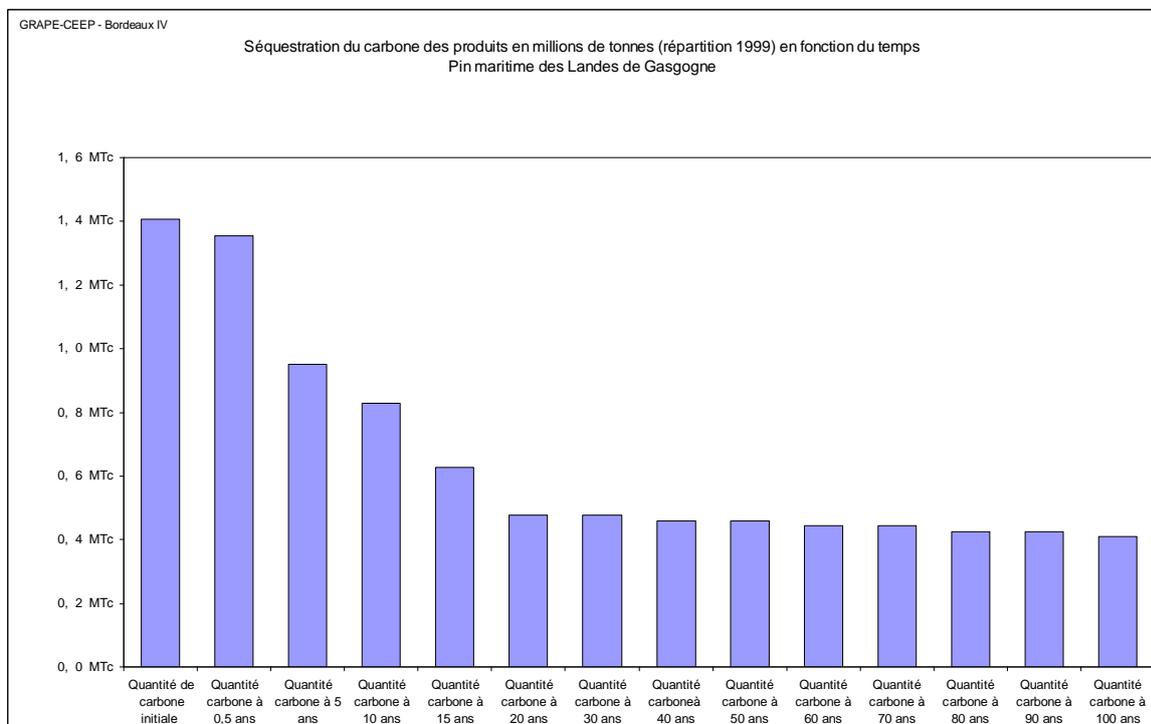
<sup>9</sup> ibidem

Répartition annuelle en % des quantités de carbone par destination des produits

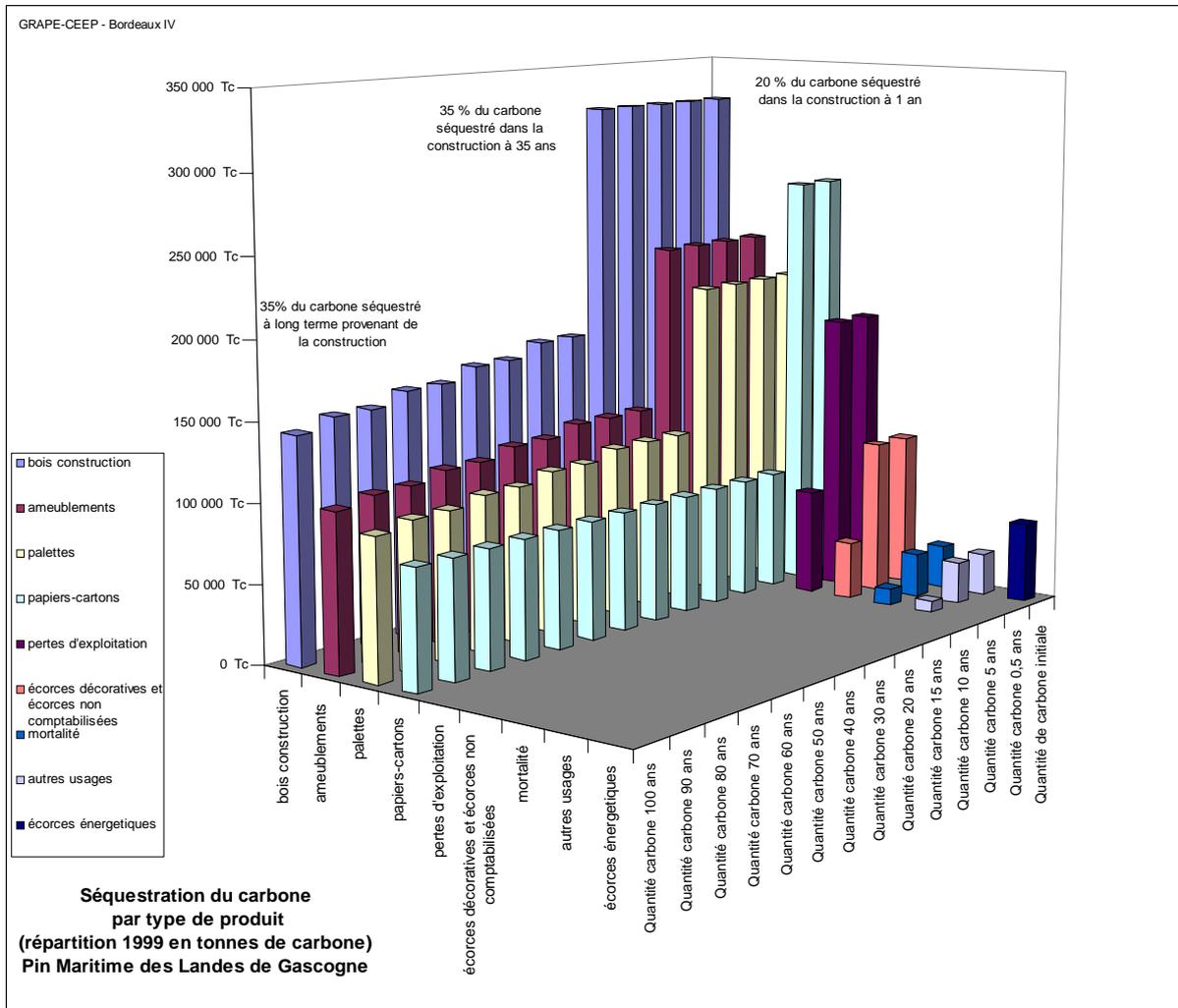


Équivalent carbone aux 8.3 millions de m3 de pin maritime : 1.4 million de tonnes de

Au total sur une période d'un siècle la quantité de carbone définitivement séquestrée est représentée sur le diagramme ci-dessous (*en millions de tonnes*). On trouvera en annexe 1 les hypothèses relatives au calcul de la perte de carbone au cours des diverses transformations des produits en tenant compte de leurs durés de vie respectives.

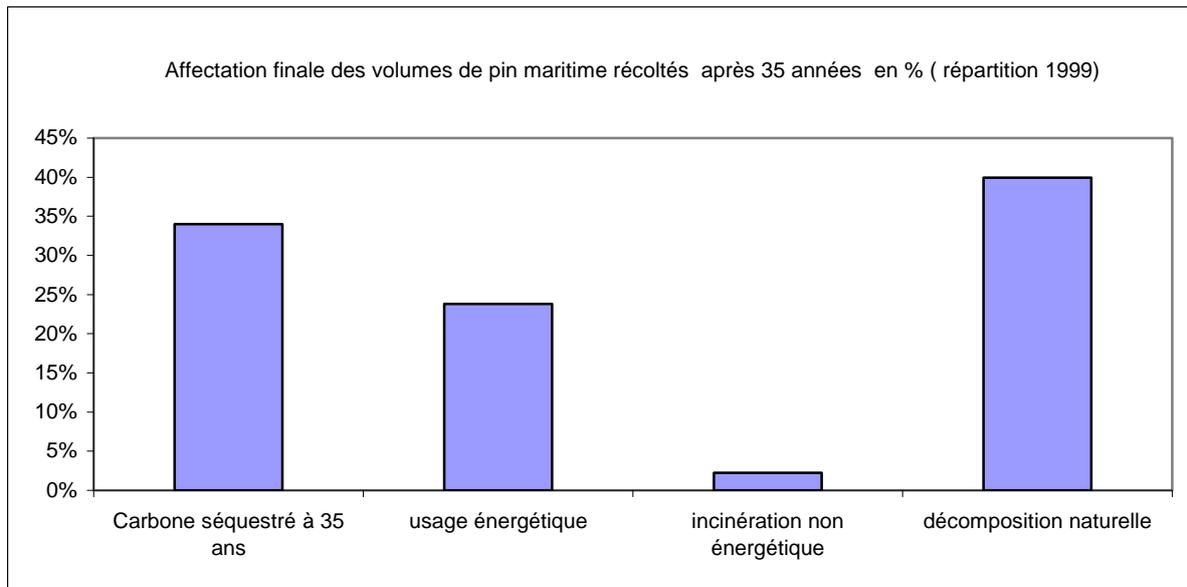


La répartition du carbone séquestré par type de produits est représentée ci-après



Ce sont les trois principaux usages, construction, ameublement, emballages, qui expliquent l'essentiel de la séquestration du carbone (ils représentaient à l'origine à peine plus d'un tiers des usages de la ressource forestière). On a insisté ici sur le cas particulier des usages destinés à la construction. Au début du cycle c'est 20% seulement du carbone qui y est séquestré, mais à 35 ans et au bout d'un siècle cet usage a généré plus d'un tiers de la séquestration. Notons cependant que la question de la séquestration du carbone au travers des papiers cartons méritant d'utiles approfondissements.

En définitive la séquestration finale et pérenne du carbone issue des flux de la ressource du massif forestier landais de pin maritime pourrait avoisiner le tiers de ces derniers comme le montre le diagramme de la page suivante.



*Cependant au-delà d'une période normale d'usage des produits, qui pour une petite partie des sciages affectés à la construction peut atteindre 40 ans (2%), il semble que ce soit l'hypothèse d'un enfouissement stable de ces produits qui garantisse ce résultat à plus long terme. On peut en effet considérer que seulement 30% des déchets bois seraient incinérés, le reste étant soit recyclé soit enfoui en décharge. Notons que dans le cas présent les deux dernières destinations conduisent bien à pérenniser la séquestration du carbone.*

En ce qui concerne la mise en décharge on se reportera à la littérature citée en annexe 1 sur la question. Elle montre que la perte de carbone est rapidement stoppée dès que les déchets bois sont en situation anaérobie. De nombreuses études menées à l'étranger utilisent d'ailleurs cet argument pour justifier la prise en compte du stockage de carbone dans les produits bois dans les inventaires nationaux des stocks de carbone<sup>10</sup>.

En ce qui concerne le recyclage un ordre de grandeur de 15% pourrait être retenu<sup>11</sup>. Ce dernier n'a de réelle importance que sous l'angle d'une ressource potentielle supplémentaire.

En ce qui concerne les papiers cartons on a retenu le chiffre national de 50% de matière recyclée, sachant que ce taux est sûrement inférieur pour la filière papiers-cartons Aquitaine.

*Il faut cependant garder en mémoire le caractère artificiel d'un raisonnement qui consiste à faire l'hypothèse que le devenir à long terme des produits issus de la forêt landaise restera identique à celui que l'on constate aujourd'hui.*

<sup>10</sup> (voir Ximenes, 2006 ; Perez-Garcia et al., 2005 ; Gardner et al., Micales et Skog, 1997 ; Beck et al, 2005).

<sup>11</sup> Il est question d'un gisement potentiel de 5 millions de tonnes en France dont seulement 30% est correctement exploité actuellement (Séminaire national de l'ADEME du 20 octobre 2005). Il est cependant difficile de rapporter ce flux théorique à un stock. Si considère un flux de renouvellement constant faut-il considérer les seuls sciages ? (10 Millions de m3 de sciages français en 1999), leur poids de matière sèche ? (de 5 à 6 millions de tonnes) Sans doute faut-il ajouter la production de panneaux (2 millions de M3). Les tonnages récupérés dans les déchèteries aquitaines laissent apparaître un taux bien plus faible (30 0000 tonnes en 2000). (ADEME Aquitaine). Nous avons retenu ici un taux minimum de 15%, une partie de flux étant amenés eux même à disparaître à chaque cycle de réemploi environ tous les 20 ans

Les autres enseignements que l'on peut déduire de ces investigations concernent la part importante de production énergétique dégagée par ces produits, mais aussi la ressource potentielle que représentent toutes les formes de décomposition naturelle des bois qui pourraient être mobilisées pour des usages apportant plus de valeur ajoutée.

*En l'état de ces réflexions la forêt posséderait bien fonction séquestratrice nette du carbone du bois issu d'une coupe dans une forêt (certifiée PEFC), le reboisement, qui en est le corollaire obligatoire, conduisant à alimenter régulièrement cette capacité de séquestration en maintenant les stocks sur pied à un niveau constant.*

## **ii. La mise en œuvre de l'additionnalité par rapport à l'existant**

On se place dans le cadre de l'additionnalité des projets définie précédemment.

L'observation des durées de vie des produits a permis de déterminer les usages les plus longs et ceux où le bois peut remplacer *le plus efficacement* des matériaux dont la fabrication génère des émissions de Co2 comptabilisées au titre de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre. Il apparaît que c'est dans le domaine de la construction que cette durée de vie est la plus longue<sup>12</sup>. D'autre part ces usages concernent les sciages.

### **o L'affectation des sciages à la branche construction**

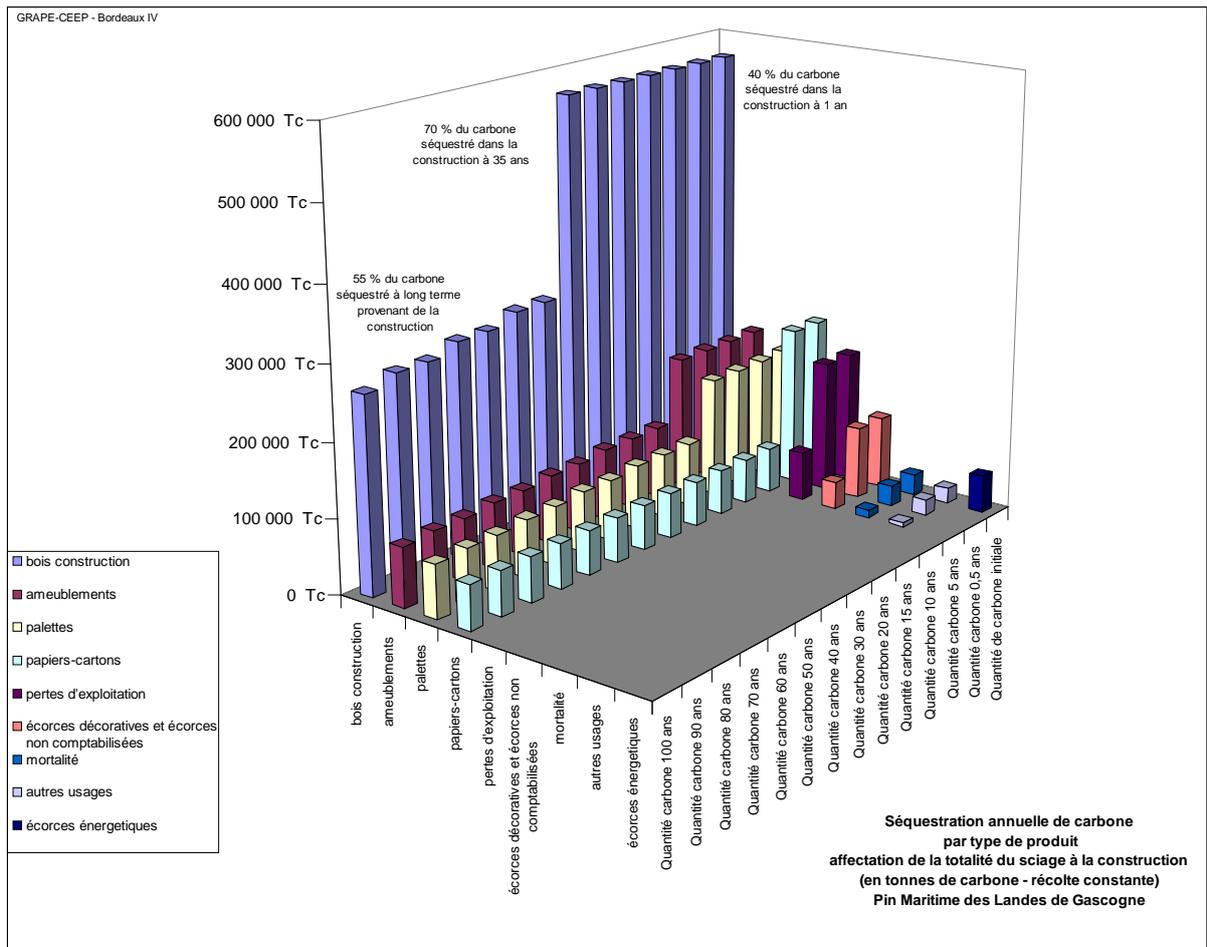
L'analyse de la récolte 1999 montre que les grumes représentent seulement 50% de la récolte retenue. Si on admet un rendement de 50% sous écorce, on dispose seulement d'un volant de 20% de la récolte qui peut être affectée à des usages à très long terme comme la construction. Environ 7,5 % des usages actuels répondaient en 1999 à cet objectif<sup>13</sup>. C'est environ 12,5% de la ressource qui peuvent ainsi être réaffectés, soit environ *1 million de m3 de sciages*.<sup>14</sup> Si on adopte ce scénario on réduit l'approvisionnement général des autres branches de 12%, ce qui compte tenu de la part fixe d'écorces et de pertes d'exploitation conduit à une réduction réelle de 20%. *Dans les faits c'est le poste « emballages » représentant essentiellement les palettes, l'ameublement et matériaux divers de chantiers qui verraient disparaître leur approvisionnement en sciage.* On peut supposer cependant que dans ce cas une partie de la ressource de bois de trituration serait réaffectée à d'autres usages. Le diagramme ci-dessous illustre les conséquences de cette réaffectation de la ressource avec l'hypothèse d'une baisse des ressources en bois de l'ensemble des autres branches d'activité.

---

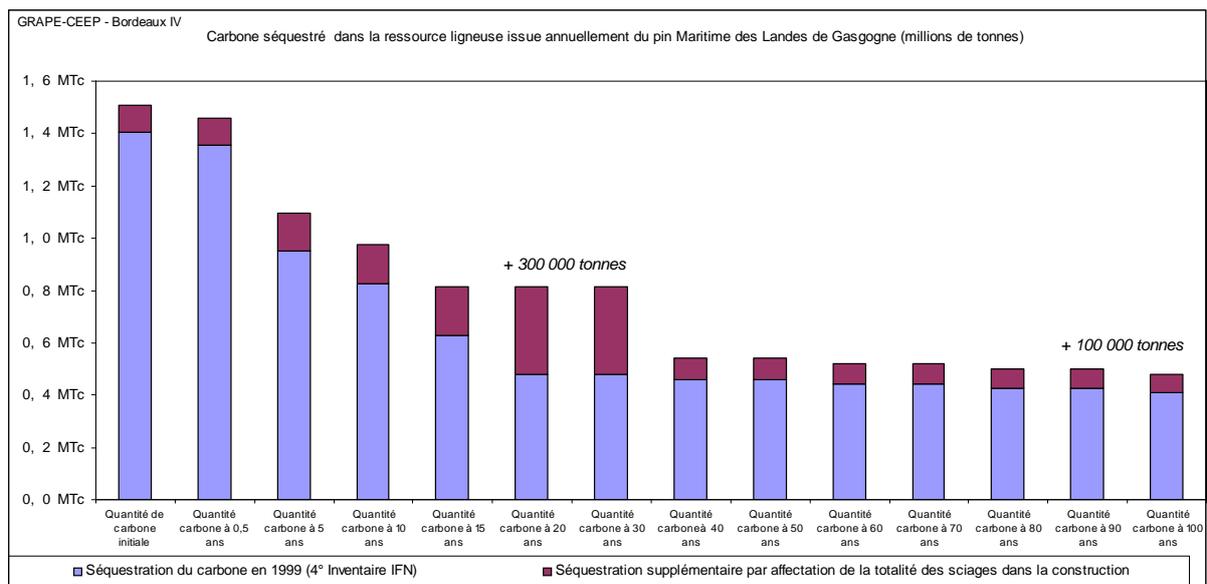
<sup>12</sup> On se base ici sur les enquêtes dites de « destination » des sciages menées par le Service de la Forêt et du Bois de la région Aquitaine.

<sup>13</sup> Charpente, maison et bâtiments en bois, portails, menuiserie industrielle, parquets, ... *Notons que l'affectation des sciages en priorité à ces usages a pour effet d'allonger la durée de vie moyenne des produits bois de cette branche d'activité à plus de 35 ans*

<sup>14</sup> On passe de 0,625 à 1,670 million de m<sup>3</sup>.



Sous cette hypothèse la séquestration dans les usages de construction fluctue entre 40% du total au début du cycle, passe par un maximum de 70% à 35 ans pour se stabiliser à 55% dans le long terme. La quantité initiale séquestrée augmente aussi du fait de la diminution de la part affectée à la fabrication des pâtes à papiers et cartons. Le diagramme de la page suivante illustre ce résultat.



Sur le moyen terme c'est sur la période 20 à 35 ans que l'augmentation est la plus sensible (plus de 300 000 tonnes de carbone), du fait de la forte croissance des bois affectés à la construction. Sur le long terme le supplément de stockage serait un peu inférieur à 100 000 tonnes de carbone. Cependant cette situation est difficilement envisageable. Cette réaffectation ne peut être envisagée durablement que si les autres branches d'activités peuvent maintenir leur approvisionnement.

○ *Le maintien des approvisionnements des autres branches d'activité*

Diverses solutions ont été étudiées. Nous avons vu qu'un million de m<sup>3</sup> de sciages (1,045 million de m<sup>3</sup>) était enlevé à différentes branches. Une première solution résiderait dans l'augmentation des capacités de recyclage des bois. Compte tenu de la collecte actuelle en Aquitaine il y a une marge de manœuvre importante, mais sans doute avec de grandes difficultés de réalisation. D'autre part cette ressource ne pourrait se substituer partout à du sciage. L'importation de sciages pourrait aussi pallier ce manque de ressource.

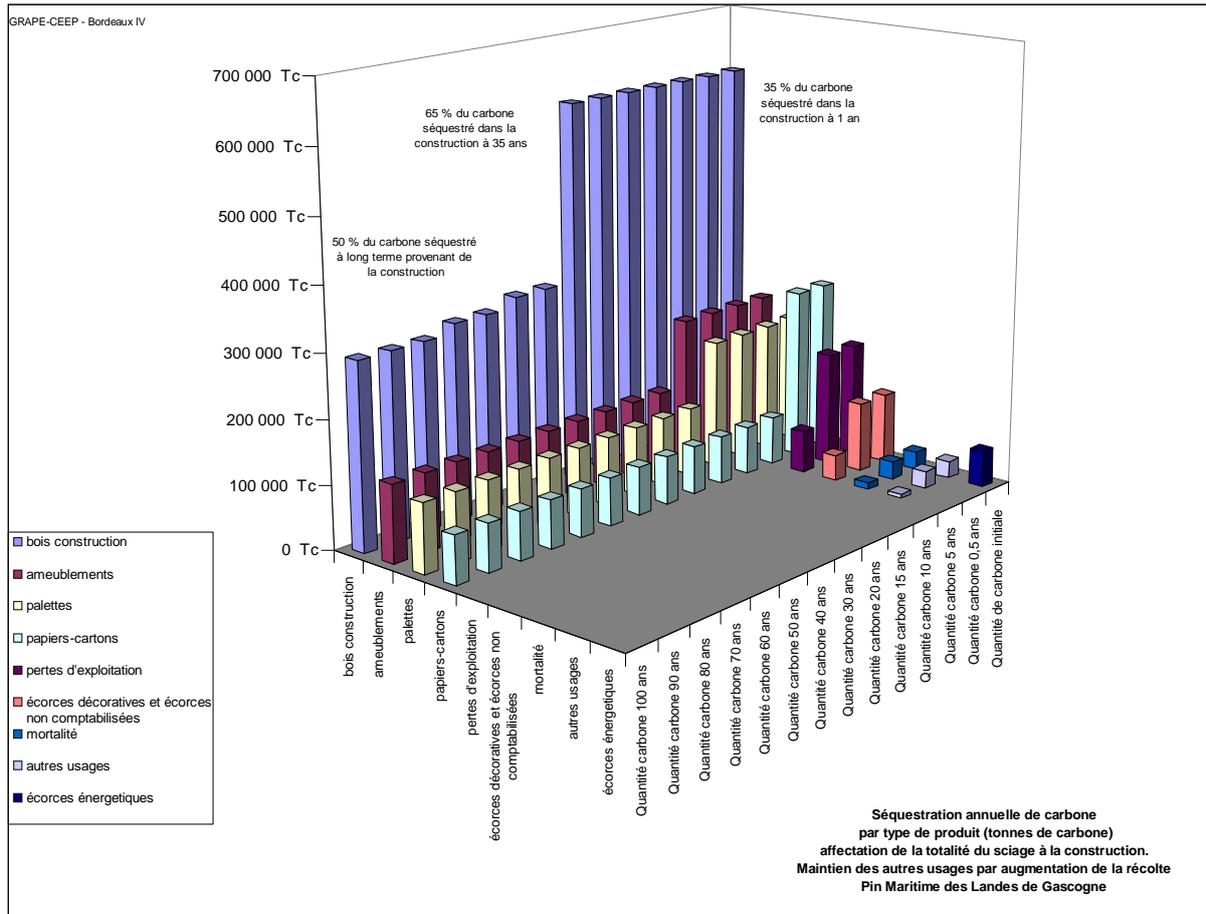
Une autre solution consisterait à dégager un supplément de récolte pour revenir aux consommations antérieures des différentes branches. Le supplément nécessaire serait de **1,25 million de m<sup>3</sup> de bois**, en considérant que les pertes d'exploitation au sens de l'IFN restent constantes. En conservant le niveau *de sciage* précédent (1,65 million de m<sup>3</sup>) affecté à la construction, la récolte supplémentaire (1,25 million de m<sup>3</sup> de bois) permettrait de dégager un supplément de 250 000 m<sup>3</sup> de sciage.

Rappelons cependant que le massif landais se caractérise déjà par un taux de prélèvement important de la ressource, et qu'une estimation de l'accumulation annuelle de bois de pin maritime sur pied n'était que de l'ordre du million de m<sup>3</sup> avant la tempête de 1999.

Notons que le supplément de sciage devrait en particulier alimenter la branche ameublement<sup>15</sup> et certains usages spécifiques dont nous avons supprimé les approvisionnements, même leur consommation est finalement limitée (150 000 m<sup>3</sup>). Par contre tous les usages « non nobles » comme les palettes devraient trouver des substituts de qualité inférieure. D'autres ressources complémentaires peuvent être envisagées par l'importation, l'amélioration de récolte des résidus d'exploitation forestière et nous l'avons déjà dit le recyclage des produits bois, que ce soit par récupération avant mis en décharge ou incinération. Enfin l'augmentation des prélèvements aurait pour conséquence de stabiliser les stocks sur pied au niveau de l'optimum économique, les suppléments de séquestration provenant désormais des produits de 2<sup>o</sup> transformation. Les diagrammes suivants visualisent cette solution.

---

<sup>15</sup> L'ensemble de ces usages représentait en 1999 environ 150 000 m<sup>3</sup>

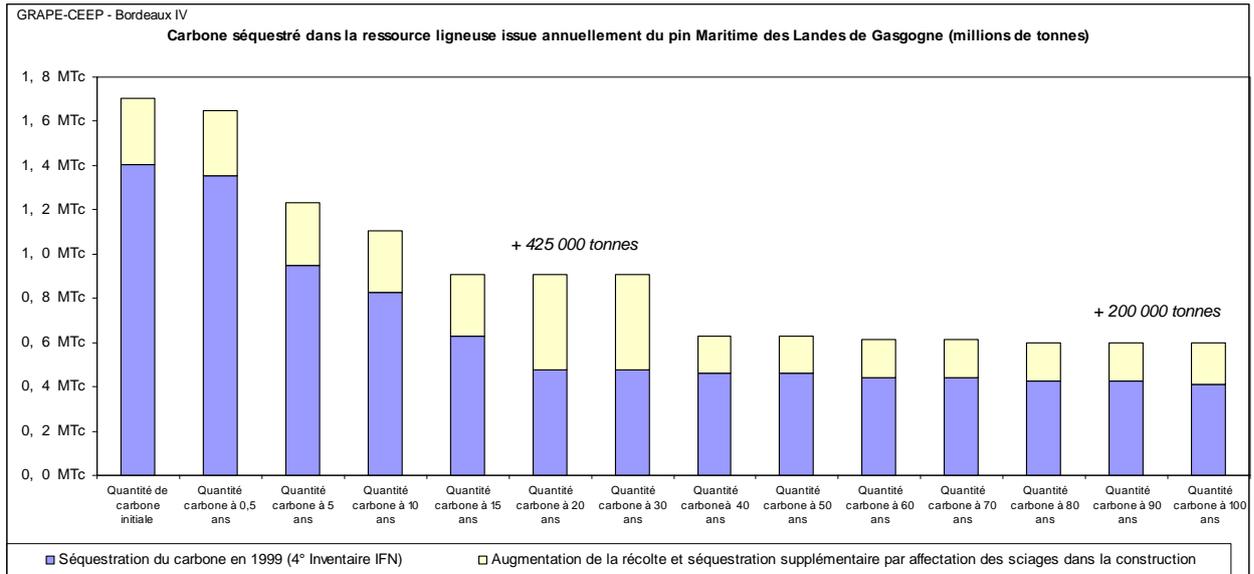


L'augmentation de récolte conduit naturellement à une légère réduction de la part des usages destinés à la construction dans la séquestration du carbone qui varie désormais entre 35% du total au début du cycle, passe par un maximum de 65% à 35 ans pour se stabiliser à 50% dans le long terme.

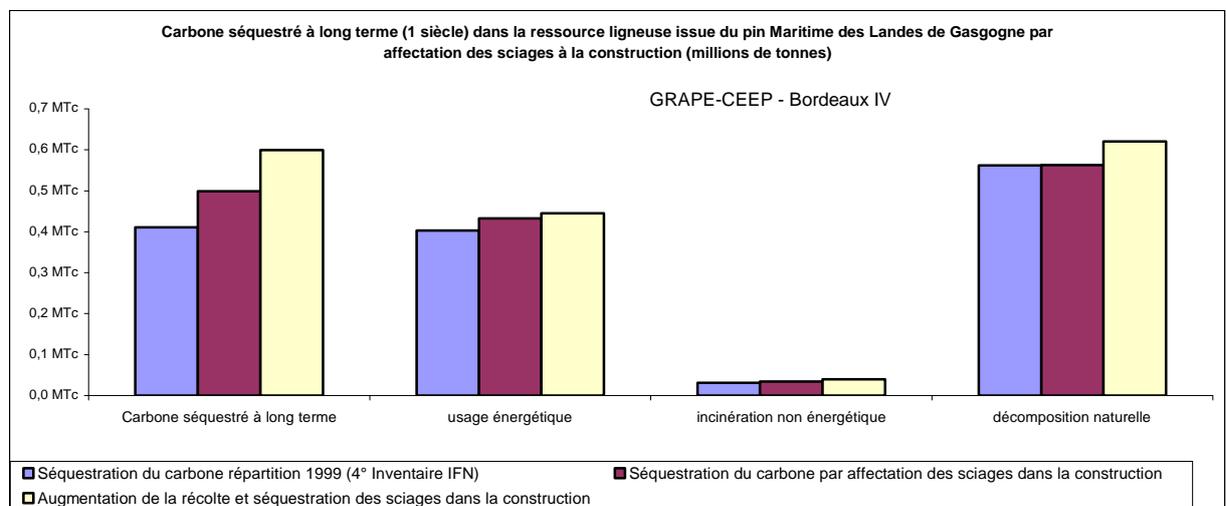
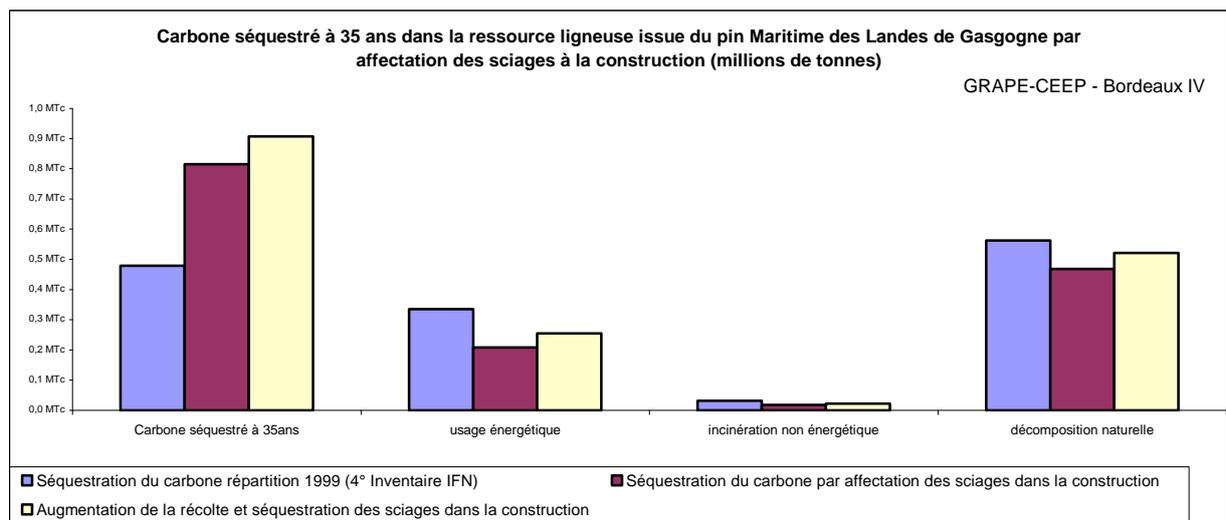
○ Les crédits carbone issus du stockage dans les produits

Le total de carbone séquestré augmente de 300 000 tonnes en début de période par rapport à la situation initiale (20%), mais c'est aux alentours des 40 ans que la séquestration avoisine le double soit un supplément de 425 000 tonnes pour décroître à long terme à un total voisin de 200 000 tonnes ensuite comme le montre le diagramme de la page suivante. *On retrouve bien le potentiel de séquestration dégagé par un million de m<sup>3</sup> de sciage qui représente environ 250 000 tonnes de carbone*<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Un m<sup>3</sup> de sciage contiendrait 540 kg de matière sèche ce qui compte tenu d'une teneur moyenne de carbone de 0,5 par unité de matière sèche représente environ 250 000 tonnes de carbone.



En résumé les deux diagrammes suivants montrent la pertinence du projet proposé en ce qui concerne le premier volet de l'additionnalité des capacités de séquestration dans les produits bois, en particulier sur une période de moyen terme de l'ordre de 40 ans.



Selon les critères d'additionnalité que nous avons définis précédemment, les crédits carbone seraient attribués sur la base des quantités séquestrées en *supplément* de celles du scénario de référence. Etant donné le profil d'évolution du stock de carbone, qui décroît au cours du temps, et prenant en compte le fait que seule une partie des stocks est conservée de façon permanente, certains auteurs (voir Ximenes, 2006 ; Beck et al., 2005) ont proposé d'attribuer les crédits carbone sur la base des quantités séquestrées en permanence dans les décharges. Ce type d'attribution de crédit permet de s'affranchir des contraintes et problèmes méthodologiques liés à l'évolution ou à la permanence de ce stock de carbone. Dans le cas qui nous intéresse, cela donne, selon que l'on augmente ou non les quantités totales de bois, environ 100 000 à 200 000 tonnes de carbone additionnelles au bout d'un siècle.

Cependant il semblerait plus pertinent d'essayer de maintenir les niveaux atteints au cours des 40 ans premières années, les stocks additionnels étant compris entre 300 000 et 425 000 tonnes de carbone. C'est dans le recyclage et le prolongement de la durée de vie des produits que se trouve sûrement la solution. La mise en décharge reste une solution de dernier recours.<sup>17</sup>

*Si on veut mettre en œuvre une vraie politique incitatrice au stockage du carbone, il faut envisager que le secteur forestier reçoive des crédits pour sa contribution à la pérennisation du stockage dans les produits.*

- *Les crédits carbone issus de la substitution de matériaux*

Le second volet du projet va concerner la réduction de la demande de matériaux par substitution du bois. Dans ce cas les fabricants de ces matériaux réduisent leurs émissions du fait de la baisse de la demande, et non pas du fait d'une amélioration technologique.

Concernant le potentiel du bois en tant que matériau de substitution, on peut se référer à l'étude de Claude Roy (1999). Il estime qu'un mètre cube de bois transformé utilisé dans le bâtiment évite l'émission *nette* de 1,2 tonne de Co2 s'il remplace de l'acier, et de 0,3 tonne de Co2 s'il remplace du béton.

Nos propres calculs, fondés sur les émissions de carbone par type de matériaux ainsi que le poids des structures selon qu'elles soient en bois ou en acier, nous conduiraient à un potentiel de substitution de 1,8 tonne de Co2 *nette* évitée pour un mètre cube de bois dans le bâtiment lorsque ce bois remplace de l'acier (voir tableau n° 3 de l'annexe 2).

On montre ainsi que les calculs sont fortement dépendants de nombreuses hypothèses, relatives notamment à la résistance et au poids des matériaux, aux types de bâtiments, structures envisagées, ou encore au type de bois que l'on va utiliser. Il s'agit ici d'une première ébauche du calcul du potentiel de substitution du pin maritime à d'autres matériaux de construction. Une estimation plus précise exigerait des développements importants relatifs aux relations entre les matériaux, leur poids, résistance et émissions générées par leur fabrication.

En supposant donc *qu'un million de m3 de sciage* de pin maritime vienne en remplacement d'acier dans le bâtiment, les émissions évitées s'évalueraient entre 1,2 et 1,8 millions de tonnes de Co2, à l'origine d'un crédit carbone du même montant.

---

<sup>17</sup> Notons que l'incinération des produits ne peut se concevoir dans cette optique que si elle permet un remplacement de combustibles fossiles

De façon générale la charte Bois-Construction-Environnement considère qu'un mètre cube de bois supplémentaire dans la construction permet d'éviter 0,8 tonnes d'émission de Co2 soit ici 800 000 tonnes de Co2 évités.

## Conclusion

Si on veut mettre en œuvre une vraie politique de réduction des émissions par substitution de matériaux il faut envisager le transfert des crédits carbone non consommés par les secteurs émetteurs au profit du secteur forestier.

Le rapport entre stockage additionnel et émissions évitées semble montrer l'importance du double rôle de séquestration et de réduction d'émissions de produits substitués<sup>18</sup>

Si l'on veut atteindre les objectifs d'additionnalité environnementale du projet de séquestration du carbone à savoir, fixation d'un million de tonnes de Co2 par séquestration dans des produits bois et évitement d'une quantité voisine d'émissions par substitution de bois à d'autres matériaux, il faut mettre en œuvre des mécanismes d'additionnalité économique permettant d'orienter la production des sciages vers des usages pérennes dans la construction.

Le montant de ces incitations pourrait dépendre naturellement de la valeur des crédits carbone correspondant aux séquestrations réalisées et aux émissions évitées par le projet additionnel.

Elles seraient la contrepartie des coûts résultant des contraintes de gestion sylvicole supplémentaires permettant la production de bois répondant aux besoins spécifiques de produits de longue durée de vie, qualité des bois, limitation des marchés, contrats d'approvisionnement, traçabilité et certification des produits, ...

La sylviculture aurait pour objectif, compte tenu de la reconnaissance du rôle des produits issus du bois dans la réduction des gaz à effet de serre, de maintenir un flux maximal de ressource ligneuse annuel.

A elle d'assurer ce flux régulier, en réalimentant en permanence le stock sur pied nécessaire à cette production, selon des objectifs économiques classiques répondant à un optimum de rentabilité sur une infinité de périodes.

---

<sup>18</sup> Rappelons qu'un million de tonnes de Co2 est équivalent à 270 000 tonnes de carbone. La séquestration et les émissions évitées pour 1 million de m<sup>3</sup> de sciage sont donc voisines si elles sont exprimées dans la même unité, notons bien que les fonctions se cumulent bien, étant indépendantes l'une de l'autre.

## Annexe 1 : La décomposition des produits bois à long terme :

Tableau n° 1 : Hypothèses relatives aux quantités de carbone séquestrées par type de produits		
Nomenclature de produits	Durée de vie	Processus de déperdition du carbone
mortalité et pertes d'exploitation	<i>décomposition en 8 années</i>	décomposition linéaire sur 8 années ; reste 3/8 du carbone au bout de 5 années, décomposition totale à 10 ans
bois construction	<i>durée moyenne de 18,5 années : 20 ans pour la plupart des produits, 40 ans pour le gros oeuvre (1,1% des flux)</i>	A 20 ans 70% de produits vont en décharge ou sont recyclés avec une perte de 20% du carbone enfoui, soit un solde de 56 %. A 40 ans on enlève 5% du à l'incinération d'une partie des produits recyclés et ainsi de suite tous les 20 ans
ameublements	<i>durée moyenne 11,1 ans (10 ans pour l'usage principal)</i>	A 15 ans 70% de produits vont en décharge ou sont recyclés avec une perte de 20% du carbone enfoui, soit un solde de 56 %. A 20 ans on enlève 5% du à l'incinération d'une partie des produits recyclés et ainsi de suite tous les 20 ans
palettes	<i>durée de vie moyenne 7 ans</i>	On compte un recyclage complet donc une séquestration sur 10 ans, puis 70% de produits vont en décharge ou sont recyclés avec une perte de 20% du carbone enfoui, soit à 20 ans un solde de 56 %. A 40 ans on enlève 5% du à l'incinération d'une partie des produits recyclés et ainsi de suite tous les 20 ans
autres usages	<i>durée 6 mois</i>	A 5 ans 70 % des produits vont en décharge ou sont recyclés avec une perte de 40% du carbone enfoui, soit à 5 ans un solde de 42%
écorces décoratives et non comptabilisées	<i>décomposition en 8 années</i>	décomposition linéaire sur 8 années ; reste 3 / 8 du carbone au bout de 5 années, décomposition totale à 10 ans
écorces énergétiques	<i>émission immédiate</i>	-
papiers -cartons	<i>durée 6 mois</i>	<b>Les papiers et cartons sont recyclés à 50 %, 25% de ceux collectés ont fait l'objet d'une incinération, les 25 % restants vont en décharge. Les papiers et cartons enfouis en décharge perdent 40% du carbone présent à l'enfouissement, soit un solde de 30% La deuxième année on renouvelle le même traitement, au bout de 5 ans environ la moitié du papier issu du flux a été enfoui en décharge (5 recyclage au maximum pour une fibre)</b>

Tableau n° 2 : Taux de décomposition de la ressource ligneuse en décharge contrôlée

Etudes	Décomposition		Taux de séquestration permanent	
	Durée	Taux	Bois	Papier
<i>Micales et Skog (1997)*</i>			97-100%	70%
<i>Gardner et al.(2002)**</i>	Site 1	19 ans	4,10%	
	Site 2	29 ans	2,50%	
<i>études de laboratoire***</i>				
<i>Bingemer et al.(1987)</i>			65 %	

\*Le méthane est émis est converti en quantités de carbone perdues

\*\*sur le site 2, pas de récupération de méthane

la récupération du méthane accélérerait le rythme de décomposition de la matière organique

\*\*\*citées par Gardner et al.

ces études surestimerait les émissions de méthane

## Annexe 2 : le potentiel du bois en tant que matériau de substitution

Tableau n° 3 : Eléments de calcul des bilans carbone bois/acier dans la construction (les valeurs des émissions sont exprimées en carbone ; une tonne de Co2 = 0,27 tonne de carbone) :

Elements d'ouvrage	cube/mètre carré d'élément	Mise en œuvre du pin		Mise en œuvre de l'acier	
		Poids en MS de pin*	Emissions de carbone	Poids en acier	Emissions de carbone
		En tonnes		En tonnes	
<i>Charpente industrielle</i>	3	1,62	0,24	2,15	1,72
<i>Charpente traditionnelle et lamellé collé</i>	4	2,16	0,32	2,87	2,3

\*MS=matière sèche

Emissions évitées par mètre carré de charpente  
0,5 tonne de carbone  
soit 1,8 tonne de Co2

## **Annexe 3 : Synthèse du projet**

### **Evaluation de la faisabilité d'un projet de séquestration additionnel dans les produits bois de la forêt de pin maritime des Landes de Gascogne**

#### **La notion d'additionnalité :**

Deux conceptions au sens de Kyoto

L'additionnalité environnementale implique que lorsqu'un projet est mis en œuvre, les réductions d'émissions doivent être supérieures à ce qui se serait passé en l'absence du projet.

L'additionnalité économique implique que les crédits carbone ne doivent pas servir à financer des projets qui auraient de toute manière été entrepris.

Pour définir un projet additionnel, il faut donc mettre en place un scénario de référence et un scénario alternatif.

#### **La mise en place du scénario de référence**

Le scénario de référence s'appuie sur les données moyennes annuelles de récolte de l'IFN et sur l'affectation des produits de l'exploitation ; on évalue quels sont les stocks de carbone générés par les produits de 2<sup>o</sup> transformation de la forêt de production de pin maritime des Landes de Gascogne. On établit que :

- ❖ Le stock de carbone des produits bois atteint environ 1,4 million de tonnes de carbone
- ❖ Le stockage pérenne (à 100 ans) pourrait avoisiner le tiers du stock initial.
- ❖ La part du bois destiné à la construction est prépondérante dans le stockage pérenne (1/3).

#### **La mise en place du scénario alternatif**

Dans le scénario alternatif, on s'attache à montrer quelles sont les conséquences d'une nouvelle affectation de la récolte. Dans un premier temps, on cherche donc à voir quel est l'impact d'une réaffectation de l'ensemble des bois de sciages à la construction (ces bois ont les durées de vie les plus longues). En fonction des contraintes techniques (20% maximum de la récolte en sciages), on suppose qu'un million de mètre cube supplémentaire est affecté à la production de sciages.

- ❖ La réaffectation de la récolte permet une augmentation initiale du stock de 100 000 tonnes, de 300 000 tonnes à 35 ans, de 100 000 tonnes dans le long terme (1 siècle)
- ❖ La part de la construction dans le stockage à 35 ans et au long terme est essentielle.

Si on veut maintenir l'approvisionnement des autres branches, l'augmentation de récolte doit être de 1,25 million de mètre cube.

- ❖ 250 000 mètres cube de sciages supplémentaires sont disponibles hors construction.

- ❖ Les usages dits non nobles et réalisés actuellement à partir de sciages (emballages – palettes) doivent trouver des constituants de qualité moindre.
- ❖ L'augmentation du stock initial est de 200 000 tonnes ; à 35 ans, le stock est le double du scénario de référence (+ 425 000 tonnes), et on a au final 200 000 tonnes supplémentaires.

## **L'évaluation de l'additionnalité du projet mis en œuvre**

### **L'additionnalité joue à deux niveaux :**

**La première** se fonde sur une évolution potentielle du Protocole de Kyoto vers la prise en compte des stocks de carbone dans les produits bois (actuellement, les prélèvements sont considérés comme une destruction des stocks de carbone forestier).

*Un million de m<sup>3</sup> de sciages supplémentaire affecté à la construction représente une séquestration d'un peu plus de 250 000 tonnes de carbone sur une période longue (35 ans) pérennisée pour une grande partie sur le très long terme. (La quantité équivalente de Co2 est de 1 million de tonnes).*

**La seconde** se base quant à elle sur les émissions évitées par l'utilisation du bois. On suppose en effet que le bois qui sera utilisé dans la construction viendra remplacer des matériaux dont la fabrication est à l'origine d'émissions de Co2 ; (acier, béton, aluminium etc.). Des crédits carbone seraient attribués aux forestiers sur la base des émissions évitées par la France (on suppose que les crédits ne sont plus attribués aux secteurs d'origine).

*Un million de mètres cube supplémentaires affecté à la construction viendraient réduire les émissions d'un montant compris entre 1,2 million et 1,8 million de tonnes de Co2 pour une substitution à de l'acier. La réduction moyenne serait de 0,8 million de tonnes de Co2 pour l'ensemble des matériaux. (Les quantités de carbone correspondantes varient selon les cas entre 220 000 et 480 000 tonnes). Un crédit carbone des montants correspondant serait libéré.*

*Si l'on veut atteindre les objectifs d'additionnalité environnementale du projet de séquestration du carbone il faut mettre en œuvre des mécanismes d'additionnalité économique permettant d'orienter la production de sciages vers des usages pérennes dans la construction.*

*Le montant de ces incitations dépendra de la valeur des crédits carbone correspondant aux séquestrations réalisées et aux émissions évitées par le projet additionnel. Sur la base de 10 à 15 euros par tonne de Co2, les crédits relatifs à la séquestration s'élèveraient de 10 à 15 millions d'euros, ceux relatifs aux émissions évitées à un montant voisin.*

*Ces incitations financières seront la contrepartie des coûts résultant des contraintes de gestion sylvicole supplémentaires permettant la production de bois répondant aux besoins spécifiques de produits de longue durée de vie, qualité des bois, limitation des marchés, contrats d'approvisionnement, traçabilité et certification des produits, ...*

*La sylviculture aura pour objectif, compte tenu de la reconnaissance du rôle des produits issus du bois dans la réduction des gaz à effet de serre, de maintenir un flux annuel maximal de ressource ligneuse.*

*Elle devra assurer ce flux régulier, en réalimentant en permanence le stock sur pied nécessaire à cette production en fonction des objectifs économiques classiques de rentabilité forestière sur une infinité de périodes.*

## Bibliographie

- ADEME (2005), *Biomasse, de nouveaux marchés ! Comment mobiliser la ressource ?*, séminaire national, Paris, 20 octobre 2005.
- BECK Tony, COWIE Annette, BEVERLEY Henry, MIKO Kirshbaum, RAISON John (2005), *Forestry Carbon Sequestration Review*, Department of Primary Industries, Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, Australian Government
- COLIN Antoine, GABORIT Guillaume (2005), *Rapports d'émissions du secteur de l'utilisation des terres, des changements d'affectation des terres et de la foresterie sous la convention climat et le Protocole de Kyoto: état des lieux en France*, VIIIème Colloque ARBORA, Carbone, forêt, bois : Impacts du changement climatique, stratégies pour la filière, 1 et 2 décembre 2005.
- GARDNER W.D., XIMENES F., COWIE A., MARCHANT J.F., MANN S., DODS K. (), *Decomposition of wood products in the Lucas Heights landfill facility*, disponible à l'URL suivante : <http://www.greenhouse.crc.org.au/ecarbon/eneews/gardner.pdf>
- MALFAIT Jean-Jacques, PAJOT Guillaume, POINT Patrick (2003), *Le puits de carbone landais*, Communication au VIIIème colloque ARBORA Existe-t-il un modèle socio économique Landais, décembre 2003 Bordeaux.
- MICALES J.A, SKOG K.E (1997), *The decomposition of forest products in landfills*, International biodeterioration and Biodegradation, Volume 39, n°2-3, pp 145-158.
- PEREZ-GARCIA John, LIPPKE Bruce, COMNICK Jeffrey, MANRIQUEZ Carolina (2005), *An assessment of carbon pools, storage, and wood product market substitution using life-cycle analysis results*, Wood and Fiber Science, Volume 37, Special Issue, pp 140-148
- ROY Claude (1999), *Options techniques et socio économiques de réduction des émissions de Co2 et d'augmentation des stocks de carbone*, Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France, Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural, Volume 85, n°6, pp 311-321.
- XIMENES Fabiano (2006), *Carbon storage in wood products in Australia: a review of the current state of knowledge*, rapport pour le Forest and wood products research and Development Corporation, Cooperative research Centre for Greenhouse Accounting, Australian Government, disponible à l'URL suivante : [http://www.fwprdc.org.au/content/pdfs/new%20pdfs/AMENDED%20final%20reportWEBDRAFT%20\(4\).pdf](http://www.fwprdc.org.au/content/pdfs/new%20pdfs/AMENDED%20final%20reportWEBDRAFT%20(4).pdf)

## Sites internet :

- <http://www.manicore.com/documentation/serre/actes.html>  
[www.fibra.net/pages/cons.htm](http://www.fibra.net/pages/cons.htm),  
[www.bois-construction.org/pdf/Comment\\_evaluer\\_le\\_cubage\\_de\\_bois.pdf](http://www.bois-construction.org/pdf/Comment_evaluer_le_cubage_de_bois.pdf)

---

***Cahiers du GREThA***  
***Working papers of GREThA***

---

**GREThA UMR CNRS 5113**

Université Montesquieu Bordeaux IV  
Avenue Léon Duguit  
33608 PESSAC - FRANCE  
Tel : +33 (0)5.56.84.25.75  
Fax : +33 (0)5.56.84.86.47

[www.gretha.fr](http://www.gretha.fr)

---

**Cahiers du GREThA (derniers numéros)**

- 2007-22 : BONIN Hubert, *Jacques Laffitte banquier d'affaires sans créer de modèle de banque d'affaires (des années 1810 aux années 1840)*
- 2008-01 : BERR Eric, *Keynes and the Post Keynesians on Sustainable Development*
- 2008-02 : NICET-CHENAF Dalila, *Les accords de Barcelone permettent- ils une convergence de l'économie marocaine ?*
- 2008-03 : CORIS Marie, *The Coordination Issues of Relocations? How Proximity Still Matters in Location of Software Development Activities*
- 2008-04 : BERR Eric, *Quel développement pour le 21ème siècle ? Réflexions autour du concept de soutenabilité du développement*
- 2008-05 : DUPUY Claude, LAVIGNE Stéphanie, *Investment behaviors of the key actors in capitalism : when geography matters*
- 2008-06 : MOYES Patrick, *La mesure de la pauvreté en économie*
- 2008-07 : POUYANNE Guillaume, *Théorie économique de l'urbanisation discontinuée*
- 2008-08 : LACOUR Claude, PUISSANT Sylvette, *Medium-Sized Cities and the Dynamics of Creative Services*
- 2008-09 : BERTIN Alexandre, *L'approche par les capacités d'Amartya Sen, Une voie nouvelle pour le socialisme libéral*
- 2008-10 : CHAOUCH Mohamed, GANNOUN Ali, SARACCO Jérôme, *Conditional Spatial Quantile: Characterization and Nonparametric Estimation*
- 2008-11 : PETIT Emmanuel, *Dynamique des préférences et valeurs morales : une contribution de la théorie des émotions à l'analyse économique*
- 2008-12 : BRANA Sophie, NICET-CHENAF Dalila, *Diversités des trajectoires dans l'Union européenne et sa périphérie*
- 2008-13 : CLEMENT Matthieu, MEUNIE André, *Economic Growth, inequality and environment quality: An empirical analysis applied to developing and transition countries*
- 2008-14 : GRAVEL N., MOYES Patrick, *Bidimensional Inequalities an Ordinal Variable*
- 2008-15 : ROUILLON Sébastien, *Variable Probabilities of Suit and Liability Rules*
- 2008-16 : MALFAIT Jean-Jacques, PAJOT Guillaume, *Séquestration des flux de carbone forestier : mise en place d'un projet d'additionnalité des usages du bois dans la construction*

---

La coordination scientifique des Cahiers du GREThA est assurée par Sylvie FERRARI et Vincent FRIGANT. La mise en page est assurée par Dominique REBOLLO.