



**GREThA**

Groupe de Recherche en  
Économie Théorique et Appliquée

---

**Séquestration des flux de carbone forestier : rotations des  
peuplements, prise en compte des produits bois  
et optimisation des stocks de carbone**

*Jean Jacques MALFAIT*

*Université de Bordeaux  
GREThA UMR CNRS 5113*

**&**

*Guillaume PAJOT*

*Macaulay Institute, Aberdeen, UK*

***Cahiers du GREThA  
n° 2008-19***

---

## **Séquestration des flux de carbone forestier : rotations des peuplements, prise en compte des produits bois et optimisation des stocks de carbone**

### **Résumé**

*On cherche à analyser les potentialités de séquestration du carbone en fonction de différents types de rotations de peuplements forestiers en relation avec la prise en compte des stocks de carbone accumulés dans les produits bois et de leur devenir en fin de vie. Les simulations sont menées à l'aide du logiciel Co2Fix. Une application est menée sur le massif forestier de pin maritime des Landes de Gascogne. On montre que les stocks de carbone des produits sont importants en régime permanent et que les rotations longues et les scénarios conservateurs de biomasse ne sont pas les plus performants. C'est dans un juste équilibre entre stockage dans la biomasse et les produits que l'on optimise la séquestration du carbone forestier. 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 Ligneux, Produits Bois, Modélisation, Secteur forestier

### **Carbon sequestration in forestry: rotation lengths, wood products and carbon storage optimisation**

### **Abstract**

*The aim of the paper is to analyse the impact of rotation lengths on carbon storage in the forest, but also on carbon storage in wood products. The software Co2Fix has been used to undertake the simulations. A case study has been conducted on the "Landes de Gascogne" forest. On a long time scale, the analysis shows that carbon storage in wood products is significant. The study also shows that the implementation of long rotations although it allows to increase forests carbon stocks reduces timber production, and is not finally the best strategy. 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, wood products, carbon sequestration, modelling, rotation lengths, forest sector

**JEL :** L73 ; Q23 ; Q54

**Reference to this paper:** MALFAIT Jean-Jacques, PAJOT Guillaume, "Séquestration des flux de carbone forestier : rotations des peuplements, prise en compte des produits bois et optimisation des stocks de carbone" n°, Working Papers of GREThA, n° 2008-19, <http://ideas.repec.org/p/grt/wpegrt/2008-19.html>.

## **1. Introduction \***

Dans le cadre des réflexions liées au changement climatique, le rôle des forêts en tant que puits et source de carbone est mentionné dans le Protocole de Kyoto, mais aussi comme un moyen possible de parvenir à l'objectif « Facteur 4 » (DGEMP, 2006 ; Ministère de l'agriculture, 2006). Selon les auteurs de ce rapport, les émissions de gaz à effet de serre d'un pays comme la France doivent être divisées par quatre afin d'atteindre au niveau mondial un objectif de stabilisation des concentrations atmosphériques. Cette stabilisation permettrait un réchauffement modéré, tout en laissant la possibilité aux pays en cours d'industrialisation de se développer. Les forêts font partie de la batterie de moyens proposés par les auteurs. Il s'agit de jouer sur la fonction de séquestration du carbone sur pied, mais aussi, dans le cadre d'une exploitation optimisée, de prendre en compte la capacité des produits bois à se substituer à des produits dont la fabrication est à l'origine d'importantes émissions de Co2 (ciment ou acier dans la construction). Si la comptabilisation des produits bois n'est pas prise en compte dans le cadre du protocole de Kyoto, elle pourrait l'être au delà du protocole en 2012.

*Ce scénario a pour but, à l'horizon d'un siècle, d'examiner l'impact de différentes durées de rotation de peuplements forestiers en tenant compte de la séquestration du carbone dans les produits bois. Le champ d'application régional retenu est le massif forestier de pin maritime des Landes de Gascogne. Une attention particulière a été portée au devenir des parcelles fortement endommagées lors de la tempête de 1999. On approfondira ce scénario dans le cadre d'une extension éventuelle des surfaces forestières en Aquitaine.*

Les simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel Co2Fix qui nous a permis, d'examiner les interrelations entre les stocks de carbone des produits et les stocks de carbone sur pied.

## **2. La recherche d'un outil de modélisation adéquat**

Dans le cadre de l'élaboration de stratégies forestières destinées à gérer et évaluer précisément les stocks et les flux de carbone, de nombreux outils de simulation ont été développés. Il nous a semblé que Co2Fix, notamment de par la flexibilité qu'il autorise lors du paramétrage et de par sa relative facilité d'utilisation, était le plus à même de répondre à nos besoins en matière de simulations<sup>1</sup>. La présentation du logiciel et son principe de fonctionnement général font l'objet des deux points de ce paragraphe.

### **2.1. Le logiciel Co2Fix**

Ce logiciel a été développé dans le cadre du programme « Carbon Sequestration in Afforestation and Sustainable Forest management » (CASFOR), financé par le programme INCO-DC de l'Union Européenne. Les équipes impliquées dans l'élaboration du logiciel sont constituées de membres de ALTERRA (Pays-Bas), du « Instituto de Ecologia » de l'Université Nationale du Mexique, du « Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza »

---

\* 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> On trouvera en annexe une présentation et étude critique d'autres logiciels d'évaluation des stocks et flux de carbone.

(CATIE) du Costa Rica, et du « European Forest Institute » basé en Finlande (voir Masera et al., 2003). Les premiers développements de Co2Fix remontent à 1999. La première version permettait de suivre la dynamique des stocks de carbone de peuplements mono spécifiques issus de plantations. La version 2 a été améliorée, permettant l'analyse de forêts plus complexes. Elle permet par exemple d'évaluer l'impact des coupes sélectives dans des forêts tropicales ou naturelles, de l'agroforesterie, ou encore de peuplements mélangés. Dans les deux versions, il est également possible de mesurer les stocks de carbone dans les produits bois ainsi que leurs évolutions. Les apports majeurs de la troisième version résident dans la création d'un module financier permettant d'évaluer la rentabilité économique des options de gestion et d'un module « crédits carbone » permettant l'évaluation du nombre de crédits carbone générés par le projet.

## **2.2. Principe général :**

CO2FIX permet donc de calculer les flux et stocks de carbone générés par les activités forestières et de simuler leur évolution à long terme selon différents scénarios de gestion, pour plusieurs cohortes de peuplement. Six modules constituent l'ossature de Co2Fix. Le premier module décrit l'évolution de la biomasse (pour différents types de parcelles forestières) et convertit les volumes de bois en stocks de carbone et les accroissements annuels en flux de carbone. Les paramètres de rotation et les hypothèses d'éclaircies et de coupe transfèrent les stocks de carbone de la biomasse vers les stocks de carbone du sol et les stocks de carbone des produits. Le second module concerne le sol. Les émissions de carbone du sol sont fonction de données climatiques et de la nature du couvert herbacé. Le carbone émis est aussi déterminé par le module des produits à base de bois, grâce à des paramètres qui décrivent l'efficacité du processus de fabrication, la durée de vie des produits et le recyclage. Concernant le module bioénergie, les déchets du module produits bois ainsi que les produits usagés peuvent être utilisés pour produire de l'énergie selon différentes technologies.

Un module financier prenant en compte les coûts des activités de gestion forestière permet d'analyser la rentabilité économique des différents scénarios. Co2Fix permet également la comptabilisation des crédits carbone générés dans les scénarios de gestion des forêts, selon que l'on se place dans l'optique de l'article 3-3 du Protocole de Kyoto (plantation de nouvelles forêts), dans l'optique de l'article 3-4 (activités de gestion forestière), ou que l'on souhaite simplement évaluer les quantités de carbone séquestrées dans le projet.<sup>2</sup>

Le scénario d'augmentation des stocks de carbone, par modification des conduites de peuplement et prise en compte simultanée des produits bois, va s'appuyer sur l'évaluation des stocks de carbone sur pied et des produits issus de l'exploitation du Massif Landais (Malfait et al., 2003). Co2Fix utilise des fonctions dégradation exponentielles négatives. Si la durée de vie d'un produit est N, alors 1/N% du stock initial se dégrade chaque année. Pour modéliser l'évolution des stocks de produits, nous avons, moyennant quelques hypothèses sur les durées et profil de fin de vie, abouti à un stock de carbone des produits à 100 ans représentant environ un tiers du stock initial<sup>3</sup>. Ce stock pourrait ensuite être pérennisé sur un très long terme par les bois mis en décharge.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Dans le contexte de l'évaluation de ces crédits carbone, il est possible également de paramétrer un scénario de référence, qui peut permettre d'évaluer l'additionnalité du projet. On rappelle que cette condition est requise dans le Protocole de Kyoto pour qu'un projet puisse générer des crédits carbone échangeables.

<sup>3</sup> Ceci correspond aux observations pratiques de la disparition ou conservation des stocks de produits : recyclage, incinération ou mise en décharge des produits (cf données ADEME).

<sup>4</sup> De nombreux travaux attestent cette capacité de séquestration. Voir Pajot, 2006

### **3. Optimisation de la gestion des peuplements et augmentation des stocks de carbone**

Nous nous proposons d'étudier un scénario dans lequel on va retenir pour les peuplements des âges de révolution à 40, 50, 60 et 70 ans, les récoltes de bois correspondantes permettant de calculer les stocks de produits associés. Les simulations de croissance sont établies à partir des tables de production et du modèle de Bernard Lemoine. L'intérêt principal d'un tel type de scénario consiste à analyser les interactions entre les stocks sur pied, les stocks de produits et des produits en fin de vie.

#### **3.1. Le cadre spatial du scénario d'allongement des rotations :**

Nous cherchons à simuler l'évolution de la forêt dans son état futur à partir d'hypothèses d'âges de coupe. Pour cela nous sommes partis de l'état actuel théorique des surfaces forestières de pin maritime, en tenant compte des effets de la tempête de 1999 et en intégrant des hypothèses relatives au traitement des boisements en fonction des taux de dégâts constatés.

##### **3.1.1. La reconstitution du massif après la tempête :**

L'IFN a inventorié après la tempête de 1999 les surfaces en 5 classes selon l'intensité des dégâts comme l'indique le tableau ci dessous. On peut à partir de ces résultats faire des hypothèses sur les surfaces à reboiser.

On suppose dans la simulation que les surfaces à reconstituer sont touchées à plus de **40%**. Cependant, seuls les peuplements âgés de **moins de 40 ans** seront à reconstituer. On va considérer en effet que les peuplements de plus de 40 ans sont maintenus sur pied sauf pour ceux touchés à plus de 80%. Cette stratégie revient à considérer qu'un propriétaire conserve ses peuplements les plus âgés, car ces bois ont encore une valeur économique de consommation rapidement réalisable alors que les peuplements plus jeunes auraient une perte de valeur d'avenir importante. Etant donné l'afflux massif de bois sur les marchés en période post tempête, on considère que cette stratégie revient à reporter les coupes dans les années à venir en attendant une stabilisation des prix, pendant qu'une grande partie de la forêt se reconstitue. Par contre, les peuplements atteints à plus de 80% sont totalement coupés lors du nettoyage des parcelles.

D'autres hypothèses sont envisageables, elles aboutiraient à dégager un potentiel de surfaces toujours voisin de 100 000 ha<sup>5</sup>. Seuls les peuplements âgés de moins de 100 ans sont pris en compte pour l'ensemble de la futaie régulière de pin maritime du massif Landais. Nous avons volontairement utilisé les estimations fournies en les arrondissant à la centaine d'hectares près<sup>6</sup>.

Cette précision est largement suffisante car nous en resterons pour les évaluations des stocks de carbone à une précision du million de tonne.

---

<sup>5</sup> Par exemple couper tout les peuplements atteints à plus de 60%

<sup>6</sup> Les estimations de surfaces sont évaluées par l'IFN à l'hectare près. Cette précision est classiquement affectée d'une marge d'incertitude, d'autant plus qu'il s'est agi de revenir sur les points de sondage des inventaires précédents à la suite de la tempête de 1999.

**Tableau n°1 : Répartition des surfaces de futaie régulière de pin maritime par classe de dégâts – Tempête de 1999 (source : IFN)**

Classe d'âge	Dégâts de 0% - 20%	Dégâts de 20% - 40%	Dégâts de 40% - 60%	Dégâts de 60% - 80%	Dégâts de 80% - 100%	Total
<b>0 - 5 ans</b>	55 500 ha	2 300 ha	2 500 ha	2 600 ha	3 900 ha	66 800 ha
<b>5 - 10 ans</b>	77 200 ha	2 800 ha	3 200 ha	3 200 ha	4 700 ha	91 100 ha
<b>10 - 15 ans</b>	63 100 ha	2 200 ha	2 300 ha	2 400 ha	3 300 ha	73 300 ha
<b>15 - 20 ans</b>	50 100 ha	2 300 ha	2 300 ha	2 200 ha	3 000 ha	59 900 ha
<b>20 - 25 ans</b>	62 300 ha	3 000 ha	3 000 ha	2 800 ha	4 100 ha	75 200 ha
<b>25 - 30 ans</b>	52 700 ha	2 500 ha	2 500 ha	2 500 ha	3 600 ha	63 800 ha
<b>30 - 35 ans</b>	51 300 ha	2 500 ha	2 500 ha	2 400 ha	3 400 ha	62 100 ha
<b>35 - 40 ans</b>	42 700 ha	1 700 ha	1 900 ha	2 100 ha	3 600 ha	52 000 ha
<b>40 - 50 ans</b>	122 500 ha	6 100 ha	6 100 ha	6 100 ha	9 200 ha	150 000 ha
<b>50 - 60 ans</b>	74 800 ha	3 500 ha	3 300 ha	3 300 ha	5 100 ha	90 000 ha
<b>60 - 70 ans</b>	21 400 ha	800 ha	800 ha	800 ha	1 300 ha	25 100 ha
<b>70 - 80 ans</b>	14 900 ha	600 ha	700 ha	500 ha	700 ha	17 400 ha
<b>80 - 100 ans</b>	7 900 ha	400 ha	300 ha	300 ha	300 ha	9 200 ha
<b>Totaux</b>	696 400 ha	30 700 ha	31 400 ha	31 200 ha	46 200 ha	<b>835 900 ha</b>

Après nettoyage et coupe des tiges restantes on obtient la répartition suivante des surfaces.

**Tableau n°2 : Répartition des surfaces de futaie régulière de pin maritime par classe de dégâts après reconstitution potentielle des peuplements**

Classe d'âge	Reconstitution	Dégâts de 0% - 20%	Dégâts de 20% - 40%	Dégâts de 40% - 60%	Dégâts de 60% - 80%	Dégâts de 80% - 100%	Total
<b>0 - 5 ans</b>	<b>86 600 ha</b>	55 500 ha	2 300 ha	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	144 400 ha
<b>5 - 10 ans</b>		77 200 ha	2 800 ha	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	80 000 ha
<b>10 - 15 ans</b>		63 100 ha	2 200 ha	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	65 300 ha
<b>15 - 20 ans</b>		50 100 ha	2 300 ha	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	52 400 ha
<b>20 - 25 ans</b>		62 300 ha	3 000 ha	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	65 300 ha
<b>25 - 30 ans</b>		52 700 ha	2 500 ha	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	55 200 ha
<b>30 - 35 ans</b>		51 300 ha	2 500 ha	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	53 800 ha
<b>35 - 40 ans</b>		42 700 ha	1 700 ha	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	<b>0 ha</b>	44 400 ha
<b>40 - 50 ans</b>		122 500 ha	6 100 ha	6 100 ha	6 100 ha	<b>0 ha</b>	140 800 ha
<b>50 - 60 ans</b>		74 800 ha	3 500 ha	3 300 ha	3 300 ha	<b>0 ha</b>	84 900 ha
<b>60 - 70 ans</b>		21 400 ha	800 ha	800 ha	800 ha	<b>0 ha</b>	23 800 ha
<b>70 - 80 ans</b>		14 900 ha	600 ha	700 ha	500 ha	<b>0 ha</b>	16 700 ha
<b>80 - 100 ans</b>		7 900 ha	400 ha	300 ha	300 ha	<b>0 ha</b>	8 900 ha
<b>Totaux</b>	<b>86 600 ha</b>	696 400 ha	30 700 ha	11 200 ha	11 000 ha	<b>0 ha</b>	<b>835 900 ha</b>

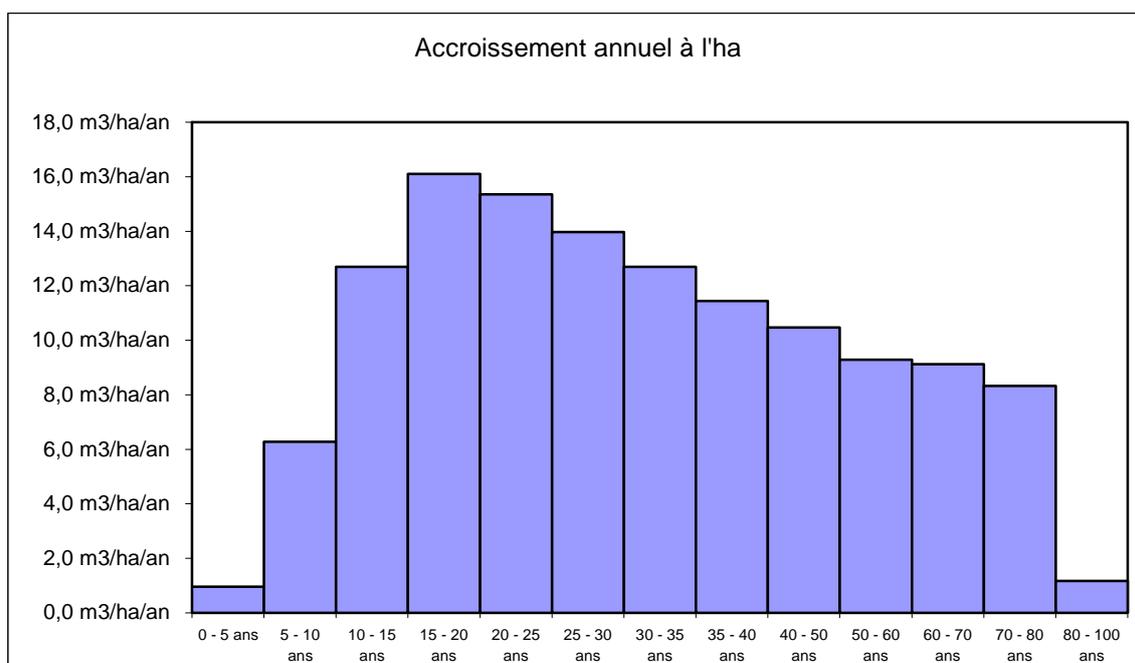
La reconstitution potentielle du massif conduirait en début de simulation à une perte de stocks de carbone relativement faible, ceux-ci passant de 39 à 38 millions de tonnes<sup>7</sup> de carbone. Cela signifie que les peuplements à reconstituer, tout en représentant des surfaces importantes, représentaient, une fois la tempête passée, des quantités de carbone limitées, d'où l'intérêt de les reconstituer.

### 3.1.2. Les hypothèses du scénario initial

On suppose qu'une partie des peuplements de chaque cohorte au-delà de l'âge optimal de coupe retenu est maintenue sur pied afin de continuer à respecter les pratiques observées. *L'objectif de cette hypothèse est de conserver dans les proportions actuelles à la fois des peuplements gérés de façon intensive et des peuplements gérés de façon patrimoniale. Cette contrainte sera levée dans un deuxième temps.*

La simulation requiert un certain nombre de paramètres à fournir à Co2Fix. La croissance des arbres est basée sur les données observées sur les peuplements de pin maritime<sup>8</sup>.

#### Diagramme n°1 : Accroissements de volumes par classe d'âge en Gironde



Concernant les produits de l'exploitation forestière, on suppose une répartition de récolte identique à celle observée lors de l'analyse de la récolte de 1999, qui reste un bon indicateur de l'affectation de la récolte une année normale. Quelque soit l'âge de coupe, on suppose que cette répartition est identique. Cette hypothèse est supposée réaliste pour les années à venir. Elle est plus critiquable à moyen terme. D'autres hypothèses avec réaffectation des produits permettraient d'enrichir ultérieurement ce scénario.

<sup>7</sup> Stocks après tempête. Voir MALFAIT Jean-Jacques, PAJOT Guillaume, POINT Patrick (2003), Le puits de carbone Landais, Actes du VII Colloque Arbora, Pessac, décembre 2003.

<sup>8</sup> On a retenu celle des peuplements en Gironde au 4<sup>e</sup> inventaire de l'Inventaire Forestier National réalisé en 1999, l'essentiel des surfaces à reconstituer se trouvant dans le nord médoc.

## Résumé des hypothèses adoptées :

13 classes d'âges sont paramétrées dans 13 cohortes  
Croissance des arbres Gironde, Inventaire 4  
Tableau après reconstitution des surfaces touchées par la tempête

Coupe finale  
On maintient sur pied 12000 HA pour chaque cohorte de 1 à 8; les cohortes 10, 11 et 12 sont respectivement coupées à 70, 80 et 90 pour les cohortes 9 et 10, on maintient sur pied 24 000 HA (classes d'âges de 10 ans)

Bois d'œuvre= 52%  
Bois de trituration=35%  
Déchets, pertes=13%

répartition des produits : données de 1999

Fin de vie des produits (Hypothèse haute)

	Recyclage	Production énergie	Mise en décharge	Profil recyclage	Long terme	Moyen terme	Court terme
Long terme	5%	5%	90%	Long terme	0%	20%	80%
Moyen terme	10%	10%	80%	Moyen terme		10%	90%
Court terme	30%	20%	50%	Court terme			100%

Durées de vie des produits

Long terme	30
Moyen terme	15
Court terme	1
décharge	140

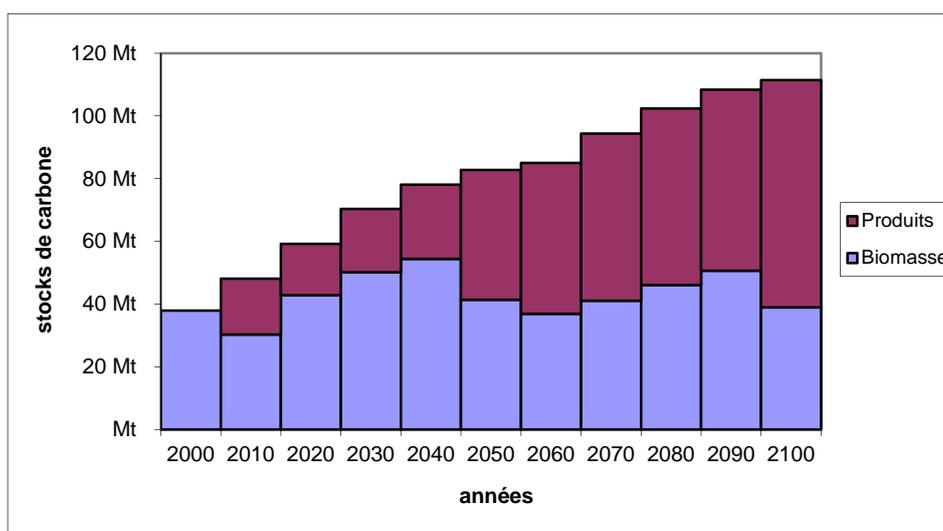
### 3.2. Les résultats de la simulation avec maintien d'une partie des nouveaux peuplements en gestion patrimoniale longue

Une remarque préalable concerne le fait que l'on parte en début de simulation d'un stock de carbone des produits nul, ce qui est inhérent au processus de simulation.<sup>9</sup> La dégradation des stocks passés n'est pas prise en compte, seuls les nouveaux stocks sont comptabilisés et sont en augmentation sur l'ensemble de la simulation, ce qui suppose que l'on atteindra une situation de référence en milieu de ce siècle.

#### 3.2.1. Des durées de rotation traditionnelles

La première rotation est supposée être optimale à 50 ans ce qui représente aujourd'hui une sylviculture relativement dynamique.

**Diagramme n°2 : Stocks de carbone en millions de tonnes sous l'hypothèse d'une rotation à 50 ans avec maintien d'une partie des peuplements au-delà de 50ans**



<sup>9</sup> C'est dans la logique de fonctionnement de Co2Fix de comptabiliser les stocks seulement à partir des récoltes de bois

Dans cette *rotation à 50 ans* l'accroissement global est fortement influencé par le déséquilibre des structures d'âge observé actuellement sur le massif landais. On constate que les *stocks sur pied* diminueront seulement sur la période 2050 à 2070. Notons que les stocks totaux de carbone s'accroissent régulièrement sur le siècle. Si l'on cherche un indicateur synthétique comme la séquestration annuelle théorique on pourra distinguer trois périodes. De 2000 à 2030 le stock moyen annuel s'accroît sur le massif d'environ 1 million de tonnes de carbone. Il se réduit ensuite à environ 0,5 million de tonnes sur les trente années suivantes pour remonter à 0,8 million de tonnes les trente suivantes.

Ces variations par période sont directement liées aux déséquilibres des classes d'âges du massif. Sur la période entière le stockage moyen annuel est voisin de 0,75 million de tonnes. Si l'on considère le chiffre des émissions annuelles de carbone en Aquitaine, c'est-à-dire 15 520 000 tonnes de dioxyde de carbone, soit 4 190 400 tonnes de carbone, la capacité de séquestration annuelle de la forêt et de ses produits entre 2000 et 2030 sera de 25% des émissions. Bien sûr, les produits issus du massif forestier landais n'ont pas tous vocation, loin s'en faut, à rester dans la région Aquitaine, mais le potentiel reste réel. En définitive, on constate que la prise en compte des produits, de leur durée de vie, ainsi que leur durée de décomposition, influence de manière considérable les résultats obtenus.

Le stock de carbone de la biomasse est en légère augmentation sur la période. En moyenne, il est égal à près de 45 millions de tonnes<sup>10</sup> ; le stock par hectare est égal à 53 tonnes (on rappelle qu'il était de 56 tonnes avant la tempête et de 47 après).

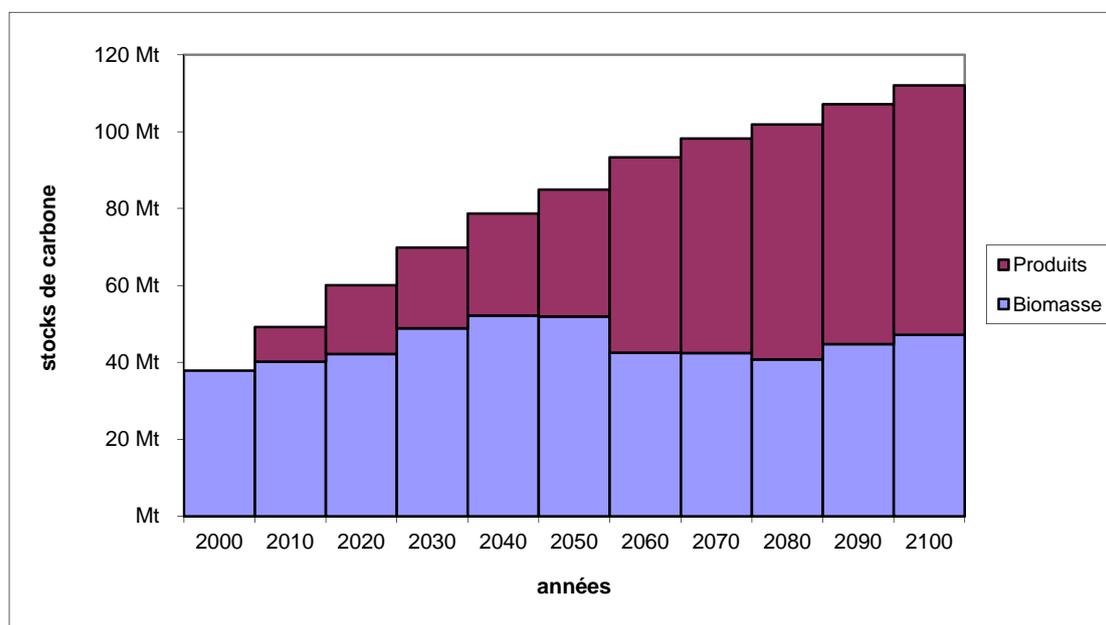
Les irrégularités dans l'alimentation du stock des produits sont dues aux déséquilibres des surfaces par classes d'âge qui se répercutent dans les volumes prélevés. Le prélèvement annuel moyen selon cette option de rotation est, en tonnes de carbone, égal à environ un million de tonne (à rapporter aux 1,4 millions de tonnes prélevées annuellement entre 1988 et 1999). Compte tenu des hypothèses adoptées, les stocks de produits sont en augmentation permanente. Dans la mesure où nous avons, pour simplifier la procédure de calcul, considéré un stock de carbone nul en début de simulation, cette moyenne n'est calculée qu'à partir du moment où chacune des cohortes a contribué au moins une fois au stock des produits, c'est-à-dire à partir de la moitié du 21<sup>e</sup> siècle. Elle s'établit alors aux alentours de 55 millions de tonnes.

Si on choisit une sylviculture plus traditionnelle avec une *rotation tous les 60 ans* on ne modifie pas sensiblement les stocks de carbone (environ 2% de plus). Ce scénario, en prolongeant la durée de révolution des peuplements, apparaît comme plus conservateur dans le sens où les stocks de carbone de la biomasse sont plus importants que dans le scénario de coupe à 50 ans. La moyenne des stocks de la biomasse s'établit ainsi à 48 millions de tonnes, soit 57 tonnes par hectare (on retrouve le stock d'avant la tempête).

---

<sup>10</sup> La moyenne est calculée à partir des chiffres annuels de stocks de carbone (et non à partir des chiffres correspondant aux dizaines d'années).

**Diagramme n°3 : Stocks de carbone en millions de tonnes sous l'hypothèse d'une rotation à 60 ans avec maintien d'une partie des peuplements au-delà de 60 ans**



Les stocks de carbone des produits sont alimentés moins fréquemment que dans la première simulation. Toutefois, dans la mesure où les arbres sont coupés à un âge plus tardif, les volumes coupés sont plus importants. Le stock moyen des produits s'élève à environ 54 millions de tonnes. Là encore, la récolte annuelle moyenne s'élève à un million de tonnes.

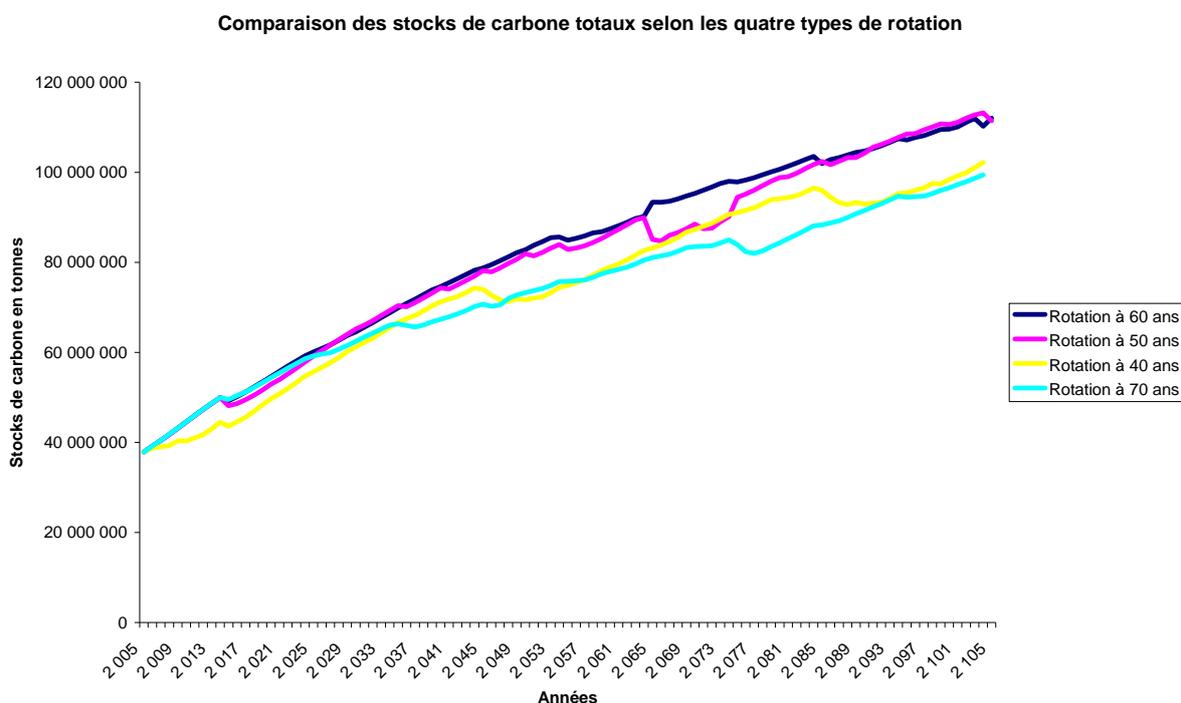
Les stocks de carbone entre ces deux simulations intermédiaires sont relativement proches, à la différence près que la simulation à 60 ans stocke donc un peu plus dans la biomasse tandis que la simulation à 50 ans stocke très légèrement plus dans les produits.

### **3.2.2. Des durées de rotation favorables à la séquestration dans la biomasse ou dans les produits.**

Deux autres types de simulation ont été menés, une rotation longue à 70 ans et une rotation courte à 40 ans, toujours en laissant une proportion des peuplements conduits selon les options de gestion observées lors de l'inventaire forestier<sup>11</sup>. Les stocks totaux sont proches pour ces deux rotations, mais inférieurs à ceux des rotations précédentes comme le montre le graphique suivant :

<sup>11</sup> Soit 12 000 ha annuels pour la classe des 40-50 ans, 9 500 ha pour les 50-60 ans, 2 500 ha pour les 60-70 ans, 1 700 ha pour les 70-80 ans, 500 ha pour les 80-100 ans.

**Graphique n°1 : Comparaison des stocks de carbone (totaux = produits+ biomasse) à 100 ans selon quatre types de rotations (avec maintien d'une partie des surfaces) :**



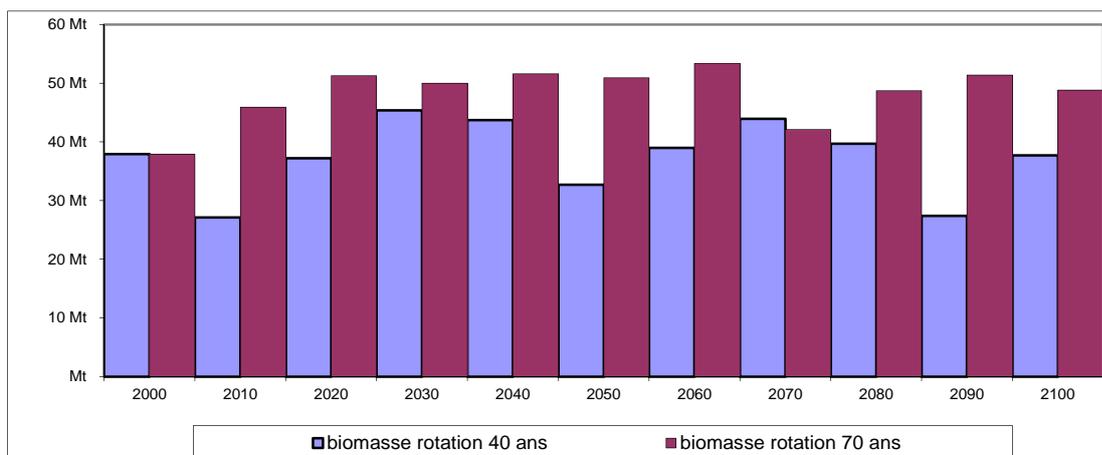
Les stocks de carbone totaux sont très proches dans les simulations à 50 et 60 ans. Les différences au cours des décennies 2070 sont dues au déséquilibre des classes d'âge du massif landais. Il est intéressant de constater que les deux simulations extrêmes se caractérisent par des stocks quasiment identiques (légèrement supérieurs en moyenne pour la rotation à 40 ans).

Ce sont donc les simulations extrêmes (rotations à 40 et 70 ans) qui stockent les plus faibles quantités de carbone. Observons aussi les caractéristiques de ce stockage entre biomasse et produits bois :

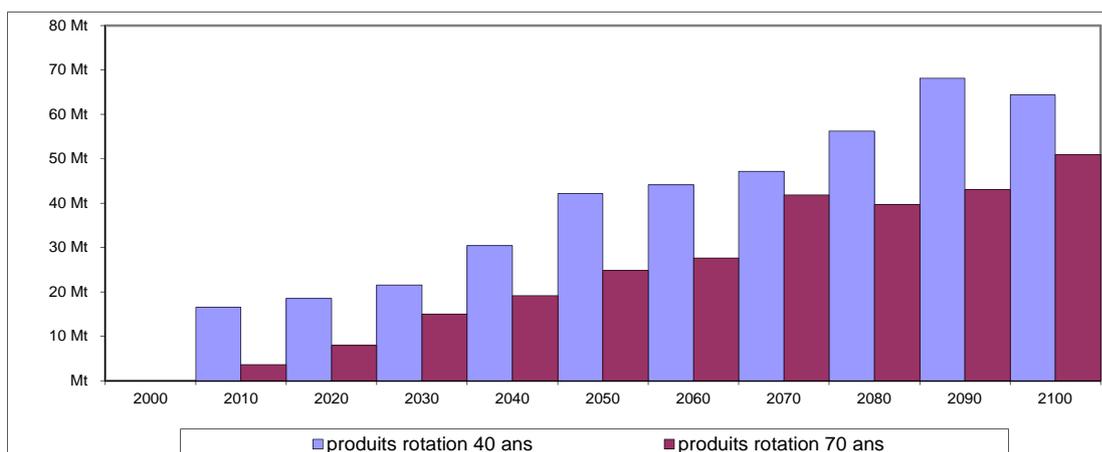
- La simulation à rotations longues, plus conservatrice, permet une hausse des stocks de carbone dans la biomasse. Toutefois, les stocks de produits ne sont plus alimentés aussi fréquemment que dans les deux précédentes simulations. Les récoltes annuelles moyennes exprimés en quantités de carbone s'élèvent à près de 0,9 million de tonnes, les stocks de carbone de la biomasse sont en moyenne de 52 millions de tonnes, soit 62 tonnes à l'hectare, tandis que les stocks dans les produits sont largement inférieurs à ceux des simulations précédentes, s'établissant à 38 millions de tonnes.
- La simulation à rotations courtes, à contrario, permet d'alimenter les produits plus fréquemment. Les stocks sont en moyenne supérieurs à ceux générés par la rotation à 70 ans. Les stocks plus faibles sur pied sont compensés par les stocks des produits. En moyenne, le stock de la biomasse est de 38 millions de tonnes, soit 45 tonnes par hectare. Les stocks dans les produits s'établissent à près de 50 millions de tonnes. On a un prélèvement annuel moyen de 1,2 million de tonnes.

On donne dans les deux diagrammes suivants les différents stocks de carbone de biomasse et de produits pour ces deux types de rotations opposées.

**Diagramme n°4 : Comparaison des stocks de biomasse entre deux types de rotations opposées**



**Diagramme n°5 : Comparaison des stocks de produits entre deux types de rotations opposées**

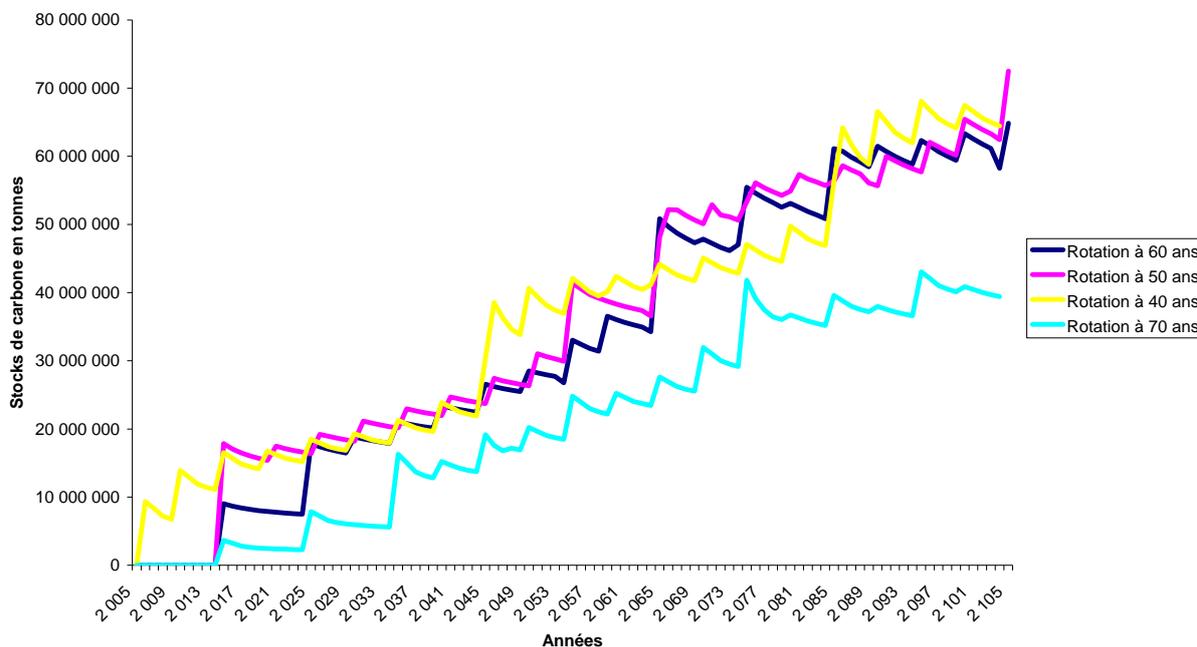


De façon simplificatrice on peut donc dire que ces simulations confirment le résultat intuitif selon lequel les rotations longues stockent dans les bois sur pied, tandis que les rotations courtes permettent d'alimenter les stocks des produits de manière plus prononcée : avec une rotation à 70 ans, on capitalise dans les stocks sur pied, avec la rotation à 40 ans on garantit la poursuite du stockage dans les produits. Si la rotation à 40 ans permet d'alimenter le stock des produits de façon fréquente, les coupes concernent des volumes moins importants que pour les deux simulations intermédiaires. Cela ne compense donc pas totalement les pertes sur le stock de la biomasse. Quant à la rotation à 70 ans, le prolongement de la durée de révolution ne permet pas de gains suffisamment importants sur pied pour compenser des coupes rases moins fréquentes. Cela est dû à la fonction de croissance des arbres.

Si on se centre sur la question du carbone stocké dans les produits bois, c'est la rotation à 50 ans qui stocke en moyenne le plus de carbone car plus les coupes rases sont fréquentes, plus le stock des produits est alimenté ce que confirme l'option des coupes à 40 ans qui donne en fin de siècle les stocks de carbone les plus élevés. A contrario la rotation à 70 ans constitue les stocks des produits les moins importants sur la totalité de la période.

**Graphique n°2 : Comparaison des stocks de carbone des produits à 100 ans selon quatre types de rotations (avec maintien d'une partie des surfaces)**

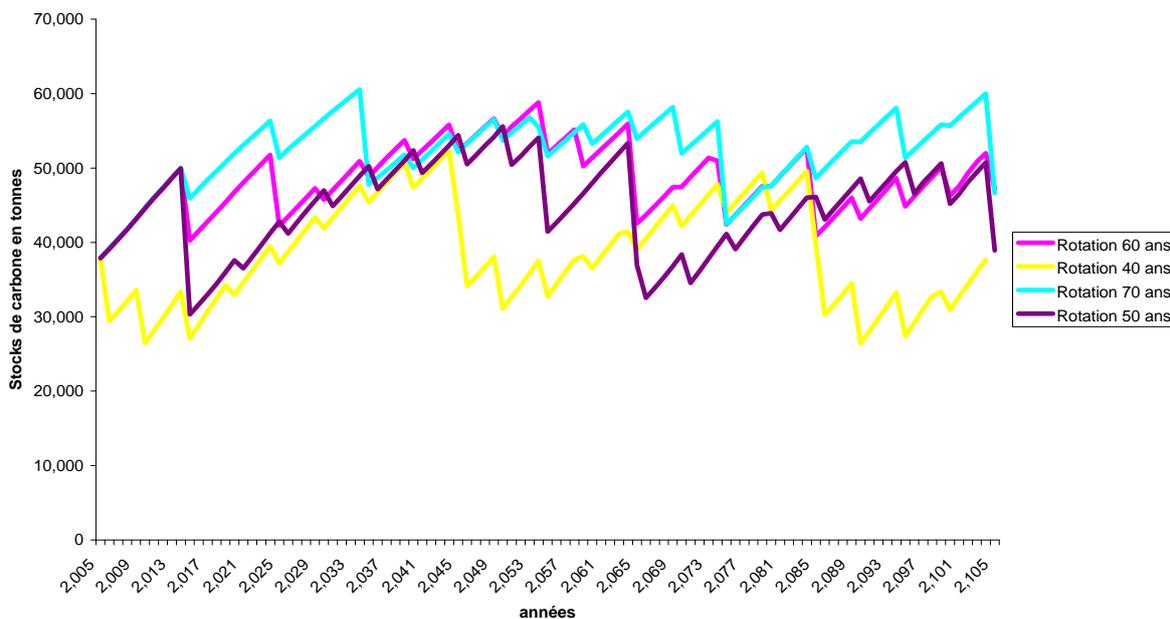
Comparaison des stocks de carbone des produits selon les quatre types de rotation



Si on observe par contre les stocks de carbone de la biomasse, on vérifie qu'ils sont bien classés dans l'ordre de la durée des rotations ; plus les rotations sont longues et plus les stocks de carbone de la biomasse seront importants. Cependant la prise en compte des effets particuliers des déséquilibres actuels des classes d'âge sur les stocks futurs montre que ce constat n'est pas toujours vrai pour la rotation à 40 ans.

**Graphique n°3 : Comparaison des stocks de carbone de la biomasse à 100 ans selon quatre types de rotations (avec maintien d'une partie des surfaces)**

Stocks de carbone de la biomasse selon les durées de rotation



On constate en particulier les effets de seuil importants dans les stocks qui apparaîtraient en milieu et fin de cycle si une forme de lissage des coupes n'était pas mise en œuvre pour réguler des stocks et éviter des variations importantes dans les récoltes futures.

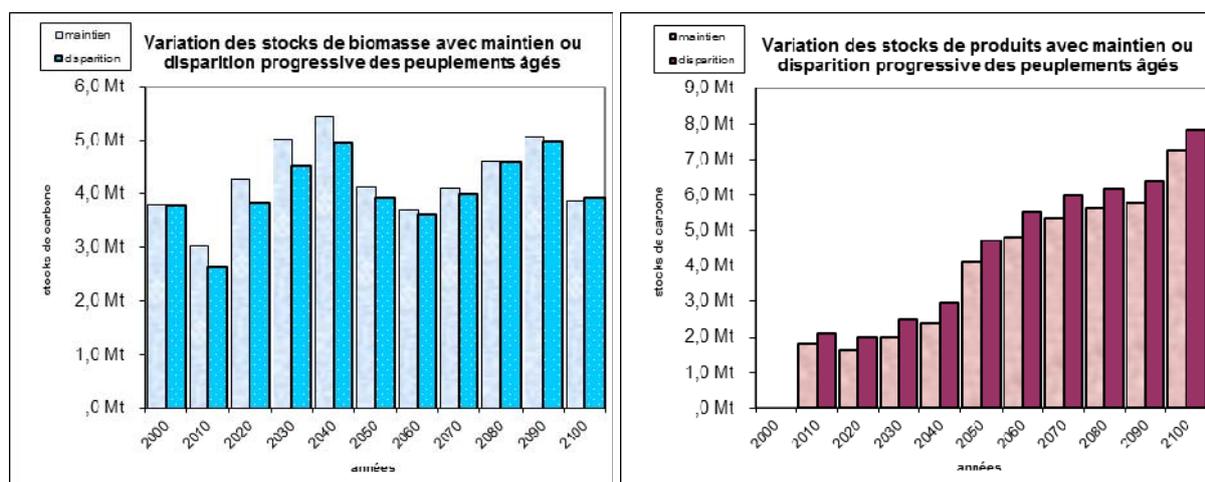
Nous venons de supposer dans ces simulations, afin de conserver une relative représentativité du massif actuel, que les cohortes les plus âgées continuaient à être alimentées par le maintien sur pied d'une partie des cohortes au delà de l'âge de coupe retenu dans la simulation. Quant est-il si on abandonne cette référence aux pratiques actuelles.

### **3.3. Les résultats de la simulation avec durée de rotation homogène pour l'ensemble des nouveaux peuplements**

*Faisons l'hypothèse que l'on mette en place une politique de gestion de la forêt encore plus volontariste dans l'avenir, dans laquelle les choix de rotation s'imposent désormais à tous les nouveaux peuplements. Dans ce cas on coupera à l'avenir systématiquement toutes les parcelles du massif atteignant la durée théorique de rotation.*

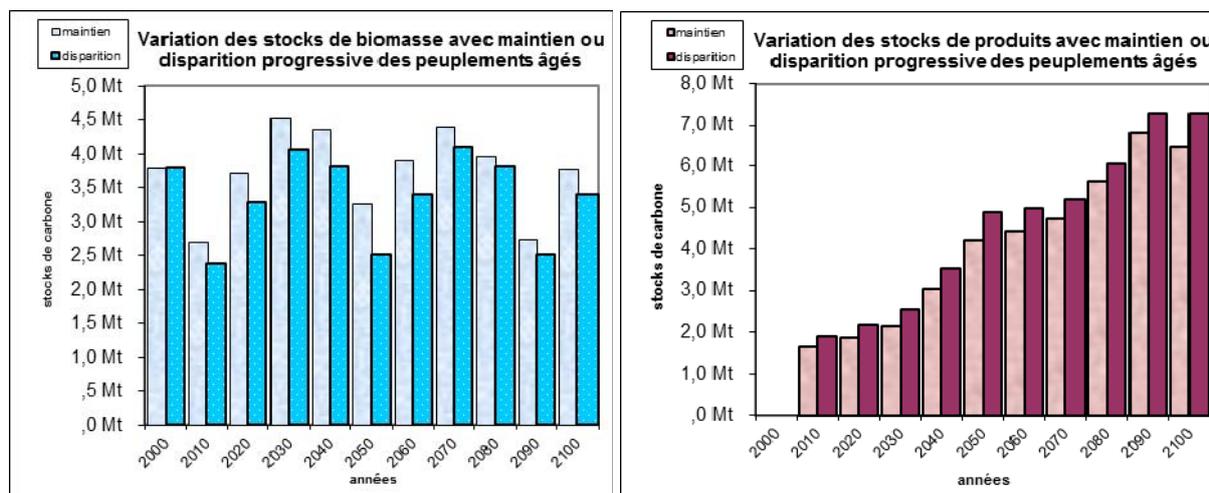
On laisse cependant les peuplements plus âgés être récoltés selon les durées habituelles pour éviter un trop grand afflux de bois la même année. Si on se réfère aux quatre types de sylviculture nous obtenons les résultats suivants :

**Diagramme n°6 : Comparaison des variations des stocks de carbone en cas de passage progressif à des rotations systématiques tous les 50 ans**



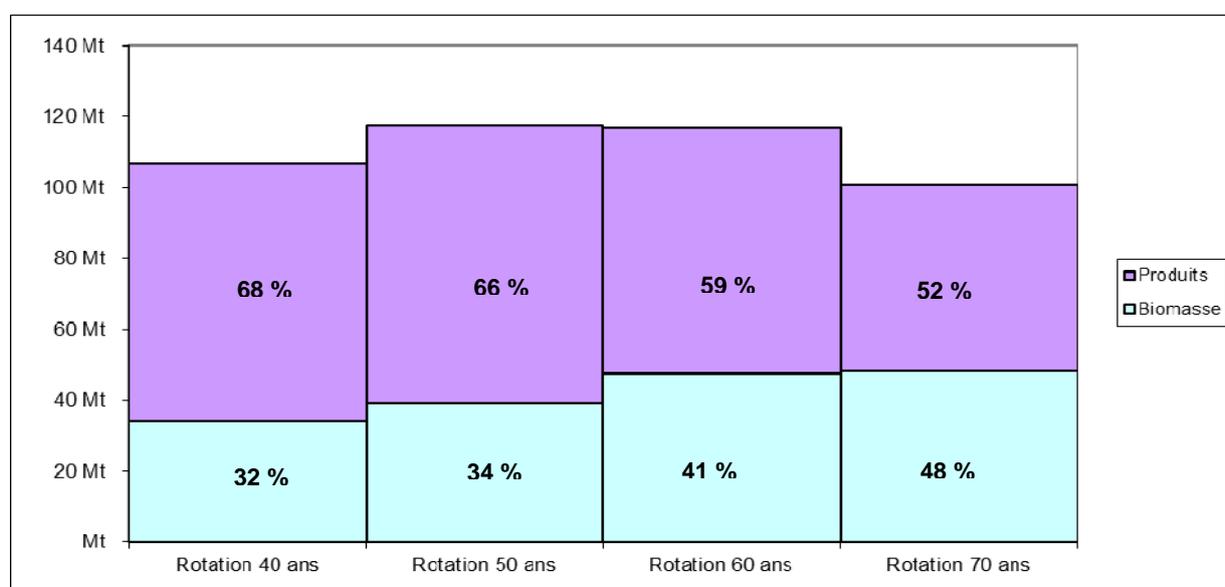
Dans cette simulation, on va diminuer progressivement les stocks de biomasse en coupant tous les nouveaux peuplements arrivant à l'âge de 50 ans. La conséquence immédiate est une baisse des stocks de carbone de biomasse, ici visible sur l'année 2010 et les suivantes. Cette baisse est compensée par les stocks de carbone des produits qui sont alimentés par des coupes rases qui concernent plus de surfaces (on ne laisse plus une partie des peuplements dépasser l'âge de rotation retenu). Ce scénario, moins conservateur que le premier, permet, en alimentant de façon plus importante les stocks des produits une augmentation légère des stocks totaux de carbone (6 Mm<sup>3</sup> en régime stabilisé). Le choix d'une rotation tous les 60 ans est un peu moins affectée par ces hypothèses avec une augmentation comparable des stocks un peu inférieure. La rotation tous les 70 ans a encore moins d'effet sur les variations de stock, par contre celle à 40 ans induit une augmentation globale des stocks et un transfert important de la biomasse aux produits comme le montre les diagrammes ci-dessous.

**Diagramme n°7 : Comparaison des variations des stocks de carbone en cas de passage progressif à des rotations systématiques tous les 40 ans**



En définitive, on peut conclure de ces différentes simulations que la prise en compte des produits dans la comptabilisation des stocks de carbone change la façon d'envisager les pratiques sylvicoles. Les rotations de longue durée de 60 ans et plus apportent certes les stocks de biomasse les plus forts mais par contre celles plus courtes de 50 années conduisent au total à un stockage de carbone comparable. On donne dans le tableau ci-dessous un aperçu synthétique de ces données avec les parts respectives *dans la dernière décennie du siècle*. Notons que les rotations à 40 ans pourraient donner des résultats comparables si l'amélioration génétique des peuplements conduit à une croissance unitaire des arbres plus rapide.

**Diagramme n°8 : Comparaison des variations des stocks de carbone selon les durées de rotation des peuplements**



Notons que, dans le cas spécifique du Massif Landais, les déséquilibres actuels dans la répartition des surfaces entre classes d'âges pourraient entraîner des variations importantes dans la répartition temporelle des stocks de carbone entre biomasse et produits sur des cycles récurrents.

## **4. Accroissement des surfaces forestières et augmentation des stocks de carbone**

On se propose d'analyser enfin les effets d'un reboisement supplémentaire au rythme d'environ 1 500 hectares de pin maritime par an pendant 10 ans sur le massif Landais. On suppose une simple déclinaison à l'échelle régionale de l'objectif national annoncé dans le PNLCC<sup>12</sup>. Notons d'abord que les surfaces cultivées en futaie régulière de pin maritime ont gagné 11 549 hectares entre les deux derniers inventaires de l'IFN. Ce scénario d'extension des surfaces correspondrait donc simplement à une légère intensification du rythme de conversion annuel. Pour un aperçu de la situation, on rappelle l'utilisation fonctionnelle du territoire Aquitain et son évolution en 2003 (source : Enquête Teruti, 2003) : *50% correspondait à des espaces de production ligneuse, 35% à la production agricole et 15% à d'autres usages.*

Les hypothèses concernant la croissance des pins maritimes sont toujours fondées sur les mêmes critères que précédemment avec une récolte à 45 ans et quatre éclaircies. On s'appuie toujours sur la répartition des produits établie à partir de la récolte de 1999 (Malfait et al, 2003). Une simulation a été faite avec et sans comptabilisation de la dégradation des produits.<sup>13</sup>

On suppose que d'ici à 2015, 15 000 hectares seront reboisés au rythme de 1 500 hectares par an sur les 10 années comprises entre 2005 et 2015. La simulation inclut les stocks de carbone de biomasse et des produits en bois. Nous allons chercher à déterminer à l'horizon d'une rotation (2050) quelle pourrait être la capacité de séquestration générée par ces plantations. En raison des hypothèses adoptées, notamment sur les durées de décomposition en centres d'enfouissement, les stocks de produits augmenteront à l'issue de chaque date de coupe. Ils s'additionneront à ceux de la biomasse.

Sur la rotation des premiers peuplements, le bilan serait de **2,5 tonnes** de carbone *séquestrées dans la biomasse* par an et par hectare. Sur l'ensemble des surfaces, soit 15 000 hectares, le projet permet de séquestrer environ 1,7 million de tonnes de carbone<sup>14</sup> dans la biomasse au bout de 45 ans, soit environ 6,2 millions de tonnes de dioxyde de carbone<sup>15</sup>. La capacité de séquestration annuelle s'élève donc à **0,137 million de tonnes de dioxyde de carbone**. Ce potentiel de séquestration est à comparer aux émissions de dioxyde de carbone en Aquitaine. Celles-ci s'élèvent à environ 15 millions de tonnes (estimation de 1999, étude Explicit). La plantation de forêts à l'échelle de la région permettrait donc de séquestrer dans la biomasse environ **0,9%** des émissions annuelles de carbone.

Si l'on ajoute à cela les *stocks de carbone des produits* issus de l'exploitation forestière, on obtient, toujours en supposant que les produits se décomposent et rendent théoriquement le carbone à l'atmosphère à l'issue de leur durée d'utilisation, 0,6 tonne de carbone par an dans les produits pour un hectare coupé. La capacité de séquestration annuelle, *biomasse plus produits*, serait donc de **3,1 tonnes** par an et par hectare,

---

<sup>12</sup> En l'an 2000, un programme de boisement de 30 000 hectares par an (ramené depuis à 20000 ha) sur 10 ans avait été annoncé dans le Programme National de Lutte contre le Changement Climatique.

<sup>13</sup> Rappelons que le stock de carbone des produits au bout de 100 ans représente environ un tiers du stock initial. Co2Fix de son côté utilise des fonctions dégradation exponentielles négatives. Si la durée de vie d'un produit est N, alors 1/N% du stock initial se dégrade chaque année.

<sup>14</sup> On rappelle que le stock de carbone de la forêt existante se situe après tempête aux environs de 40 millions de tonnes.

<sup>15</sup> Une tonne de carbone = 3,67 tonnes de dioxyde de carbone.

correspondant à un stock final de 2,1 millions de tonnes de carbone (7,6 millions de tonnes de dioxyde de carbone) au bout de 45 ans. La capacité de séquestration annuelle serait de **0,169 million de tonnes de dioxyde de carbone (1,1%** des émissions annuelles de carbone).

Si on prend enfin en compte la durée de décomposition des produits bois la capacité de séquestration annuelle s'établirait alors à **0,194 million de tonnes de dioxyde de carbone**, soit au total 1,3 % des émissions annuelles. La prise en considération des stocks de carbone des produits bois dans le calcul permet d'augmenter la capacité de séquestration annuelle de **23 %** et de **42 %** si on tient compte en plus de leur durée de décomposition.

Les résultats de cette simulation sont donc soumis à deux éléments ; d'une part, la prise en compte ou non des produits bois dans le calcul des stock de carbone ; d'autre part, une fois que l'on a décidé de prendre en compte ces produits, le fait de considérer le retour du carbone à l'atmosphère dès l'abandon des produits (autrement dit à supposer que les produits bois sont incinérés dès qu'ils ne sont plus utilisés).

## **5. Conclusion**

Ce travail montre que le massif Landais et les produits de la filière peuvent représenter d'importants gisements de stocks de carbone potentiels selon les stratégies de conduite des peuplements adoptées et le poids accordé au carbone présent dans les produits bois. Si le massif landais ne se distingue pas du reste de la forêt française, il présente en revanche d'autres caractéristiques qui en font un champ privilégié des stratégies de séquestration de carbone. Sa structure monospécifique, l'existence d'outils de simulation garantissent les possibilités de modélisation. L'existence d'une filière bois développée permet également l'analyse des stocks dans les produits bois. Bien entendu, plus que les résultats précis, il convient de retenir les ordres de grandeur présentés. De nombreuses hypothèses simplificatrices concernant les coupes et les fins de vie des produits ont en effet dû être adoptées. Ainsi, nous avons supposé que la croissance des arbres se poursuivra au rythme actuel. Certains facteurs, le changement climatique ou les progrès de la sylviculture devraient cependant modifier les rythmes actuels de pousse. De même, l'hypothèse d'une répartition des produits constante tout au long de la période de simulation conduit surtout à examiner un cas d'école.

Nous pouvons cependant retenir de façon générale que :

- les stocks de carbone des produits sont importants *en régime permanent* et doivent être pris en compte dans les stratégies de stockage ;
- les rotations longues et les scénarios conservateurs en général n'impliquent pas forcément des stocks de carbone plus importants, dans la mesure où les stocks de produits sont alimentés de manière moins intensive ;
- les hypothèses quant aux fins de vie des produits pèsent considérablement sur les résultats obtenus et devront faire l'objet de développements complémentaires ;

*En définitive, on peut considérer qu'une sylviculture très dynamique est compatible avec une séquestration importante du carbone pour peu que l'on tienne compte désormais du carbone présent dans les produits bois.*

Cette analyse physique du stockage de carbone en forêt devrait être enrichie, pour être complète, par une prise en compte des coûts d'opportunité de ces différentes stratégies. L'analyse économique devra permettre ainsi de déterminer quelles sont les stratégies les plus efficaces d'un point de vue économique.

## **Bibliographie**

- DGEMP (2006), *Groupe Facteur 4*, Plan, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Ministère délégué à l'industrie.
- HOËN Hans Fredrik, SOLBERG Birger (1994), "Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management", *Forest Science*, Vol.40, n°3, pp 429-451.
- KARJALAINEN Timo, KELLOMÄKI Seppo, PUSSINEN Ari (1994), "Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon", *Silva Fennica*, Vol. 28, n°2, pp 67-80
- MALFAIT Jean-Jacques, PAJOT Guillaume, POINT Patrick (2003), "Le puits de carbone Landais", *Actes du VII Colloque Arbora*, Pessac, décembre 2003.
- MARLAND Eric, MARLAND Gregg (2003), "The treatment of long-lived carbon-containing products in inventories of carbon dioxide emissions to the atmosphere", *Environmental Science and Policy*, Vol. 6, pp 139-152.
- MASERA Omar R., GARZA-CALIGARIS J.F., KANNINEN M., KARJALAÏNEN T., LISKI J., NABUURS G.J., PUSSINEN A., DE JONG B.H.J., MOHREN G.M.J. (2003), "Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects : the CO2FIX V.2 approach", *Ecological Modelling*, 164, pp 177-199.
- Ministère de l'agriculture, *Contribution des forêts et l'agriculture au Facteur 4*
- PAJOT Guillaume (2006), *Approche économique de la fonction de séquestration du carbone par les forêts : application au massif des Landes de Gascogne*, Thèse de Doctorat ès Sciences Economiques, 266 pages, Université Bordeaux IV - Montesquieu
- VALLET Patrick (2005), *Impact de différentes stratégies sylvicoles sur la fonction puits de carbone des peuplements forestiers Modélisation et simulation à l'échelle de la parcelle*, Thèse de Doctorat mention Sciences Forestières, ENGREF.

## **Annexe 1: Logiciels de comptabilisation des flux et stocks de carbone forestier**

Dans le contexte d'expansion considérable des recherches ayant trait aux techniques d'atténuation du changement climatique et plus particulièrement à la séquestration biologique, de nombreux programmes ont abouti à la création d'outils de simulation de gestion des stocks de carbone en relation avec l'utilisation des terres, la forêt et les produits bois. Nous avons été amenés au cours de ces travaux de recherche à examiner un certain nombre d'entre eux.

*Co2Fix, de notre point de vue, est apparu comme le plus à propos.*

*Toutefois, il semble utile de présenter les principales fonctionnalités des logiciels qui ont retenu notre attention.*

### **CASS**

Carbon Accounting Simulation Software (CASS Terrestrial Carbon Cycle Model) décrit les flux et stocks de carbone des écosystèmes terrestres. Il a été développé par une équipe Australienne du CRGCA (Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting).

CASS est écrit en langage VBA ; les résultats sont présentés dans une feuille de calcul Excel.

Le carbone dans ce modèle est réparti entre quatre stocks qui sont (1) le carbone dans la végétation vivante, (2), le carbone dans la végétation morte (la litière), (3) le carbone du sol et (4) le carbone dans l'atmosphère. Ces ensembles sont divisés par la suite en sous ensembles que l'on peut utiliser ou pas selon les données disponibles.

Quatre types de paramètres sont à entrer dans le modèle ; il s'agit :

- du taux auquel le carbone est fixé dans l'atmosphère par les plantes (productivité primaire nette) ;
- trois paramètres qui définissent la répartition de la productivité primaire nette entre les différents compartiments de la biomasse ;
- huit paramètres définissent les durées de stockage de carbone dans les différents ensembles ;
- enfin, quatre paramètres établissent le taux auquel le carbone retourne à l'atmosphère.

Des paramètres par défaut sont proposés pour seize types de végétations différentes. Il est possible d'estimer les stocks de carbone sur des territoires incluant plusieurs types d'usage de la terre, d'évaluer l'impact des changements d'usage et de couverture du sol,...

### **TimberCAM :**

Timber CAM est un modèle construit par une équipe Australienne du CRGCA (Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting). Il concerne exclusivement les stocks de carbone contenus dans les produits à base de bois et permet de décrire leur évolution à partir de la coupe finale jusqu'au moment de leur mise en décharge en passant bien évidemment par leur processus de transformation. Il autorise facilement l'analyse de différents scénarios de coupe et de répartition des récoltes de bois.

Le stock de carbone est ici modélisé comme un ensemble de cohortes de produits dont une partie est utilisée et l'autre partie est en décharge.

Les paramètres entrants du modèle sont relatifs à (1) l'espèce que l'on exploite (les quantités de carbone vont varier selon le type d'espèce exploitée) et (2) à l'allocation de la récolte entre les différents types de produits.

Quatre boîtes de dialogue permettent de calculer les stocks de carbone :

- (1) « *Simulation* » on établit dans cette boîte la durée de la simulation ;
- (2) « *Harvest* » la définition du volume de bois issu de la récolte ;
- (3) « *Species* » , il s'agit ici de définir la proportion de carbone dans le bois d'industrie (densité du bois et contenu en carbone de la matière sèche, de définir la proportion de carbone dans les panneaux verts ?, définir l'évolution des résidus après la fabrication.
- (4) « *Products* » il faut définir l'efficacité du processus de fabrication, une durée de vie des produits, le taux auquel le produit déposé en décharge se décompose.

## **CAMFor/CAMFor Estate :**

CAMFor et CAMFor Estate sont deux logiciels développés par le CRCGA. Par rapport à TimberCAM et CASS, les stocks de carbone de la forêt et des produits sont reliés dans un seul programme.

CAMFor a donc été développé pour quantifier les flux et stocks de carbone associés à un peuplement d'arbres. CAMFor Estate permet d'analyser quant à lui les flux et stocks de carbone relatifs à un ensemble de peuplements différents. Le fondement de la construction de CAMFor est à rechercher dans Co2 Fix.

CamFor est un classeur Excel comprenant une douzaine de feuilles. Sept feuilles servent à la présentation du modèle, du fonctionnement du logiciel et cinq autres permettent d'entrer les paramètres du modèle :

- description du peuplement étudié ;
- paramètres d'éclaircies
- paramètres incendies ;
- paramètres d'information sur les espèces d'arbres qui composent le peuplement ;
- paramètres d'information sur le taux de croissance des espèces d'arbres qui composent le peuplement étudié.

## **GORCAM (Graz Oak Ridge Carbon Accounting Model)**

GORCAM a été élaboré par des membres du Joanneum Research (Autriche) et de Oak Ridge National Laboratory (USA).

Gorcam permet l'analyse des flux et stocks de carbone liés aux stratégies forestières ainsi que de leurs impacts sur l'atmosphère. Il considère un certain nombre d'éléments ;

- les variations de stocks de carbone de la végétation, de la litière ou du sol ;
- les réductions d'émissions dues au remplacement de combustibles fossiles par des biocombustibles ;
- le stockage de carbone dans les produits ;
- les réductions d'émissions associées au fait que le bois puisse remplacer des matériaux dont la fabrication est intensive en carbone ;
- le recyclage et la combustion des déchets bois ;
- les émissions de combustibles fossiles générés par la production de biocombustible ou la fabrication des produits à base de bois.

---

***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)**

- 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*
- 2008-17 : YILDIZOGLU Murat, *Reinforcing the patent system? Effects of patent fences and knowledge diffusion on the development of new industries, technical progress and social welfare*
- 2008-18 : ROUILLON Sébastien, *On the Existence of Anonymous and Balanced Mechanisms Implementing the Lindahl Allocations*
- 2008-19 : MALFAIT Jean-Jacques, PAJOT Guillaume, *Séquestration des flux de carbone forestier : rotations des peuplements, prise en compte des produits bois et optimisation des stocks de carbone*