

SOUS-CRITERE B1

CARBONE

Experts associés : Cécile Maris (CRPA Aquitaine), Denis Loustau (INRA), Sébastien Cavaignac (FCBA), Guillaume Chantre (FCBA), Claire Cornillier (FCBA)

1. INTRODUCTION.....	3
2. FORÊT LANDAISE ET CARBONE.....	5
A) LA SITUATION AVANT LA TEMPÊTE KLAUS DE LA FORÊT LANDAISE VIS-À-VIS DU CARBONE	5
<i>Le stock de carbone en forêt en Aquitaine.....</i>	<i>5</i>
FIGURE 1 : STOCK MOYEN DE CARBONE PAR UNITÉ DE SURFACE DANS LA BIOMASSE FORESTIÈRE (CARTE DE GAUCHE) ET, PAR DÉPARTEMENT, POUR LE DERNIER INVENTAIRE (1996) (PIGNARD ET AL., 2006).....	5
FIGURE 2 : VARIATION ANNUELLE DU STOCK DE CARBONE DANS LA BIOMASSE FORESTIÈRE, PAR DÉPARTEMENT, ENTRE 1984 ET 1996 (PIGNARD ET AL., 2006).....	5
<i>Le stock de carbone dans les produits à base de bois issus d'Aquitaine.....</i>	<i>6</i>
<i>Les émissions dues à la sylviculture et à l'exploitation forestière.....</i>	<i>6</i>
.....	7
<i>Les émissions dues à la valorisation de la ressource bois</i>	<i>7</i>
<i>L'effet de substitution</i>	<i>7</i>
B) PREMIÈRES ESTIMATIONS DES EFFETS DE LA TEMPÊTE KLAUS SUR LE BILAN CARBONE.....	8
<i>Dégâts provoqués par la tempête Klaus.....</i>	<i>8</i>
<i>Bilan carbone en fonction de la gestion des conséquences de la tempête Klaus.....</i>	<i>8</i>
3. EVALUATION DES DIFFÉRENTES OPTIONS DES GROUPES DE TRAVAIL.....	9
A) OPTIONS DÉFINIES PAR LE GROUPE « STRATÉGIE DE SORTIE DE CRISE ET ANTICIPATION DES RISQUES ».....	9
B) OPTIONS DÉFINIES PAR LE GROUPE « ITINÉRAIRES SYLVICOLES ».....	10
<i>Nettoyage.....</i>	<i>10</i>
<i>Choix de l'essence.....</i>	<i>10</i>
<i>Stratégie sylvicole pour le pin maritime.....</i>	<i>11</i>
C) OPTIONS DÉFINIES PAR LE GROUPE « FILIÈRE ».....	12
<i>Destination des bois endommagés.....</i>	<i>12</i>
<i>Bois ayant dépassé l'âge d'exploitabilité et âge d'exploitabilité des peuplements.....</i>	<i>12</i>
<i>Bois fragilisés par la tempête.....</i>	<i>12</i>
<i>Importation de bois vers le massif landais.....</i>	<i>13</i>
<i>Accroissement de l'utilisation des produits de recyclage.....</i>	<i>13</i>
<i>Demande énergétique.....</i>	<i>13</i>
D) OPTIONS DÉFINIES PAR LE GROUPE « TERRITOIRE, EAU, BIODIVERSITÉ ».....	13
<i>Restauration du couvert forestier.....</i>	<i>13</i>
<i>Diversité des types de couverts forestiers et des habitats et diversité des sources de matériel génétique.....</i>	<i>13</i>
<i>Moyens de surveillance et de détection.....</i>	<i>14</i>
<i>Introduction d'espèces envahissantes.....</i>	<i>14</i>
<i>Etat du système hydraulique.....</i>	<i>14</i>
E) OPTIONS DÉFINIES PAR LE GROUPE « PATRIMOINE ET SOCIÉTÉ ».....	14
<i>Organisation de la fréquentation du public.....</i>	<i>14</i>
4. CONCLUSION.....	15

1. Introduction

Le caractère photoautotrophe des végétaux (capacité à synthétiser leur matière organique à partir de substances minérales qui puissent dans le sol et l'air, en particulier le CO₂ de l'atmosphère) leur confère un rôle important dans le cycle du carbone. Il permet notamment d'assimiler le carbone atmosphérique du dioxyde de carbone (CO₂) en molécules organiques (biomasse). Chez les arbres et dans le sol, ces composés organiques ont un temps de résidence supérieur à celui du CO₂ atmosphérique et on parle alors de stockage de carbone. Dans certains cas, comme en particulier celui des forêts, ce stockage *in situ* peut se faire sur des durées relativement longues, supérieures à l'année et même au siècle. Il peut aussi être prolongé *ex situ* par l'utilisation des produits récoltés comme matériau. Par ailleurs, l'utilisation de ces produits peut éviter l'utilisation de carbone fossile, qu'il intervienne comme matière première ou comme substrat énergétique. C'est ainsi que les surfaces continentales avec un couvert végétal comme la forêt, mais également l'utilisation des produits récoltés en tant que matière première ou comme énergie, peuvent influencer le contenu atmosphérique en CO₂, participer à sa régulation et contribuer à l'atténuation du changement climatique.

Etudier les conséquences en terme de changement climatique des modes de gestion des forêts et de l'utilisation de leurs produits devient donc aujourd'hui un enjeu majeur.

Les écosystèmes forestiers font parties des écosystèmes permettant de séquestrer le plus de carbone par unité de surface que tout autre type d'utilisation du sol (FAO, 2003). Sur le plan du changement climatique, la question de la pertinence de la reconstitution de la forêt (point abordé également par les autres groupes de travail) ne se pose donc pas : maintenir les surfaces boisées est une nécessité au regard des recommandations du GIEC, en dépit de leur faible albedo.

L'écosystème forestier joue un rôle dynamique dans le cycle du carbone. En effet :

- il absorbe le CO₂ atmosphérique par le phénomène de photosynthèse,
- il stocke le carbone par la fixation de ce dernier dans la biomasse (matière organique vivante ou morte, sol et litière),
- il relâche le carbone en CO₂ atmosphérique par la décomposition de la matière organique (feuilles, branches...) et par la respiration.

L'écosystème forestier fonctionne comme un puits de carbone lors de sa phase de croissance, l'accroissement biologique étant plus important que la décomposition biologique (sénescence). Arrivé à maturité, les flux de carbone (entrée/sortie) s'équilibrent. Un peuplement forestier sénéscent, pourrait libérer du carbone mais ce point n'est pas établi de façon consensuelle, les mesures disponibles sur vieux peuplements montrant plutôt une légère fixation. La littérature (Loustau, 2006) montre que le comportement des flux de carbone dans un écosystème forestier ne dépend pas uniquement de son âge, mais également des événements naturels ou anthropiques agissant sur ce dernier.

Dans le cas des forêts européennes qui sont exploitées très majoritairement, les conséquences en terme de bilan de gaz à effet de serre des grandes catastrophes qu'elles soient de nature abiotique (tempête, incendie) ou biotique (dépérissements forestiers provoqués par des ravageurs) sont généralement néfastes. Toute action qui minimise ces risques comme par exemple la diversification de la production forestière, le maintien de moyens de surveillance et de détection, l'entretien des accès, sont donc bénéfiques. Or l'ensemble de ces actions n'est envisageable que pour les forêts gérées et soumises à l'aménagement. Il est donc préférable d'aménager les forêts européennes de façon à en augmenter la résilience et la productivité plutôt que de les abandonner à une dynamique naturelle qui augmente considérablement les risques et les impacts des catastrophes. L'aménagement optimal doit bien évidemment tenir compte des potentialités

stationnelles et des éléments de contexte économique et de transport pour optimiser la distribution géographique des vocations des peuplements gérés.

Mais avant toute expertise des différentes options issues des cinq groupes de travail sur l'avenir du massif landais, précisons les limites du système à étudier, ce qui revêt une importance particulière dans le cas de la problématique carbone. En effet, si certaines actions sont plus favorables que d'autres en termes d'émissions à l'échelle de la parcellaire, cette conclusion peut être tout autre dans un contexte plus global (notamment en limitant des effets de substitution ou bien en important du bois pour répondre à la demande locale). L'analyse globale des différentes options de reconstitution et de gestion du massif mises en avant par les différents groupes ne peut être réalisée dans les délais de l'expertise du GIP Ecofor. Elle nécessiterait un projet plus approfondi. Il est cependant possible d'en préciser les tendances de façon qualitative. Après avoir réalisé l'état des lieux de la problématique carbone dans la forêt landaise, nous évaluerons donc de façon qualitative l'impact des différentes options de gestion. Nous concluons enfin cette expertise en dégagant les axes d'approfondissement nécessaires pour répondre entièrement à une telle problématique.

2. Forêt landaise et carbone

a) La situation avant la tempête Klaus de la forêt landaise vis-à-vis du carbone

- *Le stock de carbone en forêt en Aquitaine*

La figure 1 présente en France, par département, le stock moyen de carbone dans la biomasse forestière par unité de surface pour l'inventaire de 1996. Les stocks les plus élevés à l'échelle départementale sont localisés dans le Nord-Est de la France (Alsace, Lorraine, Franche-Comté), dans le Nord des Alpes et dans la partie occidentale du massif pyrénéen.

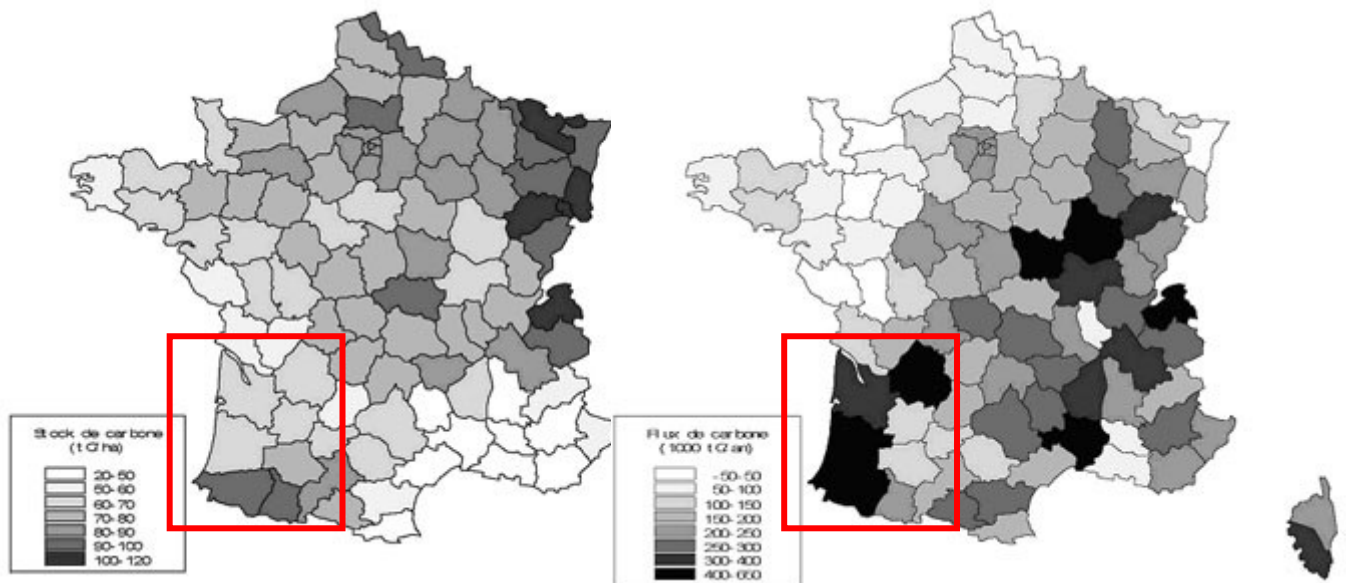


Figure 1 : Stock moyen de carbone par unité de surface dans la biomasse forestière (carte de gauche) et, par département, pour le dernier inventaire (1996) (PIGNARD et al., 2006)

Figure 2 : Variation annuelle du stock de carbone dans la biomasse forestière, par département, entre 1984 et 1996 (PIGNARD et al., 2006)

La surface forestière aquitaine est estimée à 1,8 millions d'ha en 2008, pour un volume sur pied de 252 millions de m³ (IFN, 2009). Le stock de carbone sur pied avant la tempête était estimé à 111 millions de tonnes (Malfait 2009), soit 62 t de carbone/ha.

En ce qui concerne le stockage dans les sols forestiers, celui-ci est évalué à plus de la moitié du stock global du peuplement (Dupouey et al. 1999). La question du déstockage de carbone lié au travail du sol lors des travaux de reboisement peut être grossièrement estimé à 20% environ d'après Jolivet et al. (2005). A priori ce stock se reconstituerait au cours de la vie du peuplement mais les études sur ce sujet sont encore assez partielles.

La figure 2 présente, elle, le stockage annuel net de carbone dans la biomasse forestière par département entre 1984 et 1996. À l'échelle départementale, les puits les plus importants se situent sur une large diagonale Sud-Ouest / Nord-Est, où se distingue notamment la région

Aquitaine. Cette situation a sans doute été modifiée par les tempêtes de décembre 1999, qui ont causé d'importants dégâts sur une grande partie de cette zone.

Une étude de l'IFN, menée en 2004 dans le cadre du projet de coopération interrégionale FORSEE¹ permet de dire que la futaie de pin maritime des Landes de Gascogne représentait un puits net de carbone estimé à 0,35 MtC.an⁻¹ entre 1988 et 1999. La tempête de 1999 a inversé la dynamique de stockage du massif forestier. Sur la période 1988 – 2000, le bilan de carbone de la biomasse ligneuse est négatif, de l'ordre de – 0,34 MtC.an⁻¹. Des études prospectives estimaient à l'époque que le bilan serait redevenu positif vers 2015. La tempête Klaus bouleverse ces prévisions, repoussant les échéances (Maris, 2008).

Ces éléments viennent donc appuyer notre remarque introductive, à savoir qu'une action prioritaire en terme de bilan en gaz à effet de serre forestier est de limiter l'impact direct et les répercussions des grandes catastrophes et de réduire au minimum la vulnérabilité de la forêt aquitaine à ces évènements.

D'après Jolivet et al. (2005), le déstockage de carbone du sol lié au travail du sol lors des travaux de reboisement peut être grossièrement estimé entre 20% et 30% du stock initial environ. Guillet et al. (2010) montrent que le stock accumulé dans les couches organiques de l'humus (OL, OF et OH) peut se reconstituer au cours du vieillissement des peuplements mais la reconstitution du stock du sol organominéral (horizon A1) est certainement beaucoup plus longue.

- *Le stock de carbone dans les produits à base de bois issus d'Aquitaine*

Il n'existe pas de chiffre officiel concernant le stockage de carbone dans les produits bois issus uniquement des forêts aquitaines. Ces chiffres existent seulement au niveau national (étude Carbostock, FCBA pour le MAP, juillet 2008).

Entre 1995 et 2005, la récolte moyenne de bois en Aquitaine est estimée à 9,2 millions de m³ (Agreste, 2006). Ce volume correspond à 2,5 millions de tonnes de carbone (Maris, 2008)

Les estimations du carbone contenu dans les produits fabriqués en 2005 à partir de bois récolté en Aquitaine, réalisées par Malfait (2009) selon une méthodologie propre, évaluent ce stock à environ 1,3 millions de tonnes.

Pour faire l'inventaire des quantités de carbone contenu dans les produits fabriqués à partir de bois récolté en Aquitaine pour 2005, il serait également nécessaire d'estimer la quantité contenue dans les produits fabriqués avant 2005 qui étaient encore en phase d'utilisation en 2005.

- *Les émissions dues à la sylviculture et à l'exploitation forestière*

Les activités de sylviculture et d'exploitation forestière, en dehors du prélèvement de CO₂ du à la photosynthèse et de son stockage sous forme de carbone biomasse, sont également émettrices de GES. Les opérations sources d'émissions sont essentiellement la production des plants, la préparation des sols, le semis ou la plantation, la fertilisation et les opérations d'entretien, les déplacements des personnes et du matériel, l'abattage et le débardage.

Le CITEPA (CITEPA, 2007) annonce pour l'année 2005 les résultats suivants pour la sylviculture en Aquitaine.

¹ *gestion durable des FORêts : un réseau de zones pilotées pour la mise en œuvre opérationnelle*, projet de coopération interrégional INTERREG IIIB Espace Atlantique (2004-2006), conduit par l'Institut Européen de la Forêt Cultivée.

Aquitaine 2005	Emissions en tonnes eq CO₂
Emission due à la consommation d'énergie Agriculture et Sylviculture	614 000
Part de la sylviculture en %	10% soit 61 400

A peine 61 000 tonnes de CO₂ seraient ainsi émises chaque année par la sylviculture pour l'Aquitaine.

Une autre estimation peut être également effectuée à partir de l'inventaire des sources d'émissions de GES liées à la sylviculture et à l'exploitation forestière des différences essences. Sur la base de 9 kg eq. CO₂ par m³ de bois commercialisé sorti forêt pour le pin maritime (calcul fait selon la méthode CML2000 à 100 ans à partir des données d'inventaire de cycle de vie de la sylviculture et de l'exploitation forestière du pin maritime de FCBA), l'estimation conduit à 69 750 t de CO₂ pour l'Aquitaine sur la base de 7,75 Mm³ de bois commercialisés pour l'année 2005 (donnée issue de l'enquête de branche concernant l'exploitation forestière).

Un calcul plus précis pourrait être effectué sur la même base mais en tenant des différents types de sylviculture et suivant les essences exploitées en Aquitaine.

- *Les émissions dues à la valorisation de la ressource bois*

L'utilisation de la ressource bois, qu'elle soit matière première ou énergie, est également source d'émission de GES, à travers par exemple le transport ou la transformation du bois. Le calcul des quantités émises à l'échelle du territoire aquitain et pour une année donnée ne peut se faire que s'il est possible d'associer à chaque utilisation du bois une quantité d'émissions de GES et de connaître les volumes de production selon les différentes utilisations de la ressource bois. A l'heure actuelle, ce type d'estimation n'a pas été encore réalisé. Certaines données nécessaires à ce calcul existent déjà, notamment à travers des études ACV sur les produits bois, mais l'ensemble n'est pas disponible à l'heure actuelle et nécessiterait des études spécifiques pour les acquérir.

- *L'effet de substitution*

Dans la réalisation du bilan des émissions de GES, il est également possible de tenir compte du fait que le système étudié permet d'éviter qu'un autre système soit utilisé pour remplir la même fonction. Ce principe est souvent nommé sous le terme « substitution » ou « impacts évités » ou encore « extension des frontières ». Au bilan lié directement au système étudié, le bilan du système évité est soustrait. Si le bilan du système étudié est meilleur que celui du système évité, le résultat devient négatif, représentant une contribution à l'atténuation du changement climatique. C'est le cas pour le bois énergie qui permet d'économiser des combustibles fossiles. Pour certaines utilisations du bois comme matériau, cela peut également permettre ce gain par rapport à d'autres matériaux comme le plastique ou l'aluminium.

Il n'existe pas de chiffre officiel permettant de quantifier l'effet de la substitution. Il n'est donc pas possible à l'heure actuelle d'établir le bilan en tenant compte de la substitution, mais vraisemblablement ce calcul devrait permettre d'amplifier la contribution de l'utilisation de la ressource bois à l'atténuation au changement climatique.

Cependant il existe des études comparatives du matériau bois par rapport à d'autres matériaux sur l'ensemble du cycle de vie des produits de construction qui montrent de meilleurs résultats pour le

bois par rapport au changement climatique avec un impact réduit de 50% pour beaucoup de types de produits par rapport à un autre matériau (Werner et al, 2007).

b) Premières estimations des effets de la tempête Klaus sur le bilan carbone

D'après Malfait (2009), la tempête de 2009 a entraîné une baisse du stock de carbone des conifères au tiers du total et a ramené le stock sur pied de carbone à un niveau inférieur à celui des années 1990 (35 Millions de tonnes pour les conifères, 60 millions de tonnes pour les feuillus soit un total de 95 millions de tonnes).

▪ *Dégâts provoqués par la tempête Klaus*

Les premières estimations réalisées par l'Inventaire Forestier National font état de 40,1 millions de m³ abattus par la tempête en Aquitaine dont 37,1 millions de m³ de pin maritime, en grande majorité dans le triangle landais.

Les peuplements détruits à plus de 60% couvrent une surface de 159 000 ha, auxquels s'ajoutent 64 000 ha de peuplements touchés entre 40 et 60%. Ces 37,1 millions de m³ de pin maritime renversés par la tempête correspondent à 41,87 millions de tonnes de CO₂.

▪ *Bilan carbone en fonction de la gestion des conséquences de la tempête Klaus.*

Le CRPF d'Aquitaine étudiait en mars 2009 (Lesgourgues *et al.*, 2009) les conséquences de la tempête KLAUS sur le bilan carbone de la forêt landaise.

En admettant l'hypothèse que la totalité du bois d'œuvre sera récolté durant la première année, quatre scénarios étaient envisagés. Seuls le plus défavorable (Scénario 1) et le plus optimiste (Scénario 4) sont repris ci-dessous :

Scénario 1 : pas de mesures d'accompagnement ou mesures inefficaces

- Exploitation des chablis : 15 millions de m³ soit 40% du volume
- Pas d'investissement en reconstitution
- défrichage de 30% des surfaces touchées à plus de 60% soit 47 700 ha

Scénario 4 : mesures d'accompagnement efficaces

- Exploitation des chablis : 31,5 millions de m³ soit 85% du volume total dont 10 millions stockés
- Reconstitution de 90% de la surface touchée à + de 50%
- défrichage de 10% des surfaces touchées à plus de 60% soit 15 900 ha

L'écart constaté entre ces deux scénarios extrêmes est de 34,52 MteCO₂, soit l'équivalent des émissions annuelles totales de la région Aquitaine.

Tous les scénarios entraînent un évitement mais la différence entre le scénario 1 et le scénario 4 est de 5,20 MteCO₂, soit environ 16% des émissions annuelles totales de la région.

Le massif landais disposait, avant tempête, d'atouts considérables en matière de séquestration et d'évitements d'émission de CO₂.

Toutefois, ses performances actuelles et à venir reposent sur une adaptation à un environnement en mutation constante et rapide : émergence de pressions environnementales et sociales, concurrence internationale de plus en plus marquée, modification et internationalisation des marchés, développement de la concurrence intra et inter matériaux... et changement climatique.

Klaus est venu perturber le bilan carbone de la forêt landaise. Les politiques mises en œuvre pour accompagner la reconstitution du Massif des Landes de Gascogne joueront un rôle déterminant sur le futur Bilan carbone du Massif.

3. Evaluation des différentes options des groupes de travail

L'étude des impacts de la gestion de la forêt aquitaine sur le bilan en gaz à effet de serre n'a de réel intérêt que s'il est mené de façon globale à l'échelle de la filière. Le fait de décomposer cette filière en briques élémentaires et de ne s'intéresser qu'au bilan de chacune de ces briques ne donne qu'une vision restreinte des conséquences des différentes options dans la mesure où le choix d'une de ces options à un moment donné limite le panel d'options futures. Par ailleurs les conséquences de pratiques en terme d'émission, de fixation ou de substitution ne sont pas les mêmes suivant le contexte géographique : type de lande, proximité d'usine, déserte des parcelles...

Moyennant cette mise en garde, il reste possible d'évaluer chaque brique élémentaire que sont les options des différents groupes, en notant encore une fois que le bilan global ne peut être la somme de ces évaluations élémentaires.

a) Options définies par le groupe « Stratégie de sortie de crise et anticipation des risques »

Comme nous l'avons souligné en introduction, l'anticipation des risques et la minimalisation des conséquences d'événements biotiques ou abiotiques de grande ampleur est un facteur essentiel dans le bilan gaz à effet de serre. Pour cette raison, toute action visant à inciter la reconstitution et la gestion forestière sont favorables : organisation des acteurs, système d'assurance...

Par ailleurs, une bonne organisation en période de crise pour permettre le sauvetage d'un maximum de bois est également essentielle. A titre de comparaison, la quantité de CO₂ équivalente à celle contenue dans les arbres endommagés par la tempête correspond à près de 1,3 fois les émissions annuelles totales de la région aquitaine (32,51 MteCO₂ en 2000 suivant le Plan Climat Aquitaine). Ces comparaisons mettent en avant l'importance de chercher à limiter les conséquences de phénomènes météorologiques grave d'une part et de mettre en place un plan de sauvetage des bois chablis le plus efficace d'autre part afin d'éviter un relargage de ce CO₂ dans l'atmosphère.

b) Options définies par le groupe « Itinéraires sylvicoles »

▪ *Nettoyage*

Option	Effet
Broyage	Favorise la décomposition des rémanents. Favorise la libération de CO ₂ dans l'atmosphère.
Déchiquetage	Favorise la décomposition des rémanents. Favorise la libération de CO ₂ dans l'atmosphère
Mise en cordon	<u>A court terme</u> Moins de libération dans l'atmosphère. Bilan positif si les souches et rémanents sont utilisés pour le BE <u>A moyen terme</u> Le stockage dans les souches et rémanents continue
Extraction et stockage	<u>A court terme</u> Moins de libération dans l'atmosphère Pas de stockage dans le sol car exportation des souches et rémanents. Bilan positif si les souches et rémanents sont utilisés pour le BE

▪ *Choix de l'essence*

Les flux de carbone en forêts sont liés en partie aux essences qui les composent (productivité et densité du bois). En revanche, la teneur en carbone par tonne sèche de bois ne varie pas entre essences (0,5 tonne de carbone par tonne sèche de bois). Le critère carbone ne peut être le seul critère de choix en ce domaine.

L'existence d'une filière de transformation, l'adéquation entre la station et l'essence, l'absence de risques sanitaires rédhibitoires doivent garder une place majeure dans le choix de l'essence.

Toutefois, compte-tenu de la pauvreté des sols landais, les résultats obtenus en terme de croissance puis d'utilisation des bois seront très différents et auront donc un effet en terme de flux de carbone dans le compartiment bois transformé et en terme d'évitement.

Option	Effet
Pin maritime	Croissance assez élevée en sols landais (10 à 12 m ³ /ha/an) et infradensité du bois de l'ordre de 440 kg/m ³ , soit 4,5 à 5,4 t.s./ha/an, soit en moyenne 2,5 tC/ha/an

Pin taeda	Capacité de production élevée sur les meilleurs sols landais (14 à 20 m ³ /ha/an) mais infradensité un peu plus faible que le pin maritime (380 kg/m ³), bilan 3,2 tC/ha/an
Nouvelles variétés de Pin maritime	Avec un objectif de +30% en croissance, mais infradensité du bois plus faible (400kg/m ³), environ 3 tC/ha/an
Chênes locaux	Capacité de 4,5 m ³ /ha / an et infradensité du bois 580 kg/m ³ , soit 1,3 tC/ha/an
Eucalyptus	10 à 12 t.s/ha /an soit 5 à 6 tC/ha/an
Chênes américains	Avec 6 à 8 m ³ /ha/an, environ 2 tC/ha/an
Robinier	7 à 9 t.s. / ha/an soit 3,5 à 4,5 tC/ha/an

▪ *Stratégie sylvicole pour le pin maritime*

De façon schématique, les itinéraires sylvicoles peuvent se positionner selon un gradient d'intensification : l'option la moins intensive serait une culture de pins issus de régénération naturelle et à l'inverse la plus intensive serait une culture biomasse. Les options de ce gradient sont :

- Haute qualité en 45-60 ans,
- Qualité standard en 35-45 ans,
- Courte révolution en 30-35 ans,
- Courte révolution en 25 ans,
- Semi dédié biomasse (9 ans) – Bois d'œuvre (35 ans),
- Biomasse à 12 ans.

Pour chaque étape de la filière il est possible de définir de façon qualitative les options qui sont en termes de bilan de gaz à effet de serre :

Relativement moins favorable (pointe du triangle)



Relativement plus favorables (base du triangle)

Option	Coût carbone sylviculture	Carbone fixé annuellement	Carbone en place	Longévité des produits	Sensibilité au risque
Extensif (haute qualité en 45-60ans)					
Intermédiaire (courte révolution)					
Intensif (biomasse à 12 ans)					

c) Options définies par le groupe « Filière »

- *Destination des bois endommagés*

Trois options sont proposées :

- a) utilisation des bois différée dans l'espace
- b) utilisation des bois différée dans le temps
- c) abandon des bois en forêt

L'option a) correspond à une exportation des bois de l'Aquitaine pour une utilisation dans d'autres régions ou d'autres pays. L'option b) correspond à un stockage des bois et l'option c) à l'absence d'intervention.

Afin d'évaluer ces options il est important de préciser deux points concernant les bilans en gaz à effet de serre.

Tout d'abord, lors de l'étude des différents postes sources de gaz à effet de serre dans le cycle de vie d'un produit à base de bois, le transport pèse énormément.

Par ailleurs l'abandon de bois en forêt se traduit par une dégradation progressive de ces derniers et un retour dans l'atmosphère du carbone sous forme de dioxyde de carbone ou de méthane.

Ces deux points pris en considération, l'option de stocker les bois pour un usage différé dans le temps est celle qui présentera un meilleur bilan. L'option d'exportation sera d'autant plus coûteuse que le transport sera conséquent.

- *Bois ayant dépassé l'âge d'exploitabilité et âge d'exploitabilité des peuplements*

La réflexion sur l'âge d'exploitabilité et l'utilisation des vieux bois rejoint celle sur l'évaluation de la stratégie sylvicole pour le pin maritime, à savoir d'une part une sylviculture dynamique permet de fixer annuellement plus de carbone à l'hectare et peut déboucher sur des produits à valorisation énergétique permettant un fort évitement et d'autre part une sylviculture plus longue présente un stock sur pied plus important et permet de réaliser des produits à durée de vie plus importante. Afin de compléter ce bilan, rappelons que l'option consistant à raccourcir l'âge d'exploitabilité des peuplements permet également de limiter la sensibilité des ces derniers vis-à-vis du risque.

- *Bois fragilisés par la tempête*

Les coupes de régularisation consistent à effectuer une coupe rase dans une parcelle dont les chablis ont été nettoyés mais pour laquelle la densité d'arbres sains est trop faible pour assurer une production correcte de la parcelle.

Dans la mesure où la coupe de régularisation est suivie d'un reboisement, l'opération sera globalement favorable pour le bilan de gaz à effet de serre car une parcelle peu productive est remplacée par une parcelle plus productive.

Il faut trouver le juste milieu entre une régularisation rapide pour permettre une meilleure croissance des arbres grâce à un retour vers des parcelles entièrement productives et une régularisation plus tardive qui lisserait le trou de production des unités de transformation locales.

- *Importation de bois vers le massif landais*

Le raisonnement soulignant la nécessité d'utiliser les bois localement pour minimiser leur empreinte écologique est également valable dans le cas de l'importation : il faut rechercher à utiliser un maximum de ressource locale et à limiter l'importation. Le bilan est encore une fois délicat à réaliser car il faudrait mettre dans la balance les conséquences d'une sur-exploitation du massif si on veut travailler à volume de bois transformé égal ou d'une chute d'activité industrielle si on veut travailler avec une exploitation équivalente à la production biologique annuelle mais sans importation.

- *Accroissement de l'utilisation des produits de recyclage*

Le groupe filière préconise d'augmenter le recyclage de produits à la fois bois et fibre pour aider à combler le déficit de production de bois du massif suite aux deux tempêtes.

De façon générale et particulièrement dans le recyclage de produit bois en bois d'industrie ou en énergie permet d'améliorer le bilan des produits concernés. Il faut toutefois rester vigilant aux conséquences du recyclage de certains produits : le process de recyclage peut être source de gaz à effets de serre ou bien consommateur en énergie, les produits recyclés peuvent entrer en concurrence avec des produits de production locale et ainsi déséquilibrer une filière.

- *Demande énergétique*

L'utilisation d'une ressource énergétique renouvelable en lieu et place d'énergies non renouvelable est bénéfique pour le bilan. Attention toutefois à ne pas entrer dans un conflit d'usage auquel cas il faudrait comparer le bilan des différentes filières avant de pouvoir identifier la plus favorable en terme de gaz à effet de serre.

d) Options définies par le groupe « Territoire, eau, biodiversité »

- *Restauration du couvert forestier*

Ce point a été évoqué en introduction du présent document. La restauration du couvert forestier est une action primordiale lorsque l'on s'intéresse au bilan gaz à effet de serre.

- *Diversité des types de couverts forestiers et des habitats et diversité des sources de matériel génétique*

L'état des lieux des conséquences de la tempête sur le bilan en gaz à effet de serre du massif landais a souligné les fortes pertes de carbone que se soit sous forme de pertes nettes ou pertes de potentiel de production. C'est pour cette raison, que quelle que soit l'option de scénario ou de gestion du massif il faut chercher d'une part à minimiser les conséquences d'événements de grande ampleur de type tempête, incendie ou attaque parasitaire et maximiser la résilience de la forêt.

De façon générale, l'unicité d'essence, de scénario sylvicole ou de paysage forestier entraîne une plus grande sensibilité dans la mesure ou si un événement touche un point faible de ce type de peuplement, c'est l'ensemble du massif qui est mis en danger.

Afin de minimiser le risque, il convient donc de rechercher à introduire un maximum de diversité, que se soit à l'échelle de la parcelle (conservation des feuillus par exemple), de la propriété (panachage des types de scénarios sylvicoles) ou du massif (maintient d'une diversité génétique).

De plus les différentes options n'auront pas le même impact suivant le contexte géographique et stationnel. Ainsi des options productives sont à privilégier sur des stations fertiles et les options plus extensives sur les stations moins fertiles. Les zones sensibles du type ripisylve sont plutôt destinées à recevoir des options extensives avec peu d'exploitation. Inversement, en périphérie des usines de transformation (pâte à papier, panneaux, énergie...) il faut privilégier des cultures intensives à faible durée de rotation.

- *Moyens de surveillance et de détection*

Les moyens de surveillance et de détection peuvent permettre de limiter les impacts d'incidents majeurs (incendie, attaques biotiques...). Ils sont donc bénéfiques au bilan gaz à effet de serre.

- *Introduction d'espèces envahissantes*

Le bilan de cette option est variable suivant l'espèce, sa production, son utilisation et l'intensité de son caractère envahissant.

- *Etat du système hydraulique*

Un système hydraulique en bon état permet un meilleur drainage des sols qui se traduit par une fertilité accrue de la parcelle. Ce gain en production doit cependant être mis en regard des coûts en gaz à effet de serre liés à la réalisation de tels travaux.

Signalons également qu'un système hydraulique en bon état facilite les accès aux parcelles et de ce fait favorise les interventions rapides et donc limite les conséquences d'événements de type incendies.

e) Options définies par le groupe « Patrimoine et société »

- *Organisation de la fréquentation du public*

Le bilan concernant la fréquentation du public est principalement lié au coût du déplacement entre l'habitation et le lieu de fréquentation. La réalisation de zones d'accueil en périphérie des villes éventuellement desservies par des transports en commun serait donc favorable au bilan gaz à effet de serre. L'organisation de la fréquentation du public doit être également pensée afin de minimiser les risques d'incendies.

4. Conclusion

Il est possible, la plupart du temps, d'indiquer de façon qualitative les conséquences des options proposées par les groupes de travail considérant toute autre action égale par ailleurs. Néanmoins, le bilan carbone de la gestion du massif landais n'a de sens que s'il est mené de façon globale en intégrant :

- l'adaptation des options aux conditions situationnelles et économiques locales ;
- la mesure de l'effet de substitution lié à l'utilisation du bois ;
- la réponse apportée aux besoins en bois par l'industrie locale ;
- les conséquences du maintien ou non du tissu industriel local ;
- les combinaisons possibles des différentes options et les interactions qui en découlent.

Ce travail, jamais réalisé à l'échelle du massif, nécessiterait un approfondissement qui ne peut donc être mené dans le cadre de cette expertise.

De façon synthétique, les grandes orientations permettant d'optimiser le bilan gaz à effet de serre sont les suivantes :

- reconstituer le couvert forestier ;
- conserver le caractère productif du massif ;
- augmenter la résistance et la résilience des peuplements aux risques en diversifiant la production en tenant compte des paramètres locaux.

Plusieurs fois au cours de cette expertise nous n'avons pu donner de réponse tranchée sur le bilan gaz à effet de serre de telle ou telle mesure car des effets antagonistes sont présents simultanément. Les questions qui mériteraient ainsi d'être à présent approfondies sont les suivantes :

- Du scénario extensif au scénario intensif, quel est le bilan global d'un mode de gestion sylvicole tenant compte du puits de la forêt, de la séquestration de carbone et des émissions des GES liées aux pratiques sylvicoles, sur une durée donnée et pour des qualités de bois données ?
- De la valorisation énergétique au bois construction, quel est le bilan des différentes filières d'utilisation des bois aquitains de façon directe et en tenant compte des effets de substitution ?
- Quelles utilisations du bois avec quelle organisation territoriale permettraient de minimiser au mieux les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de la région ?

5. Bibliographie

AGRESTE. 2006. Enquête annuelle de branche "Exploitation forestière".

AGRESTE AQUITAINE. 2008. La récolte forestière et l'activité des scieries en 2006, Bordeaux : DRAF, 2008. 2 pages

ARBORA. VIII^e colloque. 2005. Carbone, Forêt, Bois : Impact du changement climatique, Stratégies pour la filière ?

AUGUSTO, L. ; BELKACEM, S. ; NYS , C. 1999. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises, Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France, n°6, pages 293 à 310.

BELLASSEN, V. ; LEGUET, B. 2007. Compenser pour mieux réduire. Note d'étude de la Mission Climat de la Caisse des Dépôts, septembre 2007, n°11, 40 pages

BERT, D. ; DANJON, F. 2005. La teneur en carbone dans le pin maritime : mesure, variation, interprétation et utilisation pour estimer le stock de carbone des peuplements landais. Colloque ARBORA 2005, p. 187-208.

BERT D. ; DANJON F., 2005. Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature Pinus pinaster (Ait.), Forest ecology and management n° 222 (2006), p. 279–295

BOSC, A. ; LOUSTAU, D. ; OGEE, J. ; DAVI, H. ; FRANÇOIS, C. ; DEQUE, M. ; LE BAS, C. ; SABY, N. ; PIGNARD, J. ; HAMZA, N. ; VIOVY, N. 2005 Quel impact attendre du changement climatique sur la production des forêts françaises ? : résultats du projet CARBOFOR. Colloque ARBORA 2005, p. 41-61.

BUCKET, E. ; MEREDIEU, C. ; LABBE, T. 2005. Modélisation du bilan carbone pour un système forêt de Pin maritime-produits bois : comparaison pour trois scénarios sylvicoles contrastés. Colloque ARBORA 2005, p. 209-216.

CITEPA. (page consultée le 27 août 2008). en France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, décembre 2007. [En ligne]. Adresse URL : <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv4>

CITEPA. (page consultée le 21 avril 2009). Inventaire des émissions de gaz à effet de serre de la région Aquitaine et ses départements pour les années 1990 et 2005, octobre 2007. [En ligne]. Adresse URL : <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=17823&m=3&catid=19616>

DUPOUEY, JL. (page consultée le 27 août 2008). La séquestration de carbone en forêt, Colloque « Chimie verte : questions à la recherche », 28 février 2006. [En ligne]. Adresse URL : http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/chimie_verte/questions_a_la_recherche/la_sequestration_de_carbone_en_foret

DUPOUEY, JL. ; PIGNARD G. ; BADEAU V.; THIMONIER A.; DHOTE JL.; NEPVEU G. ; BERGES L. ; AUGUSTO L. ; BELKACEM S. et NYS C. 1999. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France 85 (6), p 294-3000

DUPOUEY, JL. PIGNARD, G. 2001. Les flux de carbone dans les forêts françaises : l'approche par inventaire, 5 pages, (page consultée le 27 août 2008). [En ligne]. Adresse URL : http://www.avignon.inra.fr/stcavignon/centre/unites/agroclimatologie/journees_MICCES/MICCES_2004_JLD.doc

DUPOUEY, JL. ; PIGNARD, G. 2001. Quelques problèmes posés par l'évaluation des stocks et flux de carbone forestiers au niveau national, Revue forestière française, 2001, n° Hors Série, pages 294 à 300.

FAO, 2003. La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres, rapport basé sur le travail de Michel Robert

FCBA, 2008. Carbone stocké dans les produits bois : conception d'une méthodologie de quantification des variations de stock dans les produits du bois répondant aux exigences du GIEC et application à l'année 2005 pour un rapportage volontaire dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (étude CARBOSTOCK)

GARDETTE, YM. ; LOCATELLI, B. 2007. Les marchés du carbone forestier. ONF International, CIRAD, 2007. 71 pages

GIEC. (page consultée le 27 août 2008). Utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie. [En ligne]. Adresse URL : <http://www.grida.no/climate/ipcc/spmpdf/srl-f.pdf>

GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT. (page consultée le 27 août 2008). Engagement 77, [En ligne]. Adresse URL : http://www.biodiversite2012.org/spip.php?article231&artsuite=0#sommaire_1

GUILLET B., J.-R. DISNAR, D. LOUSTAU and J. BALESSENT, 2010. Dynamics of soil carbon and moder horizons related to pine and beech stands age. In: D. Loustau (Ed.) Forests, Carbon Cycle and Climate Change, Quae, versailles, pp. 55-79.

JAUPART-CHOURROUT, N. 2007. Marché du Carbone : Forêt et bois revendiquent ! Un colloque d'Aprovalbois, La Forêt Privée, Revue Forestière Européenne, Novembre Décembre 2007, n° 298, pages 51 à 64.

JOLIVET, C. ; ARROUAYS, D. ; ANDREUX, F. 2005. Impact d'une coupe rase sur les teneurs en carbone organique et leur dynamique dans les sols des Landes de Gascogne. [Communication orale]. Colloque ARBORA 2005, p. 109-114.

LESGOURGUES Y. ; CASTRO A. ; DROUINEAU S. ; MARIS C. 2009. Les chablis et le CO2 : Perspectives à moyen terme. CRPF d'Aquitaine, 23 pages

LOCHU, S. 2004. Le bois et la lutte contre l'effet de serre. Revue forestière française, 2004, pages 167 à 173.

LOUSTAU, D. ; DUPOUEY, J.L.. 2005. Forêts et climat : rôle des forêts dans le cycle des gaz à effet de serre et les échanges d'énergie avec l'atmosphère. Colloque ARBORA 2005, p. 17-30.

LOUSTAU, D. 2006. Le rôle de la forêt dans le cycle du carbone. Forêt-entreprise n°168 .

LOUSTAU, D. ; KLIMO E. 2010. The impacts of forest management on the carbon cycle. Article en préparation.

MALFAIT, J.J. 2009. Flux, stocks de bois en aquitaine et séquestration du carbone. Etat de référence avant la tempête de janvier 2009. Les documents de recherche du GREThA. 82p.

MALFAIT JJ. ; DROUINEAU S.. Novembre 2009. Flux et stocks de carbone des massifs forestiers aquitain et landais, 6 pages

MARIS, C. 2008. L'accès aux marchés du carbone pour les propriétaires forestiers français : sortir de Kyoto ? Mémoire de fin d'études ENITA Bordeaux .

MEREDIEU, C. ; COLIN, A. ; TEISSIER DU CROS, R. ; PORTE, A. ; LOUSTAU, D.. 2005 Evaluation des stocks de carbone dans la biomasse de peuplements de pin maritime : application à l'échelle régionale. Colloque ARBORA ; 2005, p. 143-159.

PICARD, O. ; ROBERT, N. ; RUBIO, M. : TOPPAN, E. 2008. Six façons de lutter contre le changement climatique : la boîte à outil du forestier. Rendez-vous techniques, printemps 2008, n°20, page 46.

PIGNARD, G. ; HAMZA, N. ; DUPOUEY, JL. 2006. Estimating carbon stocks and fluxes in French forest biomass, based on national inventory data. In : Final Report of the Carbofor Project, Paris : FCBA, pages 67 à 73.

PLAN CLIMAT AQUITAINE. (page consultée le 21 avril 2009). Premières mesures du Plan Climat Aquitaine, 20 mars 2007, pages 57 et 58. [En ligne]. Adresse URL : <http://aquitaine.fr/IMG/pdf/PlanClimatAquitain.pdf>

PORTE, A. ; DULHOSTE, R. ; LOPEZ, S. ; BOSCH, A. ; MEREDIEU, C. ; TEISSIER DU CROS, R. ; TRICHET, P. ; BARNIER, P. ; LOUSTAU, D.. 2005. Détermination de la biomasse aérienne du sous-bois de peuplements adultes de Pin maritime : contribution à la quantification des stocks de carbone forestier à l'aide d'indicateurs de couvert. Colloque ARBORA 2005, p. 97-105.

PORTE, A. ; TRICHET, P. ; BERT, D; LOUSTAU, D.. A2002. Allometric relationships for branch and tree woody biomass of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait), Forest Ecology and Management, n°158, pages 71-83

PRIEUR, A. 2004. Les ressources forestières : produits du bois, usages énergétiques, capture et stockage du carbone. Thèse, Bordeaux I, Ecole doctorale des Sciences Physiques et de l'Ingénieur, 183 pages

TRICHET, P. ; LOUSTAU, D. ; PASTUZSKA, P. ; LESGOURGUES, Y. ; MERZEAU, D. ; LINDER, S.. 2005. Fixation nette de carbone dans la biomasse d'un peuplement de Pin maritime, dans les Landes de Gascogne. Colloque ARBORA 2005, p. 91-95.

VOLUNTARY CARBON STANDARD. 2007. Guidance for Agriculture, Forestry and Other Land Use Projects. 53 pages ; <http://www.v-c-s.org/methodologies.html>

WERNER F. ; RICHTER K.. 2007 Wooden Building Products in Comparative LCA. International journal of LCA