



FLUX ET STOCKS DE CARBONE DES MASSIFS FORESTIERS AQUITAIN ET LANDAIS

Jean Jacques Malfait GREThA – Université Bordeaux 4

*Expertise Gip-Ecofor
Décembre 2009.*

*Etude réalisée avec le soutien financier de la région Aquitaine,
en partenariat avec Sébastien Drouineau du Centre Régional de la Propriété Forestière d'Aquitaine.*

La délimitation du massif forestier Landais, si elle réalisable sur le plan strictement forestier, se heurte, au fur et à mesure de la transformation des produits, à un suivi administratif dont la référence devient la région. On peut cependant pour le cas particulier du pin maritime et compte tenu de sa concentration départementale, établir un suivi relativement précis des flux de bois sur le massif Landais.

Le *diagramme de la page suivante* représente l'ensemble des essences d'Aquitaine réparties en 4 catégories : les feuillus y sont regroupés, les autres conifères sont séparés du pin maritime. Pour cette dernière essence on a considéré que les peuplements des trois départements intégrés au massif Landais (Gironde, Landes et Lot et Garonne) étaient représentatifs du massif. Les peuplements de pin maritime de la Dordogne et ceux accessoires des Pyrénées Atlantiques sont décomptés à part. Les volumes de bois correspondant aux stocks de carbone correspondent aux campagnes d'inventaire 2005-2007 de l'IFN. Les volumes de feuillus retenus s'élèvent à 118 millions de m³ (Mm³), ceux de pin maritime à 128 Mm³ (dont 8 Mm³ hors massif¹) et ceux des autres conifères à 10 Mm³². Les volumes de bois sont ceux fournis par l'IFN³.

Les surfaces concernées par le stockage du carbone dans les sols sont celles du 4^o inventaire, compte tenu de la précision de la ventilation des surfaces par essence qui y est fournie⁴.

Les stocks retenus sont représentatifs de la situation avant la tempête de 2009.

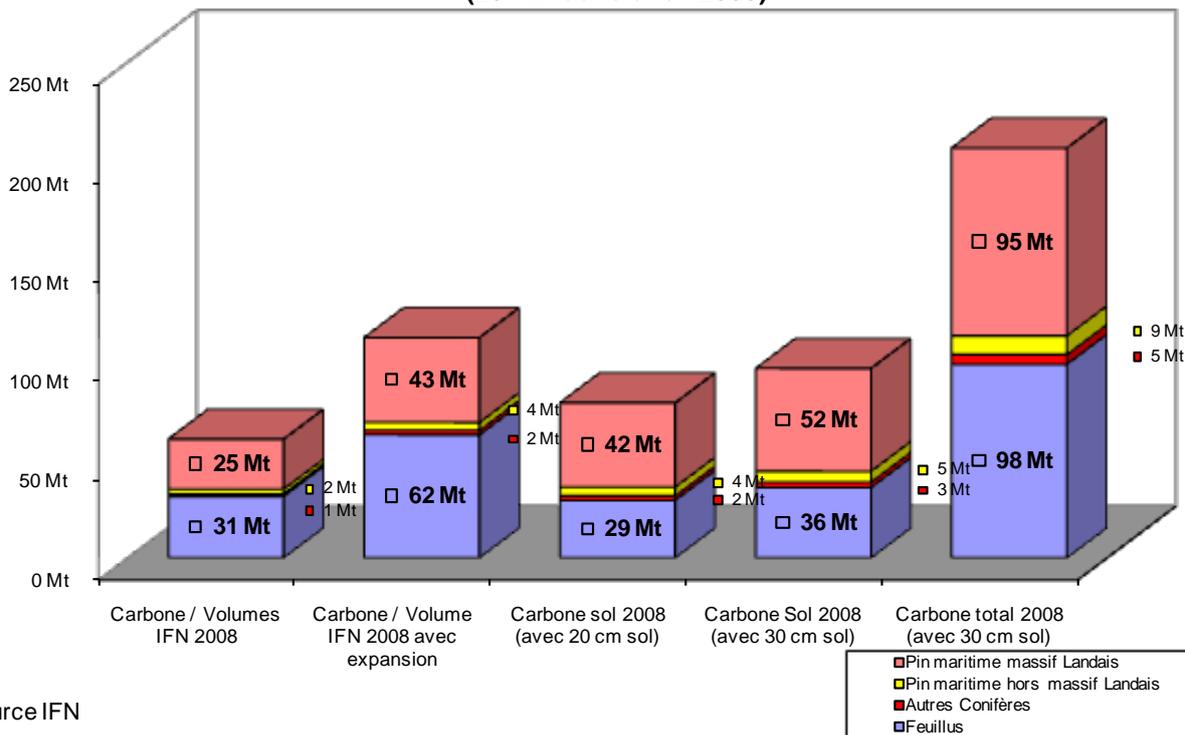
¹ La répartition observée, après la prise en compte des chablis de la tempête de 1999 sur les résultats du 4^o inventaire est conservée.

² Cf IFN "La forêt française : les résultats issus des campagnes d'inventaire 2005, 2006, 2007", juin 2008 p.142. L'adjonction de la campagne 2008 induirait une baisse des stocks de feuillus à 115 Mm³ et de ceux de conifères à 134 Mm³ dont 125 Mm³ de pin maritime.

³ Il s'agit des volumes de bois fort (découpe 7 cm de diamètre fin bout).

⁴ Les résultats de la période 2005-2008 montreraient une évolution positive des surfaces forestières de 1,5%.

Répartition du carbone forestier par essence et zone forestière en Aquitaine (207 Mt au total en 2008)



source IFN

Le passage aux quantités de carbone nécessite le calcul des quantités de matières sèches contenues dans les volumes de bois. On utilise l'infradensité des bois ou les taux de siccité⁵. On a retenu une infradensité moyenne de 0,54 pour les feuillus et de 0,43 pour le pin maritime et les autres conifères. On passera ensuite aux quantités de carbone par un coefficient commun de 0,5⁶. Les quantités de carbone sont exprimées en millions de tonnes (Mt). Le stock de carbone de "bois fort" de pin maritime du massif forestier Landais (25 Mt) représentait 45% du stock Aquitain (56 Mt) avant la tempête de 2009.

Cependant le volume de bois fort est loin de représenter la totalité du carbone stocké dans les ressources ligneuses. On retient un coefficient dit "d'expansion" qui permet d'intégrer le carbone de branches et des racines. Il est traditionnellement de 2 pour les feuillus et de 1,6 pour les conifères. Le déséquilibre au profit des stocks de feuillus en est légèrement accentué (43 Mt pour le massif Landais pour 62 Mt de feuillus).

Les dernières données disponibles auprès de l'IFN ont conduit à diminuer le stock de pin maritime de 1Mt de carbone et celui des feuillus de 1,5 Mt par rapport à la période 2005-2007.

La prise en compte du carbone du sol complète l'évaluation des stocks de carbone. Sa part est bien souvent voisine ou supérieure à celle du carbone ligneux. Les experts s'accordent, en règle générale, pour dire que, plus que le couvert feuillu ou résineux, c'est la qualité des sols qui caractérise le potentiel de séquestration⁷. De plus, selon la profondeur retenue, cette quantité augmente sensiblement. On retient un chiffre de 45 t/ha de carbone pour un horizon de 20 cm et 55 t/ha pour un horizon de 30 cm⁸. Le couvert forestier de pin maritime étant voisin de 950 000 ha pour le massif Landais et de 650 000 ha pour le couvert forestier feuillu Aquitain, le rapport des stocks entre essences s'inverse avec 55 % pour les sols de pin maritime du massif Landais (52 Mt pour les sols à un horizon de 30 cm sur un total de 94Mt)⁹.

Au total le stock de carbone associé au couvert de pin maritime du massif Landais équilibre le stock restant de l'Aquitaine (96 Mt contre 112 Mt) et le couvert total de pin maritime pour l'Aquitaine conduit à un équilibre presque parfait (104 Mt contre 103 Mt).

⁵ Pour l'infradensité la quantité de matière sèche est à rapporter au volume de bois (exemple : un coefficient de 0,54 induit 540 kg de matière sèche par m³ de bois), pour la siccité la quantité de matière sèche est à rapporter à la masse de bois (exemple : un taux de siccité de 0,46 induit 460 kg de matière sèche par tonne de bois).

⁶ Le rapport Carbofor affine ce coefficient selon les essences de bois.

⁷ Les podzols aquitains sont un milieu plutôt pauvre et moins séquestrateur de carbone.

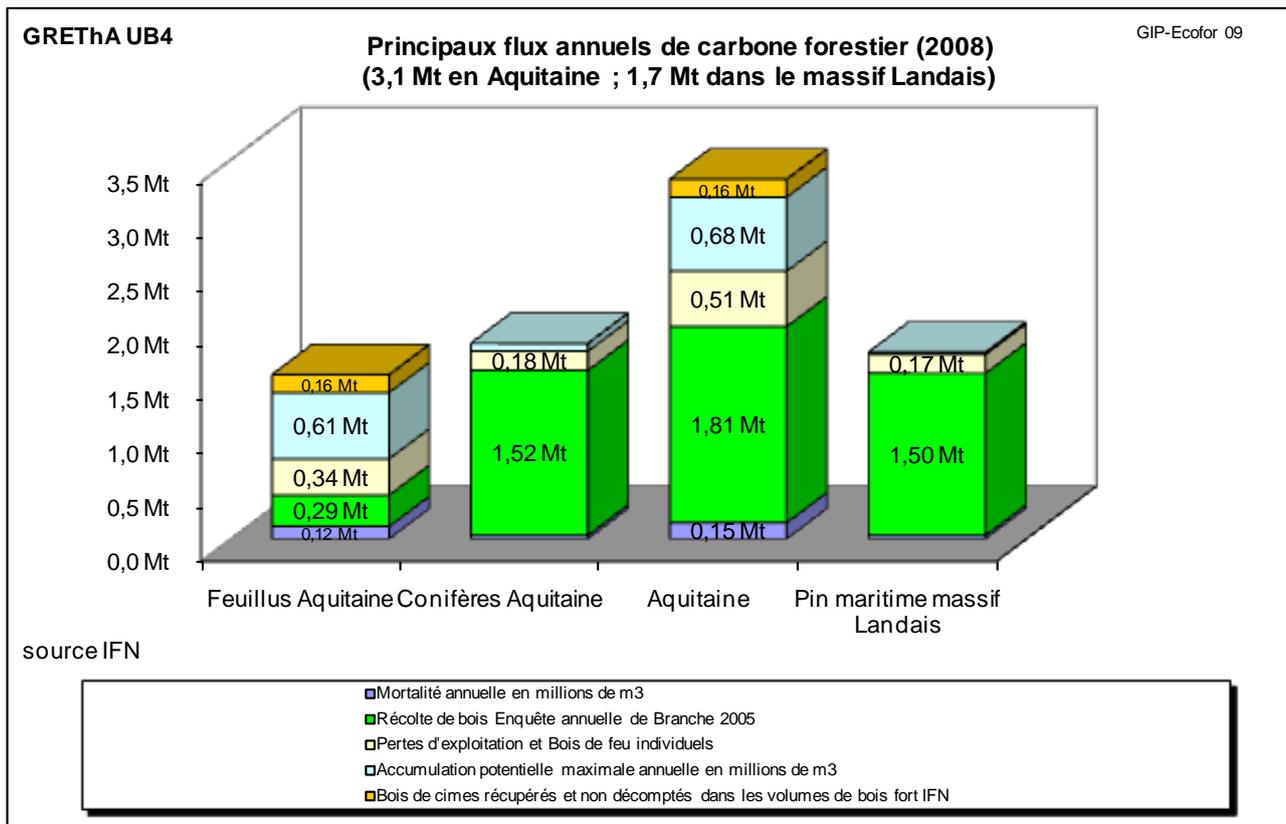
⁸ Voir COLIN A., "Evaluation des stocks et des flux de carbone liés à l'activité forestière en Aquitaine" IFN, CRPF, OFORA, Rapport final, Novembre 2004, P.43.

⁹ Il s'agit ici de stocks indicatifs, l'affectation précise selon l'essence ou le peuplement principal pouvant conduire à des variations non négligeables.

Jusqu'en 2007 l'IFN fournissait un chiffre de production brute qui représentait la croissance annuelle des peuplements forestiers¹⁰. Cette production comprenait la mortalité naturelle, les prélèvements sur la ressource, composés de la récolte de bois et des pertes d'exploitation ; par différence on déterminait l'accumulation dans les stocks des peuplements existants.

Le diagramme ci-dessous présente ces flux de carbone. L'ancienne méthode d'inventaire rendait complexe les analyses régionales¹¹. Les dernières données disponibles indiquaient une production brute de 4,9 Mm³ (5 Mm³ avec les peupliers) pour les feuillus et 8,8 Mm³ pour les conifères (8,4 Mm³ pour le seul pin maritime en Aquitaine)¹². Le calcul des flux de carbone est fait à partir des coefficients siccité¹³ et de passage des quantités de matière sèche aux quantités de carbone.

La mortalité et les prélèvements sont déterminés à partir des proportions observées lors des inventaires départementaux¹⁴. Sous ces hypothèses de maintien des taux de mortalité et de pertes d'exploitation, on constate la grande différence entre les types d'affectations, en particulier des parts récoltées des feuillus et des conifères. Le pin maritime se caractérise par une affectation presque exclusive à la récolte de bois.



Les 1,5 Mt de carbone des feuillus se répartissent surtout en accumulation des stocks existants (40%) et pertes d'exploitation (22%). La récolte ne représente finalement qu'environ 20% de la production. Notons que l'autoconsommation de bois de feu (2 Mm³ en Aquitaine) utiliserait la totalité des pertes d'exploitation et induirait une récupération d'une partie des bois de cimes (10%).

Les 1,8 Mt de carbone des conifères d'Aquitaine correspondent par contraste pour 85% en récolte de bois commercialisée. Les pertes d'exploitation résultant de l'application de la méthode des bilans de l'IFN correspondent à 10%. Le reste correspond à la mortalité naturelle et à une petite augmentation des stocks des conifères autres que le pin maritime.

¹⁰ Elle se décompose en accroissement pour les peuplements existants et en recrutement pour les peuplements nouvellement recensés.

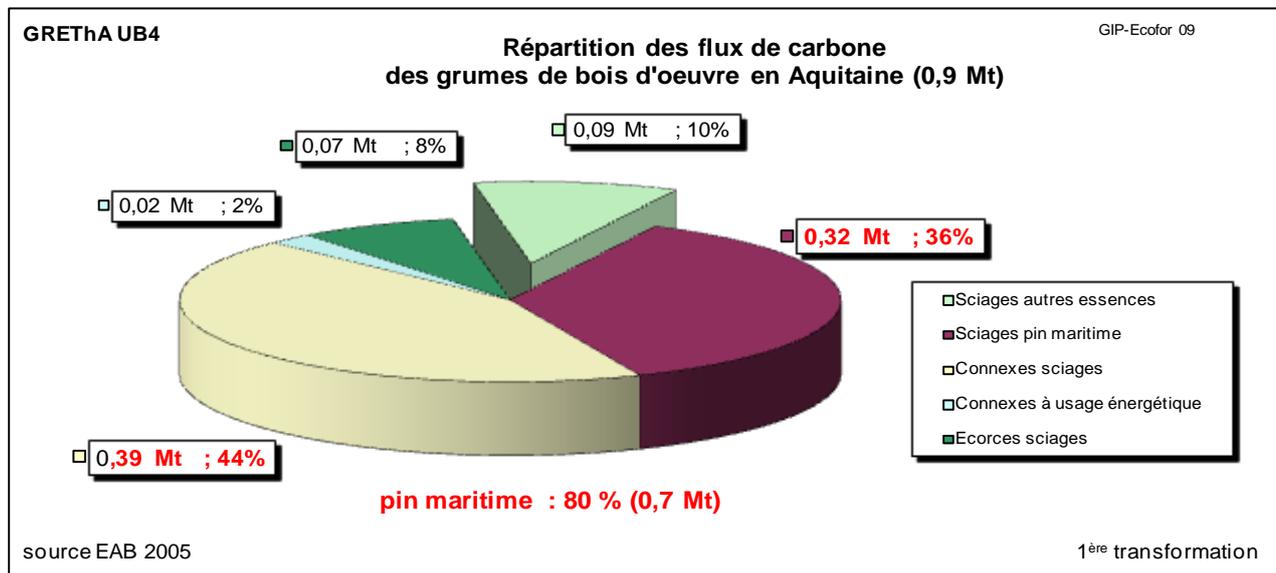
¹¹ Du fait que les inventaires avaient lieu successivement par département et par rotation tous les 10 ans.

¹² Cf IFN op.cit. p.143.

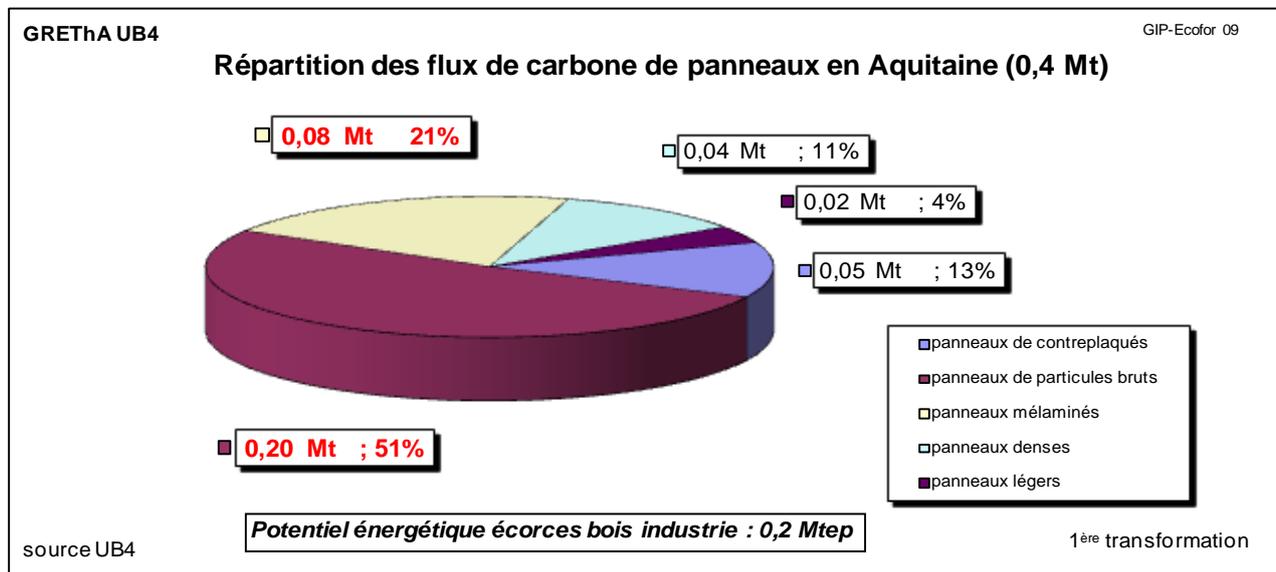
¹³ Coefficient de 0,6 à 0,5 selon les feuillus, 0,46 pour le pin maritime.

¹⁴ Lors des 3^e et 4^e inventaires. Les prélèvements étaient estimés par la méthode des bilans. Les pertes d'exploitation étaient déduites par différence avec la récolte de bois recensée par l'enquête de branche (EAB) sur les périodes correspondantes. Les mortalités auraient été voisines de 9% pour les feuillus et de 2% pour le pin maritime. Les pertes d'exploitation se seraient élevées à 30% pour les feuillus, y compris la récolte non commercialisée et à 10% pour les conifères et le pin maritime. L'accumulation pour les feuillus avoisinerait les 45% et serait inférieure à 4% pour les conifères et 1% pour le pin maritime.

Le processus de transformation des grumes conduit à une seule catégorie de connexes toutes essences confondues comme l'illustre le *diagramme ci-dessous*. Les quantités de matières sèches correspondantes sont importantes. Si on sépare les écorces, les connexes représentent plus de 45 % de la ressource disponible. Les écorces de plus faible densité²⁰ voient leur part en carbone diminuer. La partie des connexes destinée à des usages énergétiques est celle recensée par l'enquête de branche, elle est sans doute minorée. Les écorces peuvent avoir un usage énergétique ou "décoratif de jardin". On retrouvera les sciages dans les produits bois de 2° transformation. Les connexes sont une source importante de matière première des branches "panneaux" et "pâtes à papier".



Le *diagramme ci-dessous* montre la répartition des panneaux fabriqués dans le massif Landais. Pour près des trois-quarts (72%) il s'agit de panneaux de particules, qu'ils soient bruts (0,75 Mm³) ou mélaminés (0,31 Mm³). Les panneaux denses (0,17 Mm³) et les contreplaqués (0,17 Mm³) complètent la répartition en carbone. La faible densité des panneaux légers (0,11 Mm³) rend leur contribution limitée²¹. Les écorces des bois de trituration représentent 0,2 Mtep (Millions de tonnes équivalent pétrole) de potentiel énergétique.

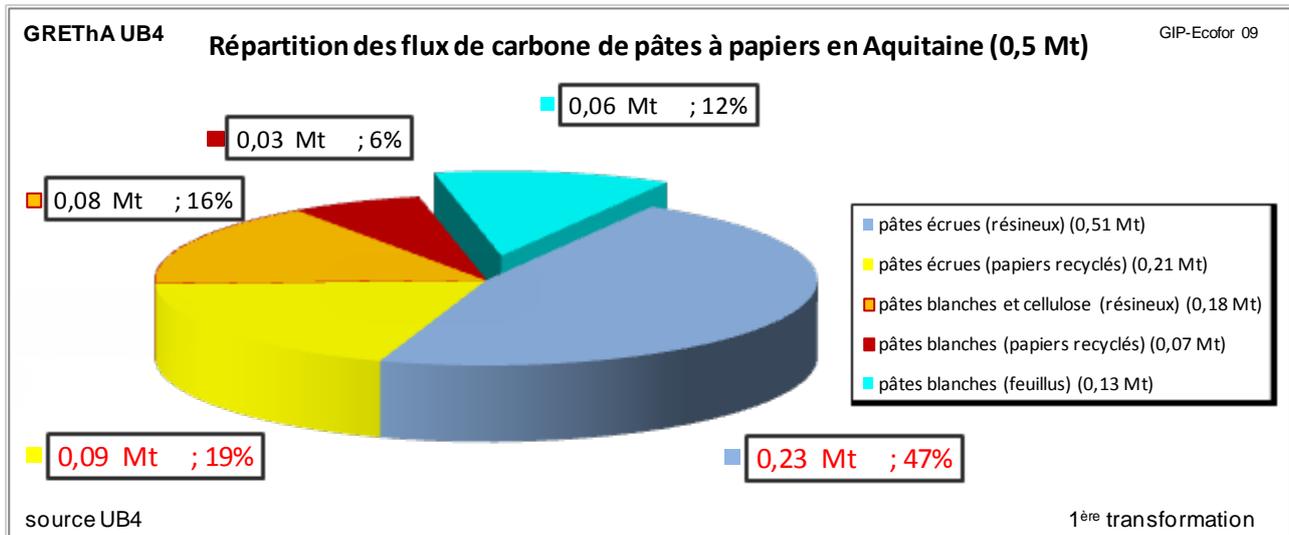


Les panneaux utiliseraient environ 0,2 Mt de bois recyclés, 0,9 Mm³ de bois de trituration sur écorce et 0,7 Mm³ de connexes. Le tonnage total de bois humide hors écorce serait voisin de 1,65 Mt, y compris les 0,2 Mt de bois recyclés, les parts relatives à la trituration sous écorce et aux connexes étant équivalentes.

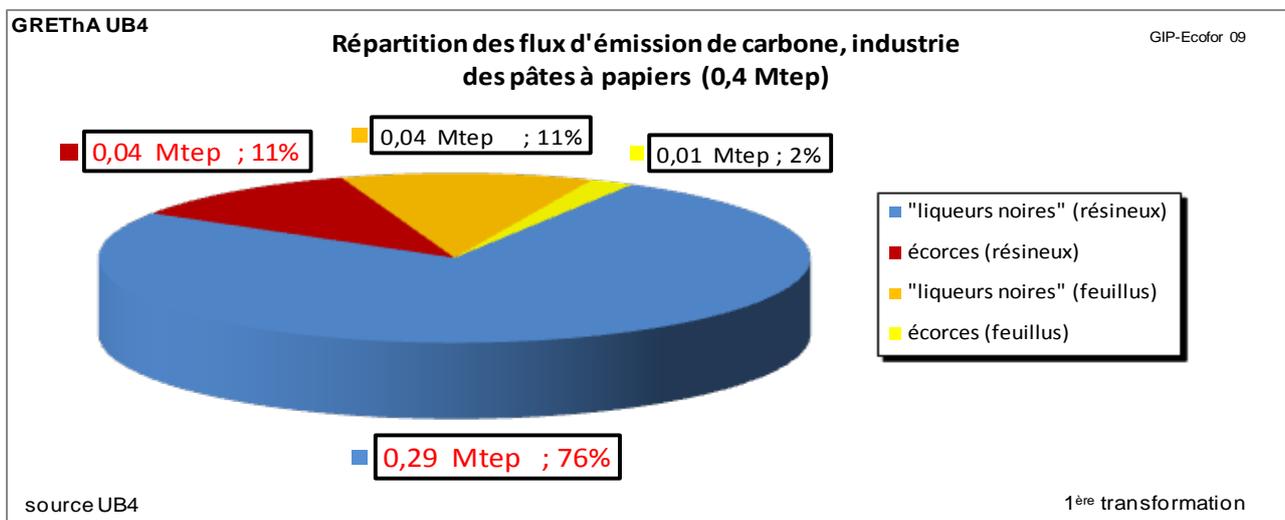
²⁰ Dans le cas du pin maritime, si on sépare matière ligneuse et écorces, les 25% d'écorce, qui représentent une masse volumique de 11% des rondins, pèseraient environ 390 kg/m³. Le bois proprement dit pèserait une tonne par m³ (0,88*0,89/0,75 = 1,044 t). Ces caractéristiques sont étendues aux grumes. Le taux de siccité reste égal à 0,46. La quantité de carbone est 0,5 t par tonne de matière sèche. Pour les principales essences de feuillus (chênes, châtaigniers, hêtres et peupliers) les masses volumiques des grumes et celle des écorces, ainsi que leurs proportions, varient. Un coefficient moyen pondéré a été retenu.

²¹ Le poids des panneaux de particules peut varier entre 630 et 650 kg. Il faut compter environ 15% pour les colles et l'humidité résiduelle. Pour les panneaux denses les poids peuvent varier de 540 à 750 kg avec 80% de matières sèches. Les panneaux légers pèseraient de l'ordre de 250 kg, mais seraient uniquement composés de matières sèches.

La branche pâtes à papiers est l'autre utilisatrice des bois de trituration et de connexes. Elle se caractérise aussi par un fort emploi de papiers-cartons recyclés. Le *diagramme ci-dessous* donne la répartition entre pâtes écrues et pâtes blanches, y compris la production de produits à base de cellulose. Les quantités de carbone contenues dans les matières sèches sont identiques pour toutes les pâtes²². Les pâtes issues strictement des feuillus ne représentent que 12% du carbone. La part du papier recyclé est importante (25%), essentiellement dans les pâtes écrues²³. Les quantités de pâtes concernées sont indiquées en légende.



La fabrication des pâtes à papiers se caractérise par un principe de séparation de la cellulose et de la lignine. Cette dernière, sauf cas particulier, trouve une valorisation sous forme énergétique²⁴. Les écorces des bois de trituration ont en principe cette même destination. Le *diagramme suivant* donne les flux d'émission correspondants²⁵. Si on enlève les 0,13 Mt de carbone représenté par les pâtes obtenues à partir des papiers-cartons recyclés, on peut rapporter le complément de 0,37 Mt de carbone de pâtes, obtenues directement à partir des bois verts, aux 0,45 Mt de carbone (0,38 Mtep) utilisé énergétiquement.



La fabrication des pâtes à papiers utiliserait environ 0,28 Mt de papiers-cartons recyclés, 2,7 Mm³ de bois de trituration sur écorce (dont 0,5 de feuillus) et 1 Mm³ de connexes. Le tonnage total de bois hors écorce serait voisin de 3,25 Mt (dont 0,4 Mt de feuillus)²⁶, la part relative à la trituration sous écorces (1,8 Mt) pour le pin maritime étant presque double de celle des connexes (1 Mt).

²² On considère, en règle générale, qu'une tonne de pâtes ne contient qu'une humidité résiduelle de 10%.

²³ Notons que la moitié de ces papiers-cartons recyclés sont directement transformés en tubes ou cartons d'emballage en Aquitaine.

²⁴ Dénommées traditionnellement "liqueurs noires". Dans les faits la transformation est plus complexe, la séparation n'étant pas parfaite. On peut admettre une répartition à peu près équivalente entre pâtes et liqueurs noires d'origine végétale. En réalité les liqueurs noires représentent des quantités plus importantes, compte tenu de la présence de soude caustique et de sulfite de sodium introduits lors de la phase de lessivage.

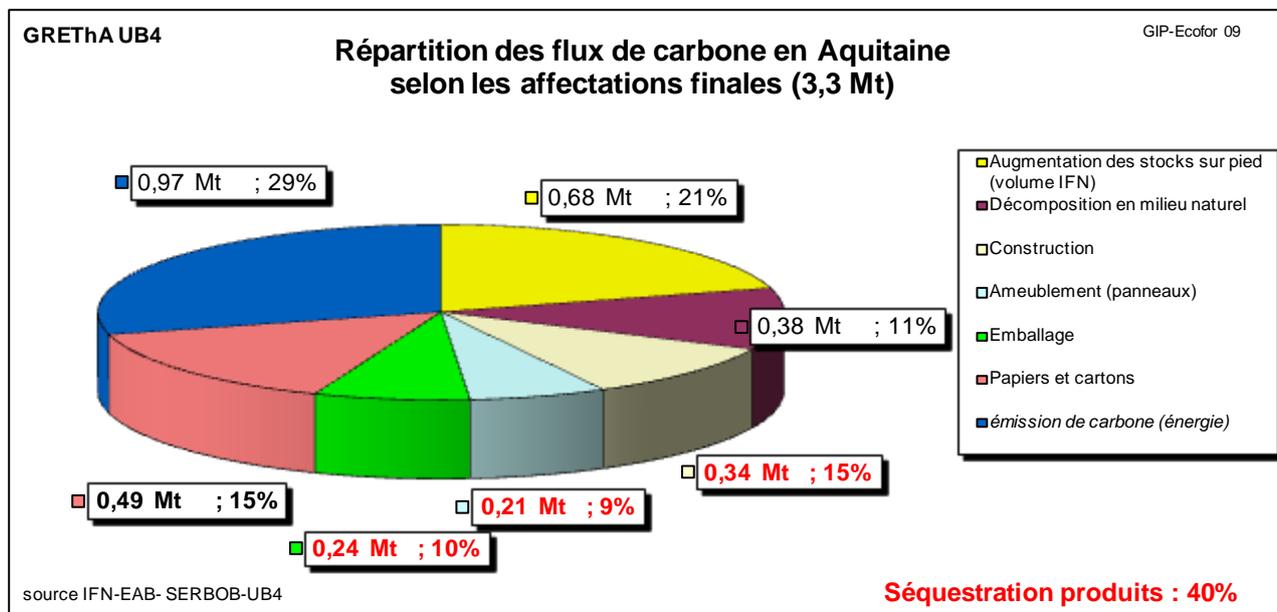
²⁵ Il y a 0,43 tonne équivalent pétrole par tonne de matière sèche, à comparer au 0,5 tonne de carbone par tonne de matière sèche.

²⁶ Ces 2,85 Mt de pin maritime ajoutées aux 1,45 Mt utilisées par les panneaux donnent un total de 4,3 Mt, ce total comprenant les 0,2 Mt de panneaux de contreplaqués. Le chiffre de 4,1 Mt est donc tout à fait comparable à celui indiqué lors des travaux du GIP-Ecofor (4,2 Mt), une légère différence dans les taux d'humidité des connexes suffisant à expliquer cette différence.

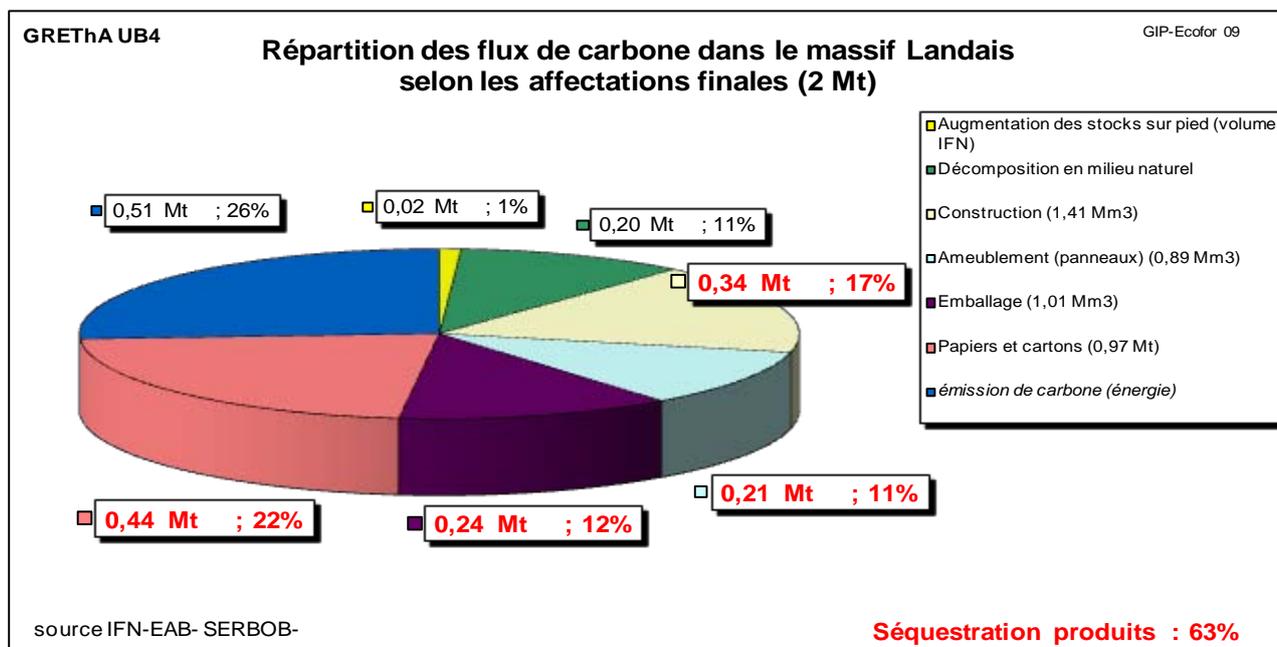
La répartition des flux selon la destination finale des produits donne le potentiel de séquestration par grandes catégories. On donne dans les *diagrammes ci-dessous* cette répartition pour l'Aquitaine comparativement avec celle limitée au massif Landais.

On constate que la *séquestration dans les produits* représente environ 40% des 3,2 Mt du carbone, que les émissions, sous forme énergétique ou de décomposition en milieu naturel, en représentent un peu plus d'un quart et que le dernier quart correspond à un accroissement des stocks de feuillus sur pied.

Dans les produits on constate que la part des papiers-cartons est importante, *elle représente près d'un sixième des flux de matière sèche*²⁷. La ventilation des autres flux entre les trois grandes catégories résulte de l'enquête complémentaire réalisée en Aquitaine par le SEFOB²⁸. Si la construction occupe la part la plus importante, la place de l'emballage, dont les palettes, se confirme être une spécificité de la région.



La restriction des flux au seul massif Landais, soit 2 Mt de carbone²⁹, fait passer la part des produits à près de 65% des flux de matière sèche. On donne en légende les volumes de produits correspondants. La construction comprend, pour presque la moitié (45%), des volumes de panneaux.

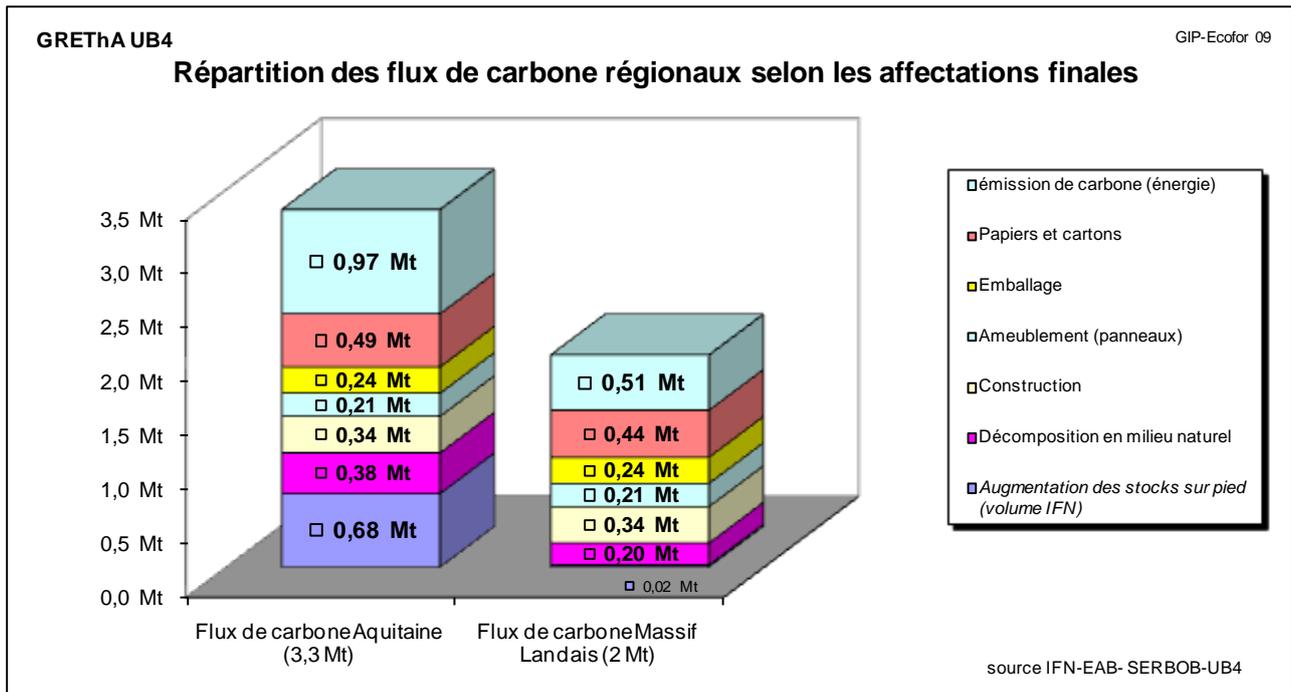


²⁷ Rappelons que l'on applique ici un coefficient standard de 0,5 tonne de carbone par tonne de matière sèche, quelle que soit la transformation des produits.

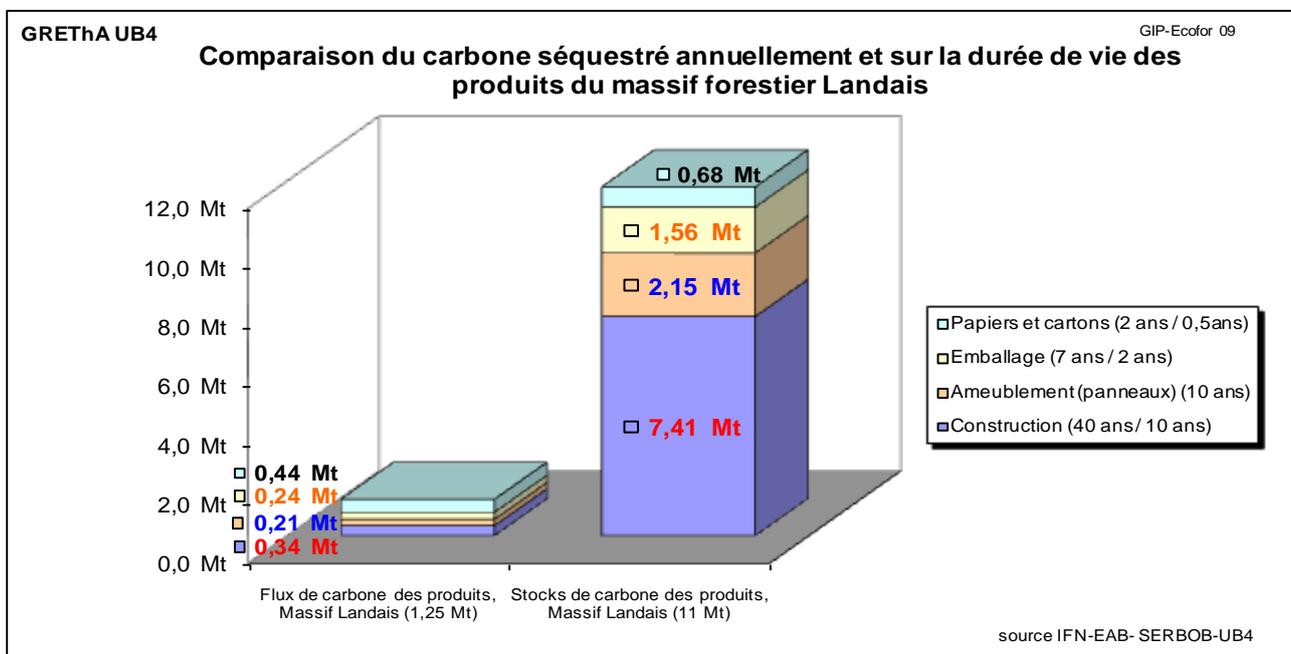
²⁸ Service Régional de la Forêt et du Bois de la DRAAF Aquitaine. Enquête réalisée par questionnaire auprès des professionnels de la filière tous les 4 ans. Le taux de réponse à l'enquête est très important pour ce type d'enquête (non obligatoire).

²⁹ Les flux de carbone précédents sont réduits des accroissements de feuillus, des pertes d'exploitation des feuillus, de l'autoconsommation de bois de feu et des pâtes issues des feuillus.

Le diagramme ci-dessous redonne comparativement des deux répartitions des destinations finales des produits, Aquitaine / massif Landais.³⁰



Pour l'essentiel la réduction de plus de 1 Mt de carbone entre les flux aquitains et ceux du massif Landais provient de l'absence d'accumulation sur pied dans le massif Landais (55 % de 1,2 Mt), de pertes d'exploitation plus faibles, de l'absence d'autoconsommation de bois de conifères sous forme de "bois bûches" (40% de 1,2 Mt) et de la production spécifique des pâtes blanches à partir des feuillus récoltés hors massif Landais. Les flux de carbone du massif landais sont supérieurs à la récolte stricte par intégration des bois, papiers-cartons et déchets verts recyclés pour l'Aquitaine et le massif Landais.

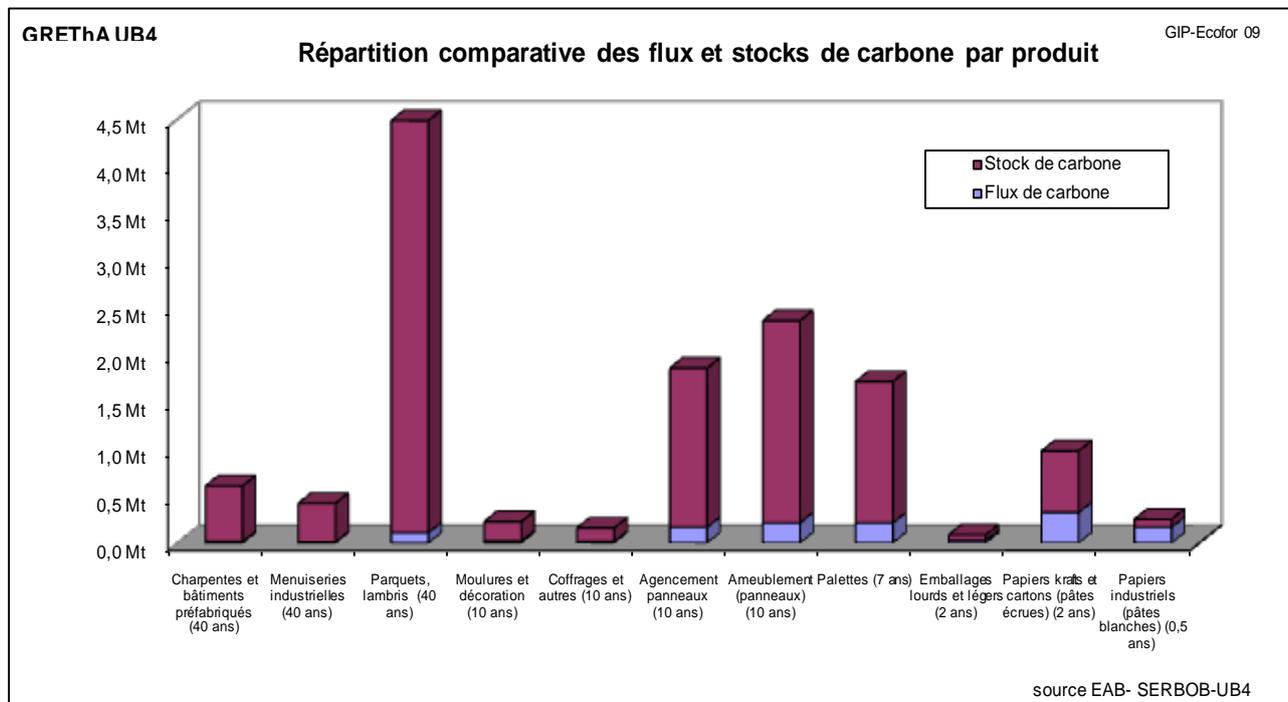


Considérons le sous-ensemble de produits bois-papiers-cartons qui représentent 1,25 Mt de carbone annuel. On peut donner un ordre de grandeur grossier du stock de carbone accumulé dans les produits en

³⁰ Notons que les exportations de pin maritime sont plus que compensées dans le bilan par l'adjonction des quantités de carbone apportées par les vieux papiers et les bois recyclés

appliquant une règle simple qui consiste à remplacer les produits en fin de vie par les nouveaux produits de l'année courante³¹. Les durées de vie sont celles retenues par les organismes techniques de la filière³².

Il s'agit de durées conventionnelles qui mériteraient d'être précisées. Le *diagramme ci-dessous* montre l'influence de la durée de séquestration sur la constitution des stocks, avec le poids encore prédominant des parquets-lambris³³. Les autres produits du bâtiment provenant du sciage représentent de faibles flux pesant peu sur les stocks. Un allongement de la durée des panneaux intégrés aux bâtiments suffirait cependant à sensiblement augmenter le poids de ce type de produits.



La problématique de la séquestration du carbone dans les produits bois induit celle des émissions évitées par substitution à des matériaux au cycle du carbone moins favorable. Cette question ne peut être abordée sans mettre en œuvre des bilans carbone complets au travers d'analyse des cycles de vie des produits à comparer.

Cependant en première analyse, concernant le potentiel du bois en tant que matériau de substitution, on peut se référer à l'étude de Claude Roy (1999). Il estime qu'un mètre cube de bois transformé utilisé dans le bâtiment évite l'émission *nette* de 1,2 tonne de Co2³⁴ s'il remplace de l'acier, et de 0,3 tonne de Co2 s'il remplace du béton.

Nos propres estimations, fondés sur les émissions de carbone par type de matériaux ainsi que le poids des structures selon qu'elles soient en bois ou en acier, nous conduiraient à un potentiel de substitution de 1,8 tonne de Co2 (0,5 Mt de carbone) *nette* évitée pour un mètre cube de bois dans le bâtiment, lorsque ce bois remplace de l'acier³⁵.

De façon générale l'ADEME³⁶ considère qu'un mètre cube de bois supplémentaire dans la construction permet en moyenne d'éviter 0,8 tonnes d'émission de Co2. Pour donner un ordre de grandeur, 1 Mm3 de bois affecté à la construction permettrait de séquestrer environ 0,8 Mt de Co2 (0,22 t de carbone).

³¹ Bien sûr l'hypothèse peut être considérée comme forte pour les durées de vie longue, comme pour la construction où les durées retenues sont de 40 ans. Ce sont en effet les flux d'il y a 40 ans qui sont en fin de vie. Ils pouvaient être différents de ceux actuels. On voit bien qu'il s'agit simplement de donner un ordre de grandeur de ces stocks.

³² On pourra se reporter aux études du FCBA (Institut technologique Forêt, Cellulose, Bois, Ameublement) citées en fin de texte.

³³ Ces deux produits ne sont pas dissociés dans l'enquête du SERFOB.

³⁴ *On considère qu'il y a 3,67 tonnes de Co2 dans une tonne de carbone.*

³⁵ Voir tableau n° 3, annexe 2, J.J. MALFAIT- Guillaume PAJOT GREThA UMR CNRS 5113, Macaulay Institute, UK "Séquestration des flux de carbone forestier: Mise en place d'un projet d'additionnalité des usages du bois dans la construction", Cahiers du GREThA n° 2008-16.

³⁶ Charte Bois-Construction-Environnement

On montre que ces calculs sont fortement dépendants de nombreuses hypothèses, relatives notamment à la résistance et au poids des matériaux, aux types de bâtiments, structures envisagées, ou encore au type de bois que l'on va utiliser. Une estimation plus précise exigerait des développements importants relatifs aux relations entre les matériaux, leur poids, résistance et émissions générées par leur fabrication.

La tempête de 2009 va entraîner une réduction de la ressource en bois nécessaire à la filière bois-papiers provenant du massif Landais. La ressource forestière compensatrice disponible se trouve dans les forêts de feuillus d'Aquitaine. Il n'est pas sûr que les conditions socio-économiques soient réunies pour que cette mobilisation se réalise. C'est sans doute au sein du massif lui-même qu'il faudra mobiliser cette ressource.

L'effort de recyclage des vieux papiers est déjà important avec plus de 25% (0,28 Mt) des pâtes produites. Il reste des marges de progression, mais avec des limites techniques dues aux caractéristiques des produits du massif Landais. Le recyclage des bois participe pour plus de 0,2 Mt à l'alimentation de l'industrie des panneaux³⁷. Il existe là aussi des potentiels de ressource, mais difficilement mobilisables. Les déchets verts (0,15 Mt), affectés pour l'essentiel actuellement au compost, pourraient être affectés à des usages énergétiques avec un effet cependant très limité. Enfin le potentiel des rémanents de coupes, dont le gisement mériterait d'être précisé, pourrait servir de complément face à la progression de la demande de bois énergie.

On donne en note les principales sources utilisées dans ce document³⁸. Pour plus de détails on se rapportera au document complet cité en note³⁹.

³⁷ Tonnage estimé avec un taux résiduel d'humidité moyen de 35%.

³⁸ Principales références :

AGRESTE, "Récolte de bois et production de sciage en 2005", Chiffres et Données Agroalimentaires, numéro 150, Août 2007.

COLIN A., "Evaluation des stocks et des flux de carbone liés à l'activité forestière en Aquitaine" IFN, CRPF, OFORA, Rapport final, Novembre 2004.

FCBA, "Comptabilisation du carbone dans les produits bois en France, en vue d'un rapportage volontaire dans l'inventaire national 2006 des émissions et absorptions de gaz à effet de serre, réalisé au titre du protocole de Kyoto", Mars 2008.

IFEN, "Le recyclage des déchets du bâtiment et des travaux publics peut progresser" Le 4 pages IFEN, numéro 116, février 2007.

IFN, "La forêt française, les résultats des campagnes d'inventaires 2005, 2006 et 2007", juin 2008.

IFN, "Tempête klaus du 24 janvier 2009", l'IF n° 21 1° trimestre 2009.

MEMENTO AFOCEL 2006.

PIGNARD G., "Estimation des prélèvements de bois dans la forêt française. Approche forestière de l'autoconsommation" IFN & ADEME, avril 1994.

ROY Claude (1999), *Options techniques et socio économiques de réduction des émissions de Co2 et d'augmentation des stocks de carbone*, Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France, Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural, Volume 85, n°6, pp 311-321.

MALFAIT JJ-PAJOT G., GREThA UMR CNRS 5113, Macaulay Institute, UK "Séquestration des flux de carbone forestier: Mise en place d'un projet d'additionnalité des usages du bois dans la construction", Cahiers du GREThA n° 2008-16. Voir également <http://www.ifn.fr>

³⁹ MALFAIT JJ, "Flux, stocks de bois en Aquitaine et séquestration du carbone : état de référence avant la tempête de janvier 2009", GREThA, Université Bordeaux 4, octobre 2009.