Emissions et absorptions de gaz à effet de serre liées au secteur forestier dans le contexte d'un accroissement possible de la récolte aux horizons 2020 et 2030

Contribution de l'IGN aux projections du puits de CO_2 dans la biomasse des forêts gérées de France métropolitaine en 2020 et 2030, selon différents scénarios d'offre de bois

Rapport final, mars 2014

Convention MEDDE.DGEC / IGN n°2200682886 (IGN n°10998)

Antoine Colin
Direction interrégionale Nord-Est de l'IGN à Nancy
antoine.colin@ign.fr

SOMMAIRE

Préambule : la forêt française n'est pas dans un état stationnaire 4

1. Introduction 5
1.1. Objectifs 5
1.2. Approche mise en œuvre 6

2. Données et méthodes pour les projections 7
2.1. Connaissance et description de la ressource forestière en 2010 7
2.1.1. Définitions des forêts prises en compte pour les projections 7
2.1.2. Les données d'inventaire forestier national 7
2.1.3. Organisation de la ressource forestière en domaines d'étude 7
2.2. Simulateur de dynamique de la ressource forestière nationale 12
2.2.1. Principes généraux des modèles de ressource de l'IGN 12
2.2.2. Modèle par classe de diamètre pour simuler la dynamique des forêts 13
2.2.3. Modèle par classe d'âge pour simuler la dynamique des peupleraies cultivées 15
2.3. Calculs des volumes et biomasses 16
2.3.1. Estimation du volume des arbres par l'IGN 16
2.3.2. Estimation de la biomasse totale aérienne et racinaire 17
2.3.3. Ventilation des prélèvements dans les compartiments de l'arbre 17

3. Scénarios d'offre de bois des forêts et des peupleraies 19
3.1. Présentation générale 19
3.1.1. Des scénarios d'offre de bois 19
3.1.2. Des scénarios contextualisés de prélèvements sur la ressource 19
3.1.3. Hypothèses communes aux deux scénarios 19
3.2. Scénario tendanciel 20
3.2.1. Principe général et hypothèses 20
3.2.2. Détermination des taux de prélèvements moyens sur la ressource 20
3.2.3. Un scénario d'offre qui correspond à la demande sur 2005-2012 21
3.3. Scénario dynamique 22
3.3.1. Principe général et hypothèses 22
3.3.2. Un objectif ambitieux, avec une mise en œuvre réaliste 23
3.3.3. Définition du scénario sylvicole dynamique 24
3.3.4. Mise en œuvre du scénario dynamique 25

4. Résultats des projections 27
4.1. Puits de CO_2 dans la biomasse 27
4.2. Stock de bois sur pied en forêt 29
4.3. Production biologique brute 33
4.4. Disponibilités en bois (prélèvements) 35
4.5. Taux de prélèvement de la biomasse 41

5. Cohérence des projections avec les données historiques 43
5.1. Cohérence avec les données IFN historiques 43
5.2. Cohérence avec les soumissions historiques à la CCNUCC 45

6. Conclusion et discussion 46
6.1. Rappel des travaux réalisés 46
6.2. Principaux résultats 46
6.3. Discussion 49

Références bibliographiques 51
Annexe 1 – Présentation des GRECO et des SER 53
Annexe 2 – Statistiques de récolte et de consommation de bois en France 54
Annexe 3 – Les domaines d'étude pour les projections 57
Annexe 4 – Volumes potentiellement mobilisables dans le futur 58

Préambule : la forêt française n'est pas à l'équilibre

Un arbre est un stock de carbone organique, dont la quantité totale dépend du site (sol, climat) et de l'essence. Le stock varie tout au long de la vie de l'individu, depuis la germination de la graine jusqu'à la mort de l'arbre. L'arbre séquestre du CO_2 pendant les phases de croissance et le relargue pendant les phases de sénescence. Le bilan de carbone d'un arbre est donc strictement nul à l'échelle de sa durée de vie.

Un peuplement forestier en gestion connaît la même dynamique, soit une phase de séquestration de carbone suivie d'une phase de déstockage. Certains arbres sont toutefois coupés avant d'avoir atteint leur stade de maturité optimum, pour permettre aux individus les mieux conformés du peuplement de se développer et d'atteindre les caractéristiques demandées par le marché du bois (volume de bois d'œuvre). Le bilan de carbone d'un peuplement forestier est donc strictement nul à l'échelle d'une révolution. Les systèmes de gestion avec un couvert permanent présentent le même bilan sur une longue période.

A l'échelle du territoire (région, pays), c'est-à-dire d'un ensemble de peuplements forestiers ou de ce que l'on appelle la ressource forestière, deux facteurs spécifiques modifient le bilan carbone. D'abord l'évolution de la surface boisée fait varier la taille totale du réservoir, à la hausse ou à la baisse. Au cours du XX^{ème} siècle la superficie de la forêt française a cru de 60 %, et les données récentes de l'IGN indiquent que cette dynamique se poursuit, surtout dans le Massif-Central et l'arc méditerranéen. Ensuite, les peuplements d'un territoire donné n'ont pas tous le même stade de développement. L'âge des peuplements et le diamètre des arbres qui les composent sont variables, et forment une mosaïque à l'échelle du territoire. Il en résulte que les niveaux de production biologique et de prélèvement de bois annuels (et in fine la séquestration) varient dans le temps, avec l'évolution de la maturité de la ressource.

Dans une dynamique de progression de la surface boisée comme c'est le cas de la France, les jeunes peuplements et les peuplements en phase de capitalisation (par exemple les conversions volontaires ou libres d'anciens taillis et TSF, ainsi que les plantations résineuses du FFN) sont plus fréquents que les peuplements à renouveler. Le faible niveau général de la demande en produits bois, et l'accessibilité plus difficile des nouvelles forêts, accentuent chaque année la différence entre la production biologique et les prélèvements. Le taux de prélèvement calculé avec les données de l'inventaire forestier national est autour de 50 %, et il est largement inférieur à 100 % depuis de nombreuses décennies.

Le bilan carbone de la forêt française est donc positif, et il continue de s'accroître par effet démographique. En effet, l'âge et le diamètre moyen de la forêt française progresse lentement et avec une forte inertie, au rythme de la croissance des arbres.

Cette hausse reste toutefois conjoncturelle, liée à l'état actuellement non stationnaire de la forêt française. Elle perdurera tant que la nouvelle situation d'équilibre ne sera pas atteinte. Si la surface de la forêt française était stable et les stades de développement des peuplements équilibrés, le bilan de carbone de la forêt française serait strictement nul.

La durée pour atteindre ce nouvel état d'équilibre est complexe à estimer car elle dépend de facteurs environnementaux et économiques qui fluctuent eux-mêmes dans le temps. Par exemple une augmentation des prélèvements réduit mécaniquement le puits à court terme, en supprimant des arbres en production. Quant à l'évolution des facteurs environnementaux (température, précipitations, taux de CO_2, dépôts atmosphériques), elle modifie le potentiel de séquestration des arbres, en modifiant la contenance totale du réservoir (volume maximum d'un arbre) et sa vitesse de remplissage (taux de croissance). Par ailleurs, les risques de déstockages accidentels (incendies, tempêtes) s'accroissent avec la maturation de la ressource : le volume exposé au risque est plus important. Pour toutes ces raisons, le réalisme du concept de situation d'équilibre à l'échelle d'un vaste territoire pour un système biologique comme la forêt peut être posée.

Au regard de l'état actuel de la forêt française en âge et en diamètre, la dynamique de stockage devrait perdurer encore plusieurs décennies.

1. Introduction

1.1. Objectifs

L'objectif de l'étude confiée par la DGEC à l'IGN est de simuler l'impact de différents niveaux de prélèvements de bois sur l'évolution du bilan de CO_2 de la biomasse des forêts de France métropolitaine. Les résultats de l'étude alimentent la réflexion nationale sur le rôle du secteur forestier français dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et notamment dans le cadre du Protocole de Kyoto.

Le périmètre des forêts prises en compte est celui qu'a retenu la France au titre de la CCNUCC[1] et du Protocole de Kyoto, soit les forêts disponibles pour la production de bois.

Deux scénarios de gestion sylvicole reflétant différents niveaux de besoins en produits bois, dont le bois-énergie, ont été définis et simulés.
Le scénario de sylviculture tendancielle simule la poursuite des pratiques actuelles de coupe en forêt. Il donne le niveau de base.
Le scénario dynamique vise quant à lui un accroissement des prélèvements de bois, dans le cadre notamment des politiques en faveur du développement de l'usage des énergies renouvelables, mais aussi du développement encouragé par les pouvoirs publics de la filière bois matériau.

Pour chaque scénario les simulations concernent la période 2013-2020 qui correspond à la seconde période d'engagement du protocole de Kyoto, et la période 2020-2030 pour analyser à plus long terme les effets des politiques sur le puits de CO_2.

Des projections à conditions environnementales et climatiques constantes
A l'échéance relativement courte de 2030 et avec le souci de produire des résultats robustes, les projections ont été réalisées à **conditions environnementales et climatiques constantes** (2005-2012). Il s'agit d'une hypothèse prudente sur le plan méthodologique.

Les projections ne prennent donc pas en compte d'éventuels effets localement positifs ou négatifs du changement climatique sur la croissance des arbres et les dépérissements.
Cette décision a été prise compte tenu de la forte incertitude des modèles actuels dans leur capacité à identifier les effets propres du climat, et le cas échéant l'ampleur de ces effets.

Dans la même logique, les projections ont été réalisées en considérant que les feux de forêt et les tempêtes étaient constants, à la fois en nombre et en intensité. Les projections excluent par conséquent la survenue d'événements climatiques extrêmes à l'horizon 2030.
Cette décision a été prise compte tenu de l'incertitude des connaissances sur l'évolution de l'occurrence des tempêtes d'importance majeure (cf. 1999 et 2009).

Au niveau des territoires concernés, les incendies et les tempêtes réduisent immédiatement le puits de CO_2, et limitent la production biologique pendant les quelques années suivantes. Cependant l'impact global au niveau du pays peut être modéré si la dynamique forestière globale est à la capitalisation de bois en forêt, comme c'est encore globalement le cas de la forêt française en raison du faible niveau de la demande, d'une ressource feuillue encore majoritairement en phase de croissance et de différents freins à la récolte. Dans ce cas, la mobilisation des chablis entraine une réduction des prélèvements de bois dans les zones indemnes, ce qui conduit à limiter la pression à la baisse sur le puits de carbone forestier. Ce transfert a pu être observé après les tempêtes de 1999 et 2009. La répétition d'incendies ou de tempêtes conduirait toutefois à un bilan plus marqué.

[1] Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

1.2. Approche mise en œuvre

L'approche développée dans l'étude consiste à simuler la sylviculture des peuplements forestiers pour évaluer l'évolution au fil du temps de la ressource de bois en forêt (stock sur pied, production biologique) et des prélèvements (offre). La mise en œuvre de la sylviculture tient compte des caractéristiques sylvicoles des peuplements, c'est à dire de leur niveau de maturité. Ces caractéristiques sont recalculées à chaque itération (démarche récursive).

La finalité poursuivie est la gestion durable des ressources forestières, c'est-à-dire le maintien du capital de production sur le long terme et à l'échelle des territoires (statut boisé des terres, volume sur pied).

La description initiale de la ressource et la calibration des modèles de dynamique forestière (croissance, prélèvements, mortalité, recrutement) ont été réalisées avec les données collectées dans le cadre du programme permanent d'inventaire des ressources forestières de France métropolitaine (inventaire forestier national IFN) conduit par l'IGN.

Les données IFN sont classiquement utilisées pour décrire l'état en surface et volume de la forêt française depuis 1960, au niveau local et régional, national (brochure « Les indicateurs de gestion durable des forêts française » pour le MAAF par exemple), européen (enquête State of Europe's Forests conduite par Forest Europe, Compte satellite intégré environnemental et économique de la forêt française établi pour EuroStat) et mondial (enquête Forest Resources Assessment conduite par la FAO). Elles sont également mobilisées dans l'inventaire des émissions et absorptions de gaz à effet de serre du secteur UTCF[2] de la France au titre de la Convention Climat et du Protocole de Kyoto.

Les simulateurs et l'expertise mobilisés pour projeter le puits de CO_2 de la biomasse forestière métropolitaine sont développés par l'inventaire forestier national (IFN devenu IGN en 2012) depuis les années 1980 et mis en œuvre dans un grand nombre d'études de ressource et de disponibilité de portée régionale (DRAAF, Région, CRPF, ADEME, CG, interprofessions forêt-bois, etc.), nationale (MAAF, MEDDE, ADEME) et internationale (JRC).

Les projections du puits de CO_2 dans la biomasse des forêts sont réalisées en quatre phases successives. Elles sont décrites dans les chapitres suivants, avant de présenter les résultats des simulations :

1. Initialisation du simulateur (données d'entrée, calibration des modèles).
2. Définition des scénarios de gestion sylvicole définissant les scénarios d'offre de bois.
3. Projection de la ressource et des prélèvements de bois en fonction des scénarios.
4. Evaluation des flux et bilans de CO_2 associés.

Les résultats, dont la résolution géographique est nationale, sont finalement transmis au CITEPA pour être mis en forme selon les standards CCNUCC et Kyoto pour le secteur UCTF.

[2] Utilisation des Terres, leurs Changements, et Foresterie

2. Données et méthodes pour les projections

2.1. Connaissance et description de la ressource forestière en 2010

2.1.1. Définitions des forêts prises en compte pour les projections

Suite aux accords de Marrakech (2001), la France a décidé de considérer que les forêts « gérées » définies par la CCNUCC seront assimilées aux forêts disponibles pour la production de bois au sens de l'inventaire forestier national, c'est-à-dire les *forests available for wood supply* dans les enquêtes internationales de la FAO et Forest Europe.

Les projections calculées dans cette étude concernent donc les forêts disponibles pour la production de bois. Elles sont identifiées dans l'inventaire forestier national de l'IGN à partir de la double information sur la couverture et l'utilisation du sol (IFN 2011b). Une forêt dite disponible pour la production de bois est une forêt pour laquelle il n'existe aucune restriction à la production actuelle ou potentielle de bois, qu'elle soit de nature physique ou liée à un autre usage du sol. Dans la pratique, il s'agit le plus souvent de forêts inaccessibles (falaises), de parcs urbains à usage récréatif, et de réserves intégrales.

2.1.2. Les données d'inventaire forestier national

Depuis 2005, toute la forêt française du territoire métropolitain est parcourue chaque année en inventaire selon un échantillonnage systématique (Robert *et al.* 2010).
Conformément aux recommandations du Comité Scientifique et Technique de l'IFN, les données des cinq dernières campagnes annuelles d'inventaire mesurées de 2008 à 2012 sont mobilisées pour décrire la forêt française l'année moyenne 2010.
La tempête Klaus survenue le 24 janvier 2009 dans le Sud-Ouest a provoqué d'importants dégâts, avec environ 43 millions de m^3 de chablis (IFN 2009). Les dégâts ont été évalués précisément par l'IFN grâce au retour en 2009 sur tous les points d'inventaire visités avant la tempête, et la notation au niveau de chaque arbre de son caractère endommagé ou non. L'évaluation de la ressource sur pied au niveau national l'année moyenne 2010 tient ainsi compte de la correction réalisée sur les données de la campagne 2008 : les arbres abattus ont été retranchés de l'évaluation de la ressource sur pied en production car ils ne sont plus présents aujourd'hui. Cette correction est indispensable car elle permet de ne pas surestimer le volume sur pied et la production actuelle.

Ce sont finalement plus de 35 000 points d'inventaire qui sont mobilisés pour décrire la ressource forestière métropolitaine en 2010.
La collecte sur chaque point de plusieurs centaines de données permet de décrire la ressource forestière et ses évolutions récentes en quantité (surface, volume, production, nombre de tiges, mortalité naturelle, prélèvements, etc.) et en qualité (localisation géographique, type de peuplement, composition en essences, régime de propriété, exploitabilité physique, etc.).

2.1.3. Organisation de la ressource forestière en domaines d'étude

Pour les besoins spécifiques des projections, la ressource des forêts disponibles pour la production de bois est répartie en domaines d'étude (appelés DE par la suite).
Un domaine d'étude est la plus petite unité de peuplements comparables en termes de dynamique forestière et de sylviculture. Ainsi, tous les peuplements d'un même DE peuvent se voir appliquer les mêmes hypothèses de croissance, de mortalité, et de prélèvement, à conditions de développement identiques.

Tous les points d'inventaire forestier sont répartis suivant des domaines d'étude : 1 point IFN appartient à 1 DE et 1 DE comprend au moins 50 points IFN pour permettre de décrire la ressource qui le compose avec une précision statistique suffisante.

L'organisation de la ressource en ensembles forestiers homogènes (DE) pour les simulations est fondamentale car elle permet de prendre en compte de façon explicite la variabilité des forêts françaises en terme de conditions du milieu, de types de peuplements, de croissance et de modes de sylviculture mis en œuvre. Elle permet aussi de tenir compte de la diversité des prélèvements de bois par les acteurs, et donc implicitement de la variabilité spatiale de la demande en différentes essences.

L'organisation de la ressource des forêts disponibles pour la production de bois en domaines d'étude est réalisée en cinq étapes successives :

Etape 1 : Définition des domaines d'étude

Les critères retenus pour la constitution des DE sont au nombre de cinq. Ils sont choisis pour leur pertinence pour représenter la variabilité de la forêt et de la foresterie française :

1. le type de couverture boisée,
2. la zone géographique,
3. l'essence principale du peuplement,
4. la propriété,
5. l'appartenance du terrain à un zonage réglementaire pour la conservation.

a. Le type de couverture boisée des forêts disponibles pour la production de bois, avec la distinction entre les forêts ouvertes, fermées et les peupleraies cultivées qui contribuent très différemment à la production et aux prélèvements de bois comme indiqué dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : ressource actuelle selon le type de couverture boisée

Couvertures boisées des forêts dispo. / production	Surface (% total)	Volume (% du total)	Production brute annuelle (% total)	Prélèvements annuels (% total)
FORETS FERMEES	94,4%	98,3%	96,6%	95,8%
FORETS OUVERTES	4,4%	0,5%	0,6%	0,7%
PEUPLERAIES CULTIVEES	1,2%	1,2%	2,8%	3,5%
TOTAL	**15,61 Mha**	**2 517 Mm^3**	**85,9 Mm^3/an**	**42,3 Mm^3/an**

Tous les volumes concernent la tige jusqu'à la découpe bois fort de 7 cm.
Campagnes d'inventaire 2008-2012, prélèvement moyen annuel 2005-2012, hors récolte de chablis Klaus.

b. La zone géographique, avec la distinction entre six grands domaines biogéographiques définis comme un regroupement des Grandes Régions Ecologiques GRECO elles-mêmes issues du regroupement des Sylvo-Eco-Régions (Cavaignac 2009 et IFN 2011a, cf. annexe 1):

- Zone de climat de type continental (massifs du Jura et des Vosges, Ardennes, Bresse et Dombes, plateaux et plaines du Nord-Est) soit les GRECO C, D et E,
- Zone de climat océanique au nord-ouest du pays (des départements de l'Allier à la Vendée pour la limite sud et à l'Aisne pour la limite Est) soit les GRECO A et B,
- Zone de climat océanique au sud du pays (grand Massif Central, région Poitou-Charentes, Midi-Pyrénées et Aquitaine sauf massif landais) soit les GRECO G et F,
- Le massif des Landes de Gascogne, qui présente des caractéristiques pédologiques et forestières spécifiques au sein de la GRECO F,
- Zone de haute-montagne (chaîne des Pyrénées, massif alpin, incluant les piémonts) soit les GRECO H et I,
- Zone de climat méditerranéen, Corse incluse, soit les GRECO J et K.

Le tableau 2 présente la variabilité de la contribution des différentes zones géographiques à la production biologique et aux prélèvements nationaux. Il illustre la faiblesse des prélèvements dans les régions de montagne et de climat méditerranéen, et à contrario leur importance dans le Nord-Est et dans une moindre mesure dans le Nord-Ouest.

Tableau 2 : ressource actuelle selon la localisation géographique

Zones géographiques	Surface (% total)	Volume (% total)	Production brute annuelle (% total)	Prélèvements annuels (% total)
CONTINENTAL	21%	26%	26%	33%
HAUTE MONTAGNE	12%	13%	10%	4%
MASSIF LANDAIS	7%	4%	7%	15%
MEDITERRANEE	11%	5%	4%	1%
OCEANIQUE NORD	22%	24%	25%	23%
OCEANIQUE SUD	26%	28%	29%	23%

Peupleraies cultivées exclues
Tous les volumes concernent la tige jusqu'à la découpe bois fort de 7 cm.
Campagnes d'inventaire 2008-2012, prélèvement moyen annuel 2005-2012, hors récolte de chablis Klaus.

c. L'essence principale du peuplement, qui est l'essence de plus fort couvert libre du peuplement, c'est-à-dire l'essence qui accède le plus à la lumière.
Pour une étude ayant une résolution nationale, dix groupes d'essences sont distingués. Ils sont caractérisés par des traits de vie et/ou des objectifs sylvicoles distincts. Par exemple les châtaigniers et les robiniers sont distingués des autres feuillus mais ils sont regroupés car ils sont tous les deux gérés pour produire des piquets et des petits sciages.

- Feuillus : Chênes nobles (chêne pédonculé et chêne sessile), Hêtre, Châtaignier et Robinier, Feuillus précieux (chêne rouge d'Amérique, érables, frênes, fruitiers, noyer, alisier), Peupliers cultivés, Autres feuillus.
- Résineux : Sapins et Epicéas, Douglas, Pins, Autres résineux.

Les groupes des sapins, épicéas et pins contribuent aux prélèvements nationaux à hauteur d'environ 50 % (hors tempête Klaus), alors qu'ils représentent 25 % de la superficie boisée. Les feuillus précieux et divers (frênes, charme, saules, bouleaux, noisetiers, fruitiers, etc.) contribuent peu aux prélèvements comparativement à leur volume sur pied (tableau 3).

Tableau 3 : ressource actuelle selon l'essence

Essences ou groupes d'essences	Surface en es. principale (% total)	Volume (% total)	Production brute annuelle (% total)	Prélèvements annuels (% total)
CHENES NOBLES	24%	27%	22%	22%
HETRE	9%	12%	9%	10%
CHATAIGNIER et ROBINIER	6%	6%	7%	5%
FEUILLUS PRECIEUX	6%	7%	8%	3%
AUTRES FEUILLUS	26%	13%	13%	7%
SAPINS et EPICEAS	8%	16%	17%	24%
DOUGLAS	3%	4%	7%	5%
PINS	17%	14%	16%	23%
AUTRES RESINEUX	1%	1%	1%	1%

Peupleraies cultivées exclues
Tous les volumes concernent la tige jusqu'à la découpe bois fort de 7 cm.
Campagnes d'inventaire 2008-2012, prélèvement moyen annuel 2005-2012, hors récolte de chablis Klaus.

d. Le régime de propriété, avec la distinction entre les forêts domaniales, les autres forêts soumises au régime forestier dont les forêts des collectivités, et les forêts privées.

Les forêts publiques et plus encore les forêts domaniales contribuent bien davantage aux prélèvements de bois que les forêts privées, relativement à leur importance en terme de ressource sur pied et de production (tableau 4).

Tableau 4 : ressource actuelle selon la nature de propriété

Régime de propriété	Surface (% total)	Volume (% du total)	Production brute annuelle (% total)	Prélèvements annuels (% total)
FORETS DOMANIALES	9%	10%	10%	15%
AUTRES FORETS PUBLIQUES	16%	18%	16%	21%
FORETS PRIVEES	75%	72%	74%	64%

Peupleraies cultivées exclues
Tous les volumes concernent la tige jusqu'à la découpe bois fort de 7 cm.
Campagnes d'inventaire 2008-2012, prélèvement moyen annuel 2005-2012, hors récolte de chablis Klaus.

e. L'appartenance de la forêt à un espace réglementaire pour la conservation.
Les forêts classées par l'IGN parmi les forêts disponibles pour la production de bois mais qui sont situées dans les cœurs des parcs nationaux, les espaces inclus dans des arrêtés de protection de biotopes, les réserves biologiques intégrales et dirigées de l'ONF et les réserves naturelles sont identifiées. Elles n'ont pas vocation à produire davantage de bois que ce que leur entretien ne génère actuellement.

Quid du mode de conduite des peuplements ?
Le mode de conduite des peuplements en futaie équienne[3], futaie irrégulière ou inéquienne[4], taillis sous futaie (peuplement étagé, composé d'une strate régulière de futaie et d'une strate régulière de taillis), et taillis simple équienne, **n'est pas retenu** pour décrire la ressource.

En effet, les peuplements véritablement équiennes, c'est-à-dire qui font l'objet d'un renouvellement par coupe rase, ne sont pas majoritaires en France. On compte bien sûr les peupleraies cultivées, les taillis de châtaigniers, de robiniers voire d'autres essences dans les régions productives, les futaies de chênes et de hêtre en forêt domaniale, d'autres futaies feuillues de plaine en forêt communales et privées, et les plantations résineuses publiques et privées de plaines et de moyennes montagnes (épicéa, douglas, pin maritime, pin noir et laricio, etc.).
Ailleurs le traitement des peuplements en taillis a été abandonné depuis plusieurs décennies en France. La conversion volontaire (action sylvicole) ou naturelle (abandon) des anciens taillis et taillis sous futaie (TSF) vers des futaies sur souche est largement engagée, et beaucoup de peuplement en forêts communales et privées assimilés aujourd'hui à des futaies sont en fait des peuplements hétérogènes en âge, issus d'anciens modes de traitement. On retrouve ainsi des grosses tiges avec de gros houppiers, caractéristiques des anciennes réserves de TSF.

Dans l'exercice de sa mission, l'inventaire forestier national de l'IGN n'a pas accès directement aux propriétaires, et donc à l'histoire sylvicole des peuplements.
L'IGN décrit alors la structure des peuplements à la date du passage en inventaire forestier, sur la base d'une analyse de la diversité des diamètres et des hauteurs des arbres (diversité verticale). L'IGN n'a donc pas connaissance du caractère équienne / inéquienne des peuplements, et l'analyse à partir de l'observation de la structure du peuplement à l'instant T n'est pas toujours fiable, et elle risque de le devenir de moins en moins avec le temps compte tenu de la poursuite de l'effet de l'abandon de certains modes de traitements et de la tendance à la régularisation des peuplements au début des dynamiques d'évolutions plus naturelles. La donnée « structure forestière » de l'IGN reprenait pourtant un vocable proche de celui des sylviculteurs, où les peuplements dits réguliers étaient assimilés à des peuplements équiennes. Aussi depuis novembre 2013 (campagne d'inventaire 2014) et avec l'accord de son comité de filière forêt-bois, l'IGN a abandonné la notation directe de la « structure forestière » et collecte désormais une information directe et objective sur l'organisation verticale des peuplements (nombre de strates et leur importance relative), à la date du passage en inventaire.

S'il n'est pas renseigné explicitement le type de traitement des peuplements est toutefois pris en compte dans l'étude. En effet la combinaison des cinq critères retenus pour définir les DE permet de distinguer les grands types de peuplements. Ainsi la sylviculture qui sera mise en œuvre dans les châtaigneraies privées du Sud-Ouest visera la production de petits bois, alors que les chênaies domaniales de la moitié Nord du pays seront conduites pour la production de bois d'œuvre de haute qualité.

[3] Les peuplements équiennes sont les peuplements où tous les arbres ont le même âge (*even-aged stands* en anglais).
[4] Quand les arbres d'un peuplement ont des âges différents on parle de peuplement inéquienne (*uneven-aged stands* en anglais)

Etape 2 : Constitution des domaines d'étude pour une étude de portée nationale

Le croisement strict des modalités des cinq critères donne théoriquement un nombre très élevé de domaines d'étude. Certaines combinaisons ne se rencontrent pas dans la réalité. D'autres sont rares ou anecdotiques et leur identification ne présente aucun intérêt particulier pour qualifier la ressource et son évolution dans une étude nationale.

Des regroupements sont donc réalisés suivant la pertinence sylvicole de distinguer tel ou tel DE pour simuler l'évolution de la ressource et des prélèvements, c'est-à-dire l'intérêt d'identifier un niveau de croissance spécifique et des pratiques sylvicoles particulières entre régions ou types de propriété, etc. Ainsi, il n'est pas pertinent, quelle que soit la propriété, de distinguer le groupe des chênes sessiles et pédonculés dans les zones de montagne ou méditerranéenne, car les conditions du milieu ne permettent pas de produire des grumes de qualité et aucune sylviculture spécifique n'est mise en œuvre dans ce sens. Ces essences peuvent alors être regroupées avec les autres feuillus, ce qui permet aussi de rendre plus robuste la description de la ressource et les modèles utilisés pour les projections.

Quarante-neuf domaines d'étude (cf. annexe 3) sont finalement constitués au niveau national pour projeter l'évolution de la ressource forestière dont :

- 46 pour les forêts fermées,
- 2 pour les peupleraies cultivées (186 000 ha) : les peupleraies de la moitié nord et de la moitié sud du pays sont distinguées car les vitesses de croissance sont différentes,
- 1 pour les forêts ouvertes (671 000 ha) qui sont des forêts lâches stockant peu de biomasse à l'hectare (à noter que les peuplements en régénération et les coupes rases sont considérées comme des forêts fermées).

Etape 3 : Distinction des groupes d'arbres feuillus / résineux au sein de chaque DE

Les peuplements purs d'une essence sont rares dans la nature y compris sur le massif landais (Colin *et al.* 2011). La distinction supplémentaire des arbres des groupes feuillus et résineux au niveau de chaque DE permet de mieux décrire la dynamique de croissance des peuplements mixtes, et les objectifs de production qui peuvent être très différents.
Par exemple les chênes et les bouleaux présents dans les peuplements de pin maritime du massif landais produisent du bois de chauffage alors que les pins produisent des sciages. Les feuillus pourront alors être prélevés en même temps que les éclaircies réalisées sur les pins, où lors de la coupe finale de la pineraie.

Finalement chaque DE est sous-divisé en 2 sous-DE, un pour les essences feuillues et un pour les essences résineuses qui le composent.

Etape 4 : ventilation de la ressource en classes de diamètre ou classe d'âge

Les forêts sont composées de végétaux pérennes, et il est alors indispensable de connaître l'état de maturité de la ressource pour évaluer les disponibilités en bois dans le futur. La ressource au sein de chaque sous-DE est donc divisée en classes de 5 cm de diamètre, ou en classe d'âge de 5 ans pour les peupleraies.

La première classe de diamètre est la classe 10 cm, soit les arbres de diamètre compris entre 7,5 cm (diamètre de recensabilité utilisé dans l'inventaire forestier) et 12,5 cm. La dernière classe n'a pas de limite supérieure. Le nombre de classes dépend essentiellement du diamètre d'exploitabilité courant pour les essences dans la zone considérée. La limitation du nombre de classes, quand elle est possible et pertinente, permet d'améliorer la robustesse des estimations.
Le nombre de classes de diamètre varie donc suivant les DE. Par exemple, la dernière classe de diamètre des châtaigneraies du sud-ouest est moindre que celle des chênaies du nord-ouest.
Le choix du nombre de classes relève d'un compromis indispensable entre une représentation précise de la ressource actuelle et une estimation statistiquement fiable de celle-ci, et des paramètres de dynamique forestière utilisés pour faire les projections.

Etape 5 : Calcul de la ressource initiale et paramétrisation des fonctions de dynamiques
Les données d'inventaire sont mobilisées pour estimer par DE et sous-DE :

- la ressource sur pied en 2010 : surface du DE, volume sur pied ventilé par classe de diamètre ou d'âge selon le type de peuplement,
- les paramètres de dynamique forestière nécessaires pour les projections : production biologique, mortalité naturelle, prélèvements de bois, recrutement[5].

2.2. Simulateur de dynamique de la ressource forestière nationale

2.2.1. Principes généraux des modèles de ressource de l'IGN

Le simulateur de la ressource forestière utilisé dans l'étude pour projeter le stock et les prélèvements de bois/biomasse/carbone, comprend deux modèles démographiques basés sur les observations statistiques collectées sur les placettes de l'inventaire forestier national :

- Un modèle d'évolution de la ressource sur pied par classe de diamètre. La description de la ressource par classe de diamètre est recommandée dans le cas de peuplements irréguliers en âges et en diamètres. Elle est également applicable dans les peuplements équiennes. Cette approche présente l'avantage de s'intéresser directement au diamètre qui est le paramètre qui pilote l'exploitation forestière, en plus d'être une des variables de la croissance biologique des arbres, avec la hauteur.

- Un modèle de la ressource sur pied par classe d'âge. La description des peuplements par classe d'âge est particulièrement bien adaptée aux peuplements et plantations équiennes, c'est à dire où les individus ont des caractéristiques de croissance homogènes et où les interventions sylvicoles peuvent être déclenchées en fonction de l'âge qui constitue alors un bon proxy du diamètre d'exploitabilité. Le renouvellement de ces peuplements s'effectue par coupe rase. Les peupleraies composées de cultivars sélectionnés sont précisément dans cette catégorie. La modélisation de la ressource par classe d'âge n'est pas applicable dans les peuplements hétérogènes en âge et en diamètre.

Les deux modèles de l'IGN simulent l'évolution de la ressource moyenne d'un territoire (allant de la région au pays) en fonction de la croissance des arbres, de la mortalité naturelle et des prélèvements de bois. Dans la communauté des modélisateurs forestiers les modèles agrégés au niveau de la ressource d'un territoire et applicables avec des données d'inventaire forestier sont appelés des « modèles de ressource à large échelle spatiale ».

Les modèles de ressource à large échelle spatiale livrent des projections sous hypothèses, et pas des prédictions opérationnelles. Ils permettent d'évaluer les conséquences qu'auraient différentes décisions politiques ou de gestion à l'échelle des territoires.

Ce type de modèle est particulièrement robuste pour projeter à court et moyen terme les états de systèmes à forte inertie comme la forêt française, car ils s'appuient sur des grands nombres d'observations sur le terrain. Il s'agit donc de modèles empiriques, par opposition à la famille de modèles mécanistes ou de processus qui simulent le fonctionnement des organes des individus d'un écosystème puis les intègrent à large échelle spatiale.
Dans les modèles de l'IGN plus il y a d'observations et plus la description de ressource et la représentation de ses paramètres de dynamique sont robustes. C'est le cas pour cette étude puisqu'on projette la ressource forestière à un horizon maximum de 20 ans, à partir de la base de données de l'inventaire forestier qui compte environ 35 000 placettes d'observation réparties systématiquement sur tout le territoire métropolitain.

[5] Arbres franchissant le seuil de recensabilité de 7,5 cm de diamètre au cours d'une période de 5 ans.

Une autre propriété intéressante de ces modèles est qu'ils intègrent par construction toute la diversité climatique, floristique, pédologique et géologique de la forêt française, mais également le comportement des acteurs (demande en bois, sylviculture) sur les années récentes, ou encore les perturbations de fond (non exceptionnelles) provoquées par des incendies, des chablis, des sécheresses, etc.
Ils reflètent donc bien en moyenne la forêt et l'activité forestière française passée et actuelle.

En revanche la contrepartie automatique de ce type de modèle est leur probable incapacité à simuler correctement des évolutions extrêmes et très rapides (exemples : sécheresse ou dépérissement massifs, tempête majeure, croissance forte et soudaine de la demande et donc de la récolte en produits bois). En effet, les paramètres de dynamique des modèles (croissance, mortalité, etc.) ne sont pas explicitement liés aux drivers du système. Des travaux sont en cours dans ce sens, notamment avec le LERFoB à Nancy.
Pour cette raison l'utilisation des modèles empiriques pour des projections à long terme où les effets des changements globaux deviennent majeurs est peu prudente. Mais plus largement, les modèles quels qu'ils soient et quelles que soient leurs façons de représenter les dynamiques sont fiables dans leur domaine de calibration (climat, station forestière, sylviculture), et leurs résultats restent toujours à consolider quand ils sont en extrapolation.

2.2.2. Modèle par classe de diamètre pour simuler la dynamique des forêts

Le modèle par classe de diamètre de l'IGN est appliqué à l'ensemble des forêts, à l'exception des peupleraies cultivées équiennes. Il a été développé à l'IFN à partir de travaux de Houllier en 1986. Une description détaillée du modèle a été publiée récemment dans une revue scientifique internationale à comité de lecture (Wernsdörfer *et al.* 2012). Il est appelé MARGOT (MAtrix model of forest Resource Growth and dynamics On the Territory scale).

L'IGN utilise classiquement ce modèle pour l'étude des ressources forestières et l'évaluation des disponibilités en bois, par exemple pour l'évaluation des disponibilités résineuses en France après les tempêtes de 1999 (MAAPAR 2004), de la disponibilité en bois en Aquitaine (Thivolle-Cazat *et al.* 2013) et en Picardie (étude en cours).

Il s'agit d'un modèle de type démographique, qui simule l'évolution en diamètre de populations d'arbres d'un même type de peuplement au cours du temps (pas annuel).

Le modèle est de type matriciel avec pour chaque type de peuplement homogène ou domaine d'étude (DE) :

- Une matrice d'état décrivant la ressource par classe de diamètre. Elle se compose pour chaque classe de diamètre (1) d'un effectif d'arbres qui évolue au cours du temps en fonction de la croissance et des disparitions, et (2) de coefficients moyens permettant de calculer les volumes et biomasses totaux de chaque classe de diamètre (volume de la classe i = effectif dans i multiplié par le volume moyen d'un arbre de la classe i). Les coefficients moyens sont constants au cours du temps.
- Une matrice de transition décrivant la croissance des arbres. Elle est exprimée comme la probabilité annuelle de passage d'un arbre de la classe de diamètre i à la classe de diamètre i+1. Ce taux est estimé à partir de l'accroissement en rayon mesuré sur les arbres lors de l'inventaire forestier.
  Le recrutement est traduit avec un coefficient spécifique. C'est l'accroissement annuel en effectifs dans la première classe de diamètre, correspondant aux arbres qui deviennent recensables sur la période (jeunes boisements essentiellement).
- Une matrice des activités sylvicoles, représentant les disparitions d'effectifs. Elles concernent la mortalité naturelle (taux d'arbre morts depuis moins de 5 ans observés dans chaque classe de diamètre) et les opérations sylvicoles exprimées comme le nombre d'arbres prélevés dans une classe de diamètre par rapport au nombre d'arbres vifs de la même classe (taux de prélèvement).

Les valeurs des coefficients des matrices du modèle sont établies par analyse statistique à partir des données collectées par l'IGN, soit un très grand nombre d'observations (données de type transversal, où toutes les classes de diamètres sont mesurées la même année).

Les dynamiques forestières sont représentées dans le modèle par :

- Un taux de croissance en diamètre dans toutes les classes, sauf la dernière qui est ouverte,
- Un effectif recruté dans la première classe de diamètre,
- Un taux de mortalité dans toutes les classes de diamètre.

A la fin de chaque itération, les effectifs d'arbres vivants et disparus sont traduits en volumes, biomasses et tonnes de carbone (voir chapitres 2.3.1 et 2.3.2).

Hypothèses générales pour les simulations par classe de diamètre :
Les taux de passage entre deux classes de diamètre successives sont considérés constants sur toute la période de projection, car le modèle ne prend pas en compte :

- Les changements de productivité liés notamment aux éventuels effets positifs ou négatifs du changement climatique dans le futur. Cette hypothèse est prudente à un horizon de 20 ans car l'incertitude sur l'ampleur des impacts est encore forte, et certainement d'un ordre inférieur à l'évolution tendancielle de la ressource.
- Les effets de compétition entre les arbres, en lien avec les modifications des pratiques sylvicoles (les coupes ont un effet positif sur la croissance radiale des arbres qui restent). L'impact de cette hypothèse peut être négligé dans le scénario tendanciel qui simule la poursuite des pratiques actuelles. Il est minorant en revanche sur le chiffre de croissance du scénario dynamique, mais faiblement puisque les horizons de temps (20 ans au plus) sont courts par rapport aux rythmes biologiques des arbres. Il est à noter que cette hypothèse est conservative sur l'estimation du puits.
- La modulation du recrutement en fonction du taux de coupe. Cette hypothèse revient à considérer que les boisements et reboisements continuent de s'effectuer au rythme actuel, ce qui est probablement minorant dans le scénario dynamique où la fréquence des coupes finales est accrue. Cependant l'impact est nul en 2020 et extrêmement faible en 2030 en raison de la faiblesse de la croissance à l'hectare les premières années de la vie d'un peuplement.

Le taux de mortalité par classe de diamètre est considéré constant au cours du temps. Concrètement, le taux de mortalité observé par l'IGN en 2010 dans chaque classe de diamètre est répété chaque année. Cette hypothèse est nécessaire faute d'un modèle de mortalité explicite disponible au niveau national, et qui ferait varier la mortalité en fonction de la densité des peuplements, voire des conditions climatiques.

Dans un contexte de maturation de la ressource nationale qui s'exprime par une progression de l'arbre moyen vers un plus gros diamètre et un taux de prélèvement chroniquement inférieur à 1, la mortalité naturelle peut s'accélérer car la compétition entre les individus pour l'accès aux ressources naturelles (lumière, eau) peut s'accroître. Des surdensités peuvent alors apparaître, entrainant des mortalités naturelles accrues.
Dans ce cas l'hypothèse de stabilité du taux de mortalité par classe de diamètre au cours du temps aurait pour conséquence une sous-estimation de la mortalité, et donc une surestimation de la variation du stock vivant sur pied et donc du puits de CO_2.
Pour autant la mortalité n'est pas représentée de façon statique dans les projections. En effet, elle est estimée par un taux sur le nombre d'arbres vifs dans chaque classe de diamètre. La mortalité en volume à l'échelle de la ressource progresse donc mécaniquement quand le nombre d'arbres vifs d'une classe de diamètre donnée augmente.

Finalement en l'absence d'un modèle de mortalité national l'hypothèse de stabilité du taux de mortalité par classe de diamètre est jugée acceptable à l'horizon 2030 qui est relativement proche, à l'échelle de l'évolution des arbres forestiers.

Les hypothèses de stationnarité de taux de croissance et de mortalité pourraient être levées avec le développement de modèles statistiques ajustés sur le dispositif IGN. Ces pistes font actuellement l'objet de travaux de recherche.

2.2.3. Modèle par classe d'âge pour simuler la dynamique des peupleraies cultivées

Le modèle par classe d'âge de l'IGN est appliqué aux peupleraies cultivées. Il a été développé à l'IFN dans les années 1980.

Il s'agit d'un modèle de type démographique qui simule l'évolution en âge de générations de peuplements de même type. Chaque génération occupe une surface initiale (surface du boisement ou du reboisement) qui diminue avec le vieillissement de la génération en raison des coupes rases qu'elle subit quand les peuplements qui la compose atteignent les dimensions d'exploitation. Selon la fertilité des stations, les dimensions d'exploitation des arbres au sein d'une même classe d'âge sont atteintes plus ou moins rapidement. Le volume moyen à l'hectare d'une génération évolue quant à lui au rythme de la croissance en âge et de l'intensité des prélèvements en éclaircies.

Il s'agit d'un modèle de type matriciel avec pour chaque type de peuplement homogène :

- Une matrice d'état décrivant la ressource par classe d'âge. Elle se compose pour chaque classe d'âge (1) de la surface boisée, qui évolue au cours du temps en fonction du vieillissement des individus et des coupes rases, et (2) de valeurs moyennes à l'hectare permettant de calculer les volumes et biomasses totales de chaque classe d'âge (volume de la classe i = surface de i multipliée par le volume moyen à l'hectare de la classe i).
- Une matrice de transition décrivant la croissance. Elle est exprimée au travers de la production courante moyenne à l'hectare de chaque classe, nette de la mortalité. Le recrutement consiste en une surface annuelle de reboisement et de nouveaux boisements, qui alimentent la première classe d'âge.
- Une matrice des activités sylvicoles, qui représente les éclaircies et les coupes rases. Elle est exprimée sous la forme d'un taux annuel de coupe rase en surface. Le modèle simule également un taux de prélèvement en volume lors des coupes d'amélioration (éclaircies) mais les peupleraies sont plantées à densité finale et cette fonctionnalité n'est pas mise en œuvre dans le cas présent.

Les valeurs des coefficients des matrices du modèle sont établies par analyse statistique à partir des données collectées par l'IGN, soit un très grand nombre d'observations (données de type transversal, où toutes les classes d'âge sont mesurées la même année).

Les dynamiques forestières sont représentées dans le modèle par :

- Une production nette de la mortalité, ramenée à l'hectare pour chaque classe d'âge,
- Une surface annuelle de nouveaux boisements ou de reboisement des peuplements rasés lors des itérations précédentes, alimentant la première classe d'âge.

Hypothèses générales pour les simulations par classe d'âge :
La productivité des classes d'âge est considérée constante au cours du temps. Le modèle ne prend donc pas en compte d'éventuels effets à la hausse ou à la baisse des changements de productivité dans le futur. L'impact est marginal à l'échelle de temps considérée et les travaux de recherche récents font état d'une possible hausse de la productivité à court terme. L'hypothèse retenue ici est alors minorante sur l'importance du puits de carbone des peupleraies.

Une hypothèse importante qui est prise ici est de considérer que les peuplements boisés et reboisés ont les mêmes caractéristiques de croissance que les peupleraies actuelles. Les éventuelles plantations de cultivars à croissance plus rapide (i.e. diamètre d'exploitabilité atteint plus précocement) ne sont pas considérées.

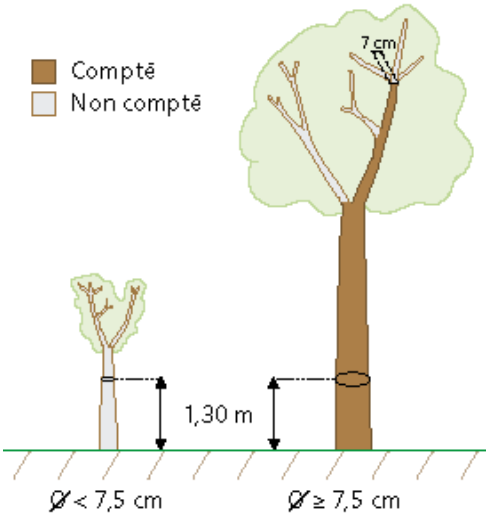
Aussi les cultures dédiées de type TCR ou TTCR ne sont pas prises en compte dans les projections en raison des fortes incertitudes qui demeurent concernant leur développement en France. Aujourd'hui elles n'occuperaient que quelques centaines d'hectares. L'orientation BO des peupleraies françaises est donc maintenue.
L'impact de ces dernières hypothèses sur les prélèvements futurs est extrêmement faible puisque les projections concernent au plus 20 ans, alors que les peupleraies en France sont souvent conduites sur des révolutions de durée voisine. Le puits de CO_2 dans la biomasse pourrait être plus important en revanche. En ce sens l'hypothèse retenue est minorante sur le puits de CO_2 en forêt.

2.3. Calculs des volumes et biomasses

2.3.1. Estimation du volume des arbres par l'IGN

En France, l'IGN estime le volume des tiges de la ressource jusqu'à la découpe fin bout fixée par convention à 7 cm de diamètre (sur écorce). Elle est appelée "découpe bois fort". Seuls les arbres de plus de 7,5 cm de diamètre à 1,30 m sont comptabilisés, soit des arbres dits recensables (figure 1). Le volume estimé par l'IGN (IFN, 2010) correspond à un volume de référence (Deleuze *et al.* 2013). Il est établi par l'IGN à partir de mesures de cubage réalisées le long des tiges des arbres inventoriés. Les tarifs de cubage qui en découlent sont représentatifs de la ressource nationale. Tous les volumes publiés par l'IGN sont issus de l'application de ces tarifs.

Figure 1 : volume des arbres inventoriés par l'IGN



2.3.2. Estimation de la biomasse totale aérienne et racinaire

Une fois le volume de référence défini, le houppier correspond au complémentaire de ce volume pour donner le volume total aérien. Il comprend les branches (découpe bois fort 7 cm) et les menus bois de la tige et des branches (découpe inférieure à 7 cm).

Le volume total aérien est estimé avec des tarifs de cubage développés par la recherche française dans le cadre du projet CARBOFOR (Vallet *et al.* 2006, Loustau Ed. 2010). Ces équations, appliquées au niveau de chaque arbre, utilisent comme prédicteurs la circonférence, la hauteur et l'essence de l'arbre. Elles tiennent ainsi compte du facteur de forme propre à chaque arbre. Le volume total aérien calculé par l'IGN n'est donc pas estimé avec des facteurs d'expansion moyens. L'IGN a confirmé en 2013 l'applicabilité à la ressource nationale de hêtre de ces tarifs issus de la recherche, dans le projet EMERGE soutenu par l'ANR.

Les facteurs d'expansion racinaires pour les groupes d'essences feuillus et résineux, les valeurs moyennes d'infradensité du bois par essence (Dupouey 2002), et le taux moyen de carbone utilisés par l'IGN pour évaluer la biomasse et le stock de carbone total aérien et racinaire ont été mis au point dans le projet de recherche CARBOFOR (Loustau Ed. 2010).

Toutes les estimations de volumes, biomasses et quantités de carbone effectuées par l'IGN utilisent ces références, qu'ils s'agissent de stocks sur pied, de productions, de mortalités ou encore de prélèvements.

Le projet EMERGE a permis de constituer une base de données nationale des mesures de volumes et de biomasses dans les différents compartiments des arbres, et de développer des méthodes et outils pour le développement d'évaluations compatibles. L'objectif à terme est d'améliorer les tarifs et coefficients de conversion en vigueur (Longuetaud *et al.* 2013).

2.3.3. Ventilation des prélèvements dans les compartiments de l'arbre

Les produits bois stockent du carbone pendant une durée qui varie selon la nature des produits (papiers, cartons, panneaux, palettes et coffrages, menuiseries, meubles, charpentes, tonneaux, etc.). La connaissance des usages des bois récoltés est donc nécessaire pour établir le bilan de carbone complet de l'activité forêt-bois nationale, en incluant ce que l'on appelle la séquestration dans les produits bois.

Il convient de distinguer les prélèvements (*fellings* en anglais) et la récolte (*removals* en anglais). Un prélèvement concerne tout le volume des individus qui sont coupés, c'est à dire le bois de la tige, des branches, des brindilles, et des racines dans la comptabilité gaz à effet de serre. La récolte concerne pour sa part la partie effectivement extraite des parcelles, c'est-à-dire le volume commercialisé ou du moins consommé. Le volume récolté est par conséquent toujours inférieur au volume prélevé.

Depuis 2010, l'IGN estime directement les volumes de prélèvements en forêt (IFN, 2011d).
A l'inverse, il n'existe pas à ce jour en France de statistique exhaustive sur la récolte de bois (cf. essai de reconstitution de la consommation de bois en France en annexe 2), et sur sa ventilation en produits bois. Il est à noter d'ailleurs que les usages peuvent varier fortement et rapidement dans l'espace et dans le temps, en fonction du niveau de la demande.

Dans cette étude, en l'absence de données fiables sur les usages des bois en France et de modèle intégré de la demande en produits bois, les estimations de prélèvements de bois potentiels dans le futur (ce que l'on appelle la disponibilité) sont ventilées suivant les caractéristiques qualitatives et dimensionnelles des arbres, soit des critères objectifs qui peuvent être reliés à des valeurs économiques ou des types d'usages des bois. Les volumes totaux de prélèvements sont ventilés suivant les compartiments qui composent les arbres.

Il faut d'abord estimer le volume potentiellement récoltable du point de vue technique. En effet un volume est fatalement perdu sur les chantiers d'exploitation. Il correspond à la souche (volume entre le niveau du sol et le trait de scie), aux sciures, aux encoches, et aux petites branches et brindilles de diamètre inférieur à 7 cm laissées sur site.
Concernant la partie aérienne, on considère classiquement en France que 10 % du volume bois fort total aérien (tige + branches) est laissé sur site pour des raisons techniques. Ce taux atteint 50 % pour les menus bois de moins de 7 cm. Dans la mesure où les menus bois représentent en moyenne de l'ordre de 10 % du volume aérien total (Vallet *et al.* 2007), de l'ordre de 85 % du volume total aérien de prélèvement est récoltable. Ce chiffre correspond à un **maximum technique**.

On considère que l'intégralité des systèmes racinaires des arbres coupés n'est pas récoltée. La pratique se développe sur le massif landais mais les volumes concernés restent faibles et le coût de telles opérations toujours importants. La généralisation de cette pratique locale à toute la forêt française résineuse n'est pas envisagée dans l'étude.

Pour les feuillus comme pour les résineux la partie finalement récoltable du volume aérien est ventilée entre les compartiments :

- des menus bois de diamètre inférieur à 7 cm qui peuvent être potentiellement valorisés en énergie (plaquettes, bûches, charbonnettes, etc.) ou laissés sur site ;
- des tiges de plus de 7 cm de diamètre qui peuvent être valorisées en BO, BI et potentiellement BE.
- Des branches de plus de 7 cm de diamètre qui peuvent être valorisées en BO, BI et potentiellement BE.

Les volumes de racines et les volumes perdus lors de l'exploitation ne sont pas récoltables.

Les tarifs de cubage et les bases de données mises au point par la recherche forestière française permettent de réaliser ces distinctions.

3. Scénarios d'offre de bois des forêts et des peupleraies

3.1. Présentation générale

3.1.1. Des scénarios d'offre de bois

Deux scénarios d'offre de bois des forêts ont été définis dans l'étude. Leurs impacts sur la séquestration de CO_2 dans la biomasse ont été évalués au cours de la période 2012-2030.

- Un premier scénario d'offre projette le puits de CO_2 dans un contexte de maintien des comportements actuels des sylviculteurs. C'est le **scénario tendanciel**.
- Un second scénario d'offre simule une intensification des prélèvements de bois, par une dynamisation progressive des interventions sylvicoles là où les peuplements le nécessitent et là où elle est *a priori* réalisable. C'est le **scénario dynamique**.

Il s'agit dans les deux cas de scénarios d'offre car les résultats sont indépendants du contexte économique sur la période projeté. En effet, l'évolution de la demande en produits bois n'est pas simulée dans l'étude. Par conséquent, **les résultats des scénarios d'offre dépendent exclusivement du comportement estimé des sylviculteurs**.

3.1.2. Des scénarios contextualisés de prélèvements sur la ressource

Les scénarios d'offre sont exprimés dans le modèle sous la forme de scénarios de prélèvements, c'est-à-dire de taux de coupe appliqués à la ressource.
Les scénarios de prélèvements mis en œuvre sont contextualisés par domaine d'étude (zone géographique, essence, propriété) et par stade de maturité de la ressource, c'est-à-dire qu'ils varient en fonction du diamètre ou de l'âge des individus.
Par conséquent, l**es résultats des projections calculées avec les scénarios de prélèvements tiennent compte de l'état de maturité en diamètre ou en âge de la ressource à la date de l'intervention**, état de maturité qui est recalculé à chaque itération.

3.1.3. Hypothèses communes aux deux scénarios

Objectifs sylvicoles de production de bois de qualité

Dans les deux scénarios, les objectifs sylvicoles actuellement en vigueur pour les différents types de peuplements sont maintenus sur toute la période de projection. Concrètement cela signifie que les sylvicultures qui sont simulées visent, pour chaque essence, la production de la meilleure qualité possible des bois en fonction des potentialités du milieu. La nature des produits bois à fournir est par conséquent constante, toutes choses égales par ailleurs. Par exemple, les hêtraies et les chênaies de plaine sont toujours gérées pour la production finale de gros bois de qualité, les châtaigniers pour la production de petits sciages, etc. Il en découle directement que les peuplements à régénérer au cours de la période le sont avec les mêmes principes et objectifs que ceux qui les précèdent. La substitution des peuplements en place par des TCR et TTCR n'est donc pas considérée dans cette étude.

Evolution de la superficie boisée

Dans les deux scénarios, la superficie boisée française continue d'évoluer suivant la même tendance que celle observée par l'IGN sur la période récente 2005-2012, c'est à dire un accroissement net d'environ 100 000 ha/an. Ce bilan national est contextualisé par domaine d'étude (région, essence, propriété). Du fait de la vitesse de croissance à l'hectare réduite des très jeunes peuplements, l'hypothèse de maintien de la superficie des nouveaux boisements n'a aucun impact sur le puits estimé en 2020, et une incidence au mieux très faible en 2030.
L'installation de TCR et TTCR sur ces nouvelles terres boisées pendant la période des projections n'est pas simulée, faute de données disponibles suffisamment robustes pour représenter sérieusement le développement de ces nouvelles cultures.

Perturbations exceptionnelles

Dans les deux scénarios, aucune perturbation exceptionnelle comme des tempêtes, des sécheresses, le développement de maladies et pathogènes ou des incendies majeurs n'est simulée au cours de la période de projection. En effet il n'existe pas à ce jour de modèles de prévisions des aléas fiables.

En revanche, les scénarios tiennent compte des perturbations de fond récentes observées par l'IGN (chablis diffus liés à des facteurs biotiques et abiotiques, arbres sénescents, incendies), au niveau des estimations de stock sur pied et de croissance moyenne.

3.2. Scénario tendanciel

3.2.1. Principe général et hypothèses

L'objectif du scénario tendanciel est d'évaluer l'évolution du puits de CO_2 si les pratiques actuelles des sylviculteurs étaient maintenues jusqu'en 2020 et 2030.

Pour chaque année de la période de projection, la fréquence des coupes observée par l'IGN dans les différents types de peuplements par classes de diamètre ou d'âge (voir chapitre 3.2.2) est inchangée. L'hypothèse sous-jacente est que les acteurs maintiennent le même taux de gestion à caractéristiques de la ressource (âge ou diamètre) données. Par exemple, un résineux de 40 cm de diamètre du domaine d'étude « douglasaie privée du Massif-Central » aura la même probabilité d'être prélevé en 2012, en 2018, et en 2026.

La ressource forestière continue de croître suivant le même taux que la période récente, du fait de l'accroissement biologique, de la mortalité naturelle et des prélèvements qui sont constants. Ainsi, l'évolution du puits de CO_2 de la forêt française estimée avec le scénario tendanciel est le prolongement de l'évolution constatée de la ressource en diamètre et en âge par rapport à sa distribution initiale. **Le scénario tendanciel quantifie donc la part de l'effet démographique dans l'évolution de la ressource nationale**. Le scénario tendanciel exprime la **dynamique structurelle d'évolution de la ressource forestière française**, à comportement des sylviculteurs constant.

3.2.2. Détermination des taux de prélèvements moyens sur la ressource

Le scénario de prélèvements est défini exclusivement à partir des observations de coupes relevées sur le dispositif de l'inventaire forestier national de l'IGN au cours de la période de 8 ans comprise entre 2005 et 2012.

Depuis 2010 l'IGN retourne sur chaque placette d'inventaire forestier visitée 5 ans auparavant, et mesure directement les prélèvements d'arbres réalisés en forêt (IFN 2011d). Chaque arbre vivant inventorié lors du premier passage en inventaire fait l'objet d'une observation de son statut 5 ans après : vivant, prélevé, chablis ou mort.

Les éventuels dépressages réalisés dans les peuplements non recensables et qui ne produisent pas de bois exploitables ne sont pas recensés. En revanche toutes les interventions entraînant des coupes d'arbres recensables sont inventoriées : cloisonnements, éclaircies, coupes de régénération, coupes rases et défrichements.

Cette nouvelle donnée d'inventaire est totalement inédite. Elle permet pour la première fois de mesurer directement et de façon exhaustive les prélèvements réels en forêt. Cette estimation est indépendante des usages de bois. Elle inclut donc l'autoconsommation de bois de feu. Les chiffres de prélèvements sont détaillés par essence, diamètres des arbres coupés, types de peuplement, localisation de la coupe et propriété, etc.

Cette information est en outre totalement cohérente avec les estimations de stock sur pied et de production biologique de l'inventaire forestier de l'IGN (même dispositif statistique, mêmes définitions, mêmes tarifs de cubage).

Elle permet dès lors de déterminer des taux de coupe moyens réalisés sur la période de 5 ans séparant les deux passages en inventaire. Le principe de calcul du taux de prélèvements est le suivant : s'il faut N années pour que les X tiges d'une classe de diamètre D en sortent théoriquement (la durée N dépend uniquement de la vitesse de croissance estimée pour chaque classe), on considère que seules X-Y tiges entreront effectivement dans la classe de diamètre D+1 après cette durée N, la valeur de Y étant la somme des effectifs prélevés (coupes) et de la mortalité naturelle au cours de la durée N. Le taux de prélèvement de la classe D correspond donc à la proportion de tiges qui sont prélevées pendant toute la période de résidence d'une génération d'arbres dans cette classe.

Au moment de l'étude, les résultats de l'inventaire des prélèvements étaient disponibles pour les périodes 2005-2010, 2006-2011 et 2007-2012. Des taux de prélèvement moyens ont finalement été estimés pour la période 2005-2012, hors prélèvements exceptionnels et conjoncturels de chablis de la tempête Klaus de janvier 2009 sur le massif landais estimés par ailleurs (sur le massif landais le scénario sylvicole appliqué à partir de 2012 est celui d'avant la tempête Klaus).

Des taux de mortalité moyens sont également mis au point à partir des observations récentes de l'IGN. Ils incluent les perturbations de fond comme les chablis diffus ou ponctuels liés à des facteurs biotiques et abiotiques, les incendies, les dépérissements, etc.

Les taux de coupe et de mortalité ainsi définis sont contextualisés par domaine d'étude (zone géographique, essence, propriété). Ils sont fixés par classe de diamètre (cf. taux de prélèvement en effectifs) ou par classe d'âge dans les peupleraies (cf. taux de coupe en surface).

En appliquant les taux définis à la ressource sur pied chaque année, on calcule (1) la disponibilité en bois et (2) l'évolution du stock sur pied si la gestion actuellement constatée était poursuivie.

3.2.3. Un scénario d'offre qui correspond à la demande sur 2005-2012

Sur la période 2005-2012 de calibration du modèle de prélèvements, le scénario tendanciel d'offre correspond exactement à la demande en bois des forêts françaises. En effet les prélèvements constatés ont été réalisés en réponse à une demande exprimée et solvable.
C'est la première fois que la demande en bois sur la forêt française est connue de façon exhaustive et détaillée.

En outre, parce qu'il est issu de l'observation de coupes réelles, le scénario tendanciel d'offre tient compte par définition de toutes les contraintes qui pesaient sur la mobilisation des bois au cours de la période, de nature physique (accessibilité), technique (matériel d'exploitation), environnementale (protection des espèces et des milieux), économique (marché et acteurs) et sociale (organisation foncière, choix des propriétaires).
Ces critères étant internalisés lors de la construction du scénario, la robustesse en extrapolation du modèle de prélèvements tendanciel est meilleure que s'ils étaient modélisés individuellement.

Le scénario tendanciel est l'expression de la demande actuelle. Sur la période de projection, le scénario tendanciel devient un scénario d'offre si les pratiques des sylviculteurs étaient inchangées. L'adéquation entre l'offre et la demande n'est plus assurée car l'évolution de la demande n'est pas simulée dans cette étude.

Cependant, à moins d'un retournement soudain des pratiques des acteurs, les résultats des projections issues de l'application de ce scénario ne peuvent pas être extrêmes, par construction.

Les scénarios de prélèvements moyens ne sont pas des scénarios sylvicoles
Les taux de prélèvement du scénario tendanciel ne sont pas des itinéraires sylvicoles ou des préconisations de gestion à l'échelle des peuplements ou des massifs.
Il s'agit de taux de prélèvements moyens observés à l'échelle de la ressource d'un vaste territoire (parfois la France) et donc sur un très grand nombre de peuplements hétérogènes sur divers plans. Ces moyennes intègrent les pratiques de sylviculteurs dont les objectifs sont variables. Elles dépendent aussi intrinsèquement de l'état de maturité actuel de la ressource. Ainsi, s'il n'y a aucun bois de très grande dimension dans la ressource actuelle l'IGN ne verra pas de prélèvements dans ces classes de diamètre, et leur taux de coupe sera nul par défaut. Pourtant avec la maturation de la ressource au cours de la durée des projections des arbres moyens ou gros bois peuvent devenir gros ou très gros bois, mais ils ne seront jamais prélevés avec le scénario tendanciel. Cette situation peut survenir dans un contexte où la ressource forestière française, et plus particulièrement la ressource feuillue, ne se trouve pas dans un état stationnaire et que la ressource en gros et très gros bois progresse au cours du temps (IFN 2011c, IGN 2012 et IGN 2013).
Le risque de sous-estimation des prélèvements encouru est cependant faible à l'échelle de travail de la France, car les volumes concernés seraient faibles sur le pas de temps relativement court des projections qui est de 20 ans au maximum.

3.3. Scénario dynamique

Les évolutions du stock sur pied et des prélèvements dans les peupleraies sont projetées uniquement avec le scénario tendanciel, lequel correspond déjà aux pratiques optimales de gestion d'une ressource cultivée.

3.3.1. Principe général et hypothèses

L'objectif du scénario dynamique est d'évaluer l'impact sur le puits de CO_2 d'une augmentation des niveaux de prélèvements, correspondant notamment à la recherche de l'atteinte des objectifs fixés dans le Plan national d'actions en faveur des énergies renouvelables 2009-2020 (PNA EnR).

Le principe du scénario est de dynamiser la sylviculture actuelle, partout où cela est nécessaire du point de vue sylvicole, et a priori possible du point de vue technique. Il s'agit bien d'une logique de dynamisation puisque les objectifs sylvicoles en vigueur pour les différents types de peuplements ne sont pas modifiés. Les choix des essences et des modes de sylviculture, et donc des produits bois cibles, sont conservés.

Les prélèvements du scénario dynamique ont une origine structurelle quand les prélèvements sont prescrits dans les guides de sylviculture à un stade de développement donné, et conjoncturelle quand les peuplements en surdensité ou ayant dépassé le diamètre d'exploitation préconisé font l'objet de coupes.

La logique de gestion durable d'une ressource naturelle prévaut dans ce scénario, c'est-à-dire le maintien du capital de production sur le long terme. Cet objectif inclut que les prélèvements puissent être temporairement et localement supérieurs à la production (Peyron et Hervé, 2013), si les peuplements doivent être renouvelés.

3.3.2. Un objectif ambitieux, avec une mise en œuvre réaliste

Un objectif ambitieux

Une dynamisation de la sylviculture, et donc de l'offre de bois, implique des évolutions importantes au niveau des gestionnaires forestiers. En effet le scénario dynamique vise à rapprocher les pratiques actuelles de gestion des standards de sylviculture, en augmentant le taux de réalisation de la gestion, en contrôlant la densité des peuplements en croissance, et en favorisant les coupes de régénération lorsque les diamètres ou âge d'exploitabilité des essences sont atteints et dépassés. L'effort de dynamisation porte donc sur tous les stades de développement des arbres. Une sylviculture « théorique », cible, est ainsi définie pour chaque domaine d'étude.

De par la mobilisation des sylviculteurs qu'il suppose, l'objectif visé par avec le scénario dynamique peut être qualifié d'ambitieux.

Un scénario de mise en œuvre qui vise un certain réalisme

Une évolution très forte et très rapide des pratiques sylvicoles apparaît peu réaliste aux horizons 2020 ou 2030, à l'aune des données historiques sur les prélèvements de bois en France (annexe 2).

Les résultats d'inventaire forestier sur les 30 dernières années (IFN 2011c) révèlent, au niveau national, une évolution structurelle forte à la hausse du stock de bois sur pied, et des prélèvements chroniquement largement inférieurs à la production biologique, d'environ la moitié. Parmi les principales raisons, on peut citer (1) la présence en France d'une ressource en croissance liée à la substitution du bois par les énergies fossiles au 19ième siècle puis la déprise agricole au 20ième siècle (Bontemps 2012 et IGN 2013), (2) la faible sensibilité des propriétaires forestiers aux évolutions des prix des bois (Chabé-Ferret *et al.* 2007), et (3) un tissu industriel national du bois d'œuvre et du panneau qui a largement décliné ces dernières décennies (Agreste 2013).

Le développement réel de l'offre sera permis par une stimulation de la demande en produits bois, l'ensemble supposant une évolution de la capacité à valoriser la ressource forestière nationale. La demande n'est pas modélisée dans l'étude. Le scénario dynamique concerne l'offre. Par conséquent **les scénarios de mise en œuvre de la sylviculture dynamisée sont fondamentaux**. Ils doivent être spatialisés. En effet la capacité de développement de l'offre varie dans l'espace en fonction des essences, des propriétés, des conditions physiques d'exploitation et des exploitants, etc. Ils doivent aussi tenir compte du facteur temps car les questions de logistique et d'organisation des acteurs forestiers sont cruciales pour développer l'offre de manière pérenne.

Ainsi, les prélèvements conjoncturels, et notamment les coupes de gros et très gros bois, doivent être réalisés de manière progressive. Le taux de coupe des peuplements mâtures est en effet un paramètre sensible dans l'estimation totale des prélèvements car les tiges concernées ont un diamètre élevé, et elles apportent par conséquent un volume très important de prélèvement.

Pour le maintien et le développement de la biodiversité, une partie de la ressource en gros et très gros bois doit aussi être conservée en forêt. Cette hypothèse contribue également au réalisme du scénario puisqu'une partie des propriétaires forestiers gèrent leur bien dans un objectif patrimonial et de biodiversité.

La mise en œuvre des scénarios sylvicoles dynamisés est contextualisée et progressive, pour définir un scénario dynamique réaliste.

Le scénario dynamique n'est donc pas extrémiste. Il s'agit d'un scénario d'offre possible compte tenu de l'état de la ressource. Il est compatible avec le maintien de la gestion durable des forêts. Toutefois, sa mise en œuvre nécessite une dynamisation progressive des pratiques des acteurs.

Finalement le scénario dynamique d'offre repose sur deux séries de paramètres successifs :

- Un scénario de prélèvements correspondant à la sylviculture préconisée par type de peuplements. C'est le caractère ambitieux du scénario dynamique.
- Un scénario de mise en œuvre du scénario de prélèvements dans l'espace et dans le temps des sylvicultures préconisées. C'est la dimension réaliste du scénario dynamique.

Les contraintes et difficultés de gestion et d'exploitation des bois ne sont pas prises en compte au niveau des scénarios de prélèvements. Elles le sont au niveau du scénario de mise en œuvre du scénario dynamique.

3.3.3. Définition du scénario sylvicole dynamique

La méthode mise en œuvre est inspirée des travaux de Peyron et Hervé publiés en 2013.

Des diamètres d'exploitabilité moyens sont fixés par groupe d'essences. Ils sont régionalisés et variables suivant la propriété le cas échéant, pour tenir compte de la diversité biogéographique et économique sur le territoire national.
Les diamètres sont définis sur la base de la demande moyenne selon les essences, reflétant les besoins du marché et les capacités de transformation actuelles en France.
Chez les résineux, le diamètre d'exploitabilité est fixé à 40 cm (soit à partir de 37,5 cm) pour les pins sur tout le territoire, 50 cm pour les épicéas, les sapins et les douglas, voire 55 cm dans les régions de montagne.
Chez les feuillus le diamètre d'exploitabilité est fixé à 25 cm pour les peuplements de taillis, dans les régions peu fertiles du sud et des Landes, ou pour les feuillus accessoires des peuplements de résineux. Il est de 40 cm pour les frênaies, 50 cm pour les hêtraies, et jusqu'à 60 cm en moyenne dans les chênaies publiques du Nord et de l'Est.

Il s'agit de diamètres moyens, qui permettent de fixer des ordres de grandeurs réalistes à l'échelle où les ressources sont analysées. Toutefois, le modèle par classe de diamètre réalise des coupes dans toutes les classes. Il s'agit d'éclaircies et de coupes d'amélioration dans les catégories petits, moyens voire gros bois selon les essences, et de coupes de régénération dans les plus grandes classes de diamètre. Cela permet de tenir compte de demandes locales en produits de dimensions extraordinaires (marchés de niche).

Deux populations de ressources sont ainsi définies au niveau de chaque domaine d'étude. Elles font l'objet d'approches différentes :

- Un groupe des ressources en amélioration, situées avant le diamètre d'exploitabilité de l'essence cible considérée.
- Un groupe des ressources en régénération, situées à partir du diamètre d'exploitabilité de l'essence cible considérée.

Ressources en amélioration
Les taux de coupe annuels en effectifs dans les classes de diamètres situées avant le diamètre d'exploitabilité sont fixés pour tendre vers des coupes à densité finale à l'hectare lorsque le peuplement aura atteint le diamètre d'exploitabilité.
Les préconisations sylvicoles en vigueur sont appliquées et selon les essences, les taux de coupe en éclaircie vont donc être plus ou moins importants selon la classe de diamètre. Par exemple chez les résineux les taux de prélèvements sont plus faibles dans les premières classes de diamètre par rapport aux suivantes pour permettre la compression des tiges favorable au développement d'arbres rectilignes et dépourvus de gros nœuds. Des taux de coupe extrêmes sont proscrits, pour éviter de déstabiliser les peuplements.

Ressources en régénération

La ressource considérée a atteint ou dépassé son diamètre théorique d'exploitabilité et les peuplements doivent être renouvelés à court terme. Des taux de coupe compris entre 50 et 100 % de l'effectif des classes de diamètre sont définis, selon que les essences produisent des très gros bois (cas des chênes, sapins-épicéas en montagne) ou non (cas des pins).
Le taux de renouvellement de la ressource dans le groupe de régénération varie en fonction des classes de diamètre. Il est moins fort dans les dernières classes car il s'agit souvent de ressources à forte valeur patrimoniale, ou tout du moins à valeur commerciale faible voire nulle dans les conditions actuelles du marché ou compte tenu des capacités industrielles disponibles. Les enjeux de biodiversité priment.

Mortalité naturelle

Les taux de mortalité naturelle appliqués dans le scénario dynamique au niveau de chaque domaine d'étude sont ceux du scénario tendanciel, faute aujourd'hui de disposer d'un modèle explicite de mortalité.

3.3.4. Mise en œuvre du scénario dynamique

Date de début de mise en œuvre du scénario dynamique

La ressource sur pied initiale est évaluée pour l'année moyenne 2010. Les statistiques de récolte et de consommation de bois de feu disponibles pour les années 2011 et 2012 et les remontées du terrain pour l'année 2013 ne montrent pas d'infléchissement particulièrement à la hausse des prélèvements. Aussi le scénario dynamique d'offre de bois est mis en œuvre, le cas échéant, à partir de l'année 2014. L'évolution de la ressource de 2011 à 2013 est simulée pour chaque domaine d'étude avec le scénario tendanciel.

Un taux de réalisation du scénario dynamique est défini chaque année pour chaque domaine d'étude. Les peuplements qui ne sont pas traités avec le scénario dynamique le sont avec le scénario tendanciel, si bien que 100 % de la ressource est traitée avec un scénario chaque année.

Analyse du potentiel de dynamisation

L'analyse du potentiel de dynamisation de la sylviculture et de la mobilisation des bois est réalisée au niveau de chaque domaine d'étude. Elle permet d'évaluer la faisabilité de la mise en œuvre du scénario dynamique, au regard des opportunités et des freins de nature technique (exploitabilité physique…), environnementale (fertilité des sols, etc.), sociale (catégorie de propriété…) et des contextes socio-professionnels régionaux (logistique…) propres à chaque situation.

La définition du potentiel de dynamisation repose concrètement sur l'analyse d'un certain nombre d'indicateurs, pris globalement :

- Le taux de prélèvement actuel (prélèvements / production nette) permet d'identifier les situations où des dynamiques d'acteurs sont déjà présentes. Dans ces zones on suppose que la possibilité de mettre en œuvre les scénarios sylvicoles théoriques sera rapide, si elle est nécessaire.
- Le taux de mortalité actuel et la part du volume compris dans les classes au-delà du diamètre d'exploitabilité. Ils indiquent les zones à enjeu de renouvellement, c'est-à-dire où une dynamisation de la sylviculture actuelle serait nécessaire.
- Le suivi du taux de prélèvement au cours des projections, et notamment en fonction de la difficulté d'accessibilité physique. Cette information permet d'identifier les évolutions trop fortes trop rapidement compte tenu des contraintes logistiques, et donc les scénarios trop irréalistes. En effet les acteurs doivent se structurer localement pour mobiliser davantage de bois. Il est aussi nécessaire d'améliorer l'accessibilité physique à la ressource (création de desserte, etc.). Le taux de mise en œuvre du scénario dynamique est corrigé le cas échéant.

Le taux de mise en œuvre des sylvicultures dynamiques en 2020 et 2030 est défini à dire d'expert. On considère une progression linéaire de ce taux entre la date initiale et l'objectif fixé en 2020 et 2030. L'approche retenue vise à représenter une évolution prudente en moyenne sur la période 2014-2020 car une augmentation substantielle de l'offre ne sera possible qu'en structurant mieux l'offre et la demande. En revanche les taux sont plus ambitieux sur la période 2020-2030. La réalité serait probablement plus proche d'une courbe en S avec des effets de seuil. Après un phénomène d'émulation au début, on pourrait voir une saturation quand il s'agit de mobiliser les peuplements les plus difficiles d'accès, ou les propriétaires les moins intéressés par la vente de leurs bois.

Cinq groupes de domaines d'étude sont constitués pour définir le taux de mise en œuvre du scénario dynamique :

Groupe 1 : Le premier groupe inclut les domaines d'études où la dynamique de prélèvement est élevée, ou du moins supérieure à la moyenne nationale. On retrouve dans ce groupe les forêts publiques feuillues et résineuses des plaines du Nord et de l'Est (chênaies, hêtraies, pineraies), les douglasaies privées du Sud, les pineraies privées du Nord-Ouest, ou encore les sapinières et pessières privées du Nord et de l'Est, soit des peuplements où la demande en bois est actuellement forte.
On fixe que 35 % de la ressource est traitée avec le scénario dynamique en 2020. Ce taux est porté ambitieusement à 85 % en 2030. Avec cette progression, le scénario dynamique serait mis en œuvre à 100% au bout de 20 ans.

Groupe 2 : Le second groupe concerne les domaines d'étude où le taux de prélèvement actuel est voisin de la moyenne nationale. On y retrouve les chênaies, hêtraies, taillis de châtaigniers, taillis de robiniers, et les autres peuplements feuillus pour la production de bois de chauffage des forêts privées des plaines, plateaux et moyennes montagnes hors climat méditerranéen. On y trouve également dans ce groupe les forêts feuillues et les pineraies publiques du Sud-Ouest (hors massif landais) et du Massif Central, ou encore les autres forêts feuillues et les sapinières pessières domaniales du Nord-Est.
Le taux de mise en œuvre du scénario théorique est fixé à 25 % en 2020, et jusqu'à 60 % en 2030. Avec cette progression, le scénario dynamique serait mis en œuvre à 100% au bout de 30 ans.

Groupe 3 : Le troisième groupe inclut les domaines d'étude où taux de prélèvement actuel est faible voire très faible (IGN 2012). Il regroupe les peuplements feuillus et résineux des forêts de haute-montagne, toutes les forêts du bassin méditerranéen, l'ensemble des forêts ouvertes qui sont difficilement exploitables et souvent peu productives (cf. annexe 3) et certains peuplements feuillus et résineux du grand sud-ouest et Massif-Central.
Le taux de mise en œuvre du scénario dynamique est voisin de 15 % en 2020, et de 40 % en 2030, ce qui est certainement ambitieux.

Groupe 4 : Les pineraies privées du massif landais sont traitées à 100 % avec le scénario dynamique. Ce scénario volontariste s'inscrit dans un contexte où la demande en bois reste constante, voire se développe avec l'installation de nouvelles chaufferies bois, et où les stocks de chablis Klaus sous aspersion et en forêt sont épuisés. La demande dépasse l'offre locale et les acteurs forestiers continuent de se mobiliser pour régénérer les peuplements afin d'offrir à nouveau des produits bois sur le marché le plus rapidement possible.

Groupe 5 : Le dernier groupe concerne les peuplements qui n'ont pas vocation à produire du bois. Le scénario dynamique n'est donc jamais mis en œuvre dans deux domaines d'étude : les forêts publiques du cordon dunaire atlantique et les forêts situées dans les espaces réglementaires de protection et de conservation. Ces peuplements sont gérés pour la protection des espèces et des paysages, la conservation des sols et des eaux, l'accueil du public, etc.

4. Résultats des projections

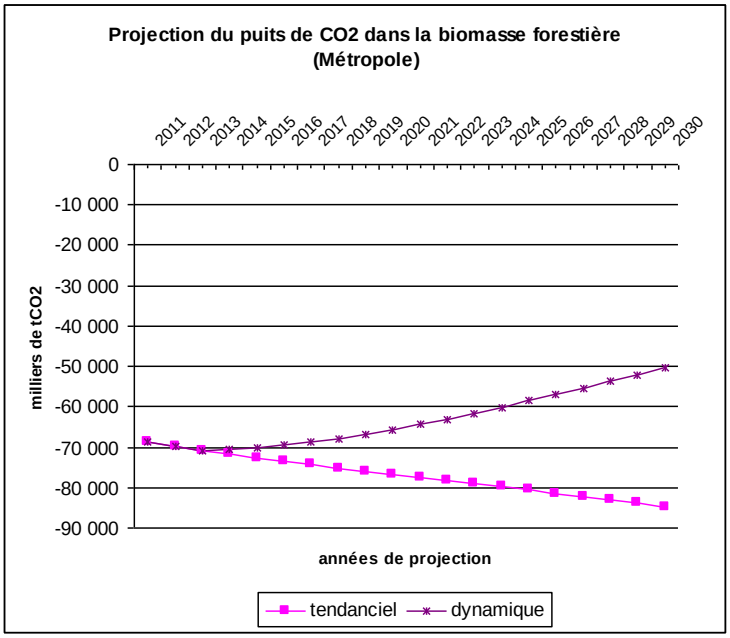
4.1. Puits de CO_2 dans la biomasse

Le puits de CO_2 dans la biomasse ligneuse est estimé à 70,8 Mt en 2013.

Tableau 5 : puits de CO_2 dans la biomasse totale aérienne et racinaire selon les scénarios

Puits biomasse aérienne et racinaire (peuplier inclus) en milliers de tCO_2 par an

	Scénarios d'offre	
Année	**tendanciel**	**dynamique**
2011	-68 686	-68 686
2012	-69 788	-69 788
2013	**-70 802**	**-70 802**
2014*	-71 768	-70 480
2015	-72 642	-70 046
2016	-73 584	-69 538
2017	-74 370	-68 741
2018	-75 169	-67 834
2019	-76 010	-66 853
2020	**-76 742**	**-65 656**
2021	-77 568	-64 455
2022	-78 303	-63 072
2023	-79 063	-61 631
2024	-79 857	-60 151
2025	-80 597	-58 552
2026	-81 498	-57 056
2027	-82 267	-55 379
2028	-83 114	-53 740
2029	-83 933	-52 038
2030	-84 742	-50 300



** le scénario dynamique est mis en œuvre progressivement à partir de 2014*

La biomasse forestière est un puits de CO_2 atmosphérique avec les 2 scénarios d'offre (tableau 5). Cela signifie que chaque année la production biologique est supérieure à la somme des prélèvements et de la mortalité naturelle, et cela même dans une logique de dynamisation de la sylviculture entrainant une hausse des prélèvements.

Avec le scénario tendanciel le puits s'accroît chaque année sur la période pour atteindre 76,7 $MtCO_2$ en 2020, soit **591 $MtCO_2$ séquestrées entre 2013 et 2020**. La séquestration moyenne annuelle supplémentaire s'établit à 0,74 $MtCO_2$. Le puits s'approfondie encore sur la période 2021-2030, avec un rythme annuel comparable, de 0,72 $MtCO_2$.
L'évolution de la production est donc plus rapide que celle des prélèvements. **Sur la période considérée la dynamique de la forêt française est à l'accroissement du puits de CO_2 dans la biomasse.**

Avec le scénario dynamique, la forêt est aussi un puits de carbone (i.e. la production biologique reste chaque année supérieure aux prélèvements) mais l'intensité du puits se contracte d'année en année. En 2020 la séquestration dans la biomasse s'établit à 65,7 $MtCO_2$, **soit 550 $MtCO_2$ séquestrées entre 2013 et 2020**. La réduction de l'ampleur du puits annuel s'intensifie sur la période 2021-2030 pour atteindre -50,3 $MtCO_2$ en 2030.

La mise en œuvre du scénario dynamique d'offre conduit donc à une réduction de la séquestration de CO_2 dans la biomasse forestière par rapport au scénario tendanciel. Elle est de 41 $MtCO_2$ sur la durée de la seconde période d'engagement 2013-2020, ou -7 %, et de 275 $MtCO_2$ sur 2013-2030.

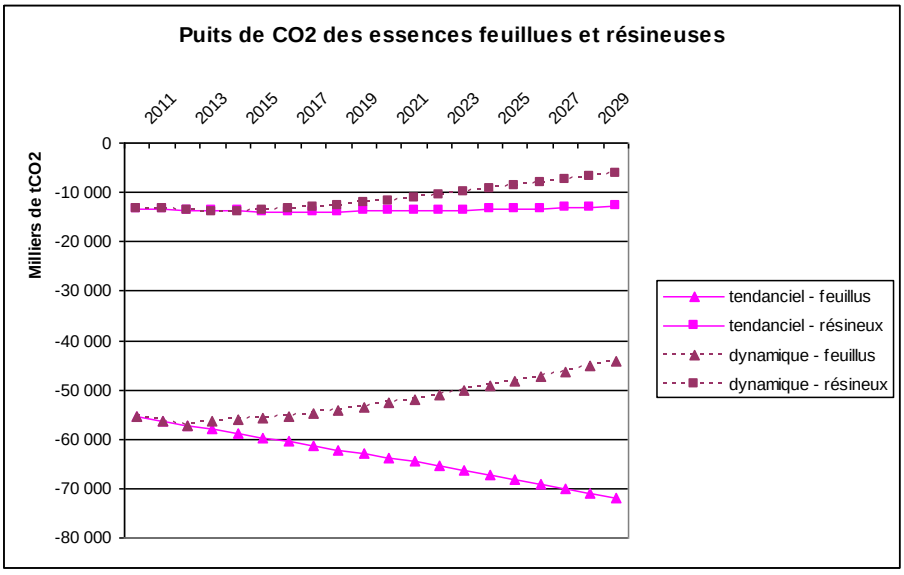
Contribution des groupes d'essences feuillues et résineuses

Les essences feuillues et résineuses contribuent chacune au puits de CO_2, mais de manière sensiblement différente (figure 2). Les feuillus représentent 65 % de la ressource sur pied mais 81 % du puits, car leur taux de prélèvement est nettement inférieur à celui des résineux.

Elles présentent aussi des dynamiques de séquestration de CO_2 très variables. L'accroissement global du puits de CO_2 simulé avec le scénario tendanciel est uniquement dû aux essences feuillues. En effet, le puits dans les essences résineuses est absolument stable sur toute la période, autour de 13,5 $MtCO_2$ /an : l'évolution de la production biologique des résineux est égale à celle des prélèvements, mortalité incluse.

La dynamisation de l'offre accroît les prélèvements et entraine une réduction significative du puits dans les feuillus. En 2020 on relève plus de 9 $MtCO_2$ d'écart entre les scénarios tendanciel et dynamique pour les feuillus. Le puits dans les résineux se contracte également, mais dans une moindre mesure.

Figure 2 : puits de CO_2 dans la biomasse aérienne et racinaire par groupe d'essences



4.2. Stock de bois sur pied en forêt

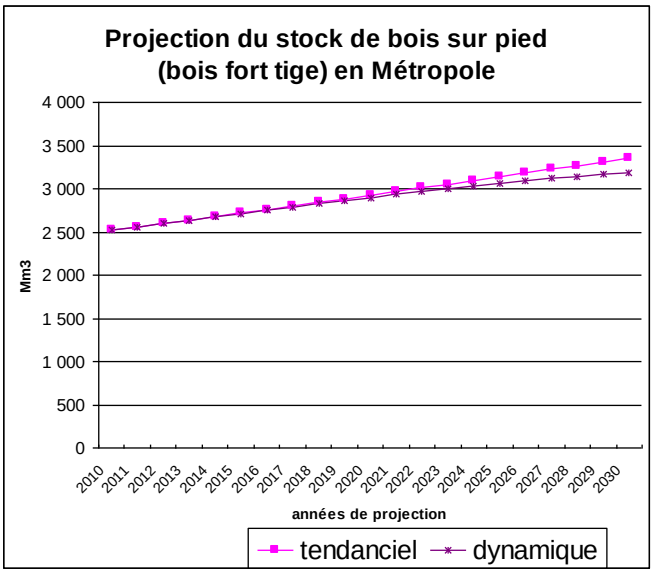
La traduction concrète de la séquestration additionnelle de carbone chaque année dans la biomasse est une hausse continue du **stock de bois sur pied**, et cela pour les deux scénarios.

S'établissant à 40 Mm^3 en 2013 (volume bois fort tige), la capitalisation en forêt est de 42 Mm^3 en 2020 et 45 Mm^3 en 2030 avec le scénario tendanciel. Avec le scénario de gestion sylvicole dynamique elle s'établit à 35 Mm^3 en 2020, puis 24 Mm^3 en 2030.

Tableau 6 : stock de bois sur pied, volume définition IFN

Stock de bois sur pied - peupliers inclus
en millions de m^3 (volume bois fort tige)

	Scénarios d'offre	
Année	**tendanciel**	**dynamique**
2010	2 517	2 517
2011	2 556	2 556
2012	2 596	2 596
2013	**2 636**	**2 636**
2014*	2 676	2 675
2015	2 717	2 714
2016	2 758	2 753
2017	2 799	2 791
2018	2 840	2 828
2019	2 882	2 864
2020	**2 924**	**2 899**
2021	2 966	2 933
2022	3 009	2 966
2023	3 052	2 998
2024	3 094	3 029
2025	3 138	3 059
2026	3 181	3 088
2027	3 225	3 116
2028	3 269	3 142
2029	3 313	3 168
2030	3 358	3 192



** le scénario dynamique est mis en œuvre progressivement à partir de 2014*

Evolution du stock sur pied par catégorie de dimension des bois (hors peupliers)

L'évolution de la ressource sur pied avec le scénario tendanciel montre une croissance soutenue et continue dans toutes les catégories de dimensions (figure 3 et tableau 7), à l'exception unique mais notable des petits bois résineux qui diminuent faiblement. La ressource des moyens bois résineux progresse quant à elle faiblement, et finalement la ressource cumulée des petits et moyens bois résineux (diamètres inférieurs à 50 cm) reste globalement stable sur toute la période. Cela traduit la forte demande dont ces bois font actuellement l'objet en France. Le renouvellement de la ressource résineuse est à surveiller.

La hausse du stock est très significative dans les gros et très gros bois feuillus et résineux. On observe ici l'effet de densification (capitalisation) dans les peuplements installés depuis plusieurs dizaines d'années, et souvent depuis la première moitié du 20ième siècle.

La dynamique de capitalisation du bois sur pied est due à plusieurs facteurs qui s'ajoutent :

- la maturation d'une ressource nouvelle issue de plantation ou d'accrus naturels ;
- la conversion naturelle ou volontaire d'anciens taillis et TSF, soit des évolutions vers des peuplements constitués de bois de gros diamètres ;
- des prélèvements chroniquement inférieurs à la production biologique en lien avec la diversité des comportements des propriétaires forestiers, la morosité de la demande, etc. ;
- des prix actuels du bois insuffisants pour compenser le surcoût d'exploitation des forêts les plus difficiles d'accès (par exemple les peuplements de gros bois résineux en montagne).

Figure 3 : évolution du volume sur pied avec le scénario tendanciel, ventilé par catégorie de dimension et groupe d'essences (hors peupleraie, volumes bois fort tige)

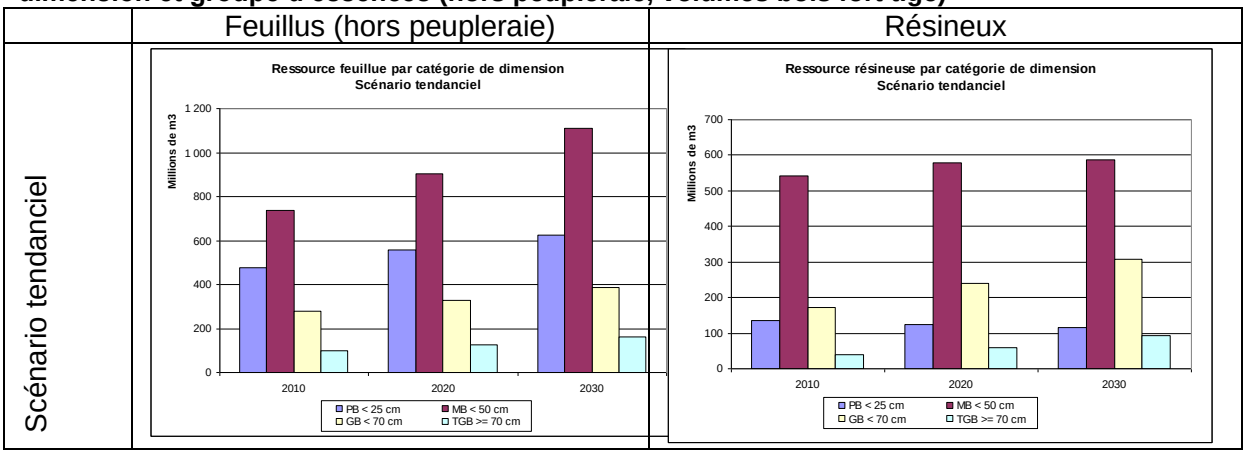
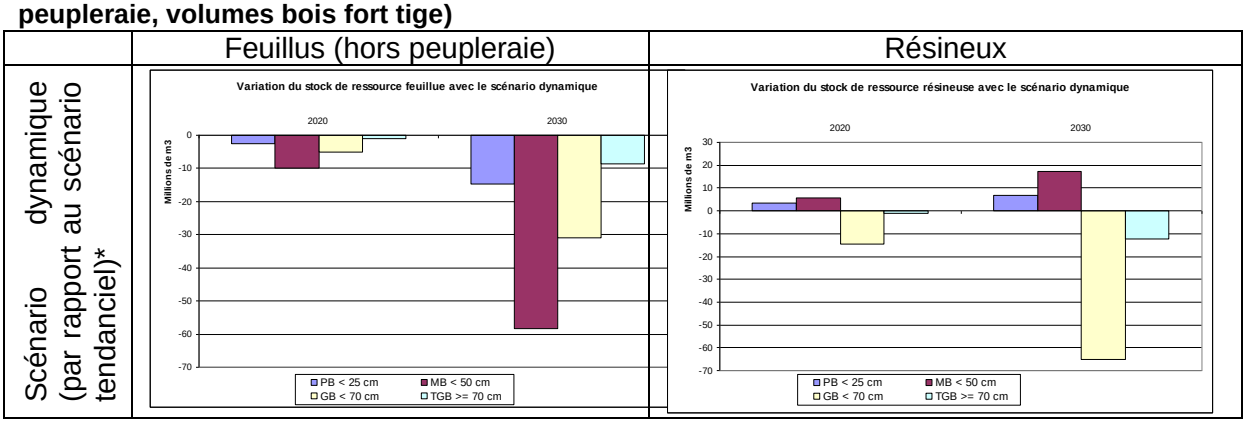


Figure 4 : écart de stock sur pied induit par la mise en œuvre du scénario dynamique par rapport au scénario tendanciel, ventilé par catégorie de dimension et groupe d'essences (hors peupleraie, volumes bois fort tige)



La mise en œuvre du scénario dynamique (figure 4) permet, par rapport au scénario tendanciel, de contenir la hausse du stock sur pied dans tous les compartiments de diamètre chez les feuillus, et surtout dans les catégories petits et moyens bois (dynamisation des coupes de taillis et des éclaircies) et gros bois (coupes d'amélioration et de renouvellement).

La dynamisation de la sylviculture chez les résineux limite significativement la hausse du stock dans les bois de dimension gros et très gros bois (coupes de renouvellement), avec jusqu'à 21 % de stock en moins dans la catégorie gros bois en 2030 par rapport au scénario tendanciel (tableau 7).
La ressource sur pied cumulée des petits et moyens bois résineux est plus importante en revanche avec le scénario dynamique qu'avec le scénario tendanciel (+25 Mm^3 sur pied en 2030). C'est dû aux coupes moins fréquentes dans ces catégories de dimension. En effet, il ne s'agit pas encore d'un effet de la croissance du stock sur pied sur les surfaces reboisées qui sont plus nombreuses du fait des coupes de gros et très gros bois plus importantes, car le pas de temps des projections étant trop court pour cela.
Par contre il s'agit d'un effet de la mise en œuvre avec le scénario dynamique de pratiques sylvicoles visant à la production de BO résineux de qualité. Concrètement les coupes de petits et moyens bois dans le scénario dynamique sont moins fréquentes que dans le scénario tendanciel. C'est notamment le cas sur le massif landais où une ressource BO de pin maritime est en phase de reconstitution. C'est aussi le cas dans les plantations de douglas, épicéas et pins en plaine pour lesquelles le scénario dynamique réalise un peu moins de coupes dans les moyens bois pour permettre la récolte finale de bois de plus gros diamètres.

Tableau 7 : évolution du volume sur pied des groupes d'essences par dimension et scénario (volumes bois fort tige)

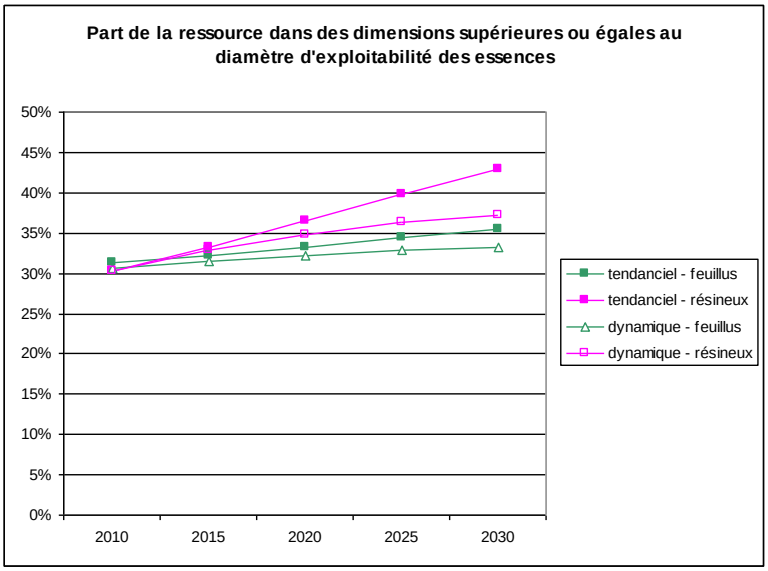
TOTAL	TENDANCIEL			DYNAMIQUE			DYNAMIQUE / TENDANCIEL	
x 1000 m3	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2020	2030
PB < 25 cm	615 228	682 136	742 338	615 228	683 062	734 296	0,1%	-1,1%
MB < 50 cm	1 281 001	1 483 119	1 695 634	1 281 001	1 478 825	1 654 602	-0,3%	-2,4%
GB < 70 cm	451 188	566 522	695 320	451 188	546 798	599 512	-3,5%	-13,8%
TGB >= 70 cm	140 439	187 306	252 576	140 439	185 064	231 674	-1,2%	-8,3%
TOTAL	**2 487 856**	**2 919 083**	**3 385 868**	**2 487 856**	**2 893 749**	**3 220 085**	**-0,9%**	**-4,9%**

FEUILLUS	TENDANCIEL			DYNAMIQUE			DYNAMIQUE / TENDANCIEL	
x 1000 m3	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2020	2030
PB < 25 cm	478 598	559 233	625 964	478 598	556 633	611 231	-0,5%	-2,4%
MB < 50 cm	739 281	904 698	1 109 285	739 281	894 870	1 051 054	-1,1%	-5,2%
GB < 70 cm	278 164	326 804	387 395	278 164	321 746	356 561	-1,5%	-8,0%
TGB >= 70 cm	100 725	126 926	159 971	100 725	125 793	151 233	-0,9%	-5,5%
TOTAL	**1 596 768**	**1 917 661**	**2 282 615**	**1 596 768**	**1 899 041**	**2 170 080**	**-1,0%**	**-4,9%**

RESINEUX	TENDANCIEL			DYNAMIQUE			DYNAMIQUE / TENDANCIEL	
x 1000 m3	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2020	2030
PB < 25 cm	136 629	122 904	116 373	136 629	126 428	123 065	2,9%	5,8%
MB < 50 cm	541 721	578 421	586 350	541 721	583 956	603 548	1,0%	2,9%
GB < 70 cm	173 024	239 718	307 925	173 024	225 052	242 951	-6,1%	-21,1%
TGB >= 70 cm	39 714	60 380	92 605	39 714	59 271	80 441	-1,8%	-13,1%
TOTAL	**891 088**	**1 001 422**	**1 103 253**	**891 088**	**994 707**	**1 050 005**	**-0,7%**	**-4,8%**

En 2010, près du tiers de la ressource sur pied feuillue (hors peupleraie), et autant pour la ressource résineuse, se situe dans des catégories de dimensions supérieures ou égales aux diamètres d'exploitabilités fixés arbitrairement par essence et région pour les besoins de l'étude (figure 5).

Figure 5 : part du volume sur pied dans les catégories de dimension situées à partir du diamètre d'exploitabilité théorique fixé pour l'étude (volumes bois for tige)



Le scénario tendanciel (symboles pleins) conduit à une augmentation sensible de la part de la ressource résineuse (en rose) dans les catégories de dimension supérieures ou égales au diamètre d'exploitabilité. Cette hausse est due à la faiblesse de la demande actuelle pour les gros et très gros bois résineux. Les arbres laissés en forêt continuent de croître et leur volume augmente.
La part des gros et très gros bois feuillus (en vert) dans la ressource totale progresse également, mais de manière plus limitée.

Le scénario dynamique (symboles creux) favorise le renouvellement des essences qui ont atteint ou dépassé leur diamètre d'exploitabilité. Cet effort limite la hausse de la part du volume des gros et très gros bois dans la ressource totale feuillue et résineuse, mais ne parvient toutefois pas à la contenir totalement. L'écart est de -1 point pour les feuillus comme pour les résineux en 2020, mais il atteint -3 points pour les feuillus en 2030, et jusqu'à -6 points pour les résineux.
Malgré un accroissement des volumes prélevés dans ces catégories de dimension, il reste donc un fort effet démographique, de fond, dans le sens d'une évolution de la ressource forestière française vers de plus grandes catégories de diamètre. Cet effet général est accentué dans les régions de montagne difficilement accessibles. On lit également ici la confirmation que le scénario dynamique n'est pas extrême sur les ressources gros et très gros bois à plus forte valeur patrimoniale et environnementale.

Ces évolutions sont l'expression d'une ressource française résineuse composée pour une grande partie de moyens et gros bois, qui arrive ou est déjà à maturité (douglas, épicéas, sapins, pins sylvestres en plaine) et qui est marquée par des prélèvements faibles dans les gros bois.
La ressource française feuillue est quant à elle globalement plus jeune. La part des gros et très gros bois augmente car ces bois sont peu demandés actuellement par les industriels. La ressource progresse également dans les dimensions petits et moyens bois avec la conversion des anciens taillis (charme, châtaignier, chêne pédonculé) et l'émergence de nouvelles ressources feuillues dans le sud, en zone méditerranéenne (frêne, chênes pubescent, chêne vert, bouleau, etc.) et dans les régions de montagne (frêne, hêtre, etc.).

4.3. Production biologique brute

La production biologique brute est évaluée à 90,2 Mm^3 en 2010, dont 35,7 Mm^3 ou 40 % chez les résineux (tableau 8).

La production brute progresse sur toute la période avec le scénario tendanciel, pour atteindre 99 Mm^3 en 2020 (volume bois fort tige) et 108 Mm^3 en 2030 soit un gain de 18,2 Mm^3 en 20 ans (+ 1 % par an en moyenne). Cette hausse est la combinaison d'un taux de prélèvement chroniquement faible en France et d'un puissant effet démographique provoqué par l'émergence d'une nouvelle ressource forestière notamment feuillue. Les arbres grossissent et la production totale s'accroît au niveau national.
Le taux de progression décroit cependant tendanciellement au cours du temps (figure 6). Ce ralentissement de la croissance est en lien avec l'évolution moyenne de la ressource vers des diamètres de plus en plus élevés dont la productivité unitaire décroît.
Pour mémoire, les modélisations n'intègrent aucun effet, qu'il soit positif ou négatif, lié aux modifications du climat ou plus généralement des conditions du milieu.

Tableau 8 : production biologique brute

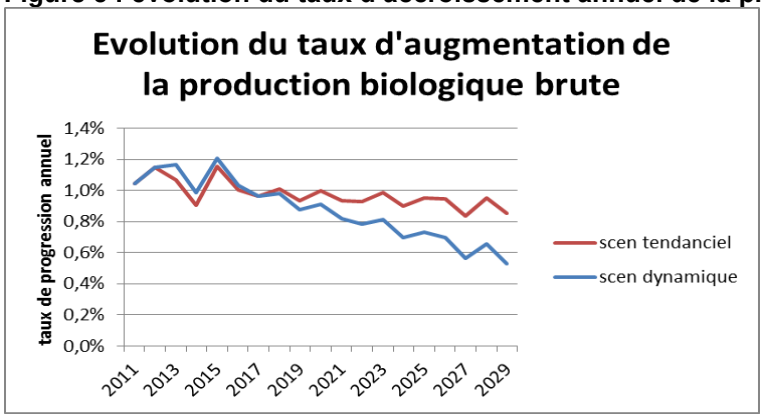
Production biologique, peupliers inclus
en millions de m^3 par an (volumes bois fort tige)

Année	Scénarios d'offre			
	tendanciel		dynamique	
	Total	Dont résineux	Total	Dont résineux
2011	90,2	35,7	90,2	35,7
2012	91,1	35,9	91,1	35,9
2013	92,2	36,0	92,2	36,0
2014*	93,2	36,2	93,3	36,3
2015	94,0	36,4	94,2	36,6
2016	95,1	36,5	95,3	36,8
2017	96,1	36,7	96,3	37,1
2018	97,0	36,8	97,2	37,3
2019	98,0	36,9	98,2	37,5
2020	98,9	37,1	99,0	37,6
2021	99,9	37,2	99,9	37,8
2022	100,8	37,3	100,8	38,0
2023	101,7	37,4	101,6	38,1
2024	102,7	37,5	102,4	38,2
2025	103,6	37,6	103,1	38,3
2026	104,6	37,7	103,9	38,3
2027	105,6	37,8	104,6	38,4
2028	106,5	37,9	105,2	38,4
2029	107,5	38,0	105,8	38,4
2030	108,4	38,0	106,4	38,4

** le scénario dynamique est mis en œuvre progressivement à partir de 2014*

La dynamique d'évolution de la production biologique brute est comparable avec le scénario dynamique. La production en 2020 est équivalente dans les deux scénarios. Elle progresse en revanche moins vite avec le scénario dynamique sur la période 2021-2030 (figure 6) pour atteindre 106,4 Mm^3 en 2030, soit 1,8 % de moins qu'avec le scénario tendanciel.

Figure 6 : évolution du taux d'accroissement annuel de la production biologique



L'évolution constatée sur la dernière période avec le scénario dynamique est le résultat de deux tendances inverses, qui s'interprètent au regard de l'évolution des stocks sur pied par classe de dimensions (figures 3 et 4), à savoir :

- Un ralentissement de l'augmentation de la production biologique brute chez les feuillus, du fait de la réalisation de coupes plus fréquentes dans toutes les catégories de dimension entrainant une réduction du stock sur pied dans chaque classe par rapport au scénario tendanciel, et surtout dans les catégories moyens bois et dans les premières classes de la catégorie gros bois qui sont fortement productives ;
- Une stabilité de la production biologique brute chez les résineux, du fait de la progression de la ressource sur pied dans les catégories petits et moyen bois (diamètres < 50 cm) et de dynamiques de maturation de la ressource en gros bois largement en cours dans les forêts en production (douglasaies, pessières) et dans les zones de montagne difficiles d'accès.

Il ressort qu'à court terme la valeur de la production biologique brute est relativement peu sensible à celle des prélèvements. Cela est dû au fait que la ressource feuillue française est globalement jeune et en croissance, avec des peuplements en conversion vers des régimes hébergeant des gros bois. Il y a donc une tendance générale, de fond, à la maturation de la ressource. La forêt française est capable de supporter des prélèvements accrus dans un contexte de gestion durable.
Finalement la valeur estimée du puits de CO_2 dans le futur est davantage sensible à l'intensité des prélèvements annuels qu'au chiffre de production biologique.

4.4. Disponibilités en bois (prélèvements)

La différence des niveaux de puits entre les deux scénarios est bien sûr étroitement liée à une hausse des prélèvements de bois plus importante dans le scénario dynamique.

Les résultats présentés dans le tableau 9 et la figure 7 concernent des volumes bois fort tige, avant réfaction pour tenir compte des pertes en exploitation.
Les disponibilités en volume total aérien potentiellement mobilisable et les volumes perdus lors de l'exploitation sont présentées plus loin dans ce chapitre (tableau 10).

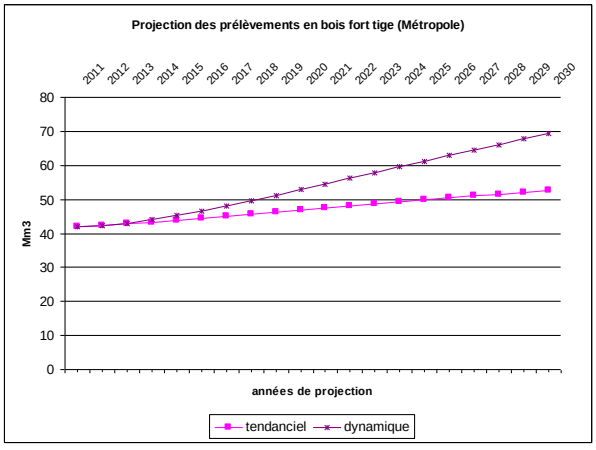
Tableau 9 : disponibilités en bois en volume bois fort tige

Disponibilités en bois, peupliers inclus
en millions de m^3 par an (volumes bois fort tige)

Année	Scénarios d'offre			
	tendanciel		dynamique	
	Total	dont résineux	total	dont résineux
2011	42,0	21,1	42,0	21,1
2012	42,3	21,2	42,3	21,2
2013	**42,8**	**21,3**	**42,8**	**21,3**
2014*	43,3	21,4	44,1	30,7
2015	43,8	21,6	45,3	30,6
2016	44,4	21,7	46,7	30,5
2017	45,0	21,9	48,2	30,4
2018	45,6	22,1	49,7	30,4
2019	46,2	22,3	51,2	30,4
2020	**46,8**	**22,5**	**52,9**	**30,4**
2021	47,4	22,7	54,5	30,5
2022	48,0	22,9	56,2	30,5
2023	48,6	23,1	57,8	30,6
2024	49,3	23,4	59,6	30,7
2025	49,9	23,6	61,3	30,8
2026	50,4	23,8	62,9	30,9
2027	51,0	24,0	64,6	31,0
2028	51,4	24,2	66,2	31,1
2029	52,0	24,4	67,9	31,2
2030	52,5	24,6	69,4	31,4

** le scénario dynamique est mis en œuvre progressivement à partir de 2014*

Figure 7 : disponibilités en bois selon les scénarios, volume bois fort tige



La poursuite des pratiques actuelles de gestion permet d'offrir 4,8 Mm^3 supplémentaires (bois fort tige) en 2020 par rapport à 2011, soit +11 %. Le potentiel atteint +10,5 Mm^3 en 2030, soit une hausse de 25 % par rapport à 2011.
La mise en œuvre du scénario dynamique permet de mobiliser 6,1 Mm^3 de plus que le scénario tendanciel en 2020 (soit +26 % par rapport à 2011), et ce chiffre s'accroît puisqu'il dépasse 10 Mm^3 en 2024, et atteint 17 Mm^3 en 2030 (soit +65 % par rapport à 2011).

Volumes potentiellement mobilisables

Le **volume total potentiellement mobilisable** inclut les tiges, les branches et les menus bois, mais exclue les pertes d'exploitation aériennes et les racines.

Le volume total aérien des arbres prélevés est évalué par l'IGN à 61,4 Mm^3 en 2013. Les estimations IGN de prélèvement ont un intervalle de confiance voisin de 10 %.

En 2020 le volume potentiellement mobilisable est proche de 58 Mm^3 avec le scénario tendanciel et de 66 Mm^3 avec le scénario dynamique (tableau 10). Par rapport aux prélèvements estimés en 2011, le scénario dynamique permet donc de mobiliser 13,8 Mm^3 supplémentaires en 2020 (+27 %), contre 6,1 Mm^3 avec le scénario tendanciel (+12 %).

Tableau 10 : disponibilité en volume total aérien, peupliers inclus

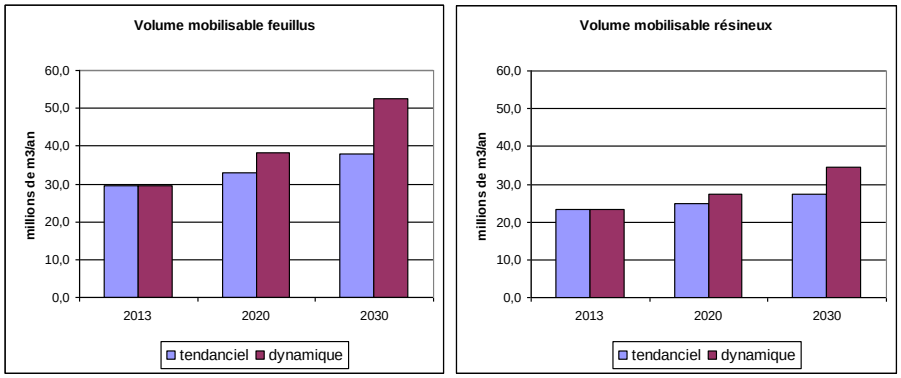
Disponibilité en volume total aérien, peupliers inclus **-** en millions de m^3 par an

Année	Scénario d'offre tendanciel			Scénario d'offre dynamique		
	Potentiellement mobilisable	Pertes d'exploitation	**Prélèvement total aérien**	Potentiellement mobilisable	Pertes d'exploitation	**Prélèvement total aérien**
2011	51,8	8,4	**60,2**	51,8	8,4	**60,2**
2012	52,2	8,4	**60,6**	52,2	8,4	**60,6**
2013	52,9	8,5	**61,4**	52,9	8,5	**61,4**
2014*	53,5	8,6	**62,1**	54,5	8,8	**63,3**
2015	54,1	8,7	**62,8**	56,0	9,0	**65,0**
2016	54,8	8,8	**63,6**	57,8	9,3	**67,1**
2017	55,6	9,0	**64,6**	59,7	9,6	**69,3**
2018	56,3	9,1	**65,4**	61,6	9,9	**71,5**
2019	57,1	9,2	**66,3**	63,5	10,2	**73,7**
2020	**57,9**	**9,3**	**67,2**	**65,6**	**10,6**	**76,2**
2021	58,6	9,4	**68,0**	67,7	10,9	**78,6**
2022	59,4	9,6	**69,0**	69,8	11,3	**81,1**
2023	60,2	9,7	**69,9**	71,9	11,6	**83,5**
2024	61,0	9,8	**70,8**	74,1	12,0	**86,1**
2025	61,7	9,9	**71,6**	76,3	12,3	**88,6**
2026	62,4	10,0	**72,4**	78,4	12,7	**91,1**
2027	63,2	10,2	**73,4**	80,7	13,0	**93,7**
2028	63,8	10,3	**74,1**	82,7	13,4	**96,1**
2029	64,6	10,4	**75,0**	84,9	13,7	**98,6**
2030	65,3	10,5	**75,8**	87,0	14,1	**101,1**

** le scénario dynamique est mis en œuvre progressivement à partir de 2014*

Les feuillus sont les premiers contributeurs (55 %) au volume mobilisable en 2011. Ils sont aussi les plus sollicités pour des nouveaux prélèvements, puisqu'ils représentent 58 % de la disponibilité totale en 2030 avec le scénario tendanciel, et jusqu'à 60 % avec le scénario dynamique (figure 8 et annexe 4). La ressource feuillue française est une ressource en expansion et globalement peu exploitée, alors que la ressource résineuse est globalement plus mûre et davantage exploitée, notamment dans les dimensions moyens bois.

Figure 8 : évolution des volumes mobilisables selon le groupe d'essences, peupliers inclus



Disponibilités par catégorie de dimension des tiges

Chez les feuillus le scénario tendanciel permet de prélever davantage de bois dans toutes les catégories de dimension (figure 9 et tableau 11), et notamment des moyens bois de diamètre compris entre 25 et 50 cm. La répartition entre les catégories de dimension reste inchangée au cours du temps chez les feuillus.

La mise en œuvre du scénario dynamique chez les feuillus permet de mobiliser plus de bois de toutes les dimensions, avec une contribution des plus gros diamètres aux nouvelles disponibilités feuillues de plus en plus prononcée. Ainsi la part des petits bois de moins de 25 cm de diamètre chute de 29% en 2010 à 25% en 2030 avec le scénario dynamique.

Chez les résineux la disponibilité en bois est majoritairement constituée de moyens bois de diamètre compris entre 25 et 50 cm, avec 60% en 2010 (figure 9 et tableau 11). En 2020, le scénario tendanciel permet de maintenir le niveau total des disponibilités, avec une contraction toutefois du volume des petits bois et une progression faible des gros bois. Cette tendance se poursuit et en 2030 la contribution des gros et très gros bois résineux atteint 38% contre 26% en 2010.

Le scénario dynamique ne modifie pas significativement les volumes disponibles de bois de diamètre inférieur à 50 cm. Cette ressource fait actuellement l'objet d'une forte demande. En revanche, la mise en œuvre du scénario dynamique permet de libérer des volumes importants de gros et très gros bois : ils représentent autant que les moyens bois en 2030.

Figure 9 : disponibilités par groupe d'essence et catégories de dimension des bois (volumes bois fort tige)

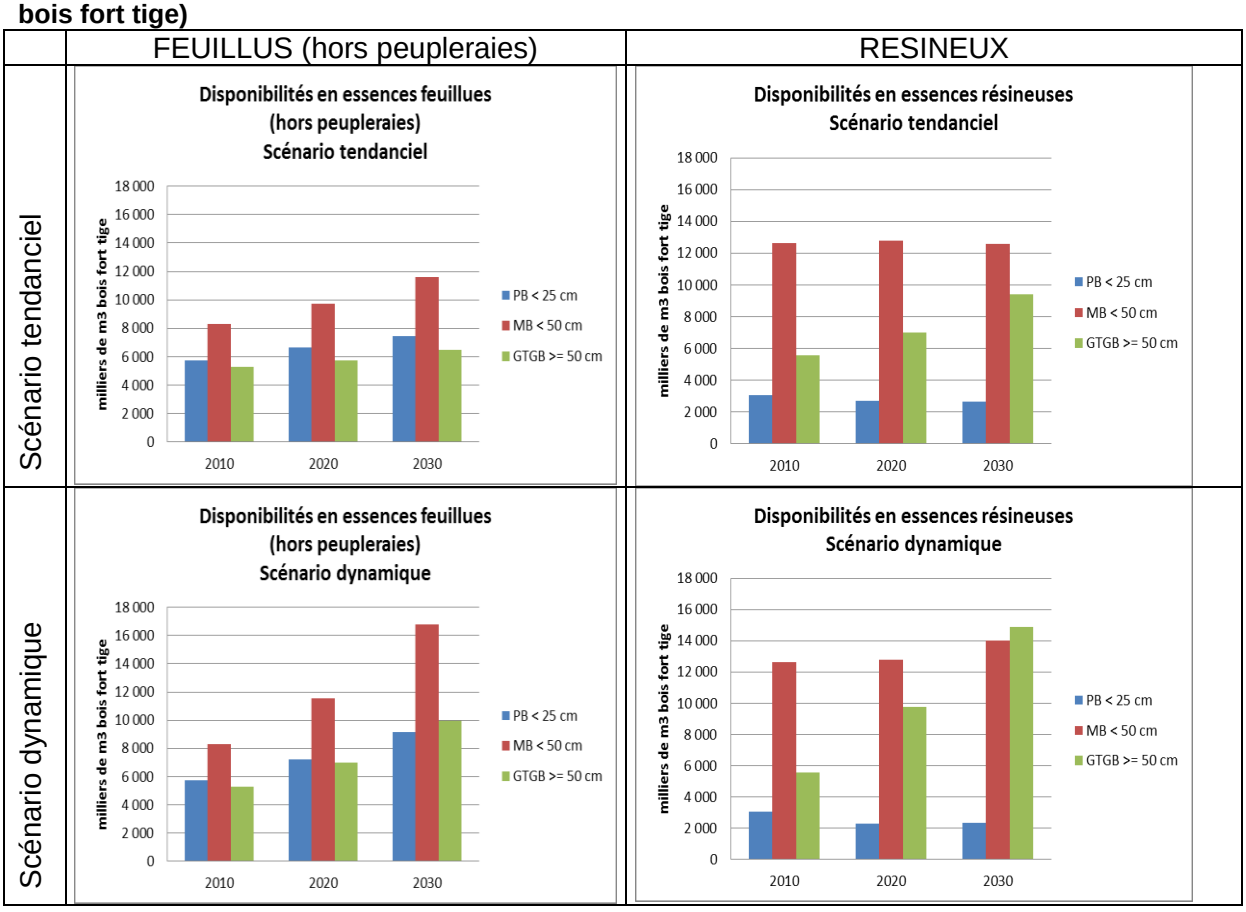


Tableau 11 : disponibilité par groupe d'essence et catégories de dimension des bois (volumes bois fort tige)

TOTAL	TENDANCIEL			DYNAMIQUE			DYNAMIQUE / TENDANCIEL	
x 1000 m3	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2020	2030
PB < 25 cm	8 795	9 371	10 070	8 795	9 499	11 445	1,4%	13,7%
MB < 50 cm	20 945	22 508	24 179	20 945	24 348	30 777	8,2%	27,3%
GTGB >= 50 cm	10 830	12 696	15 904	10 830	16 753	24 827	32,0%	56,1%
TOTAL	**40 570**	**44 575**	**50 153**	**40 570**	**50 600**	**67 050**	**13,5%**	**33,7%**

FEUILLUS	TENDANCIEL			DYNAMIQUE			DYNAMIQUE / TENDANCIEL	
x 1000 m3	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2020	2030
PB < 25 cm	5 754	6 654	7 448	5 754	7 225	9 130	8,6%	22,6%
MB < 50 cm	8 315	9 704	11 599	8 315	11 552	16 781	19,0%	44,7%
GTGB >= 50 cm	5 290	5 707	6 480	5 290	6 992	9 933	22,5%	53,3%
TOTAL	**19 359**	**22 065**	**25 527**	**19 359**	**25 769**	**35 844**	**16,8%**	**40,4%**

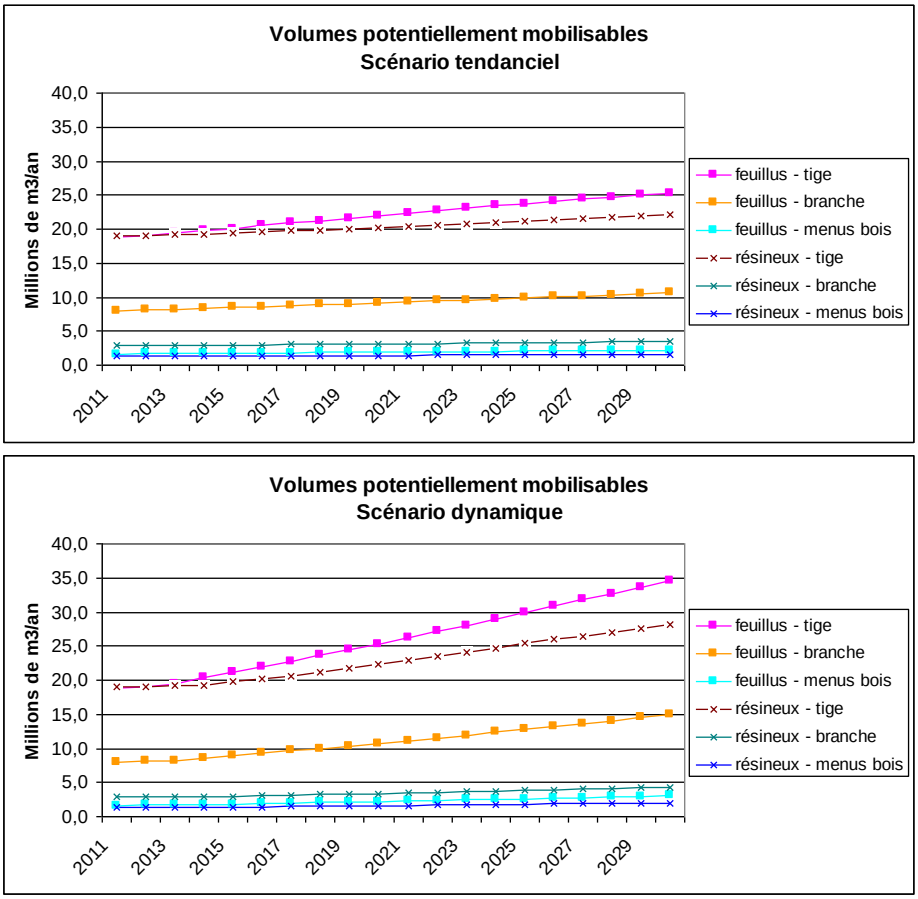
RESINEUX	TENDANCIEL			DYNAMIQUE			DYNAMIQUE / TENDANCIEL	
x 1000 m3	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2020	2030
PB < 25 cm	3 041	2 717	2 623	3 041	2 274	2 315	-16,3%	-11,7%
MB < 50 cm	12 630	12 804	12 580	12 630	12 796	13 997	-0,1%	11,3%
GTGB >= 50 cm	5 540	6 989	9 424	5 540	9 761	14 894	39,7%	58,0%
TOTAL	**21 211**	**22 510**	**24 626**	**21 211**	**24 831**	**31 206**	**10,3%**	**26,7%**

** Peupliers exclus*

Volumes potentiellement mobilisables selon les compartiments dans l'arbre

La figure 10 détaille, pour le scénario tendanciel (en haut) puis pour le scénario dynamique (en bas), les volumes potentiellement mobilisables selon le groupe d'essence feuillus ou résineux et le compartiment dans l'arbre. Les chiffres sont donnés en annexe 4.

Figure 10 : volumes disponibles selon les compartiments de l'arbre, peupliers inclus



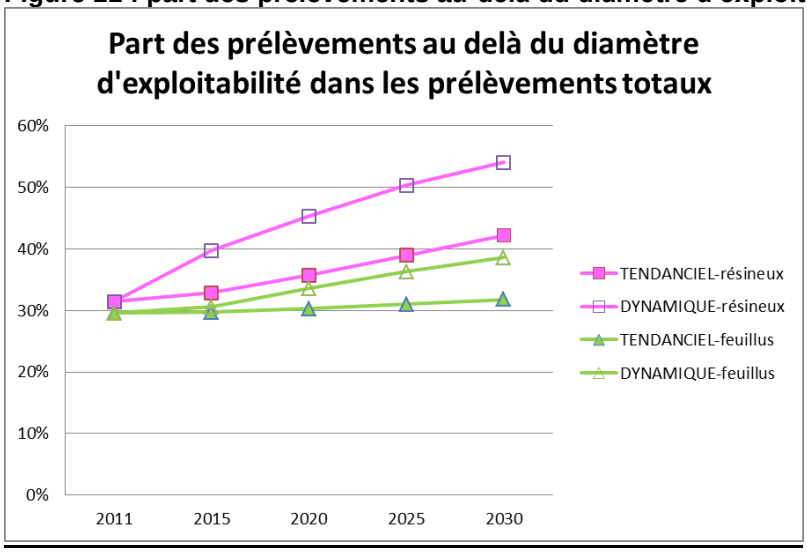
Les tiges représentent 73 % de la disponibilité en bois en 2011, et les branches représentent 21 % dont 15 % pour les essences feuillues qui sont plus fréquentes et plus branchues. Au

cours du temps, la disponibilité des branches augmente un peu plus vite que celle des tiges, en lien avec la contribution plus importante des essences feuillues aux prélèvements.
Les menus bois feuillus et résineux représentent 6 % de la disponibilité totale en 2011. Cette proportion n'est pas modifiée au cours de la période de projection.
Avec le scénario tendanciel, la disponibilité en tiges et branches feuillues augmente de 4,3 Mm^3 par an entre les années 2011 et 2020 (dont 3,2 Mm^3 de tiges), contre seulement 1,5 Mm^3 pour les résineux (dont 1,3 Mm^3 de tiges).
Le volume des tiges résineuses potentiellement mobilisables est supérieur de 3,3 Mm^3 avec le scénario dynamique en 2020 par rapport à 2011. Cette mobilisation additionnelle libère directement 0,5 Mm^3 de branches et de 0,2 Mm^3 de menus bois supplémentaires liés.
Le potentiel de prélèvement supplémentaire de tiges feuillues à l'horizon 2020 est le double de celui des résineux, avec 6,5 Mm^3. A cette hausse s'ajoute 2,7 Mm^3 de branches potentiellement récoltables liées, et 0,6 Mm^3 de menus bois liés.
Le volume de menus bois potentiellement mobilisable en 2011 est estimé à 3 Mm^3. Il atteint 3,4 Mm^3 en 2020 avec le scénario tendanciel, et 3,8 Mm^3 avec le scénario dynamique. Ces estimations de disponibilités restent des maximums car elles ne tiennent pas compte de la richesse chimique des sols.

Part des prélèvements au-delà du diamètre d'exploitabilité dans les prélèvements totaux

La part des classes de diamètre situées à partir et au-delà du diamètre d'exploitabilité dans le volume total prélevé progresse avec les deux scénarios pour les deux groupes d'essences. L'augmentation est toutefois sensiblement plus forte avec le scénario dynamique, et notamment chez les résineux où les coupes de gros et très gros bois représentent plus de 50 % du total en 2030.

Figure 11 : part des prélèvements au-delà du diamètre d'exploitabilité



Avec les nouvelles mesures de l'IGN sur les prélèvements, on peut calculer une durée théorique de renouvellement de cette ressource si les pratiques actuelles étaient maintenues. Par exemple, si 10 % de la ressource située au-delà du diamètre d'exploitabilité est coupée chaque année, il faut 10 ans (1 / 10%) pour renouveler l'ensemble de ce stock.

Cette durée est actuellement de 85 ans chez les feuillus et de 38 ans chez les résineux, soit des durées longues.
La durée de renouvellement est réduite dans le scénario dynamique, en moyenne de 20 % à l'horizon 2020, et de 40 % à l'horizon 2030. Concrètement cela signifie que les taux de coupe sont augmentés progressivement dans ces catégories de diamètre, pour permettre à la ressource globale de se rapprocher de l'optimum sylvicole. Ces réductions représentent un effort substantiel mais progressif pour conserver un scénario réaliste.

Localisation des disponibilités en bois

L'évolution des disponibilités dans le temps (ici en volume bois fort tige, hors peupleraies) varie fortement selon la zone géographique.

Avec le scénario tendanciel (tableau 12), les disponibilités progressent dans la moitié nord du pays pour les feuillus, et dans la zone océanique sud constituée du grand Sud-Ouest et du Massif Central pour les résineux. Le bassin historique de production de bois résineux des moyennes montagnes de l'Est du pays a une disponibilité globalement stable dans le temps car le taux de prélèvement y est déjà élevé (cf. chapitre 4.5).

Tableau 12 : disponibilités par zone, groupe d'essences et période, scénario tendanciel

Scénario Tendanciel Volumes bois fort tige	Feuillus, hors peupleraies						résineux					
	2010		2016-2020		2026-2030		2010		2016-2020		2026-2030	
Zones	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part
continental	7,6	39%	8,2	38%	9,3	38%	6,0	28%	6,1	28%	6,5	27%
haute montagne	0,5	3%	0,5	2%	0,6	2%	1,3	6%	1,4	6%	1,6	7%
massif landais	0,4	2%	0,4	2%	0,5	2%	4,5	21%	4,4	20%	4,5	19%
mediterranéen	0,2	1%	0,2	1%	0,2	1%	0,4	2%	0,4	2%	0,4	2%
oceanique nord	7,0	36%	7,7	36%	9,0	36%	2,7	13%	2,9	13%	3,2	13%
oceanique sud	3,7	19%	4,2	20%	5,0	20%	6,1	29%	6,7	30%	7,6	31%
forêt ouverte+réserves	0,1	1%	0,1	0%	0,2	1%	0,2	1%	0,3	1%	0,3	1%
Total	**19,4**	**100%**	**21,4**	**100%**	**24,8**	**100%**	**21,1**	**100%**	**22,1**	**100%**	**24,2**	**100%**

Avec le scénario dynamique (tableau 13), la part des feuillus de la zone océanique sud (Aquitaine, Midi-Pyrénées, grand massif central, causses, etc.) progresse fortement, et dans une moindre mesure celle des hautes-montagnes mais les volumes concernés y restent limités. La zone continentale perd son statut de premier bassin feuillu national sur la fin de la période, au profit de la zone océanique nord.

Chez les résineux, la contribution de la grande région Sud à l'ouest et dans le centre progresse également. Le massif landais est stable autour de 4,5 Mm^3 par an (contre 8 Mm^3 avant Klaus).

Les prélèvements en zone méditerranéenne restent très limités, en feuillus comme en résineux.

Tableau 13 : disponibilités par zone, groupe d'essences et période, scénario dynamique

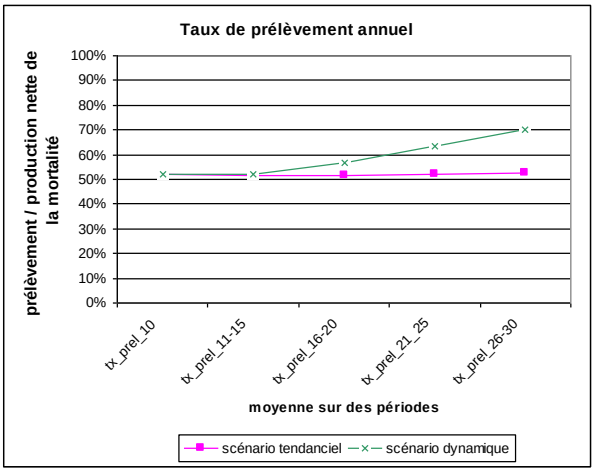
Scénario Dynamique Volumes bois fort tige	Feuillus, hors peupleraies						résineux					
	2010		2016-2020		2026-2030		2010		2016-2020		2026-2030	
Zones	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part	Mm^3/an	part
continental	7,6	39%	8,6	36%	10,5	31%	6,0	28%	6,4	27%	7,4	25%
haute montagne	0,5	3%	0,8	3%	1,7	5%	1,3	6%	1,6	7%	2,2	7%
massif landais	0,4	2%	0,7	3%	0,8	2%	4,5	21%	4,0	17%	4,4	15%
mediterranéen	0,2	1%	0,2	1%	0,4	1%	0,4	2%	0,4	2%	0,6	2%
oceanique nord	7,0	36%	8,6	36%	12	36%	2,7	13%	3,3	14%	4,6	15%
oceanique sud	3,7	19%	5,1	21%	8,0	24%	6,1	29%	7,5	32%	10,5	35%
forêt ouverte+réserves	0,1	1%	0,1	0%	0,2	1%	0,2	1%	0,3	1%	0,3	1%
Total	**19,4**	**100%**	**24,1**	**100%**	**33,7**	**100%**	**21,1**	**100%**	**23,6**	**100%**	**30,0**	**100%**

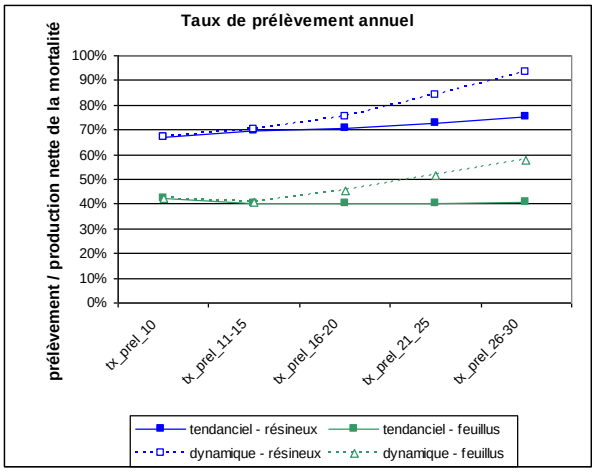
4.5. Taux de prélèvement de la biomasse

Le **taux de prélèvement** est le rapport entre le prélèvement et la production biologique nette de la mortalité, soit la production effectivement disponible. Il peut être calculé pour toutes les années des projections. Quand il est inférieur à 100 % la forêt séquestre du carbone et le stock sur pied en forêt s'accroît.

Le **taux de prélèvement national moyen toutes essences** est estimé en 2010 par l'IGN à 52 % (volume bois fort tige, hors peupleraies).
La valeur de ce taux est constante sur toute la période avec le scénario tendanciel. La hausse du puits constatée avec ce scénario est liée aux augmentations avec les mêmes cinétiques de la production biologique et des prélèvements. L'écart s'accroit en valeur absolue et le puits de CO_2 se renforce.
En revanche, le taux de prélèvement augmente progressivement avec le scénario dynamique, d'abord pour s'établir à 60 % en moyenne en 2020 puis plus vite au-delà pour atteindre 70 % en moyenne sur les années 2026 à 2030 (figure 12). Les prélèvements s'accroissent plus vite que la production biologique qui s'accroît elle aussi. La forêt reste un puits mais son intensité diminue au fur et à mesure.

Figure 12 (gauche) : taux de prélèvement moyen par scénario, hors peupliers
Figure 13 (droite) : taux de prélèvement moyen par scénario et groupe d'essences, hors peupliers





Le taux de prélèvement sur la ressource résineuse est initialement plus fort (67 %) que dans la ressource feuillue (42 %, hors peupleraie). Il s'accroît significativement avec le scénario dynamique pour atteindre environ 80 % en 2020, et jusqu'à 93 % en moyenne sur les années 2026-2030 (figure 13). L'augmentation du taux de prélèvement chez les résineux est liée aux prélèvements accrus dans les gros et très gros diamètres à renouveler, alors que dans le même temps l'augmentation de la ressource dans les dimensions petits bois ne contribue encore que faiblement à la production totale.

Le taux de prélèvement progresse aussi très sensiblement chez les feuillus, puisqu'il est voisin de 50 % en 2020 (soit + 8 points par rapport à 2011) et qu'il atteint 58 % en moyenne sur les années 2026-2030.

Le taux de prélèvement estimé avec chaque scénario est ventilé par zone géographique et groupe d'essences (figures 14, 15 et 16).

Figure 14 : taux de prélèvement par scénario et zone géographique, toutes essences, hors peupliers

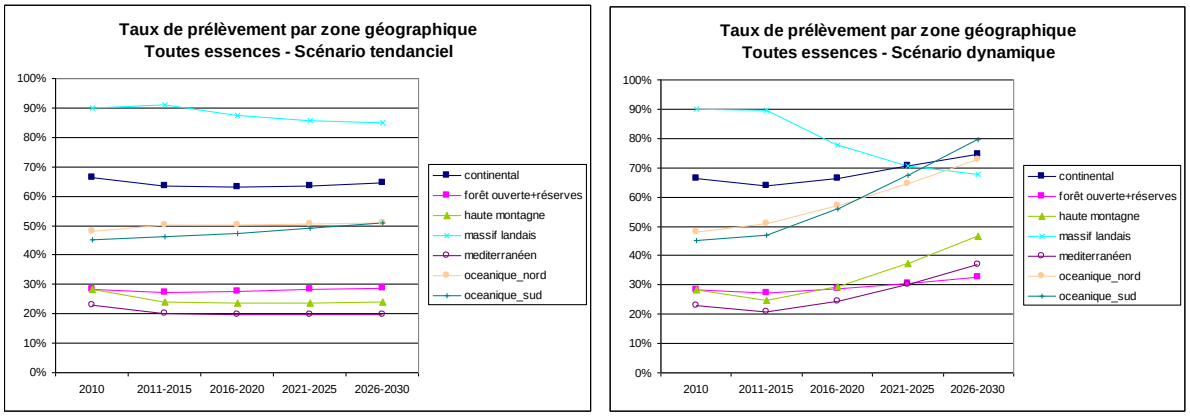


Figure 15 : taux de prélèvement par scénario et zone géographique, feuillus (hors peupliers)

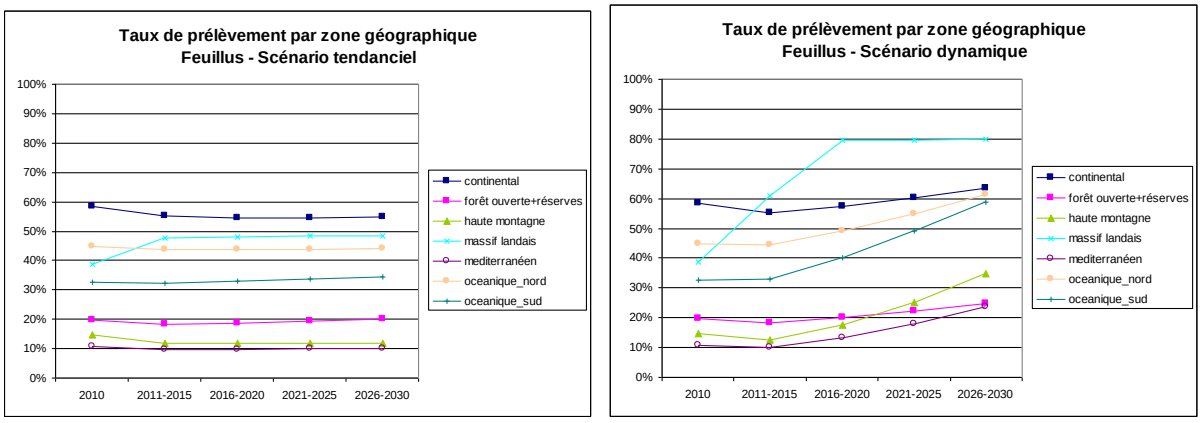
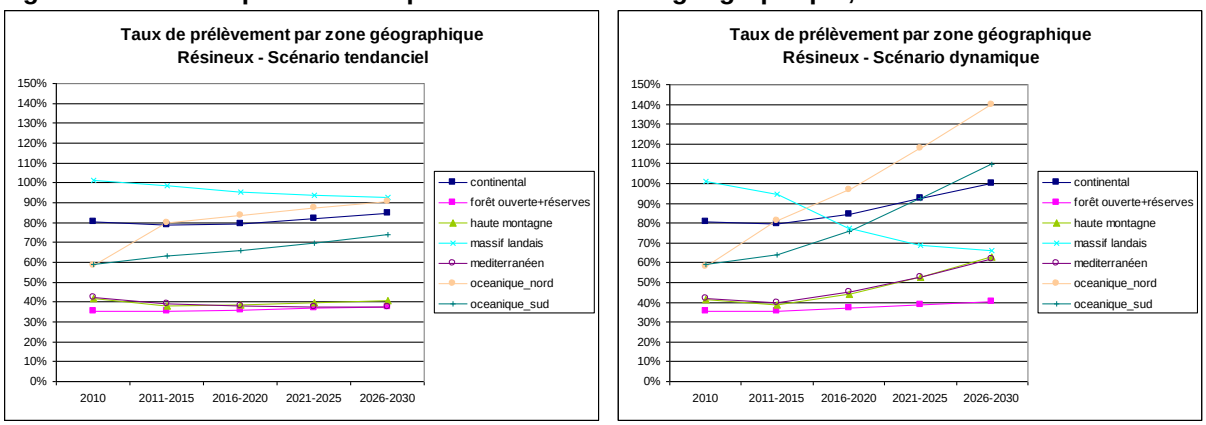


Figure 16 : taux de prélèvement par scénario et zone géographique, résineux



L'évolution des taux de prélèvement par zone et essence est à interpréter au regard des volumes de disponibilité effectivement concernés (cf. tableaux 12 et 13), car des taux fortement volatiles peuvent être le fait d'évolutions faibles voire très faibles en volume.

5. Cohérence des projections avec les données historiques

5.1. Cohérence avec les données IFN historiques

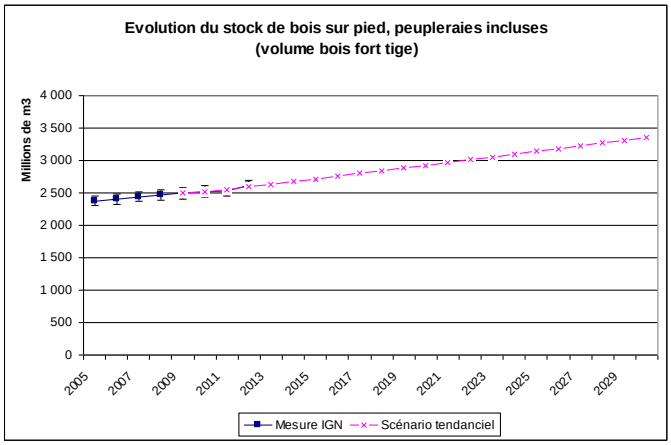
Les résultats des projections sont mis en perspective avec les données de l'inventaire forestier national de l'IGN des années 2005 à 2012, lesquelles ont servie pour tout ou partie à la calibration des modèles (années 2008 à 2012 pour le stock sur pied et la croissance et années 2005 à 2007 pour les prélèvements).

Evolution du volume de bois sur pied, peupliers inclus (volume bois fort tige)

Le volume sur pied projeté peut être mis en relation des résultats des 8 campagnes annuelles d'inventaire 2005 à 2012. L'IGN observe une évolution continue à la hausse sur la période.

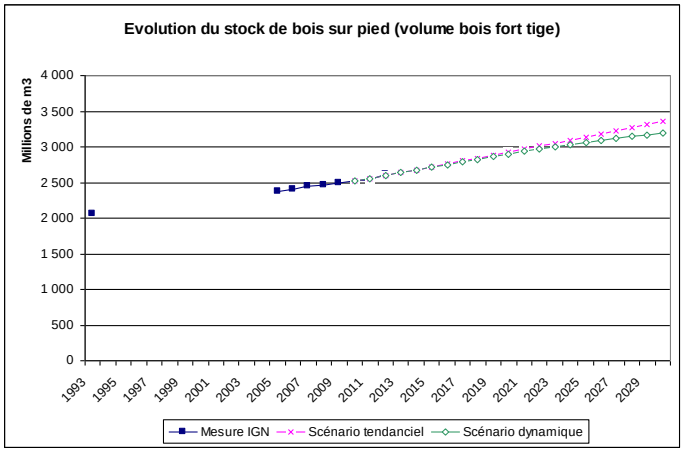
Les projections sont cohérentes avec les données récentes qui ont servies de calibration.

Figure 17 : validation du stock sur pied



La comparaison avec des données plus anciennes de l'IFN confirme cette cohérence sur la période 1993-2012. A noter que les mesures des années 2005 à 2012 sont affectées par les tempêtes Martin et Lothar de 1999 et Klaus de 2009 qui à elles trois réunies ont mis à terre plus de 180 Mm^3, qui n'étaient donc plus en production et ont donc contribué à freiner la progression du stock sur pied.

Figure 18 : validation du stock sur pied depuis 1993

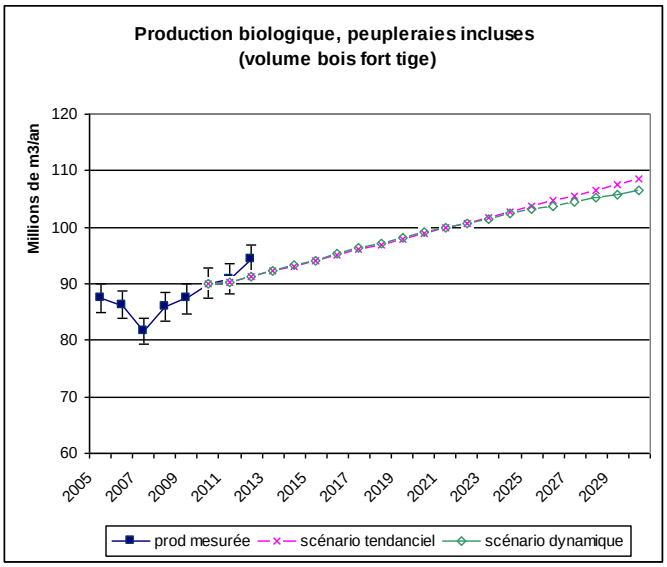


Evolution de la production biologique

La production biologique brute estimée par l'IGN s'établit autour de 88 Mm^3/an. Elle a cru de **1,2 Mm^3/an** en moyenne sur la période 2000-2011, avec des variations annuelles marquées liées à la prise en compte ou non des années de sécheresse 2003 et 2005 selon les échantillons (la production biologique rapportée l'année N fait référence à la croissance des années N-5 à N-1).

La production simulée est cohérente avec les données IFN historiques, à la fois sur le niveau initial, sur la tendance et sur la pente moyenne.

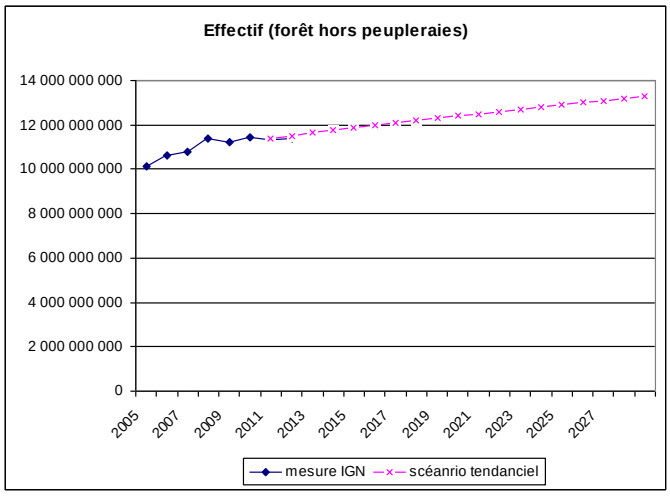
Figure 19 : validation de l'estimation de la production biologique



Evolution du nombre de tiges (hors peupleraie)

La validation est également réalisée sur l'évolution du nombre de tiges simulées avec le scénario tendanciel (hors peupleraies, dont la ressource a été projetée par classe d'âge).

Figure 20 : validation de l'effectif en nombre de tiges

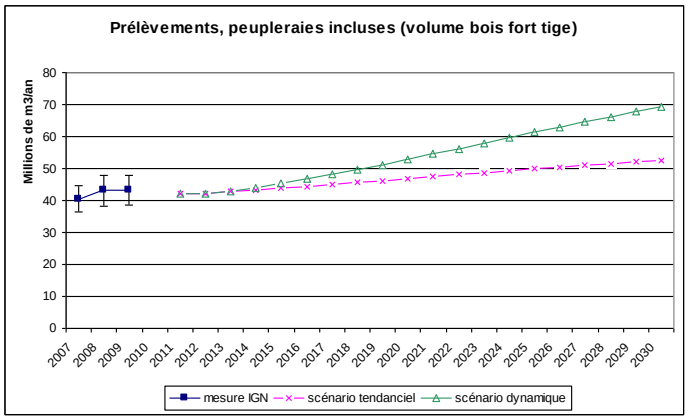


Evolution des prélèvements

Les estimations de prélèvements (volume bois fort tige, sans prise en compte des pertes d'exploitation) sont également compatibles avec les observations récentes de l'IGN, hors récolte de chablis Klaus de 2009.

Les mesures IGN concernent des moyennes sur 5 campagnes annuelles : par exemple le chiffre affiché en 2007 est la moyenne des prélèvements réalisés sur la période 2005-2009.

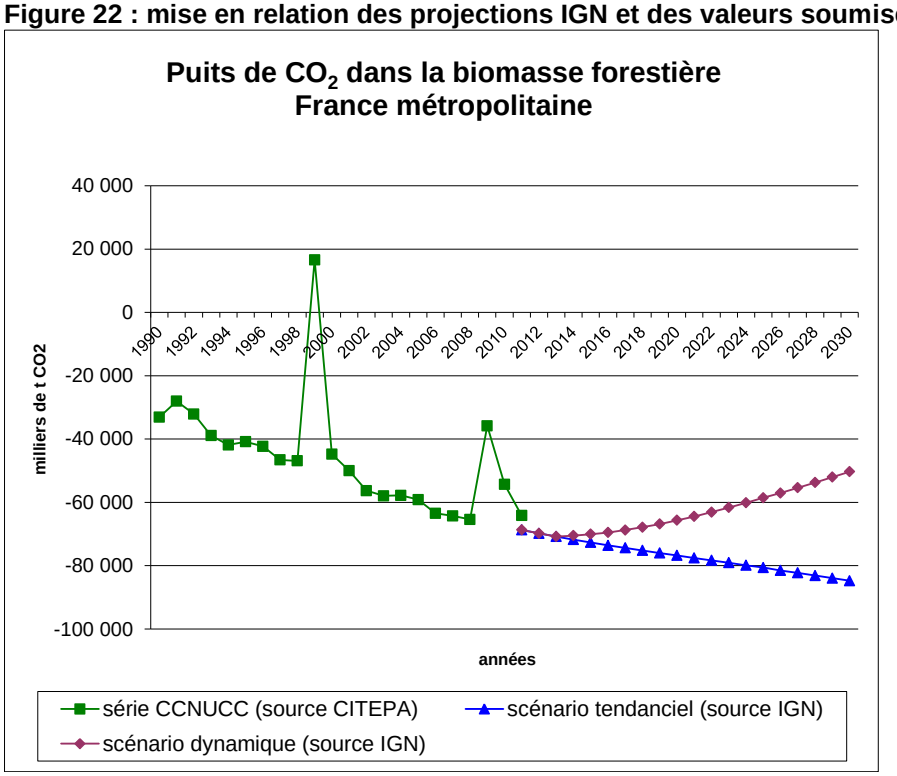
Figure 21 : comparaison des prélèvements récents et des disponibilités estimées



5.2. Cohérence avec les soumissions historiques à la CCNUCC

Les projections obtenues avec les deux scénarios d'offre sont présentées en vis-à-vis (figure 22) de la soumission officielle de la France dans le format CCNUCC édition 2013 pour la période 1990-2011. Le format de rapportage CCNUCC se rapproche d'un format de suivi physique, alors que Kyoto est un format comptable.
La comparaison suivante porte sur les émissions et absorptions de CO_2 dans la biomasse vivante des forêts restant forêts, des nouveaux boisements et des défrichements en métropole, peupleraies incluses (tables CRF 5A à 5F).

Figure 22 : mise en relation des projections IGN et des valeurs soumises à la CCNUCC



La bonne concordance observée en 2011 entre la série CCNUCC historique (en vert) et les projections IGN conforte la vraisemblance des comparaisons qui pourraient être faites entre des projections réalisées avec les méthodes IGN et la série historique calculée par le CITEPA. Cette mise en relation confirme également ce que montraient l'analyse historique des chiffres de l'IGN, à savoir que les tendances projetées avec les deux scénarios sont compatibles avec les évolutions décrites dans le passé.

6. Conclusion et discussion

6.1. Rappel des travaux réalisés

Les politiques en Europe en faveur de l'atténuation des impacts du changement climatique incluent le développement de l'utilisation du bois énergie. L'atteinte des objectifs que s'est fixée la France, ainsi que le développement attendu plus globalement de la filière bois, impliquent un accroissement significatif des prélèvements de biomasse en forêt. L'impact de cette hausse sur le puits de carbone dans la biomasse des forêts françaises métropolitaines est évalué aux horizons 2020 et 2030.

Les données et les modèles d'analyse de la ressource développés à l'IGN sont mobilisés pour projeter le puits de CO_2 dans la biomasse ligneuse selon deux scénarios d'offre de bois (hors évolution du contexte économique) : un scénario « tendanciel » simulant la poursuite des pratiques actuelles de sylviculture telles que le dispositif d'inventaire forestier national permet de les observer *in situ*, et un scénario « dynamique » simulant une dynamisation ambitieuse des pratiques sylvicoles mais avec une mise en œuvre réaliste dans le temps et dans l'espace, à condition d'une implication progressive des acteurs.

Les projections sont contextualisées pour tenir compte de la diversité de la forêt et de la foresterie française : zone géographique, type de peuplement, essences, propriété, etc.
Les résultats de chaque scénario sont décrits en terme de prélèvements de bois, de production biologique, et de taux de prélèvement moyen. Le stock de bois sur pied en forêt est simulé chaque année et l'évolution du puits de CO_2 dans la biomasse ligneuse est suivie. Les volumes potentiellement exploitables sont ventilés suivant la nature feuillue ou résineuse des essences, la dimension des bois et le compartiment dans l'arbre, soit des éléments déterminant pour fixer les types de produits bois.

La cohérence des projections est vérifiée au niveau national au regard des données historiques de l'inventaire forestier national.

Les projections réalisées par l'IGN établissent directement le bilan de CO_2 de la biomasse forestière aux horizons 2020 et 2030. En complément, ces résultats sont transmis au CITEPA pour être mis en forme selon les standards internationaux définis pour les rapportages sous la Convention Climat de l'ONU et le Protocole de Kyoto.

6.2. Principaux résultats

Les résultats des projections réalisées avec les deux scénarios d'offre à l'horizon 2030 illustrent la capacité de la forêt française à supporter des prélèvements accrus pour alimenter les filières bois et biomasse tout en maintenant sa fonction de puits de carbone.

Avec le scénario tendanciel, le volume potentiellement exploitable augmente de 5,1 millions de m^3 en 2020 par rapport à 2013 (soit +10%), et le puits de CO_2 dans la biomasse continue de s'accroitre, avec 6 millions de tonnes supplémentaires stockées chaque année (soit +8%). **Ainsi sur la période 2013-2020 la biomasse forestière séquestre 591 $MtCO_2$.** Toutes choses égales par ailleurs ces dynamiques se poursuivent jusqu'en 2030, date à laquelle le volume potentiellement mobilisable est plus important de 12 Mm^3 par rapport à 2013 (soit +23%), pour un stockage additionnel chaque année de 14 $MtCO_2$ (soit +20%).

Avec le scénario dynamique le volume potentiellement exploitable supplémentaire s'élève à près de 13 Mm^3 en 2020 par rapport à 2013 (soit +24%). Bien que la biomasse reste un puits de CO_2 (i.e. la production biologique est supérieure aux prélèvements, mortalité incluse), la

séquestration annuelle se contracte de 5 $MtCO_2$ en 2020 par rapport à 2013 (soit -7%). **Sur la période 2013-2020 la biomasse ligneuse séquestre 550 $MtCO_2$.**
En 2030 le volume exploitable supplémentaire est plus élevé de 34 Mm^3 par rapport aux prélèvements de 2013, soit +65%. La séquestration annuelle continue de décroître et la valeur estimée en 2030 est 29% inférieure à celle de 2013. La biomasse des forêts françaises métropolitaines reste cependant un puits de carbone important en 2030, avec 50 Mt de CO_2 séquestrées cette année.

Disponibilités en bois selon l'essence
Les feuillus sont les premiers contributeurs (55 %) au volume potentiellement exploitable en 2013. Ils sont aussi les plus sollicités pour des nouveaux prélèvements, puisqu'ils représentent 58 % de la disponibilité totale en 2030 avec le scénario tendanciel, et jusqu'à 60 % avec le scénario dynamique.

Le scénario tendanciel permet d'accroître l'offre de bois feuillus de 3,7 Mm^3 en 2020 par rapport à 2013, alors que cette hausse n'est que de 1,4 Mm^3 pour les résineux.
Chez les résineux les prélèvements actuels sont majoritairement constitués de bois moyens de diamètre compris entre 25 et 50 cm. En 2020, la disponibilité résineuse avec le scénario tendanciel est légèrement supérieure à celle de 2013, avec une contraction toutefois chez les petits bois (moins de 25 cm de diamètre) et une progression chez les gros et très gros bois (plus de 50 cm de diamètre). Cette tendance se poursuit et la contribution des gros et très gros bois résineux aux prélèvements totaux atteint 38% en 2030 contre 26% en 2010.

La mise en œuvre du scénario dynamique permet de mobiliser 9 Mm^3 supplémentaires de feuillus en 2020, et jusqu'à 23 Mm^3 en 2030 (soit un très important +79% par rapport à 2013). La progression est moins forte chez les résineux où la disponibilité supplémentaire est de 3,9 Mm^3 en 2020, et jusqu'à 11 Mm^3 en 2030 (soit +47% par rapport à 2013).
L'application du scénario dynamique permet de mobiliser plus de feuillus de toutes les dimensions, avec une contribution des plus gros diamètres aux nouvelles disponibilités de plus en plus prononcée au fil du temps. Ainsi la part des petits bois feuillus dans la disponibilité totale passe de 29% en 2010 à 25% en 2030.
Les disponibilités en résineux de diamètres inférieurs à 50 cm ne sont pas significativement modifiées par la dynamisation des pratiques de gestion, ces ressources faisant déjà l'objet d'une forte demande par les industriels.

Disponibilités en bois selon la localisation géographique
Avec le scénario tendanciel, les disponibilités progressent dans la moitié nord du pays pour les feuillus, et dans un grand sud-ouest et centre incluant le Massif Central pour les résineux. Le bassin de production de résineux des moyennes montagnes de l'Est a une disponibilité globalement stable dans le temps car le taux de prélèvement y est historiquement élevé.

Avec le scénario dynamique, la part des feuillus originaires du grand sud-ouest (Aquitaine, Midi-Pyrénées, grand massif central, causses, etc.) progresse fortement, et dans une moindre mesure celle des hautes-montagnes où les volumes concernés restent cependant limités. La zone continentale perd son statut de premier bassin feuillu national sur la fin de la période, au profit de la zone océanique nord.
Chez les résineux, la contribution de la grande région Sud à l'ouest et dans le centre progresse également. Le massif landais est stable autour de 4,5 Mm^3 par an (contre 8 Mm^3 avant la tempête Klaus de 2009).

Les prélèvements en zone méditerranéenne restent très limités à l'horizon 2030, en feuillus comme en résineux.

Production biologique

La production biologique progresse sur toute la période avec le scénario tendanciel. Voisine de 90 Mm^3 en 2010 (volume bois fort tige), elle atteint 99 Mm^3 en 2020 et 108 Mm^3 en 2030 (+ 1 % par an en moyenne). L'évolution de la production biologique brute est comparable avec le scénario dynamique en 2020, mais la production biologique est un peu plus faible en 2030 notamment chez les feuillus où des coupes surviennent chez les arbres de dimensions petits et moyens bois.

Le taux de croissance de la production biologique décroit cependant tendanciellement au cours du temps, en lien avec l'évolution globale de la ressource vers des diamètres plus élevés dont la productivité est plus faible. Il décroit davantage avec le scénario dynamique (effet renouvellement).

Ces hausses sont la combinaison d'un taux de prélèvement chroniquement faible en France et d'un puissant effet démographique correspondant à l'émergence d'une nouvelle ressource forestière notamment feuillue et à une capitalisation dans les peuplements, notamment les résineux en montagne. Les arbres grossissent et la production totale s'accroît au niveau national.

Pour mémoire, les modélisations n'intègrent pas les effets de modifications du climat ou d'une évolution significative de la densité des peuplements sur la mortalité naturelle.

Taux de prélèvement

Le **taux de prélèvement national moyen hors peupleraies,** rapport entre les prélèvements et la production nette de la mortalité, est estimé en 2010 à 52 %. Il reste constant sur toute la période avec le scénario tendanciel. En revanche, il augmente progressivement avec le scénario dynamique, d'abord pour s'établir à 60 % en moyenne en 2020 puis plus vite au-delà pour atteindre 70 % en moyenne sur les années 2026 à 2030. Les prélèvements s'accroissent plus vite que la production biologique. La forêt reste un puits mais son intensité diminue avec le temps.

Le taux de prélèvement sur la ressource résineuse est initialement plus fort (67 %) que sur la ressource feuillue (42 %, hors peupleraies). Il s'accroît significativement avec le scénario dynamique pour atteindre environ 80 % en 2020, et jusqu'à 93 % en moyenne sur les années 2026-2030, en lien avec des prélèvements accrus de gros et très gros bois résineux.

Le taux de prélèvement progresse aussi très sensiblement chez les feuillus, puisqu'il est voisin de 50 % en 2020 (+8 points par rapport à 2011) et qu'il atteint 58 % en moyenne sur les années 2026-2030.

La ressource feuillue française est une ressource en expansion, globalement peu exploitée notamment dans le grand sud du pays et dans l'ouest, alors que la ressource résineuse est globalement plus mûre et plus exploitée, notamment dans les dimensions moyens bois.

Stock sur pied

La traduction concrète de la séquestration additionnelle de carbone chaque année dans la biomasse est une hausse continue du **stock de bois sur pied** dans les deux scénarios.

L'évolution de la ressource sur pied avec le scénario tendanciel montre une croissance soutenue et continue dans toutes les catégories de dimensions, à l'exception unique mais notable des petits bois résineux qui diminuent faiblement. La ressource des moyens bois résineux progresse quant à elle faiblement, et finalement la ressource cumulée des petits et moyens bois résineux (diamètres inférieurs à 50 cm) reste globalement stable sur toute la période. Cela traduit la forte demande dont ces bois font actuellement l'objet en France. Le renouvellement de la ressource résineuse est à surveiller.

La hausse du stock est très significative dans les gros et très gros bois feuillus et résineux. On observe ici l'effet de densification (capitalisation) dans les peuplements installés depuis plusieurs dizaines d'années, et souvent depuis la première moitié du 20ième siècle.

La progression du stock est très significative chez les gros et très gros bois feuillus et résineux (classes de diamètres de 50 cm et plus). La hausse chez les résineux est due à la faiblesse de la demande actuelle en gros bois et à leur fréquence dans les forêts de montagne difficiles d'accès. Les arbres laissés en forêt continuent donc de croître.

Le scénario de sylviculture dynamique limite les progressions des stocks sur pied dans les plus grandes catégories de dimension mais sans toutefois les contenir totalement. Malgré un accroissement des volumes prélevés dans ces catégories de diamètre. Le fort effet démographique vers les plus gros diamètres de plus fort volume reste valide.

Ces évolutions sont l'expression d'une ressource française résineuse composée pour une grande partie de moyens et gros bois, qui arrive ou est déjà à maturité (douglas, épicéas, sapins, pins sylvestres en plaine) et qui est marquée par des prélèvements faibles dans les gros bois.
La ressource française feuillue est quant à elle globalement plus jeune. La part des gros et très gros bois augmente car ces bois sont peu demandés actuellement par les industriels. La ressource progresse également dans les dimensions petits et moyens bois avec la conversion des anciens taillis (charme, châtaignier, chêne pédonculé) et l'émergence de nouvelles ressources feuillues dans le sud, en zone méditerranéenne (frêne, chênes pubescent, chêne vert, bouleau, etc.) et dans les régions de montagne (frêne, hêtre, etc.).

6.3. Discussion

Les résultats des projections illustrent le caractère dynamique (non stationnaire) de la forêt française dans le sens d'une capitalisation significative de bois en forêt, qui se poursuit.

Un des facteurs explicatifs est la forte progression de la superficie boisée au cours du XXième siècle, avec un gain de 6 millions d'hectares de forêts sur la période 1908-2008 (IGN, 2013).
Cette progression est due à la colonisation par la forêt des terres délaissées par l'agriculture dans le sud, en Bretagne, et dans tous les massifs montagneux, notamment dans le grand massif central. Elle est due également à la politique de constitution d'une ressource résineuse après la seconde guerre mondiale, avec la plantation de douglas, pin laricio, épicéas, etc. notamment dans le cadre du Fonds Forestier National (FFN).
Les arbres de ces nouvelles forêts, essentiellement privées, commencent à atteindre des dimensions significatives et le volume sur pied s'accroît. A noter que l'effet d'un boisement sur le stock de bois n'est pas du tout immédiat ; la croissance du volume d'un peuplement forestier est relativement lente les premières années ou décennies selon les essences et conditions du milieu. Il y a donc un effet retard.
A cette progression sensible de la couverture boisée s'ajoute, souvent pour la même raison de déprise agricole, une transformation de fond du faciès des peuplements avec la conversion volontaire ou naturelle des anciens taillis et TSF en futaies régulières et irrégulières, soit des structures de peuplements favorisant les arbres de gros diamètres.
Les effets de ces deux facteurs contribuent chacun directement à l'émergence d'une nouvelle ressource forestière en France, entrainant mécaniquement une progression du volume de bois sur pied.

Ces dynamiques engagées depuis plusieurs dizaines d'années entrainent une densification du volume de bois dans les peuplements en place, laquelle correspond à une phase de mûrissement d'une nouvelle ressource.

Le constat d'une évolution puissante de la ressource nationale vers un stock sur pied de plus en plus important est donc largement le résultat d'un effet démographique qui modifie progressivement le visage de la forêt française.

L'évolution à la hausse du stock sur pied se poursuit encore comme le montre les projections, d'abord parce que les arbres des peuplements installés dans la seconde moitié du XX^{ième} siècle continuent de croître (effet capitalisation direct), et ensuite parce que la progression de la superficie forestière est encore significative (effet capitalisation à venir).
En effet, les derniers résultats de l'inventaire forestier national de l'IGN indiquent la poursuite de la progression de la superficie boisée dans les régions du sud et du pourtour méditerranéen, au rythme d'environ 100 000 ha en moyenne par an. La ressource française, encore relativement jeune, mûrit et le puits de CO_2 s'accroît. La capitalisation dans les nouveaux peuplements du sud pourrait toutefois être moins soutenue, en raison des conditions du milieu plus limitantes dans les zones de boisement et des effets négatifs du changement climatique.

Quels leviers pour mobiliser davantage de bois dans les forêts françaises ?
Les résultats de cette étude confirment ceux des études précédentes (ADEME 2005, MAAF 2007, MAAF et ADEME 2009, IGN 2012), à savoir qu'il existe durablement en France une ressource en quantité suffisante pour le développement de nouveaux usages industriels et énergétiques.
Ce diagnostic global masque cependant une grande diversité de situations locales. Par exemple le renouvellement de la ressource résineuse en plaine et moyenne montagne est à surveiller. Une analyse contextualisée est donc indispensable pour préciser la nature de cette disponibilité supplémentaire. De quoi s'agit-il : quelles essences, quelles qualités, où ?

La progression actuelle du stock de bois sur pied se réalise largement dans les régions autrefois non forestières, et dans les massifs de moyenne montagne et du bassin méditerranéen. L'enjeu est alors celui de la capacité de mobiliser ces nouvelles ressources, c'est-à-dire de les exploiter et de mettre les bois sur le marché.

Cela repose par le développement de la demande en bois feuillus (pour rappel, la forêt française est la première forêt feuillue en Europe) et notamment de bois d'œuvre quand cela est possible. Une hausse des prix du BO serait susceptible de stimuler le comportement d'offre des propriétaires.

Le développement de filières bois d'œuvre ne suffira pas pour autant, car les nouvelles ressources feuillues sont de qualité variable. Afin d'offrir de nouveaux débouchés aux bois dont le volume s'accroît en forêt (charme, frêne, chênes méridionaux, etc.) il apparait nécessaire de développer de nouvelles valorisations du bois, de biomasse, de la lignine, etc., en créant de nouveaux outils industriels ou en adaptant ceux qui existent déjà.

La question des moyens d'exploitation des gros bois résineux ou de la mécanisation de la récolte des feuillus est aussi essentielle (matériel d'exploitation, disponibilité en personnels qualifiés). Les gros bois résineux font l'objet d'une demande actuellement faible car les outils de transformation disponibles en France ne sont plus adaptés pour transformer ces dimensions (scie à canter).

Les leviers de la demande et de l'exploitation sont fondamentaux, mais celui de l'offre doit également être activé. La forêt française est fortement morcelée et les propriétaires ont des objectifs de gestion extrêmement variables. Les politiques de stimulation de la demande ne seront pleinement efficaces que si l'offre est suffisamment organisée pour y répondre.
La hausse des prix payés aux producteurs est un élément important, mais elle doit s'accompagner d'un effort d'animation (volet information) auprès des propriétaires forestiers privés, et dans certaines situations d'une amélioration des conditions d'accessibilité aux forêts (desserte, câble, etc.).

Références bibliographiques

ADEME 2009. Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020. Rapport final du contrat ADEME / IFN n°0601C0134, avec IFN, FCBA et Solagro. Novembre 2009. 105 pages.

Agreste 2013. GrapheAgri La forêt et les industries du bois - édition 2013. Service de la Statistique et de la Prospective du ministère en charge de l'agriculture et de la forêt.

Bontemps J.-D., 2012. La transition forestière en France et en Europe. In : Colloque De la statistique Daubrée à l'inventaire forestier de l'IGN, un siècle d'expansion des forêts françaises, 6 décembre 2012, IGN, AgroParisTech, INRA, Saint-Mandé, France.

Cavaignac S. 2009. Les sylvoécorégions (SER) de France métropolitaine, Etude de définition. Report, French National Forest Inventory, Nogent-sur-Vernisson.

Chabé-Ferret S., Levesque C., Ginisty C. 2007. Biomasse forestière disponible pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels. Partie 3 : partie économique. Rapport final de la convention DGFAR / Cemagref n°E19/06. 57 pages.

Colin A., Meredieu C., Labbe T., Belouard T. 2011. Etude rétrospective et mise à jour de la ressource en pin maritime du massif des Landes de Gascogne après la tempête Klaus du 24 janvier 2009. Rapport final de la convention IFN/MAAP n°E18/2010. Décembre 2010. 39 pages.

Deleuze C., Constant T., Saint-André L., Bouvet A., Morneau F., Colin A., Vallet P., Gauthier A., Jaeger M. 2013. Le projet EMERGE pour des tarifs cohérents de volumes et biomasses des essences forestières françaises métropolitaines. RDV Techniques hiver-printemps n°39-40 – ONF. pp 32-36.

Dupouey J.-L. 2002. Estimation de la densité du bois pour les espèces ligneuses de la flore de France à partir d'une synthèse bibliographique. Rapport d'étude. Novembre 2002. 11 pages.

Dupouey J.-L., Pignard G., Hamza N., Dhôte J.-F. 2010. Estimating carbon stocks and fluxes in forest biomass: application to the French case based upon National Forest Inventory data. In: Loustau D. (ed) Forests, carbon cycle and climate change. Editions Quae, pp101-123.

Groen T. A., Verkerk P. J., Böttcher H., Grassi G., Cienciala E., Black K. G., Fortin M., Köthke M., Lehtonen A., Nabuurs G.-J., Petrova L., Blujdea V. 2013. What causes differences between national estimates of forest management carbon emissions and removals compared to estimates of large-scale models? Environmental Science and Policy 33 (2013) 222-232.

Houllier F. 1986. Echantillonnage et modélisation de la dynamique des peuplements forestiers: application au cas de l'inventaire forestier national. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard. Lyon. 289 pages.

IFN, Inventaire Forestier National. 2009. Tempête Klaus du 24 janvier 2009. L'IF n°21. Editeur IFN. 12 p.

IFN, Inventaire Forestier National. 2010. Note technique: tarif de cubage à l'inventaire forestier national. François Morneau et Jean-Christophe Hervé. Juin 2010. 14 pages.

IFN, Inventaire Forestier National. 2011a. Une nouvelle partition écologique et forestière du territoire métropolitain : les sylvoécorégions (SER). L'IF n°26. Editeur IFN. 8 p.

IFN, Inventaire Forestier National. 2011b. La forêt française, les résultats issus des campagnes d'inventaire 2006-2010. Pour bien comprendre les résultats publiés. Nogent-sur-Vernisson.

IFN, Inventaire Forestier National. 2011c. Volume de bois sur pied dans les forêts françaises: 650 millions de mètres cubes supplémentaires en un quart de siècle. L'IF n°27. Editeur IFN. 12 p.

IFN, Inventaire Forestier National. 2011d. Prélèvements de bois en forêt et production biologique : des estimations directes et compatibles. L'IF n°28. Editeur IFN. 16 p.

IGN, Inventaire forestier national. 2012. Quelles sont les ressources exploitables ? Analyse spatiale et temporelle. L'IF n°30. Editeur IGN. 16 p.

IGN, Inventaire forestier national. 2013. Un siècle d'expansion des forêts françaises, de la statistique Daubrée à l'inventaire forestier de l'IGN. L'IF n°31. Editeur IGN. 8 p.

Longuetaud F., Santenois P., Mothe F., Senga Kiessé T., Rivoire M., Saint-André L., Ognouabi N., Deleuze C. 2013. Modeling volume expansion factors for temperate tree species in France. Forest Ecology and Management 292 (2013) 111-121.

MAAPAR 2004. Disponibilités en bois résineux en France. Réévaluation après les tempêtes de 1999. Rapport final de la convention 61.45.18/01 du 20 septembre 2001, modifiée par l'avenant n°1 du 10 mars 2003. Janvier 2004. Inventaire Forestier National et AFOCEL.

Peyron J.-L., Hervé J.-C. 2013. Comment appréhender le niveau d'exploitation des ressources forestières françaises ? Revue Forestière Française LXIV -5-2012. pp 599-612.

Robert N, Vidal C, Colin A, Hervé JC, Hamza N, Cluzeau C. 2010. France. In: Tomppo E., Gschwantner T., Lawrence M., McRoberts R.E. (eds) National forest inventories-pathways for common reporting. Springer, Heidelberg, pp 207–221

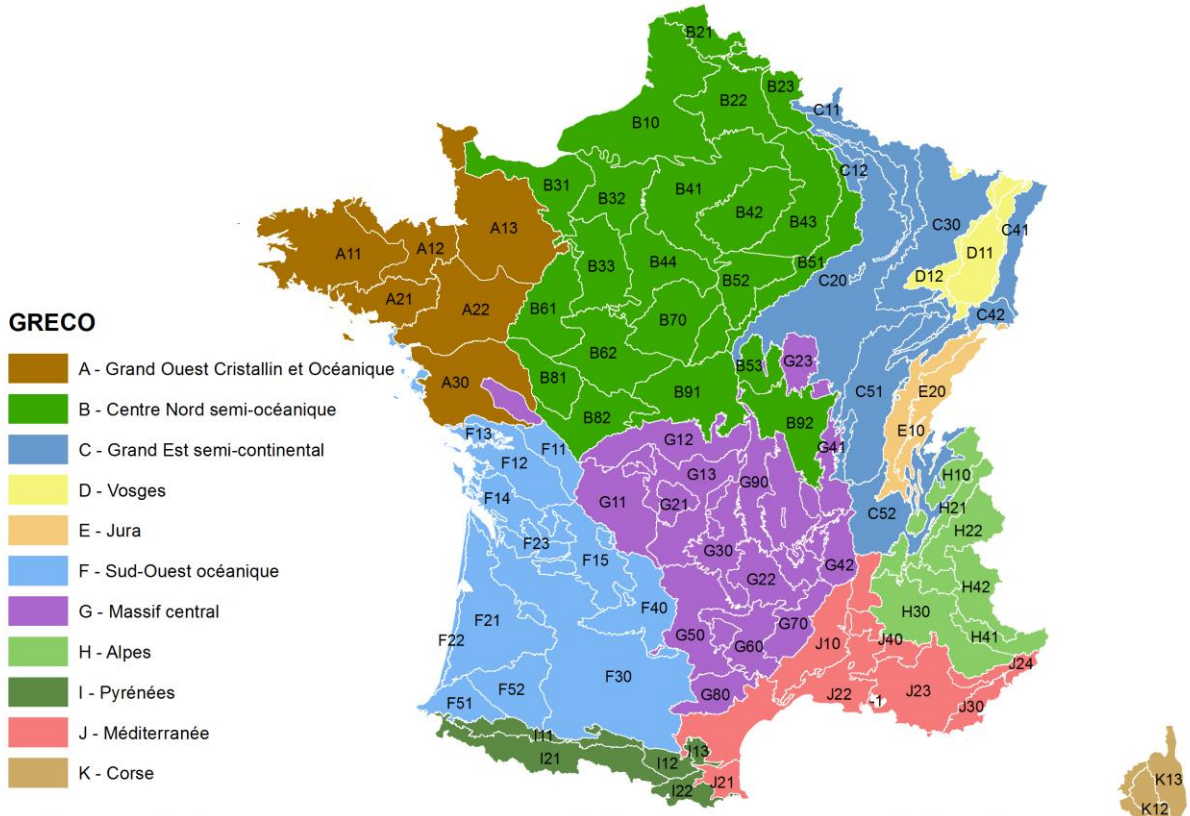
Thivolle-Cazat A., Colin A., Merredieu S., Drouineau S., Cavaignac S., Bailly A., Labbé T., Lambert P. 2013. Analyse prospective de la ressource forestière et des disponibilités en bois de la région Aquitaine à l'horizon 2025. Disponibilités en bois en Aquitaine de 2012 à 2025. Rapport final des conventions avec CRPF, FCBA, IGN, INRA, DRAAF, ADEME, CG40, CG33, Région Aquitaine, FIBA, FEDENE, France Bois Forêt. Juillet 2013. 55 pages.

Vallet P., Dhôte J.-F., Le Moguédec G., Ravart M. Pignard G. 2006. Development of total aboveground volume equations for seven important tree species in France. Forest Ecology and Management 229 (1-3), 92-110.

Vallet P., Levesque C., Ginisty C. 2007. Biomasse forestière disponible pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels. Partie 2 : calcul des volumes. Rapport final de la convention DGFAR / Cemagref n°E19/06. 78 pages.

Wernsdörfer H., Colin A., Bontemps J.-D., Chevalier H., Pignard G., Caurla S., Leban J.-M., Hervé J.-C., Fournier M. 2012. Large-scale dynamics of a heterogeneous forest resource are driven jointly by geographically varying growth conditions, tree species composition and stand structure. Annals of Forest Science (2012) 69:829-844.

Annexe 1 – Présentation des GRECO et des SER



A11 - Ouest-Bretagne et Nord-Cotentin
A12 - Pays de Saint-Malo
A13 - Bocage normand et Pays de Fougères
A21 - Bretagne méridionale
A22 - Bocage armoricain
A30 - Bocage vendéen
B10 - Côtes et plateaux de la Manche
B21 - Flandres
B22 - Plaine picarde
B23 - Mosan, Thiérache et Hainaut
B31 - Campagne de Caen et Pays d'Auge
B32 - Plateaux de l'Eure
B33 - Perche
B41 - Bassin parisien tertiaire
B42 - Brie et Tardenois
B43 - Champagne crayeuse
B44 - Beauce
B51 - Champagne humide
B52 - Pays d'Othe et Gatinais oriental
B53 - Pays-Fort, Nivernais et plaines prémorvandelles
B61 - Baugeois-Maine
B62 - Champeigne-Gâtine tourangelle
B70 - Sologne-Orléanais
B81 - Loudunais et Saumurois
B82 - Brenne et Brandes
B91 - Boischaut et Champagne berrichonne
B92 - Bourbonnais et Charolais
C11 - Ardenne primaire
C12 - Argonne
C20 - Plateaux calcaires du Nord-Est
C30 - Plaines et dépressions argileuses du Nord-Est
C41 - Plaine d'Alsace
C42 - Sundgau alsacien et belfortain
C51 - Saône, Bresse et Dombes
C52 - Plaines et piémonts alpins
D11 - Massif vosgien central
D12 - Collines périvosgiennes et Warndt
E10 - Premier plateau du Jura
E20 - Deuxième plateau et Haut-Jura
F11 - Terres rouges
F12 - Groies
F13 - Marais littoraux
F14 - Champagne charentaise
F15 - Périgord
F21 - Landes de Gascogne
F22 - Dunes atlantiques
F23 - Bazadais, Double et Landais
F30 - Coteaux de la Garonne
F40 - Causses du Sud-Ouest
F51 - Adour atlantique
F52 - Collines de l'Adour
G11 - Châtaigneraie du Centre et de l'Ouest
G12 - Marches du Massif central
G13 - Plateaux limousins
G21 - Plateaux granitiques ouest du Massif central
G22 - Plateaux granitiques du centre du Massif central
G23 - Morvan et Autunois
G30 - Massif central volcanique
G41 - Bordure Nord-Est du Massif central
G42 - Monts du Vivarais et du Pilat
G50 - Ségala et Châtaigneraie auvergnate
G60 - Grands Causses
G70 - Cévennes
G80 - Haut-Languedoc et Lévézou
G90 - Plaines alluviales et piémonts du Massif central
H10 - Préalpes du Nord
H21 - Alpes externes du Nord
H22 - Alpes internes du Nord
H30 - Alpes externes du Sud
H41 - Alpes intermédiaires du Sud
H42 - Alpes internes du Sud
I11 - Marches pyrénéennes
I12 - Pyrénées cathares
I13 - Corbières
I21 - Haute-chaîne pyrénéenne
I22 - Pyrénées catalanes
J10 - Garrigues
J21 - Roussillon
J22 - Plaines et collines rhodaniennes et languedociennes
J23 - Provence calcaire
J24 - Secteurs niçois et préligure
J30 - Maures et Esterel
J40 - Préalpes du Sud
K11 - Corse occidentale
K12 - Montagne corse
K13 - Corse orientale

Annexe 2 – Statistiques de récolte et de consommation de bois en France

Il n'existe pas d'enquête exhaustive sur la récolte de bois en France, comme partout ailleurs dans le monde. Elle peut toutefois être approchée à partir de l'enquête annuelle de branche exploitation forestière qui compile les déclarations des exploitants sur les volumes commercialisés, et de l'enquête INSEE sur le chauffage des ménages.
Le tableau suivant est une tentative de synthèse des sources EAB et CEREN (en milliers de m^3 équivalent bois rond), pour estimer la récolte de bois forestier en France.

On considère que tout le volume de BO et BI déclaré dans l'EAB est d'origine forestière.
On considère que 70 % du BE consommé par les ménages est d'origine forestière

		FORET pour le BE / FORET et AUTRE pour usages non BE								PEUPLIER		
			FEUILLUS hors peupliers				RESINEUX						
années	**Récolte totale d'origine forestière**	**Total Hors peupliers**	Total feuillus	dont BO feuillus	dont BI feuillus	dont BE feuillus	Total résineux	dont BO résineux	dont BI résineux	dont BE résineux	**Total peuplier**	dont BO peuplier	dont BI peuplier
1990	**56 228**	**51 967**	29 845	6 748	4 334	18 814	22 020	15 234	5 850	987	**4 261**	3 409	852
1991	**55 300**	**51 253**	29 867	6 487	4 611	18 813	21 299	14 053	6 303	987	**4 046**	3 237	809
1992	**54 144**	**50 573**	29 687	6 186	4 720	18 821	20 805	13 320	6 539	987	**3 571**	2 857	714
1993	**50 931**	**47 834**	28 453	5 556	4 092	18 831	19 330	12 490	5 879	987	**3 096**	2 477	619
1994	**53 882**	**50 633**	29 127	5 532	4 804	18 817	21 456	13 744	6 750	987	**3 249**	2 599	650
1995	**55 202**	**52 002**	29 351	5 730	4 830	18 811	22 611	14 350	7 294	987	**3 200**	2 560	640
1996	**52 069**	**49 166**	28 413	5 449	4 189	18 793	20 719	13 626	6 123	987	**2 903**	2 322	581
1997	**53 642**	**50 733**	28 979	5 518	4 687	18 797	21 709	14 220	6 525	987	**2 909**	2 327	582
1998	**54 261**	**51 485**	28 997	5 642	4 582	18 797	22 441	15 082	6 396	987	**2 776**	2 221	555
1999	**54 810**	**52 106**	29 292	5 789	4 730	18 792	22 775	15 210	6 598	987	**2 704**	2 163	541
2000*	**65 875**	**63 440**	31 193	7 650	4 774	18 797	32 190	22 588	8 643	987	**2 435**	1 948	487
2001	**59 625**	**57 379**	28 871	5 845	4 244	18 800	28 472	18 930	8 573	987	**2 246**	1 797	449
2002	**54 441**	**52 591**	27 766	4 522	4 484	18 785	24 776	16 608	7 205	987	**1 850**	1 480	370
2003	**52 016**	**50 276**	27 819	4 327	4 759	18 789	22 345	15 096	6 318	987	**1 740**	1 392	348
2004	**52 835**	**51 190**	28 054	4 355	4 970	18 781	23 032	15 213	6 883	987	**1 645**	1 316	329
2005	**52 738**	**51 082**	28 423	4 533	4 972	18 977	22 541	14 741	6 872	987	**1 656**	1 325	331
2006	**53 493**	**51 752**	28 154	4 461	4 741	19 035	23 432	15 633	6 895	987	**1 741**	1 393	348
2007	**54 997**	**53 029**	28 620	4 768	4 824	19 054	24 355	16 427	6 968	987	**1 969**	1 575	394
2008	**52 685**	**50 906**	28 379	4 663	4 547	19 195	22 475	15 048	6 465	987	**1 779**	1 423	356
2009**	**55 418**	**53 802**	27 187	3 935	3 673	19 591	26 592	17 265	8 351	987	**1 616**	1 293	323
2010	**56 372**	**54 827**	27 990	3 885	3 995	20 136	26 785	15 922	9 902	987	**1 545**	1 236	309
2011	**55 850**	**54 113**	29 357	4 115	4 135	21 242	24 710	15 492	8 142	987	**1 738**	1 390	348
2012	**51 666**	**50 256**	29 183	3 850	4 361	21 125	21 073	13 239	6 693	987	**1 410**	1 128	282

Sources : EAB (Agreste 2013) et CEREN (enquête réalisée en 2006), traitement IGN
* Tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999
**Tempête Klaus de janvier 2009 en Aquitaine

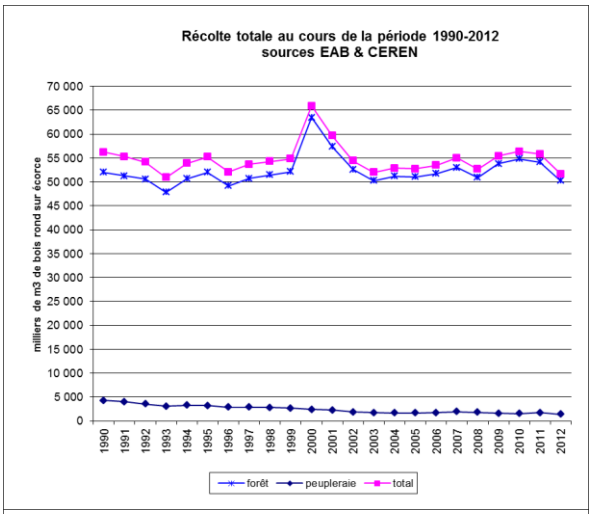
Hypothèses de calcul :

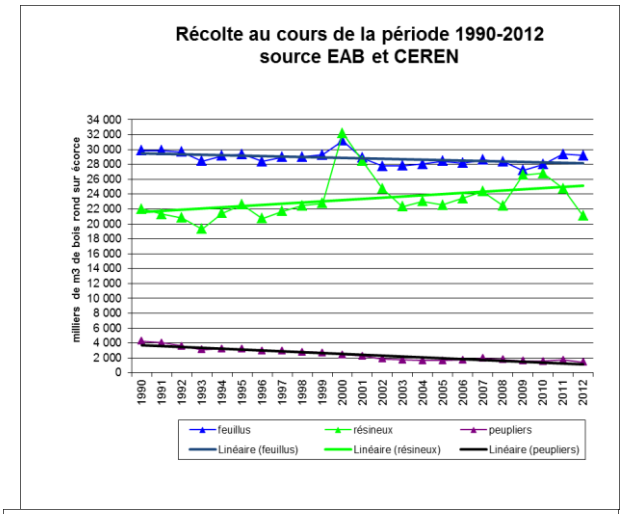
- BO et BI : source EAB. On ne distingue pas ici l'origine forêt / non forêt des bois, laquelle n'est pas connue. L'estimation du BO et du BI d'origine forestière est donc surestimée.
- Bois de feu d'origine forestière :
    - Consommation des ménages : chiffres CEREN publiés dans ADEME 2009,
        - résidences secondaires incluses.
        - 70 % du bois de feu consommé vient de forêt (a priori on exclut donc ici le bois des haies et alignements estimé à 1,85 Mm^3/an (ADEME 2009)).
        - Tout le bois de feu consommé en France vient de peuplements français (pas d'importation).
        - 95 % du bois de feu est feuillu, 5 % est résineux.
        - Hypothèse de maintien du chiffre de consommation de 2006 sur toute la série historique 1990-2012.
    - Plaquette forestière et carbonisation : pour éviter les doubles comptes, tous les volumes de bûches de l'enquête EAB sont considérés inclus dans le chiffre CEREN. En revanche les volumes de plaquettes, de bois ronds de grande longueur et de bois rond pour carbonisation sont conservés dans l'EAB.
- Peuplier : le BI de peuplier n'est pas individualisé dans l'enquête EAB. On considère que la récolte de 1 m^3 de BO permet de produire 0,25 m^3 supplémentaires de BI.

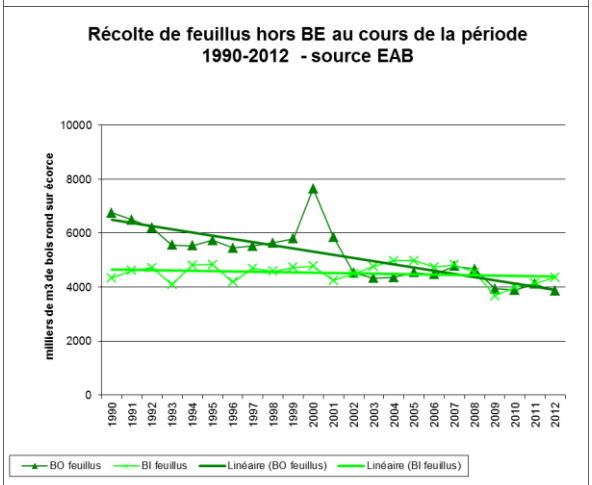
Discussion

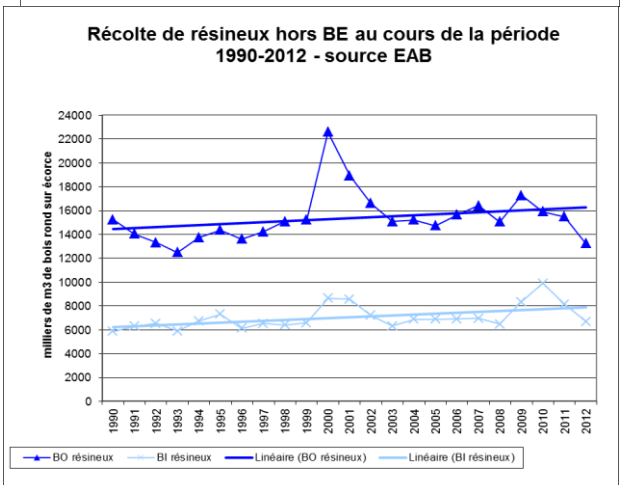
La récolte totale de bois en France est globalement stable depuis les années 1990. Ce bilan est le résultat d'une hausse significative en moyenne des récoltes de bois résineux sur la période de 22 ans, qui compense une baisse tendancielle de celle des feuillus, notamment du BO qui s'est effondré de plus de 3 Mm^3 entre 1990 et 2012. La récolte de peupliers a également très lourdement chuté depuis 1990 puisqu'elle a été divisée par 3 en 22 ans.
La tendance à l'augmentation de la récolte totale observée au cours des années 2000 s'est arrêtée brutalement en 2012, laquelle est la deuxième année la plus basse sur la période après 1993. Cette baisse remarquable est le résultat combiné de la crise économique et de la tempête Klaus de 2009 en Aquitaine, qui s'est ajoutée à celle de 1999 pour entrainer un déficit structurel de ressources de pins maritimes. La récolte commercialisée de pin maritime s'établie à 6,8 Mm^3 en 2012, contre 8,1 Mm^3/an en moyenne sur la période 2003-2008 non affectée par les tempêtes de 1999 et 2009, et 10 Mm^3/an sur 2005-2011. La disponibilité en pin maritime sera inférieure à la demande au moins jusqu'en 2025 (Thivolle-Cazat *et al.* 2013).

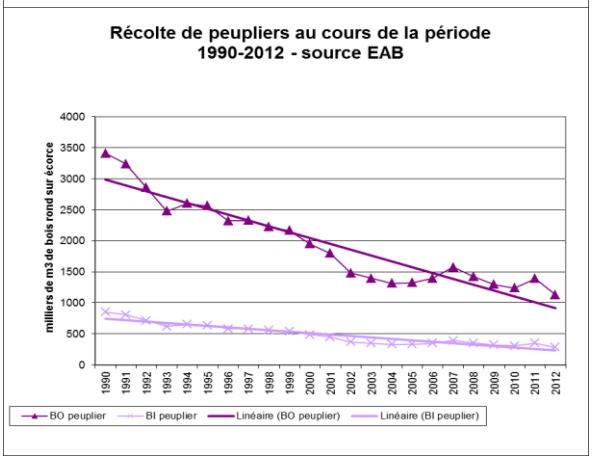
La récolte de bois de feu est mal renseignée, notamment pour le bois de feu des ménages qui représenterait encore 90 % de la consommation de bois-énergie. Elle semble augmenter depuis 2008, avec la mise en place des chaufferies consommant de la plaquette forestière. L'arrêt de la progression du volume commercialisé de plaquettes forestières en 2012 est dû à la crise économique.

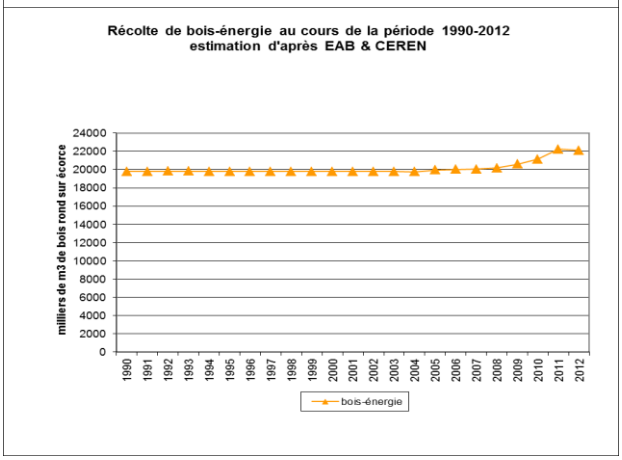

Récolte totale au cours de la période 1990-2012
sources EAB & CEREN
milliers de m3 de bois rond sur écorce
forêt
peupleraie
total


Récolte au cours de la période 1990-2012
source EAB et CEREN
milliers de m3 de bois rond sur écorce
feuillus
résineux
peupliers
Linéaire (feuillus)
Linéaire (résineux)
Linéaire (peupliers)


Récolte de feuillus hors BE au cours de la période
1990-2012 - source EAB
milliers de m3 de bois rond sur écorce
BO feuillus
BI feuillus
Linéaire (BO feuillus)
Linéaire (BI feuillus)


Récolte de résineux hors BE au cours de la période
1990-2012 - source EAB
milliers de m3 de bois rond sur écorce
BO résineux
BI résineux
Linéaire (BO résineux)
Linéaire (BI résineux)


Récolte de peupliers au cours de la période
1990-2012 - source EAB
milliers de m3 de bois rond sur écorce
BO peuplier
BI peuplier
Linéaire (BO peuplier)
Linéaire (BI peuplier)


Récolte de bois-énergie au cours de la période 1990-2012
estimation d'après EAB & CEREN
milliers de m3 de bois rond sur écorce
bois-énergie

Annexe 3 – Les domaines d'étude pour les projections

DE	Libellé domaine d'étude	Zone	Groupe d'essences	Propriété	Volume (Mm^3)	Surface x 1000 ha	Tx difficile exploitabilité
1	oceanique_nord-chen_nob-pub	oceanique_nord	chenes_nobles	Publique	68	327	1%
2	oceanique_nord-chen_nob-priv	oceanique_nord	chenes_nobles	Privée	242	1295	6%
3	oceanique_nord-het+feu_prec-pub	oceanique_nord	hetre+feuillus_precieux	Publique	17	91	4%
4	oceanique_nord-het+feu_prec-priv	oceanique_nord	hetre+ feuillus_precieux	Privée	55	311	11%
5	oceanique_nord-chat_rob+aut_feu-pub	oceanique_nord	chat_rob+aut_feu	Publique	13	92	1%
6	oceanique_nord-chat_rob+aut_feu-priv	oceanique_nord	chat_rob+aut_feu	Privée	105	726	5%
7	oceanique_nord-resineux-pub	oceanique_nord	tous resineux	Publique	17	88	3%
8	oceanique_nord-sap-epi+dou-priv	oceanique_nord	sapin-epicéa+douglas	Privée	30	117	8%
9	oceanique_nord-pins+aut_res-priv	oceanique_nord	pins+ autres_resineux	Privée	56	293	3%
10	oceanique_sud-feuillus-pub	oceanique_sud	feuillus	Publique	27	174	43%
11	oceanique_sud-chen_nob-priv	oceanique_sud	chenes_nobles	Privée	145	805	28%
12	oceanique_sud-chat_rob-priv	oceanique_sud	chataignier_robinier	Privée	70	440	41%
13	oceanique_sud-het+feu_prec-priv	oceanique_sud	hetre+feu_prec	Privée	70	393	50%
14	oceanique_sud-aut_feu-priv	oceanique_sud	autres_feuillus	Privée	107	1004	37%
15	oceanique_sud-sap-epi+dou-pub	oceanique_sud	sapin-epicéa+douglas	Publique	31	114	26%
16	oceanique_sud-sap-epi-priv	oceanique_sud	sapin-epicéa	Privée	93	261	24%
17	oceanique_sud-dou-priv	oceanique_sud	douglas	Privée	64	237	24%
18	oceanique_sud-pins+aut_res-pub	oceanique_sud	pins+ autres_resineux	Publique	10	56	41%
19	oceanique_sud-pins+aut_res-priv	oceanique_sud	pins+ autres_resineux	Privée	65	377	38%
20	massif_landais-toutes-pub	massif_landais	toutes	Publique	7	75	3%
21	massif_landais-toutes-priv	massif_landais	toutes	Privée	92	1014	3%
22	haute_montagne-feuillus-pub	haute_montagne	tous feuillus	Publique	53	299	86%
23	haute_montagne-feuillus-priv	haute_montagne	tous feuillus	Privée	95	628	83%
24	haute_montagne-sap-epi+dou-dom	haute_montagne	sapin-epicéa+douglas	Domaniale	10	37	75%
25	haute_montagne-sap-epi+dou-com	haute_montagne	sapin-epicéa+douglas	Communale	42	132	85%
26	haute_montagne-sap-epi+dou-priv	haute_montagne	sapin-epicéa+douglas	Privée	43	116	78%
27	haute_montagne-pins+aut_res-pub	haute_montagne	pins+autres_resineux	Publique	32	220	86%
28	haute_montagne-pins+aut_res-priv	haute_montagne	pins+ autres_resineux	Privée	37	293	78%
29	mediterranee-toutes-pub	mediterranee	toutes	Publique	25	273	64%
30	mediterranee-toutes-priv	mediterranee	toutes	Privée	83	1098	59%
31	continental-chen_nob-dom	continental	chenes_nobles	Domaniale	22	112	6%
32	continental-chen_nob-com	continental	chenes_nobles	Communale	72	391	11%
33	continental-chen_nob-priv	continental	chenes_nobles	Privée	72	395	21%
34	continental-het-dom	continental	hetre	Domaniale	24	130	14%
35	continental-het-com	continental	hetre	Communale	50	258	24%
36	continental-het-priv	continental	hetre	Privée	41	168	36%
37	continental-chat_rob+feu_prec+aut_feu-dom	continental	chat_rob+feu_prec+aut_feu	Domaniale	10	83	7%
38	continental-chat_rob+feu_prec+aut_feu-com	continental	chat_rob+feu_prec+aut_feu	Communale	44	303	15%
39	continental-chat_rob+feu_prec+aut_feu-priv	continental	chat_rob+feu_prec+aut_feu	Privée	102	611	24%
40	continental-sap-epi+dou-dom	continental	sapin-epicéa+douglas	Domaniale	26	92	42%
41	continental-sap-epi+dou-com	continental	sapin-epicéa+douglas	Communale	60	192	31%
42	continental-sap-epi+dou-priv	continental	sapin-epicéa+douglas	Privée	78	233	27%
43	continental-pins+aut_res-pub	continental	pins+ autres_resineux	Publique	15	68	27%
44	continental-pins+aut_res-priv	continental	pins+ autres_resineux	Privée	17	78	21%
45	france-foret_ouverte-toutes	France	toutes	Toutes	12	671	52%
46	france-momentanement_deboise	France	inconnue	Toutes	0	40	66%
47	france-reserves	France	toutes	Toutes	37	209	1%
48	nord-peupleraie	France	Peupleraie	Toutes	23	141	
49	sud-peupleraie	France	Peupleraie	Toutes	7	45	

Campagnes d'inventaire forestier 2008-2012, année moyenne 2010

Annexe 4 – Volumes potentiellement mobilisables dans le futur

Pertes d'exploitation déduites, en millions de m^3

En Mm^3	Scénario tendanciel								
	Disponibilité feuillue, peupliers inclus				Disponibilité résineuse				TOTAL
Années	tige	branche	menus bois	**total**	tige	branche	menus bois	**total**	
2011	18,8	8,0	1,6	**28,5**	19,0	2,9	1,4	**23,3**	**51,8**
2012	19,1	8,1	1,7	**28,9**	19,1	2,9	1,4	**23,3**	**52,2**
2013	19,5	8,2	1,7	29,4	19,1	2,9	1,4	23,4	**52,9**
2014	19,8	8,4	1,7	**29,9**	19,3	2,9	1,4	**23,6**	**53,5**
2015	20,1	8,5	1,8	**30,3**	19,4	3,0	1,4	**23,8**	**54,1**
2016	20,5	8,6	1,8	**30,9**	19,6	3,0	1,4	**23,9**	**54,8**
2017	20,9	8,8	1,8	**31,5**	19,7	3,0	1,4	**24,1**	**55,6**
2018	21,3	8,9	1,8	**32,0**	19,9	3,0	1,4	**24,4**	**56,3**
2019	21,6	9,0	1,9	**32,5**	20,1	3,1	1,4	**24,6**	**57,1**
2020	22,0	9,2	1,9	**33,1**	20,3	3,1	1,4	**24,8**	**57,9**
2021	22,3	9,3	1,9	**33,6**	20,4	3,1	1,5	**25,0**	**58,6**
2022	22,7	9,4	2,0	**34,1**	20,6	3,2	1,5	**25,3**	**59,4**
2023	23,1	9,6	2,0	**34,7**	20,8	3,2	1,5	**25,5**	**60,2**
2024	23,4	9,7	2,0	**35,2**	21,0	3,3	1,5	**25,8**	**61,0**
2025	23,8	9,9	2,1	**35,7**	21,2	3,3	1,5	**26,0**	**61,7**
2026	24,0	10,0	2,1	**36,1**	21,4	3,3	1,5	**26,3**	**62,4**
2027	24,4	10,2	2,1	**36,7**	21,6	3,4	1,5	**26,5**	**63,2**
2028	24,6	10,3	2,1	**37,0**	21,8	3,4	1,6	**26,7**	**63,8**
2029	25,0	10,4	2,2	**37,6**	22,0	3,4	1,6	**27,0**	**64,6**
2030	25,2	10,6	2,2	**38,0**	22,2	3,5	1,6	**27,2**	**65,3**

En Mm^3	Scénario dynamique								
	Disponibilité feuillue, peupliers inclus				Disponibilité résineuse				TOTAL
Années	tige	branche	menus bois	**total**	tige	branche	menus bois	**total**	
2011	18,8	8,0	1,6	**28,5**	19,0	2,9	1,4	**23,3**	**51,8**
2012	19,1	8,1	1,7	**28,9**	19,1	2,9	1,4	**23,3**	**52,2**
2013	19,5	8,2	1,7	**29,4**	19,1	2,9	1,4	**23,4**	**52,9**
2014	20,4	8,6	1,8	**30,9**	19,3	2,9	1,4	**23,6**	**54,5**
2015	21,1	8,9	1,8	**31,9**	19,7	3,0	1,4	**24,1**	**56,0**
2016	21,9	9,3	1,9	**33,1**	20,2	3,1	1,4	**24,7**	**57,8**
2017	22,8	9,6	2,0	**34,4**	20,7	3,1	1,5	**25,3**	**59,7**
2018	23,6	10,0	2,1	**35,6**	21,2	3,2	1,5	**25,9**	**61,6**
2019	24,4	10,3	2,1	**36,9**	21,8	3,3	1,5	**26,6**	**63,5**
2020	25,3	10,7	2,2	**38,3**	22,3	3,4	1,6	**27,3**	**65,6**
2021	26,2	11,1	2,3	**39,6**	22,9	3,5	1,6	**28,1**	**67,7**
2022	27,1	11,5	2,4	**41,0**	23,5	3,6	1,7	**28,8**	**69,8**
2023	28,0	11,9	2,5	**42,4**	24,1	3,7	1,7	**29,5**	**71,9**
2024	29,0	12,3	2,5	**43,9**	24,7	3,8	1,8	**30,3**	**74,1**
2025	29,9	12,8	2,6	**45,3**	25,3	3,9	1,8	**31,0**	**76,3**
2026	30,8	13,2	2,7	**46,7**	25,9	4,0	1,8	**31,7**	**78,4**
2027	31,8	13,6	2,8	**48,2**	26,5	4,1	1,9	**32,5**	**80,7**
2028	32,6	14,1	2,9	**49,5**	27,0	4,2	1,9	**33,1**	**82,7**
2029	33,6	14,5	3,0	**51,1**	27,6	4,3	2,0	**33,8**	**84,9**
2030	34,5	15,0	3,0	**52,6**	28,1	4,3	2,0	**34,4**	**87,0**