

DISPONIBILITES FORESTIERES POUR L'ENERGIE ET LES MATERIAUX A L'HORIZON 2035

TOME 1 : RAPPORT

Février 2016

Etude financée avec les soutiens de l'ADEME (convention 13-60-C0007), de l'IGN et de COPACEL

Auteurs de l'étude : Antoine Colin (IGN) et Alain Thivolle-Cazat (FCBA)

v. 23/04/2016



DISPONIBILITES FORESTIERES POUR L'ENERGIE ET LES MATERIAUX A L'HORIZON 2035

TOME 1 : RAPPORT

Février 2016

Equipe projet :

Antoine COLIN (IGN, coordinateur de l'étude) et Alain THIVOLLE-CAZAT (FCBA)
Avec les contributions de Marion PILATE (IGN), Alain BOUVET (FCBA), et Nicolas PY (IGN)

Pour l'ADEME : Caroline Rantien (coordination), Miriam Buitrago et Jérôme Mousset

IGN

Institut national de l'information
géographique et forestière
Direction interrégionale Nord-Est
11 rue de l'Île-de-Corse, 54000 Nancy

FCBA

Institut technologique
Forêt cellulose bois ameublement
Pôle énergie, économie et prospective
10 rue Galilée, 77420 Champs-sur-Marne

Table des matières

RESUME	6
A. INTRODUCTION	8
1. Contexte et objectifs de l'étude	8
2. Périmètre de l'étude	9
B. DISPONIBILITES EN BOIS DES FORETS A L'HORIZON 2035	11
1. Etat des lieux des ressources forestières et de leurs conditions de mobilisation	11
1.1. La ressource forestière	11
1.2. Analyse des conditions de mobilisation de la ressource forestière	11
1.2.1. Facteurs pris en compte dans le diagnostic de mobilisation	11
1.2.2. Exploitabilité physique	13
1.2.3. Sensibilité à un appauvrissement des sols consécutifs à l'exportation des menus bois	13
1.2.4. Zonages des forêts selon les enjeux de gestion spécifiques	14
1.2.5. Type de propriété en forêt privée	17
2. Principe de l'évaluation des disponibilités en bois	18
2.1. Calcul des disponibilités exploitables en plus des usages actuels	18
2.2. Différences entre disponibilité en bois et production biologique	19
3. Projection de la ressource et des disponibilités brutes à l'horizon 2035	20
3.1. Domaines d'étude	20
3.2. Simulateur de l'évolution de la ressource forestière	22
3.3. Scénarios de gestion des forêts et des peupleraies	23
3.3.1. Scénarios de gestion appliqués aux forêts	24
3.3.2. Scénarios de gestion appliqués aux peupleraies	29
3.4. Types de produits bois potentiels	30
3.4.1. Une approche basée sur la qualité des bois, et pas sur les usages	30
3.4.2. Estimation du volume dans les différents compartiments de l'arbre	30
3.4.3. Définition des usages potentiels des bois	31
3.4.4. Ventilation des volumes selon les usages potentiels	31
3.5. Résultats concernant l'évolution du stock sur pied et le puits de CO ₂	33
3.5.1. Evolution du stock de bois sur pied	33
3.5.2. Evolution du taux de prélèvement sur la ressource	38
3.5.3. Evolution du puits de CO ₂ dans la biomasse forestière	39
3.6. Résultats en disponibilité brute	41

4.	Disponibilités technico-économiques et supplémentaires à l'horizon 2035	46
4.1.	Principe général du calcul de la part économiquement exploitable	46
4.2.	Calcul technico-économique.....	47
4.2.1.	Une méthode de calcul qui optimise les volumes exploitables	47
4.2.2.	Caractérisation de l'exploitabilité technico-économique	47
4.2.3.	Classement des peuplements selon leur mode d'exploitation le plus probable	48
4.2.4.	Coût d'exploitation	49
4.2.5.	Prix du bois sur pied et prix du bois bord de route	50
4.3.	Estimation de la récolte courante	52
4.3.1.	Mesure des prélèvements et estimation de la récolte à partir des données de l'IGN	52
4.3.2.	Analyse de la cohérence globale entre les différentes estimations de récolte	53
4.3.3.	Comparaison des usages BO estimés et constatés.....	54
4.3.4.	Comparaison des usages BI résineux.....	56
4.4.	Résultats en disponibilité technico-économique et supplémentaire.....	58
4.4.1.	Résultats généraux pour le BO-P et le BIBE-P	58
4.4.2.	Résultats généraux pour les Menus Bois	61
4.4.3.	Résultats par essence (BO-P et BIBE-P).....	63
4.4.4.	Résultats par type de propriété (BO-P et BIBE-P).....	65
4.4.5.	Résultats par catégorie de dimension des bois (BO-P et BIBE-P)	68
4.4.6.	Résultats par localisation géographique (BO-P et BIBE-P)	69
4.4.7.	Résultats par catégories d'exploitabilité physique (BO-P et BIBE-P)	71
4.4.8.	Résultats par zones à enjeux de gestion spécifiques (BO-P et BIBE-P).....	71
C.	DEMANDE EN BOIS A L'HORIZON 2035	72
1.	Démarche pour la réalisation des scénarios de demande en bois	72
2.	Analyse de la demande en bois actuelle et future	72
2.1.	Contexte et définition de la demande en bois en France.....	72
2.2.	Evolution de la demande : revue des exercices de prospectives.....	73
2.3.	Evolution de la demande : analyse de la consommation passée.....	75
2.4.	Evolution de la demande : consultation des secteurs industriels.....	76
2.5.	Synthèse et scénarios retenus sur l'évolution de la demande	77
3.	Scénarios quantitatifs de demande en bois pour l'industrie et l'énergie	79
3.1.	Scénario « marché atone »	79
3.2.	Scénario « énergie et bois d'industrie »	79
3.3.	Scénario « filière dynamique ».....	80
3.4.	Récapitulatif de la demande pour les différents scénarios	80

D. COMPARAISON OFFRE / DEMANDE A L’HORIZON 2035	81
1. Comparaison offre / demande pour le BO feuillu	81
2. Comparaison offre / demande pour le BO résineux	82
3. Comparaison offre / demande pour le BIBE.....	82
4. Conclusions sur les bilans matière	85
E. PISTES POUR DES AMELIORATIONS FUTURES.....	87
F. CONCLUSIONS	88
BIBLIOGRAPHIE.....	90

RESUME

Contexte

La France s'est fixé des objectifs ambitieux en matière de consommation de bois à l'horizon 2035. Les études nationales antérieures ont confirmé la capacité de la forêt à supporter une augmentation importante des prélèvements. Cependant, des tensions sur les ressources les plus aisément exploitables sont apparues face à l'enjeu d'utilisation accrue de la biomasse.

Objectifs de l'étude et approches

L'objectif de l'étude est de produire des informations de référence sur les volumes de bois exploitables à l'horizon 2035 en quantité et en qualité, afin de contribuer à l'élaboration des politiques forêt-bois nationales et régionales.

Une estimation précise et réaliste des volumes de bois exploitables à l'échéance 2035 a été permise grâce à l'utilisation de données inédites comme les mesures directes des prélèvements en forêt, la cartographie forêts privées dotées d'un plan simple de gestion et les cartes des zonages réglementaires.

On a également évalué les capacités de la forêt française à satisfaire les différents objectifs de production qui lui seraient assignés pour les 20 prochaines années en les confrontant à des scénarios prospectifs de demande industrielle et énergétique.

Evaluation des disponibilités en bois

Les disponibilités en bois ont été calculées avec des modèles adaptés aux données de l'inventaire forestier national réalisé par l'IGN, et selon deux scénarios sylvicoles :

- Un scénario de « sylviculture constante » calculé à partir des coupes observées actuellement, simule le maintien des pratiques actuelles de gestion pendant les 20 prochaines années ;
- Un scénario de « gestion dynamique progressif » vise à gérer les peuplements de façon plus dynamique pour accroître les prélèvements de bois. Il consiste à augmenter progressivement les taux de coupe du scénario de sylviculture constante jusqu'à un niveau variable selon les catégories de propriétés et les zonages de gestion et dans le respect des principes de la gestion durable.

Les disponibilités en bois sont ventilées suivant les types d'usages potentiels des bois : bois d'œuvre potentiel (BO-P), bois industrie bois énergie potentiel (BIBE-P) et Menus Bois (MB) qui incluent toutes les branches et brindilles de moins de 7 cm.

Les volumes inexploitable pour des raisons physiques, environnementales ou économiques sont retranchés de la disponibilité brute pour obtenir la disponibilité technique et économique, dans laquelle les prélèvements actuels sont réalisés, le reste constituant la disponibilité supplémentaire.

Une ressource supplémentaire potentiellement abondante

La disponibilité supplémentaire cumulée de BO-P et de BIBE-P s'établirait en 2031-2035 à +7,6 Mm³/an avec le scénario de sylviculture constante et +19,8 Mm³/an avec le scénario de gestion dynamique progressif. Les volumes additionnels croissent aussi bien pour le BO-P que pour le BIBE-P.

Près de 80 % de la disponibilité supplémentaire concerne des essences feuillues, avec entre 6,1 Mm³/an et 15,8 Mm³/an en 2031-2035 selon le scénario mis en œuvre, dont la majorité de BIBE-P. Les marges de croissance chez les résineux sont très limitées avec le scénario de sylviculture constante (+1,4 Mm³/an en 2031-2035) et exclusivement constituées de BO-P. La dynamisation de la gestion permettrait de mobiliser 4 Mm³/an en 2031-2035, dont seulement 0,9 Mm³/an de BIBE-P, le plus souvent en montagne.

Les ressources supplémentaires sont concentrées dans les propriétés privées, et plus particulièrement celles dont la faible superficie ne permet pas d'avoir un PSG. La disponibilité supplémentaire y atteint 5,2 Mm³/an en 2031-2035 avec le scénario de sylviculture constante et 11,8 Mm³/an avec le scénario dynamique progressif, soit 60 % du total national. En forêt publique, le scénario de sylviculture constante ne produit quasiment pas de disponibilité supplémentaire, avec +1 Mm³/an en 2031-2035 exclusivement dans les forêts des collectivités. La dynamisation de la gestion, là où elle est possible, porterait la disponibilité supplémentaire à +6,1 Mm³/an en 2035, majoritairement sous la forme de bois feuillus dans les forêts des collectivités.

Même si la mise en œuvre du scénario de gestion dynamique progressif fait passer le taux de prélèvement d'environ 50 % aujourd'hui à environ 70 % en 2035, la capitalisation du bois en forêt se poursuit.

A l'horizon 2035 la disponibilité technico-économique totale de MB serait de 6,2 Mm³/an ou 8,1 Mm³/an selon le scénario de gestion adopté, alors que les prélèvements actuels sont estimés à 0,3 Mm³/an. Les volumes de disponibilités supplémentaires qui en résultent incluent de l'ordre de 4 Mm³/an de MB dont l'exploitation est rendue non rentable du fait de l'exploitation séparée de billons de BI. Selon l'évolution des techniques d'exploitation des MB, on peut estimer que la disponibilité supplémentaire réelle de MB à l'horizon 2035 serait incluse dans une fourchette de 1,9 à 5,9 Mm³/an pour le scénario de sylviculture constante et de 3,8 à 7,8 Mm³/an pour le scénario de gestion dynamique progressive.

Prospective sur la demande en produits bois

Trois scénarios de demande industrielle ont été construits à l'horizon 2035 à l'échelle nationale en distinguant quatre groupes de produits : BO feuillu, BO résineux, bois d'industrie et bois énergie. La demande est définie comme celle des industries de première et de deuxième transformation (importations et exportations comprises). Les trois scénarios sont définis de la manière suivante :

- Un scénario « marché atone » où le niveau de l'activité économique reste faible et le développement de la filière bois-énergie est fortement ralenti ;
- Un scénario « énergie et bois d'industrie » marqué par un contexte économique qui reste mauvais. La consommation de bois énergie continue toutefois d'augmenter et les industries de la trituration profitent de la mobilisation accrue du BIBE pour se développer également ;
- Un scénario « filière dynamique » où le contexte économique est porteur et les secteurs de la construction et de l'emballage bénéficient d'une forte demande. Le bois énergie se développe encore plus et augmente sa contribution dans le mix énergétique national.

La comparaison des scénarios d'offre et de demande a montré que :

- La demande en BO feuillu estimée entre 5 à 7 Mm³ par an est largement satisfaite par l'offre, quel que soit le scénario envisagé. Par ailleurs les prélèvements actuels de BO potentiel sont deux fois plus élevés que les usages réels de BO, montrant une utilisation pour la trituration ou l'énergie. Dans le futur, l'offre de BO-P feuillu qui reste excédentaire et en forte croissance, pourra être utilisée comme BO s'il y a une demande et sinon comme bois industrie ou bois énergie ;
- La demande en BO résineux estimée entre 21 à 30 Mm³ par an n'est quasiment jamais satisfaite par l'offre potentielle. La forêt française ne produit pas suffisamment de BO résineux par rapport à la demande industrielle, ce qui rendrait nécessaire la pérennisation du recours aux importations ;
- La demande en bois industrie et bois énergie estimée entre 54 à 64 Mm³ par an dans les deux scénarios de demande les moins ambitieux peut être satisfaite à condition de mobiliser le bois rond, les produits connexes des industries du bois et d'utiliser le BO-P feuillu actuellement non utilisé comme BO. Cela nécessite de toute façon une forte dynamisation de la gestion forestière.

Conclusions

Les capacités de la forêt française permettent une **augmentation importante de la récolte à l'horizon 2035, jusqu'à +20 Mm³/an hors MB**, tout en restant dans le cadre d'une gestion durable. Cette évolution de la récolte pourrait satisfaire une augmentation de la demande de BO feuillus et surtout de BIBE pour l'industrie et l'énergie. La disponibilité en BO-P résineux resterait au-dessous de la demande envisagée, quel que soit le scénario. Les différents scénarios d'offre et de demande envisagés confirment le potentiel important de la ressource forestière, qui constitue l'une des réponses à une forte augmentation de la demande, en énergies renouvelables en particulier ; les scénarios esquissent aussi ses limites.

La mobilisation supplémentaire de gros bois résineux n'a pas été envisagée dans l'étude. Une meilleure mobilisation des MB pourrait aussi être envisagée. Ces prélèvements additionnels ne seraient toutefois envisageables qu'en veillant à la durabilité des sols et à la préservation des habitats remarquables.

En tout état de cause, une augmentation de la demande nécessiterait une importante **dynamisation de la gestion des forêts**, une **meilleure valorisation des BO feuillus** éventuellement en substitution au BO résineux et d'une manière générale une **dynamisation de l'ensemble de la filière bois** soutenue par une politique forestière ambitieuse.

A. INTRODUCTION

1. Contexte et objectifs de l'étude

Afin de réduire sa dépendance aux énergies fossiles et lutter contre les effets du changement climatique, la France s'est fixé des objectifs ambitieux en matière de développement d'énergies renouvelables.

La loi sur la transition énergétique adoptée le 22 juillet 2015 prévoit de renforcer la part des énergies renouvelables pour atteindre 32 % de la consommation d'énergie en 2030, contre 13,7 % en 2012. La biomasse devrait représenter 40 % de la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique en 2020.

L'atteinte de ces objectifs repose essentiellement sur la biomasse d'origine forestière, et la demande en bois devrait donc s'intensifier à court terme. La mobilisation de la ressource permet en effet de stimuler le stockage de carbone dans les produits bois, et surtout de substituer le bois aux matériaux plus énergivores et aux énergies fossiles. D'autre part, la récolte permet d'adapter les écosystèmes forestiers au changement climatique grâce au renouvellement des peuplements consécutifs à l'exploitation. Enfin, elle contribue à dynamiser l'activité économique dans les régions rurales.

La forêt française est l'une des plus vastes en Europe, et l'analyse des données collectées par l'IGN dans le cadre du programme d'inventaire forestier national (IFN), notamment au travers des études nationales récentes (ADEME et MAAF en 2009, DGEC en 2014), a confirmé la possibilité pour la forêt française de supporter une augmentation importante des prélèvements, telle que proposée à partir du Grenelle de l'environnement en 2007. En effet, la forêt française présente toutes les caractéristiques (IFN 2011a et IFN 2011b) d'une forêt globalement jeune, avec un volume de bois sur pied important et en expansion. Dès lors elle est également un important puits de carbone atmosphérique.

Fort de ce constat, différents programmes et outils nationaux et régionaux ont été mis en place récemment pour accroître les prélèvements tout en protégeant mieux la biodiversité et les écosystèmes. Le contrat stratégique de filière forêt-bois signé le 16 décembre 2014 a doté la filière bois française d'une stratégie d'avenir et lui a reconnu le statut de pilier de la croissance verte. La Loi d'Avenir pour l'Agriculture, l'Alimentation et la Forêt (LAAAF) du 13 octobre 2014, met en place le Programme National de la Forêt et du Bois (PNFB) qui précisera les orientations de la politique forestière pour les 10 prochaines années, dont l'augmentation de la mobilisation de bois. Le PNFB sera décliné en programmes régionaux (PRFB), qui fixeront, par grands bassins de production, les principaux objectifs économiques, environnementaux et sociaux, en tenant compte des spécificités forestières des territoires.

La Commission de régulation de l'énergie (CRE), le fonds chaleur et d'autres outils financiers gérés directement en région soutiennent depuis plusieurs années le développement de l'usage du bois énergie. Récemment, avec le programme DYNAMIC Bois, le fonds chaleur va pouvoir financer des projets de développement intégrés entre bois d'œuvre et bois-énergie à l'échelle des territoires, condition indispensable à la mobilisation de bois supplémentaires.

Pour une valorisation optimale et pérenne des forêts et du bois, les décideurs institutionnels (Etat, Régions, ADEME, Conseils Départementaux, etc.), et les professionnels publics et privés nationaux et régionaux (ONF, gestionnaires des forêts privés, CRPF, interprofessions forêt-bois, industriels, etc.) doivent pouvoir appuyer leurs schémas et projets de développement économique (pour la gestion, la mobilisation, la transformation) sur des informations de référence. Ces informations doivent en outre tenir compte des impacts des différentes contraintes qui pèsent sur la mobilisation des bois, lesquelles peuvent être la cause de tensions sur les ressources les plus aisément exploitables.

Alors que le développement de la biomasse énergie est en plein essor en Europe et au sein des territoires français, la connaissance de la ressource forestière additionnelle disponible compte tenu des conditions physiques, techniques, réglementaires et économiques, constitue un enjeu important pour les décideurs et les acteurs économiques. Quelles sont les quantités de bois mobilisables, par essence et qualité, où et dans quelles conditions d'exploitation ?

Objectifs de l'étude

Les travaux de modélisation réalisés par l'IGN et le FCBA visent à :

- Evaluer les volumes de bois disponibles pour le matériau, l'industrie et l'énergie à l'horizon 2035, selon deux scénarios de gestion forestière et en fonction des conditions d'exploitabilité régionales ;
- Estimer la demande en bois pour l'industrie et l'énergie selon différents scénarios prospectifs à l'horizon 2035 ;
- Apprécier les capacités de la forêt française à satisfaire les différents objectifs de production qui lui seraient assignés pour les 20 prochaines années.

NB : les modélisations des disponibilités en bois des forêts et les scénarios prospectifs de demande ont été construits de manière indépendante.

Un point d'attention particulier concerne l'évaluation des conditions d'exploitation de la ressource forestière. L'objectif est de mieux circonscrire les volumes mobilisables à court terme, et à moyen terme de préciser l'importance des leviers sur lesquels les décideurs pourraient agir dans la perspective d'une augmentation significative et durable des prélèvements de bois.

Les résultats de cette étude ont vocation à accompagner les décideurs publics et privés dans leurs prises de décisions aux échelles nationales et régionales, notamment sur les potentialités de développement de nouvelles unités industrielles ou énergétiques : quels volumes de récolte additionnelle sont soutenables ? De quelles essences s'agit-il et dans quels diamètres ? Où sont-ils situés ? Quels sont les principaux leviers pour augmenter la mobilisation ?

La présente étude constitue un approfondissement des études commanditées respectivement par l'ADEME et le MAAF en 2009, aux consortiums Cemagref¹ / IFN² et IFN / FCBA / Solagro, et de l'étude commanditée en 2014 par la DGEC à l'IGN et au CITEPA. Une analyse détaillée des évolutions est disponible en annexe 19.

Cette étude bénéficie des progrès qui ont été réalisés depuis 2009 grâce à l'acquisition de nouvelles données (comme l'estimation directe par l'IGN des prélèvements de bois en forêt), et à l'évolution permanente des méthodes d'évaluation de la ressource forestière et de son exploitabilité, avec par exemple la possibilité de décrire la ressource selon des informations cartographiques disponibles chez les professionnels.

2. Périmètre de l'étude

Les résultats présentés dans ce rapport concernent les **forêts disponibles pour la production de bois** (une définition est donnée après le tableau 1) et les **peupleraies**, conformément à la définition internationale de la forêt (FAO 2005). Les **bosquets** sont également inclus ; soit des formations boisées de superficie inférieure à 0,5 hectares. Finalement les forêts prises en compte dans l'étude couvrent au total 15,855 millions d'hectares en 2011, dont 179 000 ha de peupleraies cultivées (IGN 2015). Le volume de bois sur pied présent dans ces formations boisées s'élève à 2 585 millions de m³ (Mm³).

Tableau 1 : Surface et volume de bois par type de forêt en 2011 (source IGN, campagnes IFN de 2009 à 2013)

Types de forêts	Surface (milliers ha)	Volume sur pied (Mm ³)*
Forêts disponibles pour la production de bois	15 549	2 537
Bosquets de production	127	19
Peupleraies cultivées	179	30
Total	15 855	2 585

* volume de la tige principale, houppiers exclus, jusqu'à une découpe de 7 cm de diamètre.

¹ Devenu IRSTEA

² Jusqu'en 2012 et sa fusion avec l'IGN, l'enquête d'inventaire forestier national était réalisée en France par un établissement public intitulé Inventaire Forestier National, ou IFN.

Les forêts dites « disponibles pour la production de bois » sont celles où une production de bois est possible, sans qu'une autre utilisation du sol ou les conditions physiques ne viennent en empêcher l'exploitation, comme les fonctions d'accueil du public, de protection des sols et des eaux, ou encore de la biodiversité, etc. Dans la pratique, les forêts exclues de cette définition correspondent le plus souvent à des forêts physiquement inaccessibles (falaises, îlots), des réserves intégrales d'accès interdit, des enclos à gibier, etc. Les forêts disponibles pour la production de bois représentent au total plus de 95 % de la superficie boisée nationale.

Les ressources qui ne sont pas évaluées dans l'étude concernent :

- Les forêts qui ne sont pas disponibles pour la production de bois ;
- Les arbres hors forêts dans les milieux ruraux et urbains, les haies bocagères et les alignements d'arbres (bord de routes, canaux, etc.) ;
- Les souches des arbres exploités ;
- Les stocks de bois en fin de vie (puisqu'il s'agit d'une étude sur l'offre de bois).

B. DISPONIBILITES EN BOIS DES FORETS A L'HORIZON 2035

1. Etat des lieux des ressources forestières et de leurs conditions de mobilisation

1.1. La ressource forestière

En France, l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) est l'établissement chargé de produire des informations de référence sur l'état des forêts, leur diversité et les volumes de bois qu'elles renferment. Ces informations sont nécessaires à la définition et à l'évaluation des politiques internationales, nationales et locales qui impliquent les secteurs de la forêt et du bois.

Outre la réalisation de la carte des types de peuplements forestiers (BD Forêt®), l'IGN réalise l'enquête statistique permanente d'inventaire forestier national (IFN). Elle permet de mesurer, suivant des protocoles et des définitions publiques et normées, les états et les évolutions de la forêt en surface, volume et production biologique à l'échelon national et des grandes régions forestières.

L'ensemble des forêts métropolitaines publiques et privées est inventorié tous les ans depuis 2005. Des résultats nationaux sont ainsi publiés chaque année.

Depuis 2010, l'IGN réalise une évaluation directe des prélèvements de bois en forêt en ré-inventoriant les placettes mesurées 5 ans auparavant. Cette information fournit pour la première fois en France une estimation spatialisée de la récolte actuelle dans les forêts publiques et privées, en quantité et en qualité (essences, diamètres, etc.), et suivant les conditions d'exploitation. Elle est en outre parfaitement compatible avec les autres estimations IGN sur le stock sur pied, la production biologique et la mortalité, ce qui permet de dresser un bilan exhaustif et cohérent des flux de bois forestiers en France.

Données mises en œuvre dans l'étude :

La description de la ressource forestière actuelle repose sur les données d'inventaire collectées au cours des cinq campagnes annuelles disponibles à la date de l'étude, soit des mesures réalisées de 2009 à 2013 pour une année moyenne 2011. Cela représente plus de 33 000 placettes d'observation réparties de façon homogène sur le territoire.

Les volumes de prélèvements ont été estimés à partir des quatre campagnes annuelles de mesure qui étaient disponibles à la date de l'étude, soit la période 2005-2013.

Toutes ces données permettent de décrire l'état actuel de la ressource forestière (Hervé et al. 2014) en superficie et en stock de bois sur pied, aux échelles nationales et régionales et selon une ventilation par essence, classe de diamètre, propriété, pente du terrain, distance de débardage, etc.

Quant aux mesures de flux (i.e. production biologique, mortalité et prélèvements de bois), elles sont utilisées pour définir les modèles de dynamique forestière qui sont nécessaires pour projeter l'évolution de la ressource et calculer les disponibilités futures en bois.

1.2. Analyse des conditions de mobilisation de la ressource forestière

Les ressources les plus aisément exploitables sont les premières à être sollicitées dans un contexte de demande croissante en bois. Il est indispensable d'étoffer le diagnostic sur les conditions de mobilisation de la ressource, pour un meilleur réalisme des estimations produites, et pour mieux identifier comment mobiliser à terme les volumes additionnels.

1.2.1. Facteurs pris en compte dans le diagnostic de mobilisation

Il est bien connu que tout le stock de bois sur pied de la forêt française n'est pas exploitable à un instant donné, y compris les arbres ayant des dimensions commerciales. Par exemple, un certain nombre de facteurs externes aux peuplements forestiers *sensu stricto* ont un impact sur les quantités de bois effectivement exploitables. Ainsi les conditions de récolte et de mobilisation des bois varient parfois en fonction de la présence de zonages où résident des enjeux environnementaux, économiques, et sociaux

spécifiques. Les impacts de ces enjeux sont variés : absence de récolte, surcoût d'exploitation plus ou moins important et donc plus ou moins rédhibitoire pour la récolte, modification des dates des travaux, accompagnement du public et des élus locaux pour leur expliquer les travaux, etc.

La prise en compte dans une étude de ressource des facteurs ayant une influence sur la récolte suppose qu'ils soient clairement identifiables, par exemple sous la forme d'une carte. C'est le cas des facteurs physiques qui déterminent les conditions techniques de l'exploitation ; leurs impacts peuvent ainsi être évalués précisément, par exemple en permettant la définition du système d'exploitation associé. Ce n'est pas le cas en revanche du consentement à offrir des propriétaires qui fait encore l'objet de nombreux travaux de recherche et de développement, mais qui ne peut pas être pris en compte explicitement à la date de l'étude, faute d'éléments objectifs.

Liste des facteurs de mobilisation des bois qui sont pris en compte dans l'étude :

L'étude se focalisant sur l'offre de bois des forêts, les facteurs liés à l'économie globale, au marché du bois et à l'organisation de la filière forêt-bois française ne sont pas pris en compte.

Parmi tous les facteurs liés à la forêt et qui ont un impact sur la mobilisation des bois, les **points suivants ont été pris en compte dans l'étude de manière explicite**. Ils sont détaillés dans les chapitres suivants.

- Les facteurs les mieux documentés dans les études de ressource concernent les conditions physiques d'exploitabilité (pente, présence de piste, distance de débardage, etc.). Elles ont un impact direct sur le coût d'exploitation. Elles sont prises en compte dans l'étude au niveau de la définition des modes d'exploitation les plus probables. Ce paramètre rentre dans le calcul de la disponibilité technico-économique.
- Le souci de la conservation de la fertilité des sols sur le long terme est un autre élément fondamental à prendre en compte. Le risque d'appauvrissement des sols induit par une récolte des menus bois sur sols pauvres est pris en compte au niveau de l'évaluation de la disponibilité technico-économique.
- La présence sur un territoire d'enjeux spécifiques de gestion, comme par exemple la protection de la biodiversité, des sols et des eaux, la conservation des paysages, l'accueil du public, etc. modifie les types de gestion mis en œuvre et les conditions de mobilisation des bois. L'atteinte de ces enjeux peut dans certains cas interdire la récolte ou augmenter le coût d'exploitation. Ils sont pris en compte dans l'étude au niveau de la définition des scénarios de gestion forestière.
- Le type de propriété (forêts domaniales ou des collectivités, forêts privées) est un autre facteur dont dépendront la gestion et la mobilisation des bois. En France, la faible taille des propriétés forestières privées constitue souvent une limitation à l'exploitation des bois, or les forêts privées de moins de 10 ha représentent 30 % du total de la superficie forestière française. L'information sur les forêts privées dotées d'un PSG agréé est prise en compte dans l'étude au niveau de la définition des scénarios de gestion forestière.

La prise en compte de ces deux derniers aspects (i.e. zones à enjeux spécifiques pour la gestion et taille des propriétés privées) dans une étude de ressource d'ampleur nationale est une première. Elle a été rendue possible par la mise à disposition par les professionnels concernés de cartes thématiques, dont la carte du CNPF sur les forêts privées avec un PSG agréé (carte anonymisée et sans les contours des propriétés).

La mise en correspondance de ces cartes thématiques avec les données de l'inventaire forestier national a permis de décrire la surface, le volume de bois sur pied, la production biologique et les prélèvements suivant les attributs des cartes. Cela a contribué à enrichir significativement le diagnostic sur l'exploitabilité actuelle de la ressource et à différencier les possibilités de dynamisation de la récolte à l'horizon 2035.

1.2.2. Exploitabilité physique

L'exploitabilité physique des peuplements forestiers est évaluée directement sur le terrain par les équipes de l'inventaire forestier de l'IGN. Cinq données indépendantes sont collectées en forêt :

- La présence d'un **itinéraire de débardage**, la **distance de débardage** et la **plus forte pente** le long du tracé supposé de débardage. Ce sont des paramètres essentiels pour apprécier la difficulté d'exploitation, qui peut ensuite être traduite en coût d'exploitation.
- La **portance du sol** et les **aspérités** présentes sur la zone sont aussi prises en compte dans l'évaluation de l'exploitabilité physique.

Dans l'étude, ces informations détaillées sont mobilisées dans le calcul de la disponibilité technico-économique. Elles permettent de définir des systèmes d'exploitation et de calculer les coûts associés, selon une méthode décrite au chapitre B.4.2.

Une synthèse de la difficulté d'exploitation des peuplements peut être établie en combinant ces cinq facteurs. Le tableau suivant présente la répartition de la ressource française suivant le classement défini classiquement par l'IGN.

Tableau 2 : Ressource des forêts disponibles pour la production de bois en fonction de l'exploitabilité physique

Exploitable physique selon l'IGN	Surface (milliers ha)	Taux dans la surface nationale	Volume sur pied (Mm ³)	Taux dans le volume national
1. Très facile	4 683	30%	770	30%
2. Facile	4 619	29%	756	30%
3. Moyenne	1 303	8%	227	9%
4. Difficile	4 984	32%	789	31%
5. Très difficile	87	0,6%	12	0,5%

1.2.3. Sensibilité à un appauvrissement des sols consécutifs à l'exportation des menus bois

Une exportation des menus bois des forêts installées sur les sols dont la richesse minérale est déjà faible (par exemple les sols sableux ou gréseux, granitiques et limoneux) peut conduire à une réduction importante des éléments minéraux assimilables par la végétation, et donc à une baisse significative de leur productivité à moyen et long terme.

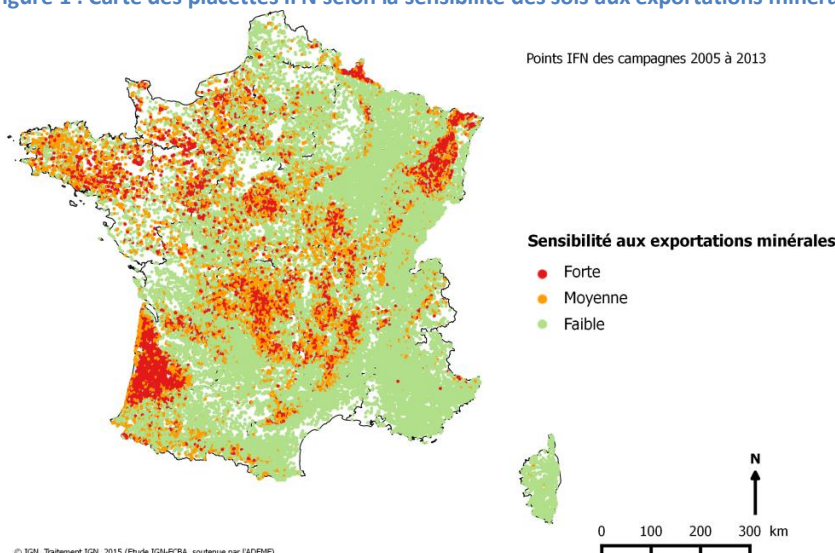
La sensibilité des sols forestiers à un appauvrissement de la fertilité peut être appréciée au travers du cortège d'espèces floristiques. En effet, les plantes permettent d'estimer indirectement le pH de la station, par un principe de bio-indication mis au point par la recherche (Gégout et al. 2002). Or, la richesse minérale d'un sol est étroitement liée à son acidité.

A partir du guide pour la *Récolte Raisonnée des Rémanents en Forêt* (ADEME 2006), et des relevés floristiques de l'IGN, la surface des forêts par classe de sensibilité à l'exportation des menus bois a été estimée. La carte ci-dessous permet de visualiser les zones où les sols sont sensibles à l'exportation des minéraux via les menus bois. Le guide de l'ADEME développe un certain nombre de préconisations pour la récolte des menus bois en fonction de la sensibilité des sols à un appauvrissement chimique.

Dans l'étude, la récolte des menus bois est proscrite sur les sols pauvres soit 16 % de la superficie boisée nationale. Elle est limitée à un seul prélèvement dans la vie du peuplement (généralement lors de la coupe finale) sur les sols moyennement sensibles aux exportations, lesquels qui représentent 21 % de la superficie boisée nationale. Enfin elle est *a priori* possible lors de chaque intervention sur les sols les plus riches, qui occupent 63 % de la superficie boisée nationale.

Ces restrictions sont appliquées au moment du calcul de la disponibilité technico-économique car la récolte des menus bois en forêt n'est jamais une fin en soi, elle est toujours consécutive à la récolte du BO ou du BIBE définie par la sylviculture et donc les scénarios de gestion.

Figure 1 : Carte des placettes IFN selon la sensibilité des sols aux exportations minérales



1.2.4. Zonages des forêts selon les enjeux de gestion spécifiques

De nombreux massifs forestiers sont soumis à des réglementations diverses, de nature environnementale, paysagère, sociale, etc. Ces réglementations ont différents effets sur la gestion et la mobilisation des bois, et donc sur les volumes effectivement exploitables. Selon les situations elles peuvent conduire à exclure la fonction de production de bois (cas des réserves biologiques), à adapter les objectifs de gestion sylvicole (ex : mise en œuvre d'une sylviculture gros bois et irrégularisation des peuplements pour la conservation de l'habitat du grand tétras dans les Vosges), ou à modifier les modalités de réalisation des travaux (ex : date et types des interventions dans les espaces Natura2000).

Afin d'en tenir compte dans l'étude, une première tâche a consisté à identifier tous les types de zonages réglementaires, contractuels ou d'inventaire, ayant potentiellement un impact sur la gestion forestière et la mobilisation des bois. Un filtre a ensuite permis de retenir ceux qui ont un impact réel et qui existent sous la forme de cartes accessibles à l'échelle nationale. Les types de zonages qui n'ont pas été retenus sont décrits plus loin dans ce chapitre.

Une typologie des grands enjeux de gestion a été établie avec les professionnels. Etant donné qu'une même forêt peut-être concernée par plusieurs zonages et enjeux à la fois, il a été nécessaire de hiérarchiser les enjeux en fonction de l'importance de leurs impacts. **Cinq types d'enjeux ont été établis**, suivant leur impact décroissant sur la mobilisation des bois. Les zonages concernés sont indiqués dans le tableau ci-dessous. L'annexe 1 donne une description de la ressource dans les zonages pris individuellement.

La typologie construite à dire d'expert a été consolidée grâce à l'analyse du taux de prélèvement observé avec le dispositif d'inventaire forestier de l'IGN (voir tableau 3), puis validée en comité de pilotage.

Finalement, chaque placette IFN a été classée dans le type d'enjeu le plus contraignant qui la concernait.

Enjeu n°1 : Zones sans enjeu de production de bois (enjeu fort de conservation de l'environnement, terrains à vocation autre que la production...). Les forêts concernées peuvent produire du bois mais ce n'est ni l'objectif principal ni secondaire :

- Réserves Biologiques Intégrales et Dirigées de l'ONF (RBI et RBD) (source INPN)
- Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope (APPB) (source INPN)
- Réserves Naturelles Nationales, Régionales, et de Corse (RN) (source INPN)
- Parcs Nationaux : zone cœur et aire d'adhésion (PN) (source INPN). Les aires d'adhésion ont été incluses bien qu'elles ne soient pas soumises aux mêmes restrictions que les zones cœur. Les taux de prélèvements mesurés par l'IGN dans les deux types de zones sont très faibles et non significativement différents.
- Terrains militaires (source ONF)
- Forêts installées sur des sols engorgés en permanence (marais, tourbières, aulnaies), supposées toujours impraticables, même si des modes d'exploitation aériens peuvent être envisagés localement. Ces forêts ne font pas l'objet d'une cartographie. Elles sont identifiées à partir des observations de terrain IFN.

Enjeu n°2 : protection et conservation des espèces et des habitats (Natura 2000), hors zones enjeu n°1 : Sont concernées les forêts incluses simultanément dans les deux réseaux de protection contractuelle :

- Zones de Protection Spéciale (ZPS) de la Directive Oiseaux (source INPN)
- Zone Spéciale de Conservation (ZSC) de la Directive Habitat (source INPN)

Enjeu n°3 : conservation du patrimoine (paysager, architectural), hors zones à enjeux n°1 ou 2 :

- Sites classés, pour lesquels les travaux forestiers doivent faire l'objet d'une autorisation par l'administration (source DREAL : portail Carmen)

Enjeu n°4 : social (accueil du public, zones périurbaines), hors zones concernées par les enjeux 1 à 3 :

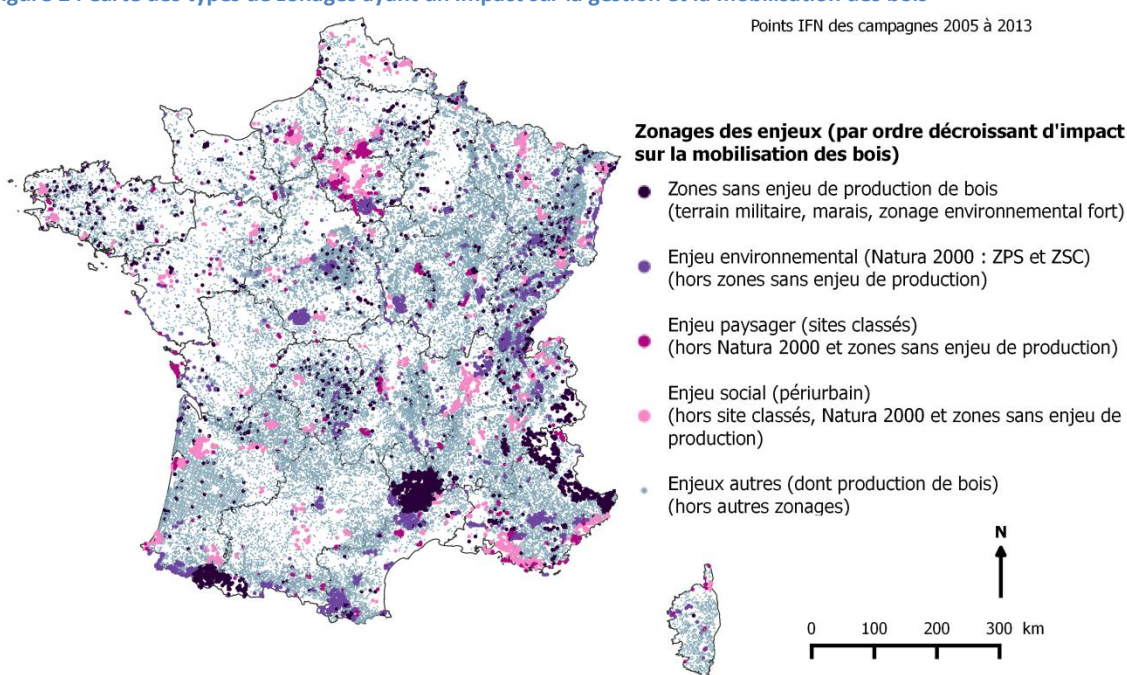
- Il s'agit des forêts publiques et privées situées dans les unités urbaines de plus de 50 000 habitants, telles que les définit l'INSEE (source INSEE : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/unite-urbaine.htm>). Cette définition purement statistique des forêts péri-urbaines est certainement majorante.

Enjeu n°5 : Autres enjeux (dont production de bois), hors zones concernées par les enjeux n°1 à 4 :

- Forêts non incluses dans les catégories précédentes.

La carte suivante illustre la distribution des points d'inventaire selon les cinq types d'enjeux.

Figure 2 : Carte des types de zonages ayant un impact sur la gestion et la mobilisation des bois



© IGN, INPN, ONF, DREAL, INSEE. Traitement IGN, 2015 (Etude IGN-FCBA, soutenue par l'ADEME)

Ressource forestière et taux de mobilisation selon les types d'enjeux :

Les catégories d'enjeux n°1 à 4 représentent 13 % de la surface boisée nationale, mais 12,2 % du stock sur pied, 10,1 % de la production biologique nette de la mortalité, et seulement 6,4 % des prélèvements (source IGN 2015). Ceci confirme la spécificité de la ressource et de la gestion réalisée dans ces forêts.

Le taux de prélèvement croît avec l'avancement dans la typologie des enjeux, confirmant l'intérêt de distinguer ces zones pour un calcul plus réaliste des disponibilités en bois.

Le tableau ci-dessous présente la part des différentes zones à enjeu dans la ressource actuelle, ainsi que le taux de prélèvements sur la période 2005-2013.

Ces mêmes indicateurs sont ventilés par type d'enjeu et type de propriété dans l'annexe 2. Les annexes 3 et 4 présentent quant à elles ces mêmes indicateurs par région.

Tableau 3 : Caractéristiques de la ressource et des prélèvements dans les zones à enjeu spécifique pour la gestion

Type d'enjeu pour la gestion forestière	Part dans la surface boisée nationale	Part dans le stock sur pied national	Part dans la production biologique nette de la mortalité nationale	Part dans les prélèvements de bois nationaux	Taux de prélèvement (sur le stock)	Taux de prélèvement (sur la production nette)
1. sans enjeu de production de bois	4,9%	4,6%	3,7%	1,1%	0,4%	15%
2. protection des espèces + habitats	3,9%	3,7%	3,2%	2,2%	1,0%	35%
3. conservation du patrimoine	1,4%	1,3%	1,1%	0,8%	0,9%	35%
4. enjeu social	2,8%	2,5%	2,2%	2,3%	1,5%	51%
5. autres enjeux (dont production de bois)	87,1%	87,9%	89,9%	93,6%	1,7%	51%
Total général	100%	100%	100%	100%	1,6%	50%

Source : inventaire forestier national, IGN

Zonages non retenus pour le diagnostic d'exploitabilité de la ressource

Certains zonages n'ont pas été retenus car ils n'étaient pas disponibles partout, ou parce qu'ils n'avaient pas un intérêt particulier par rapport aux objectifs de cette étude. Il s'agit de :

- Les inventaires, incluant les ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique) et les ZICO (Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux) qui n'entraînent pas d'impact particulier sur la gestion et la mobilisation des bois ;
- Les sites du réseau Natura 2000 qui ne sont pas concernés à la fois par les Directives Oiseaux et Habitats, et pour lesquels les taux de prélèvement estimés par l'IGN ne sont pas sensiblement différents de la moyenne hors Natura2000 ;
- Les sites inscrits et les forêts des ZPPAUP où les travaux doivent faire l'objet d'une déclaration. Les taux de prélèvement n'y sont pas sensiblement différents de la moyenne nationale ;
- Les espaces boisés classés (EBC) des plans locaux d'urbanismes (PLU) pour lesquels aucune info n'est disponible au niveau national ;
- Les îlots de sénescence et les îlots de vieillissement qui ne sont pas cartographiés (à moins qu'ils ne soient déjà inclus dans un espace de protection réglementaire ou contractuel) ;
- Les périmètres rapprochés de captage d'eau potable qui ne sont pas systématiquement cartographiés, ou dont les contours ne sont pas disponibles ;
- Les zones où s'exercent des enjeux sociaux : certaines forêts, essentiellement publiques, éloignées des centres urbains peuvent être concernées par la fonction d'accueil du public, comme les forêts proches du littoral ou situées à proximité des grandes agglomérations des régions peu boisées, ou à proximité des sites touristiques très fréquentés.

1.2.5. Type de propriété en forêt privée

La mobilisation des bois ne dépend pas seulement des facteurs environnementaux, sociaux et patrimoniaux, mais aussi du type de propriété. En effet, selon qu'il s'agit d'une collectivité, de l'Etat ou d'un particulier, la gestion n'est pas identique pour un peuplement donné. Chez les 3,5 millions de propriétaires forestiers privés que compte la France, les comportements sont très variables.

Des enquêtes sociologiques récentes ont montré la corrélation positive entre la taille de la propriété et le niveau d'implication du propriétaire dans la gestion forestière. Il n'existe pas à ce jour de base de données géographique nationale exhaustive sur la taille des propriétés forestières. En revanche le CNPF construit et administre la base de données des forêts privées dotées d'un Plan Simple de Gestion (PSG). Les PSG sont obligatoires pour les propriétés de plus de 25 ha.

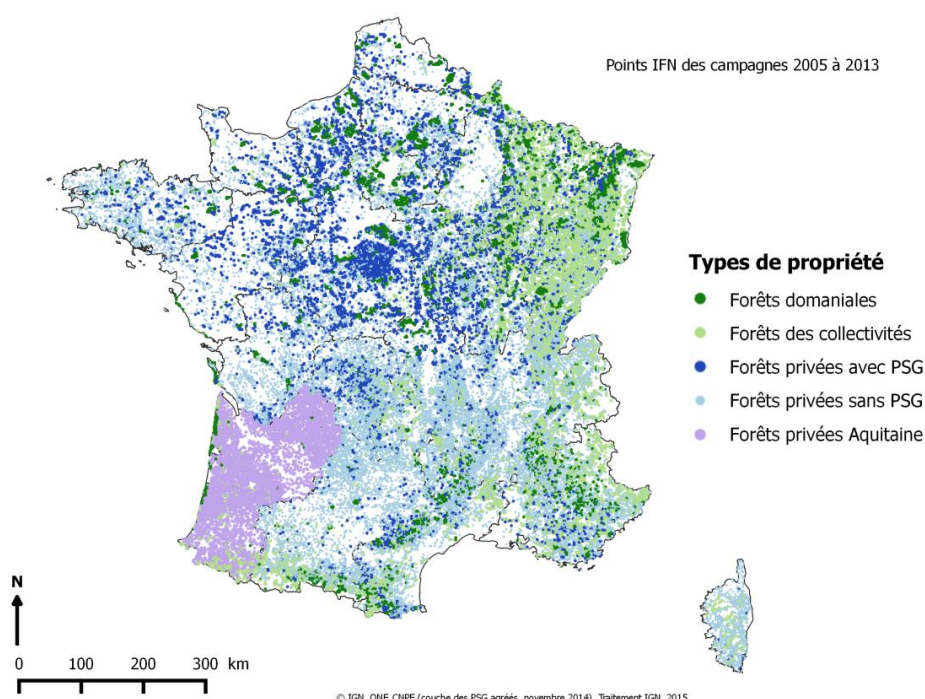
La fourniture gracieuse de cette carte à l'IGN en novembre 2014 a permis d'identifier les forêts privées avec un PSG, et d'estimer par différence les forêts privées sans PSG. C'est la première fois que cette identification est réalisée dans une étude de disponibilité nationale. A noter toutefois que la base de données des PSG est en cours de constitution au CNPF. Elle n'était que partiellement disponible à la date de l'étude et on estime qu'il manque entre 650 000 et 700 000 ha par rapport aux chiffres du Cadastre :

- Aquitaine : les travaux de numérisation sont en cours dans cette vaste région où les forêts sont essentiellement privées, dont le taux de boisement est largement supérieur à la moyenne nationale, et qui a été ravagée par les deux tempêtes exceptionnelles de 1999 et 2009. Le taux de complétude de la carte des PSG était de 75 % au moment de l'étude, et l'information n'a pas été jugée suffisamment exhaustive par le CNPF pour être transmise à l'IGN.
- Rhône-Alpes et PACA : les taux de numérisation étaient respectivement de 91 % et 92 % fin 2014, soit des taux suffisants pour être pris en compte.

Les différentes catégories de propriété finalement retenues dans l'étude sont les suivantes (figure 3) :

- Forêt domaniale (source ONF et IGN) ;
- Forêt des collectivités (source ONF et IGN) ;
- Forêt privée avec un PSG (source CNPF et IGN) ;
- Forêt privée sans PSG (source IGN, par différence avec les 3 premières) ;
- Forêt privée en Aquitaine (**sans la distinction avec / sans PSG car l'information n'était pas disponible au moment de l'étude**) (source IGN)

Figure 3 : Répartition des forêts françaises selon le type de propriétaire



Ressource forestière et taux de mobilisation selon les types de propriété :

Le tableau 4 montre que le taux de prélèvement varie significativement avec le type de propriété, et la présence d'un PSG en forêt privée (50 %) ou non (34 %) ; cela confirme la pertinence de cette information pour évaluer les disponibilités en bois de manière réaliste.

Le tableau ci-dessous présente la part des différents types de propriété dans la ressource actuelle (superficie, stock de bois sur pied, production) et dans les prélèvements de bois sur la période 2005-2013.

Le détail par type de propriétaire et par type d'enjeu est disponible en annexe 2. Les annexes 3 et 4 présentent quant à elles le détail par région, selon ces deux facteurs pris séparément.

Tableau 4 : Caractéristiques de la ressource et des prélèvements selon le type de propriétaire

Type de propriété	Part dans la surface Boisée nationale	Part dans le stock sur pied national	Part dans la production biologique nette de la mortalité nationale	Part dans les prélèvements de bois	Taux de prélèvement (sur le stock)	Taux de prélèvement (sur la production nette)
1_Domaniale	9,3%	10,7%	10,4%	14,7%	2,2%	70%
2_Collectivités	16,4%	18,4%	17,3%	20,1%	1,8%	57%
3_Privée_avec PSG	13,7%	15,6%	16,5%	16,7%	1,7%	50%
4_Privée_sans PSG	50%	47,6%	46,5%	32%	1,1%	34%
5_Privée_Aquitaine*	10,6%	7,6%	9,4%	16,4%	3,5%	86%
Total général	100%	100%	100%	100%	1,6%	50%

* la carte des PSG n'était pas disponible dans cette région au moment de l'étude

2. Principe de l'évaluation des disponibilités en bois

2.1. Calcul des disponibilités exploitables en plus des usages actuels

La disponibilité en bois est le potentiel de récolte permis par la ressource forestière d'un territoire à une date donnée, compte tenu de son stade de développement, et en application de règles de gestion.

La méthode d'évaluation de la disponibilité en bois consiste à simuler sur un pas de temps donné la dynamique de la ressource forestière d'un territoire, c'est-à-dire évaluer la croissance des arbres, la mortalité naturelle, et la sylviculture, pour finalement calculer les prélèvements périodiques de bois qui y sont associés.

Le calcul de la disponibilité s'appuie sur une analyse détaillée de l'état de la ressource forestière, qui est connue au travers des données statistiques de l'inventaire forestier national de l'IGN. Cette analyse permet d'abord de distinguer des domaines d'étude, qui sont des ensembles de peuplements de caractéristiques suffisamment semblables (essences, croissance, gestion) pour que leur évolution soit simulée de la même manière. Au sein de chaque domaine d'étude, la ressource est ensuite décrite en fonction de son stade de développement en diamètre ou en âge. On simule enfin la croissance des arbres au cours du temps, et l'action des gestionnaires forestiers d'un territoire. Des règles de gestion (ou de prélèvement) sont appliquées à la ressource, en fonction de son stade de développement en diamètre ou en âge.

Le volume de disponibilité dépend donc étroitement du stade de développement des peuplements (distribution des classes d'âge et de diamètre), et de la sylviculture appliquée aux essences en fonction du contexte économique et pédoclimatique local. Il n'y a toutefois pas de sylviculture absolue par type de peuplement, car elle dépend de l'objectif assigné à la forêt par son propriétaire. Il peut y avoir des sylvicultures préconisées, dans lesquelles des programmes des coupes sont définis par des organismes techniques, mais dans la réalité chaque gestionnaire réalise les travaux sylvicoles de son choix, avec une intensité plus ou moins forte. La grande variabilité des pratiques induit *de facto* une grande variabilité des situations forestières, et il est fondamental de tenir compte de la diversité de la forêt et de la gestion pour évaluer au mieux les disponibilités réelles à l'échelle d'un territoire.

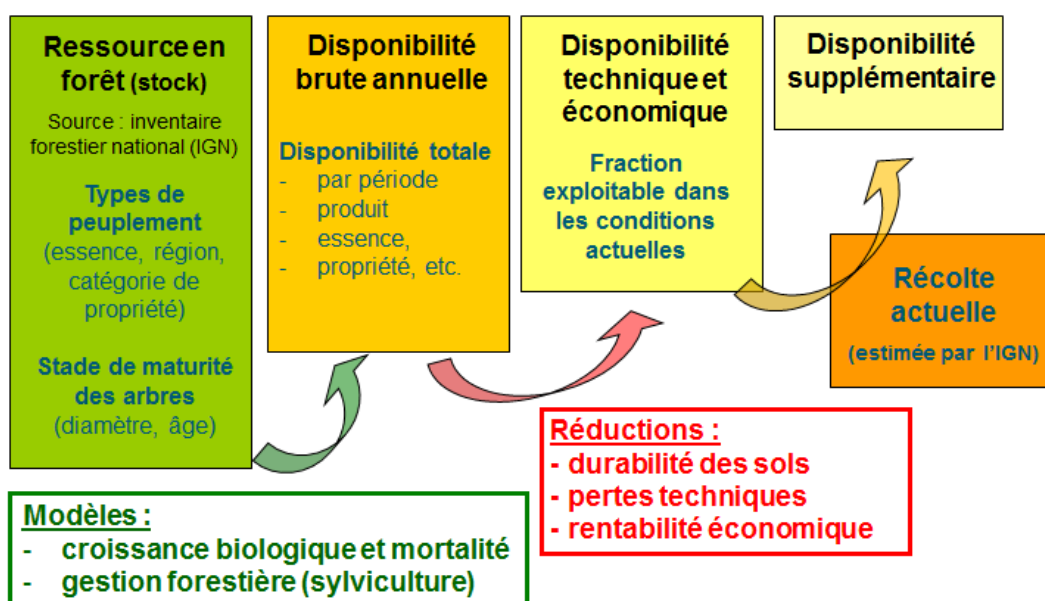
Le calcul de la disponibilité exploitable et supplémentaire s'effectue ensuite par réflexions successives, comme le montre le schéma de la figure 4 (d'après Thivolle-Cazat et Le Net 2014). En effet, la disponibilité brute n'est pas entièrement exploitable, et il faut lui retrancher :

- Les pertes fatales d'exploitation (dans l'état actuel des techniques de récolte) ;
- Les parcelles où l'exploitation n'est pas rentable dans une situation économique donnée, du fait de conditions d'exploitation qui grèvent le coût de la mobilisation, ou d'une trop faible qualité et/ou quantité de produits bois générés par la coupe ;
- Les volumes de menus bois sur les sols les plus pauvres, afin de ne pas compromettre la durabilité de l'écosystème à long terme.

On calcule ainsi ce que l'on appelle la **disponibilité technico-économique**, dans laquelle se réalise la récolte courante. Finalement, on peut évaluer par différence le volume des **disponibilités supplémentaires**, défini comme le volume exploitable en plus des prélèvements actuels.

Le modèle de calcul de la disponibilité brute est dynamique et récursif, c'est-à-dire que l'état de la ressource au début de l'année N+1 est le résultat de la ressource à l'année N moins le bilan des flux survenus la même année (croissance – mortalité – prélèvements). Les prélèvements considérés ici sont les disponibilités brutes.

Figure 4 : Principales étapes de calcul de la disponibilité, depuis les données d'inventaire à la disponibilité supplémentaire



2.2. Différences entre disponibilité en bois et production biologique

Pour les cultures annuelles comme les céréales, la disponibilité brute correspond à la production biologique annuelle de la parcelle, à la mortalité près. Mais pour les arbres forestiers, la récolte a lieu de nombreuses années après le début de leur vie (exemples : 20 ans en peupleraie, 100 ou 200 ans pour les chênaies). Quand on coupe un arbre, on récolte sa production biologique nette accumulée au cours de sa vie. C'est la même chose à l'échelle d'un peuplement forestier : la récolte peut concerner une partie des arbres si on réalise des éclaircies, ou la totalité des arbres restants après des dizaines d'années si on réalise une coupe finale, c'est-à-dire quand le peuplement est arrivé en fin de révolution. Ce n'est qu'à ce moment qu'on a récolté la totalité de l'accroissement biologique net produit sur la période.

Dans une forêt, si les classes d'âge des parcelles sont équilibrées (i.e. même surface pour toutes les classes d'âge d'un type de peuplement donné), on pourrait imaginer récolter chaque année une fraction de la surface, correspondant à la production biologique annuelle de l'ensemble. Cependant, dans un massif forestier et *a fortiori* au niveau régional ou national, l'équilibre des âges par type des peuplements n'est jamais atteint, du fait des différences de conditions de croissance liées aux contextes pédoclimatiques, des épisodes climatiques, de la diversité des pratiques des gestionnaires, de l'historique des parcelles, etc.

Selon l'état des peuplements, le potentiel réel de récolte peut être actuellement très faible et largement inférieur à la production biologique. C'est le cas par exemple d'une forêt constituée majoritairement de jeunes peuplements comme la forêt landaise après les tempêtes de 1999 et 2009. Le potentiel de récolte peut aussi, et à l'inverse, être très supérieur à la production biologique des peuplements. C'est le cas par exemple lorsque les peuplements sont régénérés quand les arbres ont atteints les dimensions d'exploitabilité. Peyron et Hervé (2014) illustrent davantage ces situations où production biologique et volumes exploitables (ou disponibilités) sont temporairement déconnectés.

A l'échelle nationale, la production biologique et le taux de prélèvement (rapport entre les prélèvements et la production nette de la mortalité) ne peuvent donc pas servir à évaluer une disponibilité en bois pour les années à venir. En revanche le suivi de ces indicateurs est pertinent sur le long terme pour évaluer la durabilité des pratiques.

3. Projection de la ressource et des disponibilités brutes à l'horizon 2035

3.1. Domaines d'étude

Afin de simuler l'évolution de la forêt française à l'horizon 2035 et de calculer les disponibilités en bois, les 15,86 millions d'hectares de forêts disponibles pour la production de bois ont été répartis en **domaines d'étude** (annexe 5). Chacun d'eux fait l'objet d'une projection suivant des hypothèses spécifiques.

Un domaine d'étude regroupe des peuplements comparables en termes d'essence, de propriété, de conditions de milieu et de sylviculture. Ainsi, tous les peuplements d'un même domaine peuvent se voir appliquer les mêmes hypothèses de croissance biologique, de mortalité, et de prélèvement, à conditions de développement données (classe d'âge ou de diamètre).

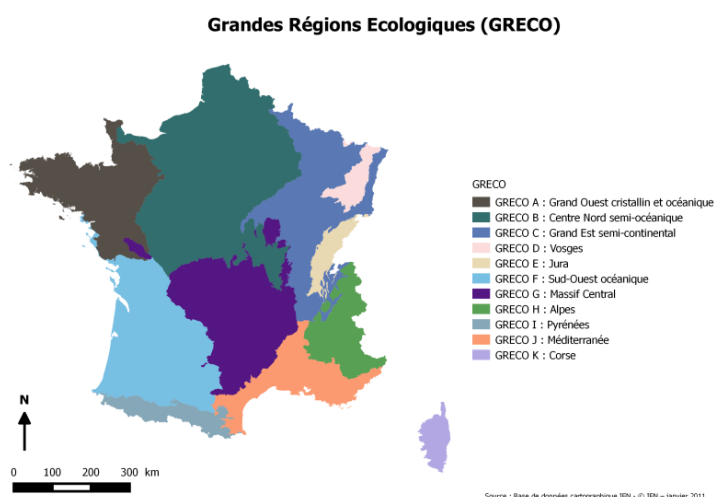
a. Forêts hors peupleraies

La ressource forestière nationale a été stratifiée en **116 domaines d'étude** issus d'une combinaison à dire d'expert des quatre facteurs suivants déterminés à partir des données IFN :

1. Le type de couverture boisée, avec la distinction entre les forêts fermées et les forêts ouvertes³. Les forêts fermées temporairement déboisées comme les coupes rases, ou les parcelles en régénération, restent des forêts fermées.
2. L'essence objectif pour le gestionnaire. Elles est définie à dire d'expert. Une vingtaine de groupes d'essences feuillues et résineuses sont distingués en raison des objectifs sylvicoles qui leurs sont assignés et/ou de leur autécologie. Une essence est dite « objectif » quand sa présence est supposée orienter les opérations sylvicoles : c'est souvent l'essence de plus grand intérêt économique.
3. La catégorie de propriété, en distinguant les forêts domaniales, les forêts des collectivités et les forêts privées (sans distinction de taille).
4. Les régions biogéographiques forestières. Les 11 Grandes Régions Ecologiques (GRECO) permettent de distinguer les types de sols, de relief et de climats en France, soit des facteurs stationnels qui ont un impact sur la productivité (les GRECO sont représentées sur la carte ci-dessous).

³ Les forêts ouvertes sont des boisements lâches dont le couvert forestier est compris entre 10 et 40 % en raison d'un sol superficiel, de la présence de rochers ou du fait de facteurs climatiques limitant.

Figure 5 : Les 11 grandes régions écologiques forestières française



Chaque placette d'inventaire a été affectée à un domaine d'étude. Un domaine d'étude compte au moins 50 placettes différentes afin de décrire la ressource avec une précision statistique suffisante.

Les données IFN ont permis finalement de calculer :

- Pour chaque domaine d'étude, et selon la double combinaison du type d'enjeu et du type de propriété ayant un impact sur la mobilisation des bois : surface et ressource en 2011 (nombre d'arbres et volume sur pied ventilés par classe de diamètre).
- Pour chaque domaine d'étude : les paramètres de dynamique forestière sur la période 2005-2013, lesquels sont nécessaires pour simuler l'évolution de la ressource (production biologique, mortalité, prélèvements et recrutement par classe de diamètre).

b. Peupleraies cultivées

Les domaines d'études ont été constitués en croisant les clones et groupes de clones inventoriés par l'IGN d'une part, et les régions administratives d'autre part.

Du fait de la faiblesse de leurs effectifs, on a regroupé les clones deltoïdes, trichocarpas et autres avec les clones indéterminés, sous le nom « Autres clones ». On obtient ainsi cinq groupes : Robusta, I214, Autres Euraméricains, Interaméricains et Autres clones.

On a regroupé les 22 régions administratives françaises en quatre grands bassins de production :

- Nord et Est : Haute et Basse Normandie, Nord-Pas de Calais, Picardie, Ile-de-France, Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche Comté ;
- Sud-Est : Bourgogne, Rhône-Alpes, Auvergne, Limousin, Languedoc Roussillon, PACA ;
- Centre-Ouest : Centre, Pays de Loire, Bretagne ;
- Sud-Ouest : Poitou-Charentes, Aquitaine, Midi Pyrénées.

Le croisement des groupes de clones et des régions a permis de constituer un premier jeu de domaines d'études. Lorsque le nombre de placettes d'inventaire forestier est inférieur à 50, le domaine d'étude a été rattaché à un autre plus important mais de type comparable. La liste des domaines d'étude finalement constitués en peupleraie est fournie en annexe 6.

3.2. Simulateur de l'évolution de la ressource forestière

Les disponibilités en bois sont calculées avec un simulateur décrivant l'évolution de la ressource forestière française (Colin 2014). Il est développé par l'IGN et le FCBA depuis les années 1980.

Le simulateur comprend deux modèles démographiques qui simulent la croissance, la mortalité et la sylviculture à l'échelle des domaines d'étude. Ils permettent ainsi d'estimer l'état futur de la ressource selon des pas de temps de 5 ans, et de simuler les prélèvements futurs en bois, ou disponibilités brutes.

La description de la ressource et la calibration des dynamiques de croissance et de mortalité naturelle sont réalisées exclusivement avec les mesures faites sur des placettes de l'IFN.

Les modèles sont génériques, c'est-à-dire qu'ils sont paramétrables et applicables quel que soit le type de peuplement (à l'inverse des modèles spécifiques qui ne peuvent être utilisés que pour une seule situation donnée et, le plus souvent, que pour une seule essence).

Le simulateur de l'évolution de la ressource comprend :

- Un modèle démographique de dynamique de la ressource par **classe de diamètre** (voir annexe 7). Il a été mis en œuvre dans les **forêts**, à l'exception des peupleraies.

La description de la ressource par classe de diamètre est adaptée dans le cas de peuplements hétérogènes en âges, en diamètres ou en essences, ou quand l'âge n'est pas disponible. Le modèle est également applicable dans les peuplements équiennes (peuplements où tous les arbres ont le même âge). Cette approche présente l'avantage de modéliser directement le diamètre qui est le paramètre conditionnant l'exploitation forestière, en plus d'être une des variables clé de la croissance des arbres (avec la hauteur).

Dans l'étude, la ressource forestière est décrite par un **effectif d'arbres par classe de diamètre** (amplitude de 5 cm, jusqu'à la classe 90 cm et plus), et un **volume moyen** correspondant. Les dynamiques forestières sont représentées pour chaque classe de diamètre par un taux de passage des arbres dans la classe de diamètre suivante (croissance), un taux de mortalité, un taux de prélèvement en effectif et un taux de recrutement dans la première classe de diamètre (Wernsdörfer et al. 2013).

- Un modèle démographique de dynamique de la ressource par **classe d'âge** (voir annexe 8). Il a été mis en œuvre dans les **peupleraies cultivées**.

La description des peuplements par classe d'âge est particulièrement bien adaptée aux peuplements équiennes comme les plantations, c'est à dire où les arbres ont le même âge et présentent des caractéristiques de croissance homogènes. Les interventions sylvicoles peuvent y être déclenchées en fonction de l'âge qui constitue alors un bon proxy du diamètre d'exploitabilité. Le renouvellement de ces peuplements s'effectue en général par coupe rase, directement ou progressivement. La modélisation par classe d'âge n'est pas applicable dans les peuplements hétérogènes en âge, diamètre ou essences, lesquels constituent la majeure partie de la ressource française.

La ressource forestière est décrite par une **surface** et un **volume moyen à l'hectare par classe d'âge**. Les dynamiques forestières sont représentées pour chaque classe d'âge par une production biologique à l'ha nette de la mortalité, un taux de prélèvement de la production en éclaircie, un taux de surface passée en coupe rase et une surface annuelle boisée ou reboisée.

Des modèles représentatifs de la forêt française et robustes en projection

Grâce au caractère systématique et national du dispositif d'inventaire de l'IGN, les modèles construits avec les données IFN tiennent compte de la diversité des conditions de fertilité que l'on rencontre dans la forêt française. Ils prennent également en compte les perturbations de fond comme des chablis et les mortalités ordinaires. Les modèles incluent aussi implicitement les comportements passés et actuels des gestionnaires, qui s'expriment au travers des essences rencontrées dans la ressource et des sylvicultures mises en œuvre.

En outre les modèles sont ajustés sur un grand nombre d'observations de terrain. Or, plus il y a d'observations et plus la description de la ressource et de ses paramètres de dynamique sont précis.

Les modèles implémentés dans l'étude représentent donc bien la forêt française et son évolution récente. Dans le contexte de la temporalité forestière marquée par des évolutions lentes et progressives, **ce type de modèle statistique est particulièrement robuste en projection à court et moyen terme**, comme c'est le cas dans la présente étude.

NB : Les résultats des études de 2009 étaient basés sur des règles de sylviculture dérivées des tables de production (Vallet et al. 2007, Ginisty et al. 2011). L'application directe de cette méthode aux données IFN pose toutefois deux types de problèmes : d'abord les tables de production ne prennent pas, ou difficilement, en compte la diversité de la forêt française en termes d'essences et de conditions de milieux, ensuite l'application aux placettes IFN (dont la superficie d'observation est comprise entre 100 et 700 m²) des règles de sylviculture définies à l'échelle gestion (dont la superficie est de quelques dizaines d'hectares) mérite d'être analysée finement, la placette IFN n'ayant pas vocation à décrire la gestion pratiquée.

Hypothèse de stabilité des conditions du milieu sur la période projetée de 20 ans

Les modèles de croissance et de mortalité implémentés dans l'étude ne tiennent pas compte des effets liés aux **aléas exceptionnels** qui pourraient survenir à l'échéance 2035 (tempêtes, incendies, maladies, ravageurs), et des effets du **changement climatique**. Cette hypothèse a été choisie car ces effets ne sont pas encore quantifiables de manière suffisamment précise à un horizon de 20 ans qui est finalement un temps court pour les arbres forestiers. En outre, les modèles ne représentent pas encore de manière explicite les effets liés à la densité : les paramètres sont stationnaires à l'horizon 2035.

Des travaux de recherche et de développement sont encore nécessaires pour lever ces hypothèses de stationnarité, et permettre de faire des projections à des échéances plus lointaines.

3.3. Scénarios de gestion des forêts et des peupleraies

Deux types de scénarios d'offre de bois ont été définis et implémentés à l'horizon 2035 :

- Un scénario de base simulant un maintien des pratiques actuelles de gestion pendant les 20 années à venir : c'est le **scénario de sylviculture constante**.
- Un scénario visant à gérer la forêt et la peupleraie plus dynamiquement pour accroître les prélèvements de bois sur la période considérée : c'est le **scénario de dynamisation progressive de la gestion, ou dynamique progressif**.

Toutes les forêts françaises ont été prises en compte pour le calcul de la disponibilité brute, y compris celles où existent de forts enjeux de protection. Cette approche est réaliste car ces forêts font l'objet de coupes d'entretien, voire parfois de coupes commerciales. En revanche les scénarios sylvicoles mis en œuvre sur ces espaces sont adaptés. Finalement, aucune forêt n'a été exclue a priori du calcul des disponibilités en bois.

3.3.1. Scénarios de gestion appliqués aux forêts

Le principe de modélisation des scénarios de gestion repose sur deux éléments :

- Un scénario de coupe défini par des taux de coupe par classe de diamètre ;
- Un scénario de mise en œuvre des taux de coupe dans l'espace et dans le temps.

1. Scénario de sylviculture constante, simulant le maintien des pratiques de coupe actuelles

Le principe du scénario de sylviculture constante est de continuer à appliquer sur la période allant de 2016 à 2035 les taux de coupe qui ont été observés en forêt sur le dispositif d'inventaire forestier de l'IGN au cours de la période 2005-2013. Le massif landais de pin maritime a été traité séparément compte tenu de la tempête Klaus de janvier 2009 (voir plus bas).

1.a. Définition du scénario de sylviculture constante

A partir des observations de prélèvement réalisées par l'IGN en forêt, un taux de coupe en effectif est calculé pour chaque classe de diamètre de chaque domaine d'étude. Le taux de coupe est le nombre d'arbres coupés au cours d'une période de cinq ans sur le nombre initial d'arbres vifs. On définit ainsi 116 scénarios de coupe moyens.

1.b. Prise en compte des zonages

Toutefois, chaque domaine d'étude intègre des peuplements ayant des intensités de prélèvement variables, en lien avec la présence des différents zonages identifiés dans l'étude (zones à enjeu de gestion et types de propriété). Par exemple, au sein d'un domaine d'étude en forêt privée, les observations de l'IGN montrent que le taux de prélèvement dans les forêts sans PSG est en moyenne moins élevé que dans celles qui ont un PSG.

Une méthodologie *ad hoc* a été définie pour tenir compte de cette variabilité moyenne de l'intensité de prélèvement au sein d'un même domaine d'étude, et ainsi éviter de surestimer les prélèvements dans certaines zones. Les taux de coupe des scénarios moyens définis par domaine d'étude ont donc été modulés à la hausse ou à la baisse suivant la présence dans la ressource des différents types d'enjeux de gestion et des types de propriété. L'indice de modulation des taux de coupe par type d'enjeu et type de propriété est calculé à l'échelle nationale. Il s'agit de l'écart relatif des taux de prélèvement⁴ moyens observés lors de l'IFN entre les différents types d'enjeu au sein de chaque type de propriété (voir annexe 9). On a raisonné par type de propriété car on a considéré que les zones à enjeux de gestion avaient des effets comparables quel que soit le type de propriété. Cette hypothèse a pu être vérifiée avec les données IFN. Les indices de modulation des taux de coupe ainsi calculés à l'échelle nationale, ont été appliqués à toutes les classes de diamètre de la ressource du type d'enjeu et du type de propriété correspondant, au niveau de chaque domaine d'étude. Cela a finalement entraîné une translation homothétique (à la hausse ou à la baisse) des taux de coupe du scénario moyen.

1.c. Caractéristiques du scénario de sylviculture constante

Les taux de coupe par essences et par diamètres sont directement issus de pratiques réelles de récolte. Ils intègrent ainsi de manière implicite tous les facteurs environnementaux, économiques et sociaux qui pèsent sur la mobilisation des bois, comme la difficulté physique d'exploitation, la préservation de la fertilité de sols, les zonages environnementaux, la demande et les marchés des bois, la motivation des

⁴ Il est défini comme le ratio entre le volume prélevé et le stock initial de bois sur pied.

propriétaires, etc. Il s'agit de pratiques moyennes à l'échelle d'un territoire, si bien que les taux de coupe calculés dans cette étude ne correspondent pas à des scénarios sylvicoles dans le sens classique des gestionnaires.

Cette méthode de définition du scénario de sylviculture constante (déjà mise en œuvre dans l'étude IGN-CITEPA de 2014 pour la DGEC) a l'avantage de bien circonscrire le volume des disponibilités actuelles, point de départ des projections : elle les fait correspondre par construction à la demande exercée sur la forêt française au cours de la période récente.

Le principe est de simuler un prolongement des pratiques actuelles sur la période 2016-2035 (i.e. hypothèse de stationnarité des paramètres du scénario de coupe), pour évaluer l'offre forestière qui en résulterait. Dans le contexte d'une forêt française globalement jeune et qui ne se trouve pas en situation d'équilibre (IFN 2011a et IFN 2011b), l'application d'un tel scénario révèle l'effet démographique de vieillissement progressif de la ressource ; les arbres grossissent en lien avec l'expansion historique de la superficie forestière (IGN 2013) et la capitalisation du volume de bois en forêt induit par l'allongement des cycles de production consécutifs à la conversion naturelle et accompagnée des taillis et TSF en futaies.

Cette approche empirique (statistique) et démographique de modélisation de la gestion représente bien les tendances lourdes de la forêt française, mais elle ne saurait être appliquée en l'état au-delà de 20 ans.

1.d. Traitement du massif landais de pin maritime après la tempête Klaus de janvier 2009

Les observations de coupes faites par l'IGN sur le massif landais au cours de la période 2005-2013 intègrent en partie des effets conjoncturels liés à la tempête Klaus : anticipations de coupe dans le cas de la régularisation de peuplements ruinés, des retards d'éclaircie ou de coupe finale dans les peuplements indemnes, etc.

Le scénario de coupe moyen défini ci-dessus n'étant pas représentatif des pratiques « normales » de gestion sur le massif, un scénario de coupe *ad hoc* a été construit. Il est basé sur les recommandations des professionnels locaux, recueillies lors de l'étude régionale de 2013 (Thivolle-Cazat et al. 2013). Les taux de coupe dans les gros et très gros pins sont augmentés, afin de soutenir l'offre de bois pour l'industrie.

1.e. Comparaison avec l'étude de 2009

En 2009 la disponibilité brute a été calculée selon une autre méthode (Ginisty et al. 2009). L'approche a consisté à définir des itinéraires sylvicoles théoriques par type de peuplement (les scénarios étant dérivés des guides de sylviculture et des tables de production en vigueur), puis à simuler la gestion avec ces itinéraires théoriques, et enfin à calculer les disponibilités brutes correspondantes.

La mise en œuvre des préconisations de gestion à l'échelle nationale de la ressource conduit automatiquement à surestimer, et parfois largement, la disponibilité par rapport à la récolte actuelle. En effet, la récolte actuelle est le résultat de nombreux facteurs de terrain, tels que l'hétérogénéité des types de peuplement en termes d'essences et de classes de fertilité, les conditions environnementales, les techniques d'exploitation, le contexte économique et les facteurs sociaux comme la décision des propriétaires privés de couper leurs arbres.

Pour fournir des chiffres proches de la réalité, cette méthode de calcul nécessite une explicitation des effets de chacun de ces facteurs. Ils prennent la forme de modèles, ou le plus souvent de taux compte tenu des connaissances disponibles. Or l'introduction de taux dans le calcul de la disponibilité augmente l'incertitude globale des résultats issus du scénario de sylviculture constante, alors qu'ils doivent constituer la base des projections.

2. Scénario de dynamisation progressive de la gestion, permettant d'accroître les prélèvements de bois

Le principe du scénario de dynamisation de la gestion est d'accroître significativement les prélèvements de bois, en réponse à une hausse de la demande en produits forestiers dans le futur. L'hypothèse retenue consiste à intensifier globalement la gestion forestière en généralisant progressivement les pratiques actuellement les plus dynamiques. L'approche mise en œuvre vise toutefois à refléter une progression réaliste des prélèvements de bois à l'horizon 2035, c'est-à-dire qui tient compte à la fois :

- Des facteurs locaux qui ont un impact sur la gestion et la mobilisation des bois : l'intensification de la gestion est-elle possible partout ?
- Du temps qui sera nécessaire à la mise en œuvre des nouvelles pratiques de gestion à l'échelle de l'ensemble du pays (effet d'inertie).

Il a donc été défini (a) un scénario de coupe dynamique et (b) un scénario de mise en œuvre du scénario de coupe dans l'espace et dans le temps.

a. Définition du scénario de gestion dynamique

L'objectif du scénario dynamique est une **intensification globale de la gestion forestière, au travers de l'accroissement des surfaces actuellement traitées suivant les pratiques les plus dynamiques.**

Du point de vue sylvicole, cela correspond notamment à la mise en gestion de nouvelles forêts privées sans PSG, au rattrapage des peuplements en retard d'éclaircie ou au raccourcissement progressif des durées de révolutions.

Du point de vue de la simulation, cela revient à augmenter les taux de coupe dans les diamètres qui sont actuellement demandés par les marchés. En revanche les taux de coupe dans les diamètres situés au-delà des dimensions standard d'exploitabilité relevées sur le terrain par l'IGN ne sont pas augmentés. Il s'agit ici de tenir compte du fait que certains gros et très gros arbres ont des dimensions qui ne répondent plus à la demande, comme par exemple les gros sapins et épicéas en montagne, les gros pins en plaine, ou les très gros hêtres (en revanche les gros chênes qui font déjà l'objet de prélèvement voient leur taux de récolte augmenté). En effet les scieries équipées de lignes de sciage à canter ne sont plus équipées pour les transformer. En outre, les techniques d'exploitation de ces très gros arbres sont peu développées (câble) ou de moins en moins fréquentes, en lien avec le développement de la mécanisation. Ainsi, le scénario de gestion dynamique est conservatif sur les gros et très gros bois actuellement peu mobilisés. Il ne suppose pas de rupture dans les dimensions demandées.

La définition du scénario de coupe dynamique est elle aussi basée sur les observations récentes de prélèvements en forêt (source IGN, période 2005 à 2013). Mais contrairement au scénario de sylviculture constante, le scénario de coupe dynamique a été déterminé :

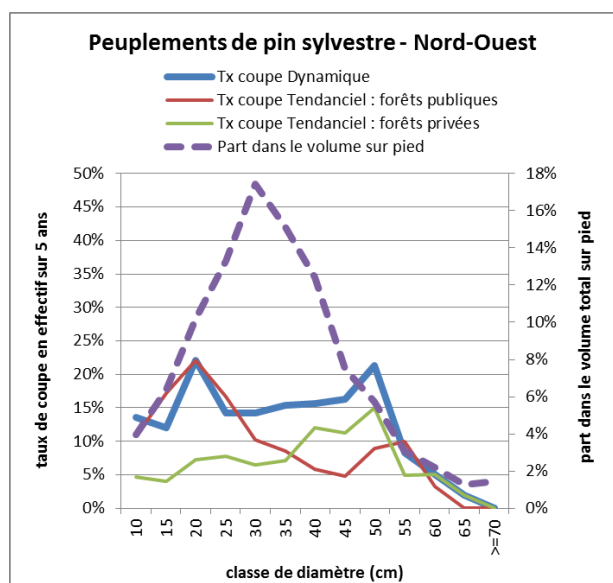
- A partir de la fraction des peuplements où la gestion récente est la plus dynamique, c'est à dire où les plus forts taux de coupe ont été relevés par l'IGN.
- Au niveau agrégé de 26 grands types de peuplement, issus du regroupement des 116 domaines d'étude de base. Ces grands domaines reflètent des situations où les sylvicultures moyennes sont bien contrastées, avec par exemple les chênaies sessiles et pédonculées dans les forêts publiques des régions de plaine, les chênaies et les taillis privés du grand sud de la France, la douglasaie, les peuplement de résineux blancs en montagne, les peuplements de pin sylvestre dans les régions de plaine du nord-ouest, etc.

Les peuplements gérés les plus activement ont été identifiés dans chacun des 26 grands domaines, après avoir exclus les zonages où la gestion n'est pas dynamisable à l'horizon 2035 (voir partie b ci-dessous). Ils correspondent aux 50 % des peuplements dont les taux de coupe sont les plus forts.

Ce mode d'estimation reste toutefois trop imprécis quand le nombre de points IFN concernés est trop faible, ce qui est souvent le cas dans les dimensions gros et très gros bois où la ressource et les prélèvements sont rares. Dans ces situations, le taux de prélèvement par classe de diamètre est calculé sur la totalité de la surface du domaine, si bien que le taux de coupe dans ces classes est comparable à celui du scénario de sylviculture constante (modulo le fait qu'il est défini à l'échelle de 26 grands domaines, et qu'il ne prend pas en compte les peuplements inclus dans les zonages à fort enjeu de protection).

Les scénarios de gestion dynamique calculés de cette manière s'appuient sur des observations de terrain, et donc sur des pratiques réelles relevées dans les peuplements gérés les plus activement. Les données IFN permettent ainsi d'approcher les dimensions d'exploitabilité réelles actuellement en vigueur. Les pratiques de coupe sont intensifiées dans les dimensions demandées par le marché, et maintenues *a minima* constantes au-delà, comme c'est illustré dans la figure ci-dessous. Il apparaît aussi que les disponibilités additionnelles sont de différentes natures selon la catégorie de propriété, en lien avec des sylvicultures actuelles souvent différentes. Dans l'exemple suivant la dynamisation de la gestion génère davantage de bois mûrs dans les pineraies publiques, et davantage de petits et moyens bois dans les forêts privées. Au-delà du diamètre d'exploitabilité de 50 cm, les volumes s'accumulent en forêt, quelle que soit la catégorie de propriété.

Figure 6 : Taux de coupe et distribution par classe de diamètre de la ressource dans les peuplements de pin sylvestre du Nord-Ouest de la France, selon les scénarios de gestion



Comme pour le scénario de sylviculture constante, les taux de coupe du scénario dynamique calculé de cette manière sont des moyennes, établies statistiquement à l'échelle de la ressource. Ils ne correspondent pas à des scénarios sylvicoles « classiques » au sens des gestionnaires forestiers.

b. Définition du scénario de mise en œuvre dans l'espace et dans le temps

Les pratiques plus intensives sont appliquées progressivement à de nouvelles surfaces forestières. Afin de simuler une évolution réaliste des pratiques de coupe, l'application du scénario dynamique est modulée en fonction de deux séries d'hypothèses. Elles ont été soumises aux membres du comité de pilotage et au CNPF-IDF (voir annexe 10) :

Mise en œuvre dans l'espace : la dynamisation de la gestion est-elle réaliste à l'horizon 2035 ?

La possibilité d'intensifier les coupes varie selon les types de zones à enjeux pour la gestion et les types de propriété. Le tableau en annexe 10 détaille les situations où la dynamisation de la gestion a été jugée faisable à l'horizon 2035.

La gestion des forêts situées dans les zones sans enjeu de production de bois (ex : réserves naturelles) n'est pas dynamisable, par définition. Il en a été jugé de même dans les sites du réseau Natura2000 concernés à la fois par les Directives Oiseaux et Habitats.

La gestion a été jugée dynamisable dans les forêts publiques sans enjeu prioritaire autre que la production de bois (enjeu n°5), et dans les forêts périurbaines. Cette hypothèse a été validée par l'ONF.

La gestion a été considérée dynamisable dans toutes les forêts privées où aucun enjeu spécifique autre que la production de bois n'a été distingué, y compris dans les forêts périurbaines qui sont proches des foyers de consommation de bois de chauffage et dans les forêts des sites classés. Cette hypothèse a été validée avec le CNPF-IDF.

On a considéré en outre que l'intensification des coupes en Corse n'était pas réalisable à l'échéance 2035. Quand l'intensification n'est pas jugée faisable, c'est le scénario de coupe actuel qui s'applique.

Mise en œuvre dans le temps : à partir de quand et à quelle vitesse ?

Là où elle est possible, l'intensification de la gestion doit être envisagée de manière progressive pour être réaliste. En effet les freins au développement sont liés à de nombreux facteurs, dont la vitesse de diffusion des messages auprès des gestionnaires, la réceptivité des acteurs aux signaux (facteurs sociaux), les aspects logistiques comme par exemple la mise en place de dessertes là où c'est nécessaire, l'achat des engins d'exploitation, la formation des personnels, mais aussi la levée de certains freins juridiques ou techniques, l'évolution de la perception de la société sur les coupes en forêt, etc. Tous ces facteurs sont pris en compte dans l'analyse de manière implicite, en l'absence de jeux de données permettant d'explicitier réellement ces effets. A noter que les critères économiques comme le prix du bois et le coût d'exploitation ne sont pas pris en compte à ce stade, mais au niveau de l'évaluation de la disponibilité technico-économique (chapitre B.4).

La définition du rythme de mise en œuvre de la dynamisation de la gestion repose sur deux paramètres, la date de début et le taux de surface concernée en 2031-2035. La vitesse d'application du scénario de coupe dynamique est liée au niveau actuel d'implication des acteurs dans les circuits économiques, qui peut être approché par le taux de prélèvement actuel. La progressivité de la mise en œuvre du scénario dynamisé est supposée linéaire entre la date de début et l'objectif en 2031-2035.

La dynamisation de la gestion dans les forêts publiques pourrait commencer en 2021, soit le temps nécessaire pour réviser les aménagements. Toutes les forêts publiques où la gestion est jugée dynamisable seraient concernées en 2031, voire 2026 pour les forêts domaniales sans zone à enjeu spécifique. Ces hypothèses ont été validées par l'ONF.

La dynamisation de la gestion dans les forêts privées pourrait démarrer dès 2016, quelle que soit la taille de la propriété. En effet, les propriétaires de forêts dotées d'un PSG agréé ont la possibilité de modifier leur PSG par avenant s'ils souhaitent modifier leur programme de coupes. On a considéré que la surface dynamisable est plus importante en présence d'un PSG car les propriétaires sont davantage sensibilisés à la gestion forestière. Les mêmes taux ont été fixés pour les forêts où aucun enjeu spécifique autre que la production de bois n'a été distingué et pour les forêts périurbaines. On a considéré pour ces dernières qu'elles pourraient être facilement sollicitées pour le développement de chaufferies bois locales. La dynamisation de la gestion des forêts dans les sites classés est également envisagée, mais avec une vitesse moindre. Ces hypothèses ont été discutées avec le CNPF-IDF.

Les résultats d'une analyse de sensibilité sont présentés en annexe 20.

3.3.2. Scénarios de gestion appliqués aux peupleraies

En France, les peupleraies sont majoritairement issues de plantations. Pour une révolution d'une vingtaine d'année, 5 % de la surface devrait être coupée chaque année en théorie. L'IGN revisitant les placettes après 5 ans, la probabilité d'observer une coupe devrait être de l'ordre de 25 % si la distribution des classes d'âge était bien répartie et si la révolution était bien de 20 ans.

En fait, seulement 10 % des placettes IFN ont fait l'objet d'une coupe, partielle ou totale. Cela peut signifier que les peupleraies sont très jeunes ou que la récolte des peupleraies est très inférieure à son potentiel ; la deuxième hypothèse est plus plausible compte tenu (1) du volume moyen à l'hectare élevé des peupleraies ($168 \text{ m}^3/\text{ha}$) et (2) de la surface totale des peupleraies qui pourrait conduire à une disponibilité proche de $2,2 \text{ Mm}^3$ alors que la récolte de grumes commercialisées n'était que de $1,1 \text{ Mm}^3$ en 2013 (source EAB). Ce dernier chiffre représente un volume total de prélèvement d'environ $1,5 \text{ Mm}^3$ de bois fort tige, si on ajoute le BIBE généré par les coupes et les pertes d'exploitation.

Il ressort qu'on peut définir deux scénarios à l'instar des forêts, l'un reflétant les pratiques actuelles qui conduisent à un volume de prélèvement inférieur au potentiel de récolte, l'autre simulant une sylviculture plus dynamique et correspondant à une gestion optimale de ces peuplements.

Les deux scénarios de gestion ont été construits et appliqués aux peupleraies de façon similaire à ce qui a été fait pour les forêts :

- Scénario de sylviculture constante : les taux de coupe observés sur les placettes IFN revisitées 5 ans après le premier levé ont été modélisés afin de lisser les inévitables variations liées au nombre relativement peu élevé de placettes échantillon. En Franche Comté par exemple, aucune récolte n'a été observée alors que la récolte courante annuelle observée par l'EAB sur la même période dépasse $100\,000 \text{ m}^3$.
- Scénario de gestion dynamique selon une mise en œuvre progressive :
 - On a d'abord construit un scénario de gestion dynamique : les mesures IFN sur les volumes unitaires des arbres ont permis de déterminer l'âge où les arbres atteignent le volume de $1,2 \text{ m}^3$ qui constitue le volume moyen de récolte des peupliers en coupe finale. Cet âge correspond donc à l'âge optimal de la récolte d'une génération donnée de peupliers.
 - le scénario de gestion dynamique a été mis en œuvre progressivement en appliquant un taux de réalisation de 25 % sur la période 2016-2020, de 50 % sur la période 2021-2025, de 75 % sur la période 2026-2030 et de 100 % sur la période 2031-2035.

Une analyse statistique sur les taux de prélèvement n'a pas révélé de grandes différences entre les groupes de clones et les régions. Néanmoins, on a conservé la distinction entre les clones et constitué quatre groupes de régions (Nord et Est, Sud-Est, Centre et Ouest, Sud-Ouest) ; ces groupes ont été combinés différemment selon les clones.

L'annexe 6 donne le détail des groupes de région retenus pour chaque clone et groupes de clones, et l'âge théorique de récolte en fonction de ces différents groupes.

3.4. Types de produits bois potentiels

3.4.1. Une approche basée sur la qualité des bois, et pas sur les usages

Les usages réels des bois dépendent de la demande et donc de l'existence d'un marché pour les différents types de produits. Ces paramètres économiques n'ont pas été évalués dans l'étude.

L'usage d'une pièce de bois de caractéristiques données (essence, dimension, caractéristiques mécaniques, etc.) peut être très différent selon les besoins de celui qui la récolte : bois d'œuvre, bois d'industrie ou bois de feu. Toutefois, certaines pièces sont limitées *de facto* dans les usages qu'elles peuvent satisfaire car il faut qu'elles répondent au cahier des charges minimal de l'utilisateur final :

- pour le tranchage, il faut des grumes de gros diamètre sans défaut et avec une longueur minimale ;
- pour les sciages, la grume doit être suffisamment rectiligne et avoir un diamètre minimal qui est souvent supérieur à 20 cm pour les feuillus, et moins pour les résineux ;
- pour les utilisations en bois d'industrie, le diamètre minimal est de 7 cm environ mais il n'y a pas vraiment de diamètre maximal ;
- pour le bois énergie enfin, tout matériaux bois est utilisable, même les petites branches.

On voit ainsi que **si l'usage réel d'une pièce de bois peut être très variable, on peut définir son usage potentiel comme étant la valorisation la plus élevée possible, en termes économiques.**

C'est ainsi que les volumes de disponibilités sont ventilés par types de produits potentiels BO-P et BIBE-P, suivant **un classement basé sur la dimension et la qualité des grumes et billons**. Ces critères objectifs sont relevés directement sur le terrain par l'IGN.

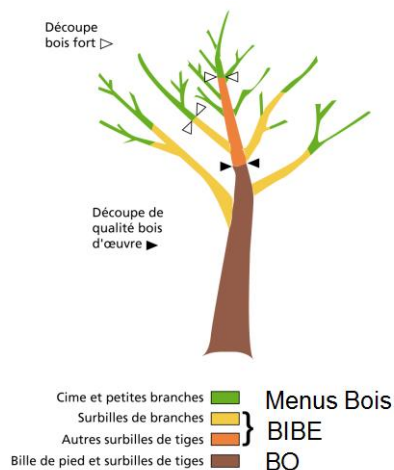
3.4.2. Estimation du volume dans les différents compartiments de l'arbre

La première tâche a consisté à évaluer les volumes de chaque compartiment de l'arbre :

- Tiges de plus de 7 cm de diamètre : elles peuvent être valorisées en BO, BI ou BE ;
- Branches de plus de 7 cm de diamètre : elles peuvent être valorisées en BI ou en BE ;
- Menus bois (MB) de diamètre inférieur à 7 cm : ils peuvent potentiellement être valorisés en bois énergie sous la forme de plaquettes, mais ils sont le plus souvent laissés sur site pour des raisons environnementales et/ou économiques.

Les volumes des souches ne sont pas estimés ni pris en compte dans l'étude.

Figure 7 : Répartition des types d'usages des bois dans les compartiments de l'arbre



Le volume de la tige jusqu'à la découpe 7 cm est communément appelé « volume bois fort tige ». Il est estimé avec les tarifs de cubage de l'IGN. Le volume aérien total (tige + grosses branches + menus bois) est quant à lui estimé avec les tarifs de cubage qui ont été développés durant le projet CARBOFOR (Vallet et al. 2006, Loustau Ed. 2010).

La part des menus bois dans le volume aérien total est estimée avec des équations calibrées par l'IGN à partir de la base de données établie durant le projet ANR EMERGE. La part des menus bois décroît avec le diamètre de l'arbre, en fonction des essences.

Finalement, connaissant (1) le volume total des houppiers (estimé par différence entre le volume aérien total et le volume bois fort tige) et (2) le volume de MB dans les houppiers, on estime par différence (3) le volume des grosses branches de plus de 7 cm de diamètre.

3.4.3. Définition des usages potentiels des bois

Trois catégories d'usages potentiels des bois ont été établies pour l'étude :

Le bois d'œuvre potentiel (BO-P). Il correspond aux qualités premier et deuxième choix :

- premier choix : usages de tranchage, déroulage, ébénisterie et menuiserie fine.
- deuxième choix : charpente, menuiserie courante, caisserie, coffrage, traverse, autres sciages.

La présence **présumée** de BO dans chaque arbre est relevée directement en forêt par les équipes en charge de l'inventaire forestier national. Le classement des bois est réalisé arbre sur pied, **indépendamment du marché des essences**. Il s'appuie sur des critères **objectifs** de diamètre et de longueur minimale des billons, et sur des aspects qualitatifs comme la rectitude du tronc, le nombre et les caractéristiques des nœuds, la présence de défauts comme des gélivures, ou de fibre torse.

Les bois de deuxième choix sont très largement majoritaires dans la ressource de la catégorie BO-P. D'après l'IGN ils représenteraient environ 5 % du volume total de BO-P sur pied chez les feuillus, et seulement 3 % du volume total de BO-P sur pied chez les résineux.

Le bois industrie et le bois énergie potentiel (BIBE-P). Il correspond à l'ensemble des autres usages : trituration, déchiquetage du bois pour l'industrie du panneau ou de l'énergie, bois bûche, plaquette, etc. La découpe est au minimum de 7 cm.

Le menu bois (MB). Il correspond à l'extrémité de la tige et des branches dont le diamètre est inférieur à 7 cm. C'est une catégorie dimensionnelle plutôt que correspondant à un usage. Cependant, ces petites branches ne peuvent guère être utilisées que pour l'énergie, les autres usages industriels n'étant pas actuellement pratiqués.

3.4.4. Ventilation des volumes selon les usages potentiels

Volume des tiges : La répartition du volume de la tige entre les usages BO-P et BIBE-P a été fixée en fonction des essences, selon la localisation géographique. Par exemple, la qualité des hêtres dans les régions de montagne est très souvent inférieure à celle du plateau lorrain.

Le taux de BO-P dans le volume de la tige (découpe bois fort, diamètre fin bout 7 cm) a été fixé à partir des mesures réalisées par les opérateurs de l'IGN en forêt et en peupleraie (voir annexe 17). Le reste du volume de la tige est affecté à la catégorie BIBE-P. Le taux de BO-P a toutefois été plafonné chez les plus gros arbres, pour lesquels se multiplient les défauts non visibles sur les arbres sur pied.

Le classement BO-P établi lors de l'inventaire forestier se base sur une présomption de présence de ce type d'usage : sauf défauts internes du bois qui ne peuvent être vus avant que l'arbre ne soit abattu, les arbres concernés par du BO ont a priori les caractéristiques pour être valorisés de cette manière.

L'estimation du volume de BO qui en résulte correspond le plus souvent à une fourchette haute. On rappelle également que la catégorie BO inclut des bois de différentes qualités, et les usages les plus nobles y sont rares.

Dans l'étude de 2009, la proportion de BO-P avait été estimée à partir de la littérature et de consultations régionales. Elle était plus faible que la proportion estimée en forêt par l'IGN, et donc dans cette étude.

Volume des houppiers : Les grosses branches peuvent être valorisées en BIBE-P sous la forme de rondins, de bûches ou de plaquettes. Les menus bois peuvent être transformés en plaquettes forestières, mais ils sont le plus souvent laissés sur site pour des raisons économiques ou pour préserver la durabilité des sols (i.e. éviter le tassement lors du passage des engins, ou éviter une perte de fertilité chimique).

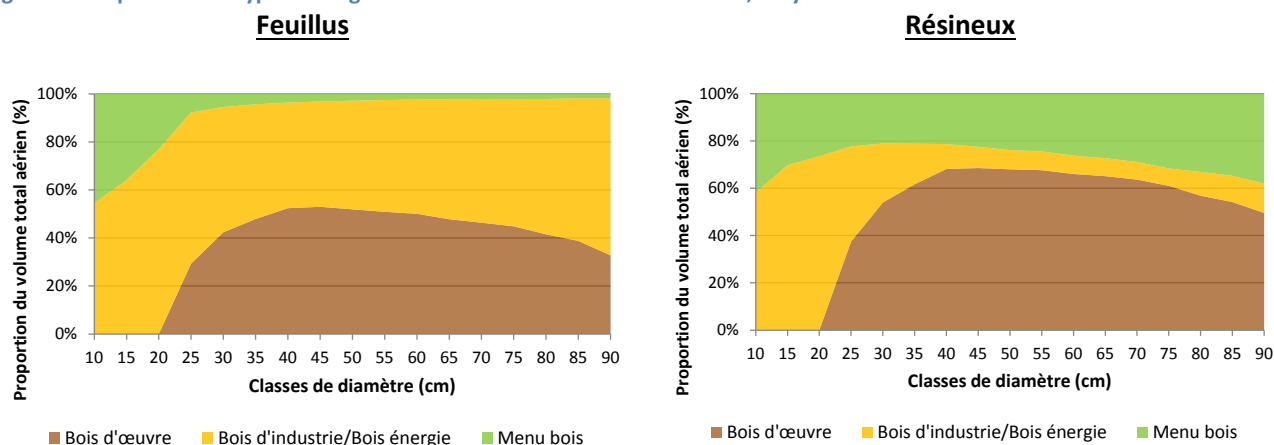
La proportion de MB a été contrainte à la totalité du volume de houppier dans les deux cas suivants :

- Feuillus de moins de 25 cm de diamètre à 1,30 m : la faible représentativité de l'échantillon de calibration des modèles MB dans les petits diamètres conduisait à des incohérences dans la répartition du volume entre la tige et le houppier. L'hypothèse retenue ici est prudente car il se façonne très peu de BIBE dans les branches des petits arbres.
- Résineux : aucun billon de trituration n'est façonné dans les houppiers des résineux, quel que soit leur diamètre, sauf chez le pin d'Alep ou le pin sylvestre à des rares occasions.

De ce fait la proportion estimée de MB dans la présente étude est plus importante que dans celle de 2009.

Les graphiques suivants illustrent la part des différentes catégories d'usages dans la disponibilité totale aérienne, pour la moyenne des essences feuillues et résineuses. Si le taux de BO-P dans le volume total de la tige diminue au-delà d'un certain diamètre, son volume total progresse bien avec le diamètre des arbres.

Figure 8 : Proportion des types d'usages des bois dans le volume total aérien, moyennes des essences feuillues et résineuses



Autres critères de ventilations des résultats

Les disponibilités en bois sont calculées par classe de diamètre (forêts) ou classe d'âge (peupleraies) au niveau de chaque domaine d'étude (combinaisons d'une essence cible, d'un type de propriété et d'une localisation géographique), et zones à enjeux pour la gestion. Ces résultats sont ensuite ventilés par région administrative, essence et exploitabilité, au prorata du volume sur pied mesuré en 2011.

Conversion des volumes en biomasse et en tonnes équivalent pétrole

Les volumes de disponibilité sont convertis en biomasse (masse sèche) et tep avec les coefficients décrits en annexe 18.

3.5. Résultats concernant l'évolution du stock sur pied et le puits de CO₂

3.5.1. Evolution du stock de bois sur pied

Le stock de bois sur pied dans la forêt française a crû d'environ 1 200 Mm³ (ou +82 %, volume bois fort tige) entre 1970 et 2013, période ayant fait l'objet de mesures IFN.

La tendance à la progression du volume de bois sur pied dans la forêt française est structurelle et puissante. Elle est liée au phénomène de transition forestière que connaît celle-ci depuis plus d'un siècle, et qui se caractérise par une augmentation de la surface boisée et par une progression simultanée du capital à l'hectare. Ce phénomène de fond qui agit sur le long terme trouve son origine dans la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle. Celle-ci a entraîné tout au long du XX^{ème} siècle, d'une part une déprise agricole et un retour de terres vers la forêt, et d'autre part une déprise rurale qui, associée à l'émergence des énergies fossiles, a provoqué une baisse continue de l'exploitation des arbres de taillis pour le chauffage.

Les défrichements restant par ailleurs limités, il en résulte une forêt dont la superficie augmente aux rythmes de la déprise agricole, très variables selon les régions et dans le temps. La forêt française héberge également toujours plus d'arbres de dimension moyens bois et gros bois, du fait de l'allongement des révolutions consécutif à l'abandon progressif des modes de traitement en taillis et taillis-sous-futaie.

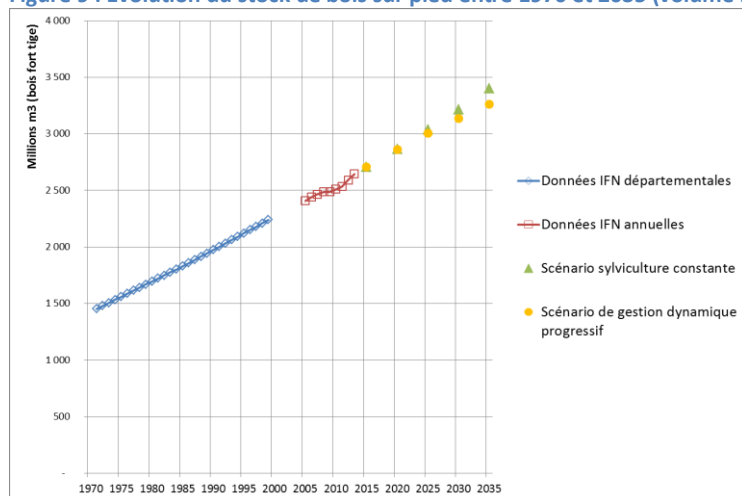
L'expansion du domaine forestier sur le territoire national se réalise actuellement essentiellement sous la forme d'accrus naturels, mais elle a bénéficié également des campagnes de boisements, comme celles entreprises par le Fonds Forestier National (FFN) qui a contribué à la plantation de 1,5 millions d'hectares de peuplements résineux (épicéas, douglas, pin laricio) entre 1947 et la fin des années 1990.

La progression du stock de bois sur pied serait plus importante s'il n'y avait pas eu les tempêtes de décembre 1999 et de janvier 2009, qui ont eues pour conséquence une réduction immédiate du stock de bois sur pied (le volume de chablis cumulé est d'environ 180 Mm³) mais aussi de grever en partie la production biologique sur le moyen et long terme car les arbres qui n'étaient pas encore mûrs au moment des tempêtes ne contribuent plus actuellement à la croissance.

Les projections du stock de bois sur pied réalisées à l'horizon 2035 ne montrent aucune modification de cette dynamique de fond à la capitalisation : le volume de bois dans la forêt française aura doublé sur la période de 50 ans compris entre 1970 et 2020, et cela dans les deux scénarios. L'évolution du stock avec le scénario de gestion dynamique progressif est cependant moins rapide qu'avec le scénario de sylviculture constante, les prélèvements de bois y étant bien sûr plus importants.

En 2035, le stock de bois sur pied atteindrait 3 400 millions de m³ (volume bois fort tige) avec le scénario de sylviculture constante, et 3 260 Mm³ avec le scénario de gestion dynamique progressif.

Figure 9 : Evolution du stock de bois sur pied entre 1970 et 2035 (volume bois fort tige, hors peupleraie)



* Les valeurs nationales publiées pour la période 1970-1999 sont estimées à partir des inventaires départementaux disponibles autour de l'année considérée. La série exclut les inventaires réalisés après la tempête de 1999.

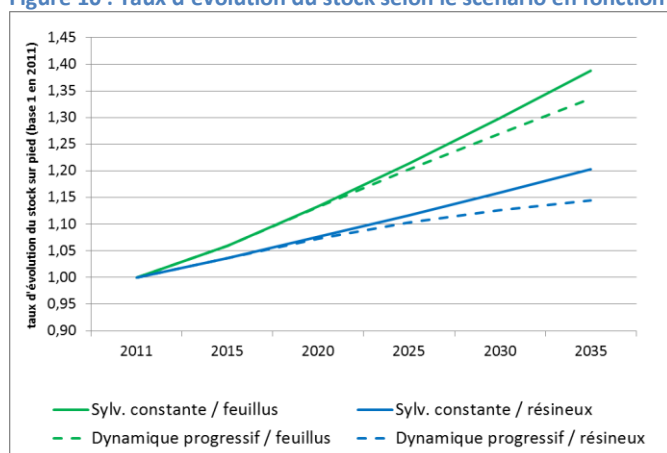
** Les valeurs de la période 2005-2013 correspondent aux résultats des campagnes annuelles de l'inventaire national.

Les caractéristiques de la ressource française évoluent notablement au cours des vingt prochaines années. En 2035, les forêts privées totaliseront 75 % du stock national (76 % avec le scénario de gestion dynamique progressif), contre 72 % aujourd'hui. Près de la moitié du stock national se situe actuellement dans des forêts privées sans PSG (hors Aquitaine) ; elles représenteront 54 % du stock national en 2035, et jusqu'à 55 % avec le scénario de gestion dynamique progressif. La part des feuillus dans la ressource nationale sera encore plus prépondérante qu'aujourd'hui avec 67 % en 2035 contre 64 % aujourd'hui.

Evolution du stock selon l'essence

Les essences feuillues sont le premier stock de bois en France, avec 64 % du total, et leur stock augmente le plus en valeur absolue entre 2011 et 2035 (+636 Mm³ de bois fort tige sur une progression totale de 826 Mm³, scénario de sylviculture constante) et aussi le plus vite. En effet, si la dynamique de capitalisation concerne les feuillus et les résineux (+190 Mm³), elle est près de deux fois plus rapide chez les feuillus, comme le montre la figure ci-dessous. La prépondérance des feuillus dans la ressource française s'accroît encore puisqu'ils représentent 67 % du stock de bois sur pied national en 2035, dans les deux scénarios.

Figure 10 : Taux d'évolution du stock selon le scénario en fonction du groupe d'essences, hors peupleraie (base 1 en 2011)



Feuillus : Avec 785 Mm³ de bois sur pied, les chênes sessiles et pédonculés restent le premier groupe d'essences feuillues de la forêt française en 2035 (scénario de sylviculture constante), devant le hêtre et ses 323 Mm³. Toutes les essences feuillues voient leur stock augmenter sur la période 2011-2035, dans les deux scénarios, mais celles dont le volume sur pied progresse le plus vite sont les essences pionnières et post-pionnières ainsi que les essences de taillis, comme le frêne (+ 61 % avec le scénario de sylviculture constante), les feuillus précieux (+57 %), le charme, les saules et bouleaux, le robinier, le tremble, le noisetier et les chênes méridionaux (+ 51 % pour l'ensemble des autres feuillus).

Ainsi, l'écart entre le groupe des chênes et du hêtre, et le grand groupe constitué de tous les autres feuillus se réduit sensiblement au cours de la période, ces derniers représentant jusqu'à 52 % du stock total feuillu avec le scénario de gestion dynamique progressif en 2035, contre 47 % actuellement.

Résineux : Les sapins-épicéas restent de loin le premier groupe d'essences résineuses en termes de stock résineux en France, avec 431 Mm³ en 2035 soit 45 % du total résineux (scénario de sylviculture constante). Le stock de ces essences est celui qui progresse toutefois le moins vite avec le scénario de sylviculture constante (+ 9 % entre 2011 et 2035), et il reste stable avec le scénario de gestion dynamique progressif. Le pin maritime voit son volume augmenter faiblement de 15 % au cours de la période (recapitalisation après les tempêtes). A contrario, les essences dont le capital sur pied progresse le plus vite sont celles qui ont le plus été soutenues par le FPN comme le douglas (+39 %), les autres pins dont le pin laricio et le pin noir (+43 %), et les autres résineux blancs (+25 %).

Comme chez les feuillus, la part des essences résineuses traditionnelles se réduit progressivement au profit de nouvelles essences : sapin pectiné, épicéa commun, pin maritime et pin sylvestre représentent 70 % du stock résineux en 2035 avec le scénario de sylviculture constante (66 % avec le scénario de gestion dynamique) contre 74 % aujourd'hui.

Evolution du stock selon la propriété forestière

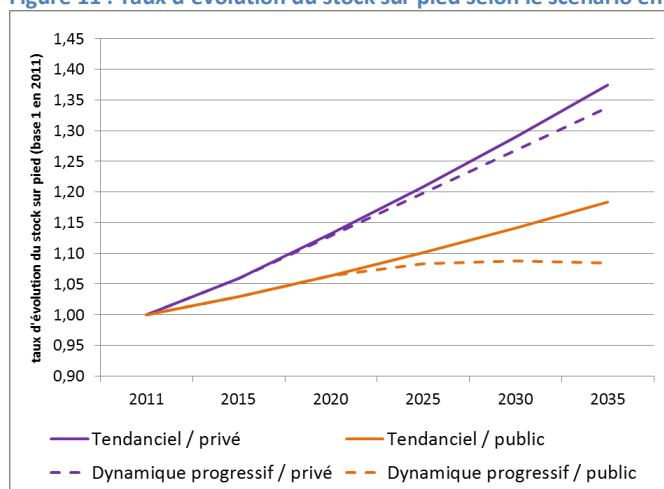
Avec 1 846 Mm³ de bois sur pied, les forêts privées représentent 72 % du stock national en 2011. Les forêts privées sans PSG totalisent plus de la moitié du stock national, avec 1 254 Mm³. Ce chiffre est d'ailleurs minorant puisqu'il ne tient pas compte de la région Aquitaine où l'information PSG n'était pas encore disponible au moment de l'étude.

Le stock sur pied en forêt privée progresse fortement et de manière continue sur toute la période 2011-2035, avec des hausses de 34 à 38 % en moyenne selon les scénarios. Parmi elles les forêts sans PSG (hors Aquitaine) voient leur stock croître le plus vite, passant de 42 à 49 % selon les scénarios.

La dynamique de capitalisation concerne également les forêts publiques, mais elle y est deux fois moins importante qu'en forêt privée, et majoritairement située dans les forêts des collectivités. Avec le scénario de gestion dynamique progressif la capitalisation dans les forêts publiques s'arrête à partir de 2025, dans les forêts domaniales comme dans celles des collectivités (figure 11).

Du fait d'une vitesse de capitalisation plus soutenue, la part des forêts privées dans la ressource nationale atteint 75 % en 2035. A elles seules, les forêts sans PSG représentent 54 % du stock national en 2035 (chiffre hors Aquitaine). Ces taux sont d'un point supérieur avec le scénario de gestion dynamique, qui consiste à intensifier les pratiques actuelles de coupe, c'est-à-dire à accroître davantage les prélèvements dans les forêts publiques et dans les forêts privées avec un PSG.

Figure 11 : Taux d'évolution du stock sur pied selon le scénario en fonction de la propriété, hors peupleraie (base 1 en 2011)

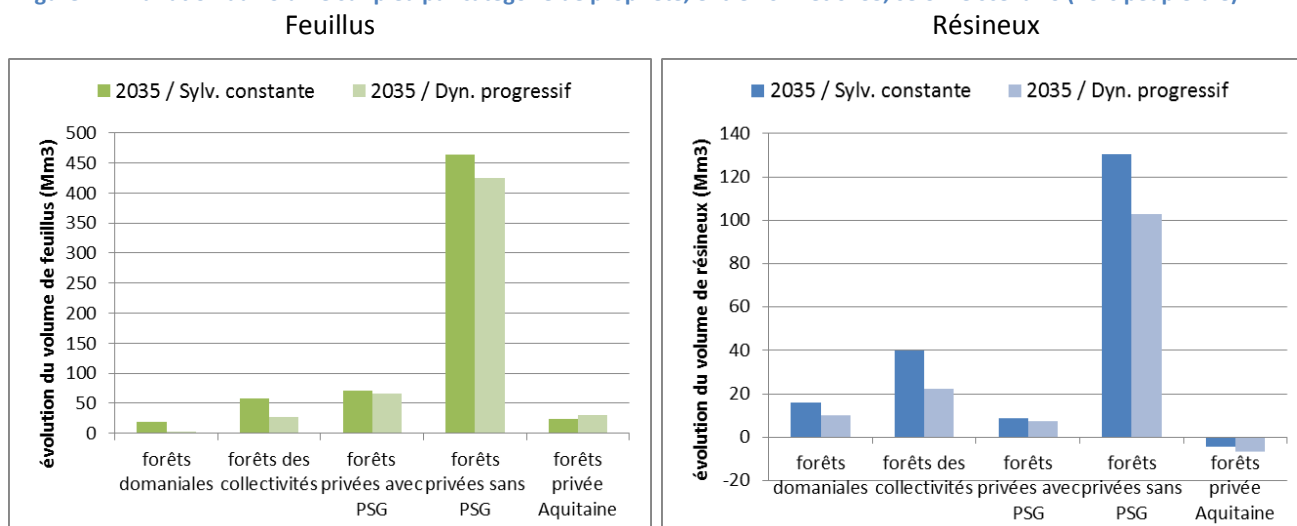


Avec le scénario à sylviculture constante, 88 % de la capitalisation feuillue estimée en France sur la période 2011-2035 se réalise en forêt privée. Ce taux atteint 95 % avec le scénario de gestion dynamique, en raison des prélèvements accrus en forêt publique. Près des trois-quarts (+464 Mm³, voir figure 12) de la capitalisation nationale dans les feuillus concerne les forêts privées sans PSG, qui sont globalement plus jeunes et en croissance. Ce taux atteint 77 % (+425 Mm³) avec le scénario de gestion dynamique.

La capitalisation résineuse se réalise pour 71 % dans les forêts privées, et jusqu'à 76 % avec le scénario de gestion dynamique. Les forêts privées sans PSG sont les premières concernées (+130 Mm³ sur la période), devant les forêts des collectivités (+40 Mm³ sur la période).

En 2035, plus de la moitié de la ressource forestière française sera constituée d'essences feuillues dans des forêts privées.

Figure 12 : Variation du volume sur pied par catégorie de propriété, entre 2011 et 2035, selon le scénario (hors peupleraie)

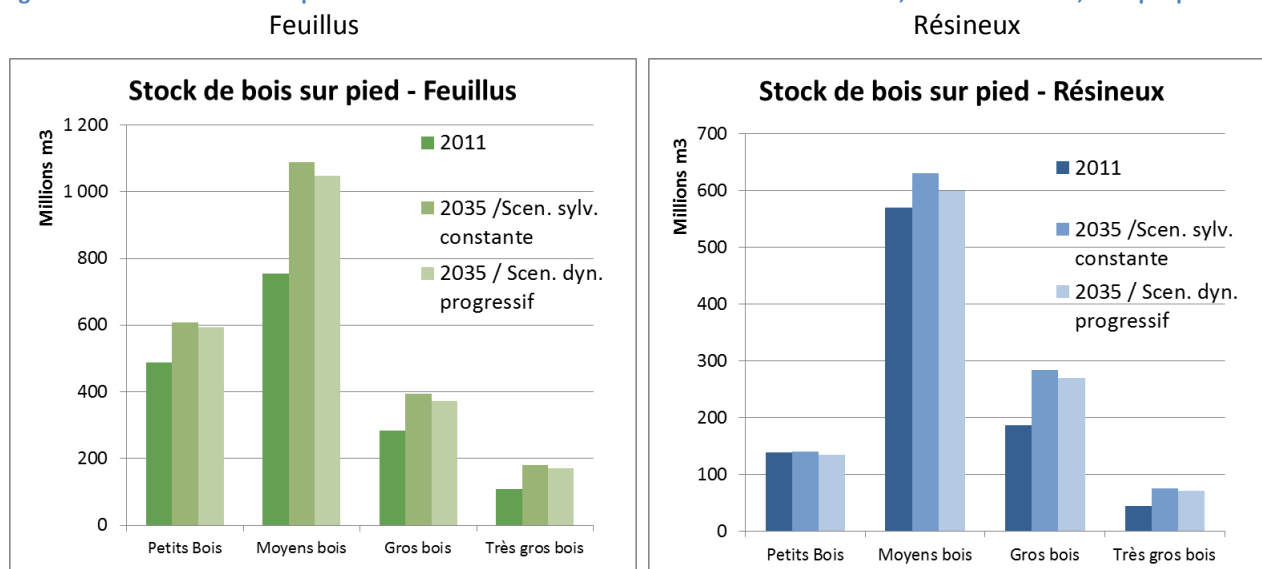


Evolution du stock selon la dimension des bois

Avec le scénario de sylviculture constante, la ressource feuillue s'accroît dans toutes les classes de dimension (figure 13), mais les hausses les plus importantes concernent les dimensions petits (diamètres < 25 cm) et surtout moyens bois (diamètres < 50 cm). Une grande part de la ressource feuillue est encore jeune et elle mûrit. La dimension très gros bois (diamètres > 65 cm) est toutefois celle où la vitesse de capitalisation est la plus rapide (+66 % entre 2011 et 2035). La part des gros et très gros feuillus dans la ressource totale progresse pour atteindre 25 % en 2035, contre 24 % aujourd'hui. Dans le même temps la contribution des petits bois (arbres de diamètres inférieurs à 25 cm) diminue, passant de 30 % en 2011 à 27 % en 2035. On retrouve ici une caractéristique de la ressource feuillue française, composée à la fois de jeunes arbres majoritairement situés dans les petites forêts privées, dans le sud et en montagne (accrus, anciens taillis) et à la fois de gros et de très gros bois (chênes, hêtre) plus fréquents dans les forêts publiques et dans les grandes forêts privées du nord et de l'Est de la France.

La ressource résineuse est globalement plus mûre que la ressource feuillue et les petits bois sont aujourd'hui minoritaires avec 15 % du stock total. Avec le scénario de sylviculture constante, le stock de petit bois résineux reste stable sur la période 2011-2035, mais sa contribution au total descend à 12 %. La part des moyens bois diminue également, en passant de 61 % en 2011 à 56 % en 2035. Ces chiffres traduisent la faiblesse des nouvelles plantations réalisées ces dernières décennies, y compris avant l'arrêt du FFN. Le stock et le taux de gros et de très gros bois dans la ressource augmentent rapidement et fortement, puisqu'ils représentent 32 % du stock total de résineux en 2035, soit près de 360 Mm³ de bois sur pied, contre 25 % aujourd'hui (soit 230 Mm³). La ressource comptabilise 30 Mm³ de très gros bois résineux de plus en 2035 par rapport à 2011 (+ 69 %). Si ces chiffres globaux illustrent clairement la poursuite de la maturation de la ressource résineuse française, ils ne permettent pas à eux seuls de confirmer un déficit de renouvellement. La stabilité du volume de petit bois sur la période 2011-2035 mérite toutefois une surveillance particulière.

Figure 13 : Evolution du stock par classe de dimension des bois des feuillus et des résineux, selon le scénario, hors peupleraie



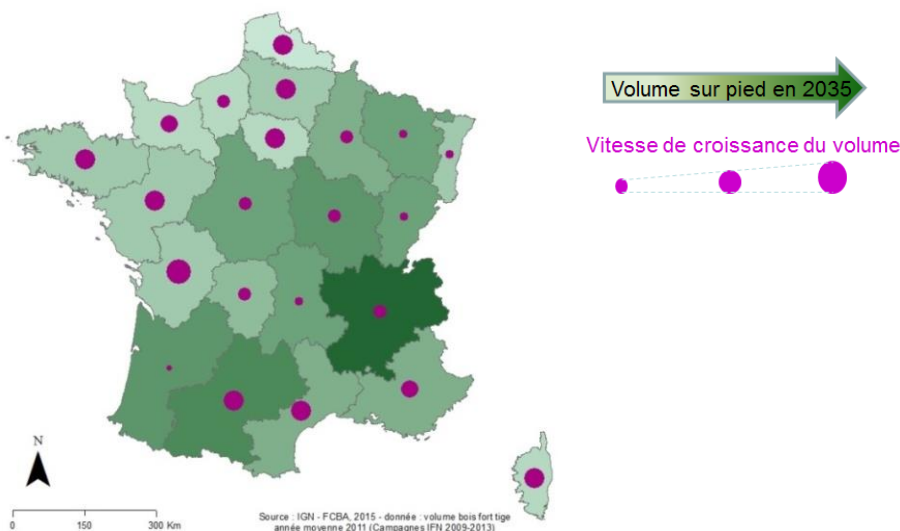
Le diagnostic global n'est pas modifié avec le scénario de gestion dynamique progressif, à savoir un mûrissement progressif de la ressource feuillue, une capitalisation qui s'accroît dans les gros et les très gros bois résineux, et une stabilité du volume des petits bois résineux, à surveiller.

Ces résultats illustrent le fait que le principe du scénario de gestion dynamique, tel que défini dans l'étude, est une intensification des pratiques actuelles de coupe par classe de diamètre. Il ne suppose pas une augmentation rapide et volontariste des coupes dans les plus gros diamètres, notamment dans les très gros résineux. Ainsi, malgré des prélèvements plus importants dans toutes les catégories de diamètre (voir chapitre 3.3.1), le scénario de gestion dynamique permet au volume sur pied des plus grandes catégories de diamètre de continuer de croître.

Evolution du stock selon la région

Le stock de bois sur pied en 2035 reste le plus important dans les grandes régions forestières de la diagonale allant du Nord-Est au Sud-Ouest, et incluant les Alpes du nord (en vert sur la figure 14). La vitesse de capitalisation au cours de la période 2016-2035 est cependant la plus soutenue dans les nouvelles régions forestières du nord, du Nord-Ouest, du Sud-Est et en Midi-Pyrénées (points roses sur la carte), où les forêts sont encore jeunes et peu capitalisées.

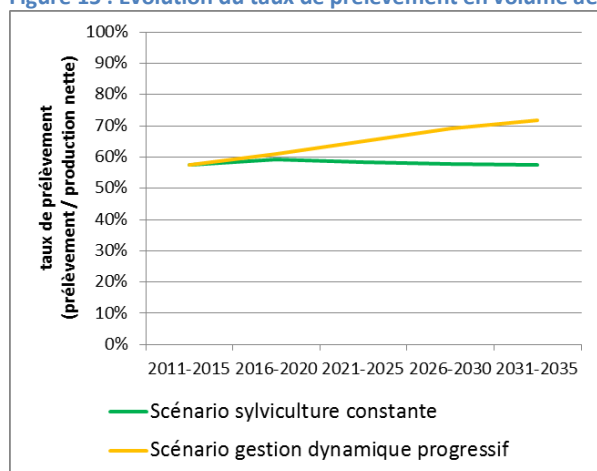
Figure 14 : Stock de bois sur pied en 2035 et vitesse de capitalisation au cours de la période 2016-2035



3.5.2. Evolution du taux de prélèvement sur la ressource

Le graphique suivant présente l'évolution du taux de prélèvement moyen estimé au niveau national, selon les scénarios de coupe mis en œuvre à l'horizon 2035. Le taux de prélèvement correspond au rapport entre les prélèvements de bois et la production biologique, après déduction de la mortalité naturelle. Tous les termes du rapport sont exprimés en volume aérien total.

Figure 15 : Evolution du taux de prélèvement en volume aérien total, selon le scénario de gestion forestière (hors peupleraie)

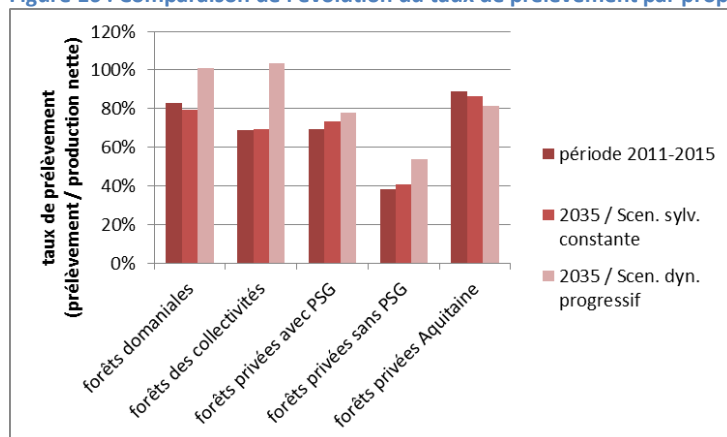


La poursuite des coupes selon le **scénario de sylviculture constante** conduit à maintenir le taux de prélèvement à son niveau estimé sur la période 2011-2015, soit autour de 55 %. Les disponibilités en bois progressent toutefois, du fait de la hausse de la production biologique permise par l'accroissement du diamètre des arbres de la ressource.

NB : Le chiffre de 55 % de taux de prélèvement est supérieur à celui de 50 % publié par l'IGN en 2015. La différence est imputable au mode de prise en compte de la tempête Klaus de janvier 2009 en Aquitaine. Le taux de 50 % se base sur une estimation des prélèvements de bois hors chablis Klaus. L'idée est bien sûr de ne pas biaiser le diagnostic moyen de la période avec un évènement exceptionnel. Cependant la tempête a aussi eu pour effet d'abaisser fortement les prélèvements les années suivantes. L'estimation des prélèvements faite par l'IGN serait ainsi sous-estimée d'environ 4 Mm³/an pour la période 2005-2008 (IFN, 2011). La production biologique de la période 2005-2008 est également sous-estimée d'environ 1,8 Mm³/an, car les arbres abattus ont été retranchés du calcul puisqu'ils ne sont plus présents. Finalement le rapport entre les prélèvements et la production serait plutôt de 54 % en l'absence de tempête. En outre, les disponibilités en bois de pin maritime du massif landais ont été estimées dans cette étude avec un scénario de coupe plus intensif que les observations récentes de l'IGN car elles ont été jugées plus réalistes par les acteurs locaux (voir chapitre 3.3.1).

Le taux de prélèvement moyen national masque de fortes disparités, à la fois entre les essences feuillues et résineuses avec respectivement 48 % et 72 % en moyenne sur la période 2016-2035, et entre les catégories de propriété puisqu'il est estimé à 83 % en 2035 dans les forêts domaniales, 69 % dans les forêts des collectivités, et 51 % en forêt privée, dont 38 % dans les forêts sans PSG et 69 % dans les forêts avec PSG (hors Aquitaine où la donnée PSG n'était pas encore disponible à la date de l'étude).

Figure 16 : Comparaison de l'évolution du taux de prélèvement par propriété selon le scénario (hors peupleraie)



Les disparités sont également fortement régionalisées, avec des taux faibles à très faibles dans le sud méditerranéen, en Midi-Pyrénées et Rhône-Alpes (qui sont deux régions très étendues et très contrastées), et en Bretagne.

La mise en œuvre du **scénario de coupe dynamique** dans une approche progressive porte le taux de prélèvement national à 72 % en moyenne sur la période 2031-2035, soit +25 % par rapport au scénario de sylviculture constante. Cela confirme le caractère ambitieux du scénario.

Les taux de prélèvement atteignent 62 % pour les feuillus (+30 %) et 89 % pour les résineux (+23 %) soit un taux certainement maximum compte tenu du fait que ces ressources sont plus souvent situées dans les régions de montagne difficiles d'accès.

En forêt privée le taux de prélèvement atteint 62 % en moyenne en 2035 (+20 %), dont 78 % dans les forêts avec un PSG hors Aquitaine (+12 %) et 54 % dans les forêts sans PSG hors Aquitaine. C'est dans ces dernières que le taux de prélèvement est le plus augmenté (+ 41 %) en raison d'une intensité de gestion qui est actuellement faible à très faible.

Le taux de prélèvement moyen dans les forêts publiques atteint 100 % en moyenne en 2035 avec le scénario de gestion dynamique progressif. La conséquence est une stabilisation du stock de bois sur pied, comme indiqué dans la figure 16. Partant d'un taux de prélèvement actuel de 74 %, une telle hausse est la conséquence de la simulation d'une intensification rapide de la gestion, notamment dans les forêts des collectivités. Elle vise l'atteinte d'un nouvel état d'équilibre, caractérisé par des peuplements plus clairs et moins âgés, donc moins capitalisés. Cela passe par un renouvellement soutenu des peuplements qui arrivent progressivement à maturité. Cela se traduit par des prélèvements temporairement plus forts, et donc par une disponibilité conjoncturelle. Pour les forêts publiques, on retiendra que le scénario de gestion dynamique progressif est particulièrement volontariste, et que les chiffres de disponibilités qui en découlent sont sans doute la fourchette maximum.

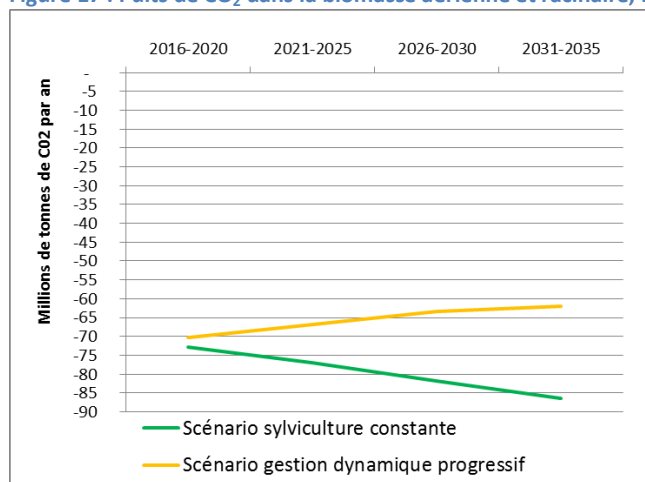
3.5.3. Evolution du puits de CO₂ dans la biomasse forestière

Le puits de CO₂ dans la biomasse aérienne et racinaire des arbres forestiers (hors peupleraie) s'accroît avec le scénario de sylviculture constante. Il atteint **86,3 millions de tonnes de CO₂ (MtCO₂) en moyenne par an au cours de la période 2031-2035**. Bien que les prélèvements de bois augmentent au fil du temps, l'écart entre les prélèvements et la production biologique nette de la mortalité s'accroît également, et avec lui le puits de carbone. L'estimation du puits de CO₂ réalisée dans cette étude est similaire à celle de l'étude réalisée par l'IGN et le CITEPA pour la DGEC en 2014 (87,2 MtCO₂).

L'intensification des prélèvements induite par la mise en œuvre du scénario de gestion dynamique progressif ne modifie pas le caractère de puits de carbone de la forêt française à l'horizon 2035. Elle réduit toutefois son intensité, puisque le puits atteint **62,1 MtCO₂** en moyenne par an au cours de la période 2031-2035. Ce chiffre est également compatible avec celui de l'étude DGEC de 2014, la différence étant totalement imputable au moindre volume de disponibilité brute estimé dans la présente étude (-15 Mm³

en volume bois fort tige, soit environ 20 MtCO₂), en raison d'hypothèses différentes sur l'intensification de la récolte dans les gros et les très gros bois.

Figure 17 : Puits de CO₂ dans la biomasse aérienne et racinaire, hors peupleraie (moyenne annuelle sur la période)



Le ralentissement de la séquestration de carbone en forêt avec le scénario de gestion dynamique progressif est la conséquence directe de l'augmentation des prélèvements de bois, les arbres coupés ne contribuant bien évidemment plus à la production biologique.

Si les prélèvements de bois en forêt conduisent à court terme à une contraction du puits de CO₂ en forêt, les avantages pour la lutte globale contre les effets du changement climatique sont nombreux et le bilan carbone de l'activité forestière doit être évalué de manière intégrée à l'échelle de la filière :

- Les prélèvements permettent de renouveler plus rapidement les peuplements, et donc de favoriser leur adaptation au changement climatique.
- Les peuplements sont également moins sensibles aux aléas naturels comme les tempêtes ou les incendies, et les volumes exposés sont moindres.
- Quant aux bois extraits des forêts, ils contribuent à l'atténuation des effets du changement climatique :
 - en prolongeant le stockage dans les produits (construction, ameublement, etc.),
 - mais bien davantage en se substituant à d'autres matériaux plus énergivores ou aux énergies fossiles (bois énergie).

3.6. Résultats en disponibilité brute

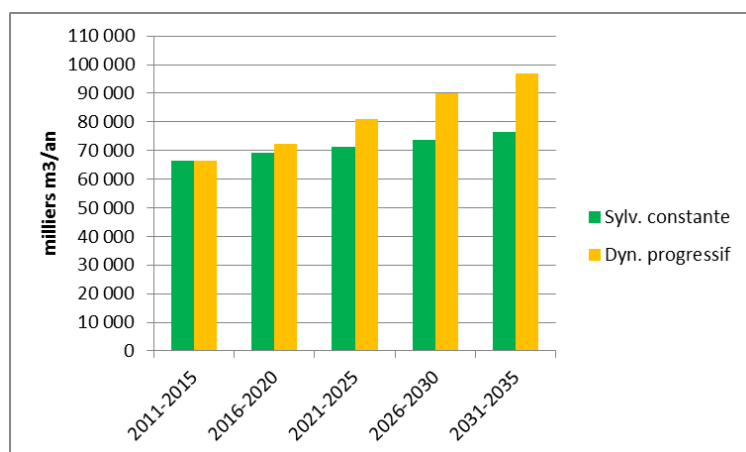
Rappel : la disponibilité brute est la quantité de bois qui pourrait être prélevée au cours d'une période en application d'un scénario de gestion forestière. Elle tient compte de l'état de maturité de la ressource en diamètre ou en âge. Elle est calculée sur l'ensemble des forêts françaises, avec des scénarios adaptés à la présence d'éventuels zonages. Le calcul de la disponibilité brute ne tient pas compte en revanche du contexte économique de mobilisation des bois, lequel est évalué au niveau de la disponibilité technico-économique. De ce fait le rapport ne détaille pas les disponibilités brutes par essences, classes de diamètres, conditions d'exploitabilité, etc. La disponibilité brute correspond au volume total des bois abattus, y compris les branches et les brindilles. Elle inclut par conséquent les pertes d'exploitation, ainsi que les volumes de MB sur sols sensibles, qui sont déduits lors du calcul de la disponibilité technico-économique.

A l'horizon 2035, la disponibilité brute d'origine forestière et populicole atteindrait :

- **Scénario de sylviculture constante : 76,4 Mm³/an**, dont :
 - Bois d'œuvre potentiel (BO-P) : 31,1 Mm³/an, dont 16,7 Mm³ de résineux (54 % du total)
 - Bois industrie bois énergie potentiel (BIBE-P) : 31,9 Mm³/an, dont 7,5 Mm³ de résineux (23 % du total)
 - Menus Bois (MB) : 13,4 Mm³/an, dont l'intégralité des houppiers de résineux soit 7,8 Mm³ (58 % du total des MB)
- **Scénario de gestion dynamique progressif : 97 Mm³/an**, dont :
 - BO-P : 38,4 Mm³/an, dont 19,4 Mm³ de résineux (50 % du total)
 - BIBE-P : 41,4 Mm³/an, dont 9,2 Mm³ de résineux (22 % du total)
 - MB : 17,2 Mm³/an dont l'intégralité des houppiers résineux soit 9,3 Mm³ (54 % total MB)

Le graphique suivant présente l'évolution de la disponibilité brute pour l'ensemble des types d'usages des bois, en fonction des scénarios de gestion.

Figure 18 : Evolution de la disponibilité brute en volume aérien total par scénario (x 1000 m³/an)



Le tableau et les graphiques suivants donnent le détail de l'évolution de la disponibilité brute des types de produits bois potentiels pour les différents groupes d'essences en fonction des scénarios de gestion.

Tableau 5 : Disponibilité brute par scénario, période, groupe d'essences et type de produit bois (x 1000 m³/an)

Scénario	Période	Feuillus				Résineux				Peupliers				Total
		BO-P	BIBE-P	MB	Total	BO-P	BIBE-P	MB	Total	BO-P	BIBE-P	MB	Total	
Prélèvements courants*	2011-2015	10 564	19 537	4 735	34 836	15 215	7 411	7 248	29 874	1 277	460	41	1 778	66 488
Scénario de sylviculture constante	2016-2020	11 130	20 561	4 950	36 640	15 831	7 427	7 409	30 667	1 363	506	46	1 915	69 222
	2021-2025	11 656	21 592	5 176	38 423	16 074	7 336	7 467	30 877	1 467	508	44	2 019	71 319
	2026-2030	12 268	22 756	5 399	40 423	16 375	7 368	7 605	31 348	1 460	480	40	1 981	73 752
	2031-2035	12 958	24 010	5 612	42 580	16 700	7 465	7 783	31 948	1 445	435	35	1 915	76 443
Scénario de gestion dynamique Progressif	2016-2020	11 579	21 591	5 248	38 418	16 218	7 737	7 652	31 607	1 644	567	50	2 261	72 286
	2021-2025	13 498	25 079	6 152	44 729	17 472	8 207	8 240	33 919	1 806	638	56	2 500	81 148
	2026-2030	15 380	28 639	7 059	51 078	18 624	8 720	8 847	36 191	1 891	696	62	2 649	89 918
	2031-2035	16 802	31 530	7 775	56 107	19 383	9 209	9 319	37 911	2 203	686	57	2 946	96 964

* Volume aérien total des arbres abattus, y compris les pertes d'exploitation et l'ensemble des menus bois.

Figure 19 : Evolution des disponibilités brutes par groupe d'essences, type de produit bois, périodes et scénarios



En 2031-2035, la disponibilité brute de **BO-P** et de **BIBE-P** serait supérieure aux prélèvements actuels de 8,5 Mm³/an avec le scénario de sylviculture constante (soit une augmentation de 16 %), dont +4,5 Mm³ de BIBE-P, et jusqu'à 25,4 Mm³/an avec le scénario de gestion dynamique progressif (soit une augmentation de 27 %), dont +14 Mm³ de BIBE-P.

Les feuillus (peupliers inclus) présentent le plus fort potentiel de développement des prélèvements à l'horizon 2031-2035 : avec +7 Mm³/an pour le scénario de sylviculture constante et +19,4 Mm³/an pour le scénario de gestion dynamique, ils représentent respectivement 82 % et 76 % des disponibilités brutes additionnelles. Les marges de croissance des prélèvements en résineux sont également positives, mais très

limitées dans le cas de la poursuite des pratiques actuelles de gestion (+1,5 Mm³/an en 2031-2035). Elles pourraient atteindre +6 Mm³/an dans le cas d'une intensification des coupes (dynamisation des éclaircies et des coupes rases).

Les disponibilités progressent aussi bien dans les catégories BO-P que BIBE-P, avec une augmentation toutefois plus marquée pour le BIBE-P. Il existe toutefois une forte disparité entre les essences feuillues et résineuses, puisque toute la disponibilité additionnelle résineuse est de qualité potentielle BO avec le scénario de sylviculture constante. L'intensification des coupes chez les résineux permettrait de produire 1,8 Mm³/an de BIBE-P supplémentaire.

Quant aux **MB**, leur disponibilité augmente mécaniquement avec celle des autres usages. Elle est supérieure de 1,4 Mm³/an en 2031-2035 avec le scénario de sylviculture constante par rapport aux prélèvements actuels, et jusqu'à 5,1 Mm³/an avec le scénario de gestion dynamique.

Les résultats du scénario de gestion dynamique progressif montrent qu'il est possible d'augmenter les prélèvements de manière durable et pérenne, au moins pendant la période couverte par l'étude, en augmentant progressivement les taux de coupe dans les classes qui font déjà l'objet de prélèvements.

Disponibilités brutes par région

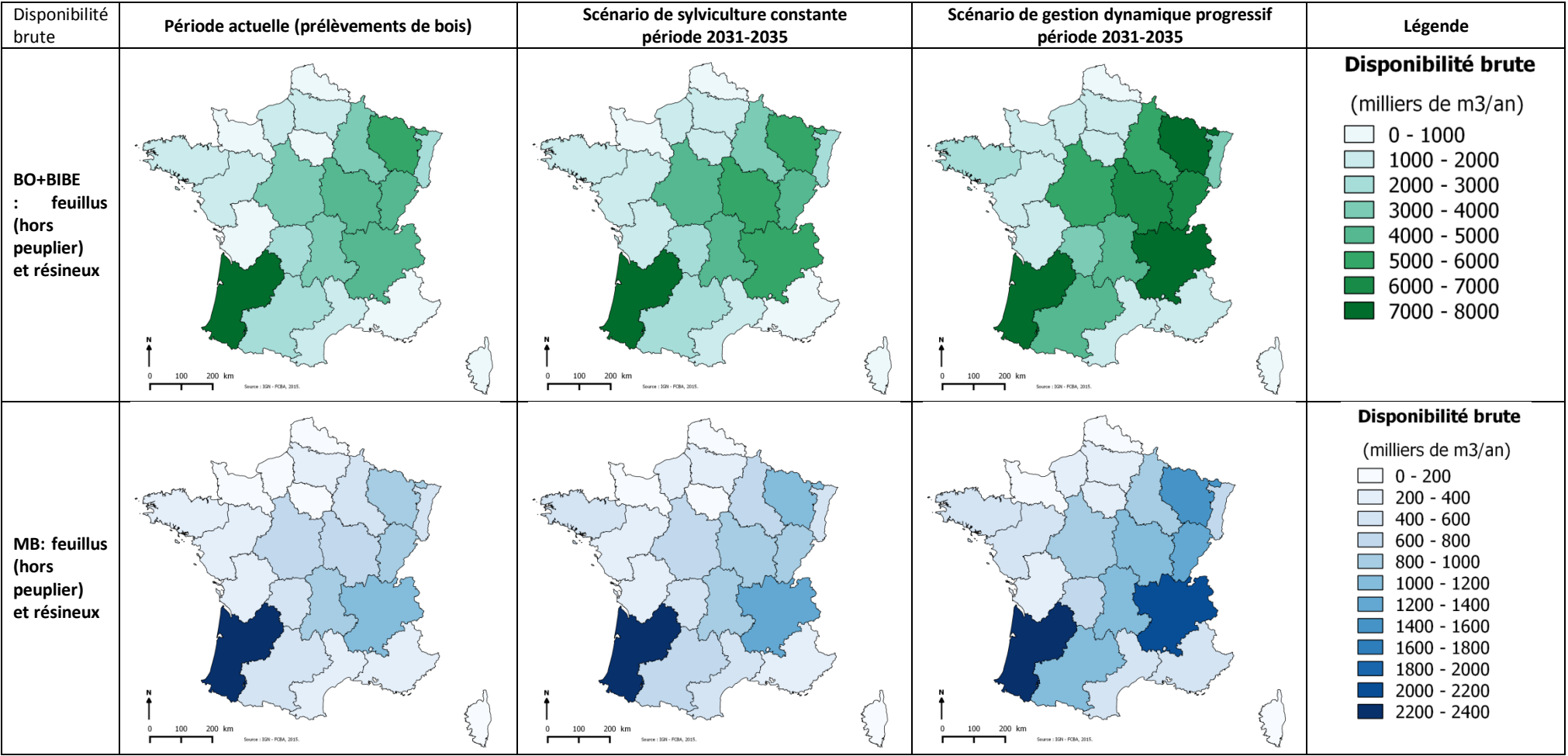
Actuellement les régions avec les plus forts volumes de disponibilités brutes en BO-P et BIBE-P sont les régions forestières traditionnelles, à savoir l'Aquitaine, les régions du Grand Est (Lorraine, Bourgogne, Franche-Comté) et du Centre-Est (Rhône-Alpes et Auvergne). Toutes les régions voient leur disponibilité brute augmenter à l'horizon 2035, quel que soit le scénario (figure 20).

Avec le scénario de sylviculture constante, les hausses les plus fortes en volume se situent dans les régions du grand centre de la France (Bourgogne avec +1 Mm³/an en 2035 par rapport aux prélèvements actuels, région Centre avec +0,9 Mm³/an), ainsi qu'en Rhône-Alpes (+0,8 Mm³/an) et Midi-Pyrénées (+0,6 Mm³/an). L'Aquitaine, la Corse et la Normandie ferment la marche. L'analyse de la vitesse de croissance de la disponibilité brute montre toutefois un autre visage, car l'Île-de-France arrive en tête (+33 %) en raison de la forte pression urbaine qui limite la récolte de bois, suivie de Midi-Pyrénées (+28 %) et des régions méditerranéennes (+25 % pour l'ensemble des régions PACA et Languedoc-Roussillon), à égalité avec la région Centre.

Les régions Rhône-Alpes, Bourgogne, Centre et Midi-Pyrénées conservent les premières places dans le cadre d'une intensification des pratiques de coupe. Elles sont cependant rejointes par la Lorraine et la Franche-Comté, en raison de l'intensification des coupes dans les forêts publiques qui y sont majoritaires en surface. L'analyse des taux de progression les plus forts révèle les bassins de production en devenir. Il s'agit des régions du sud, sur le pourtour méditerranéen, de Midi-Pyrénées et de Rhône-Alpes, mais aussi l'Île-de-France, la Bretagne et Poitou-Charentes. Dans ces dernières les forêts sont souvent jeunes, majoritairement privées et sans PSG, et les arbres grossissent.

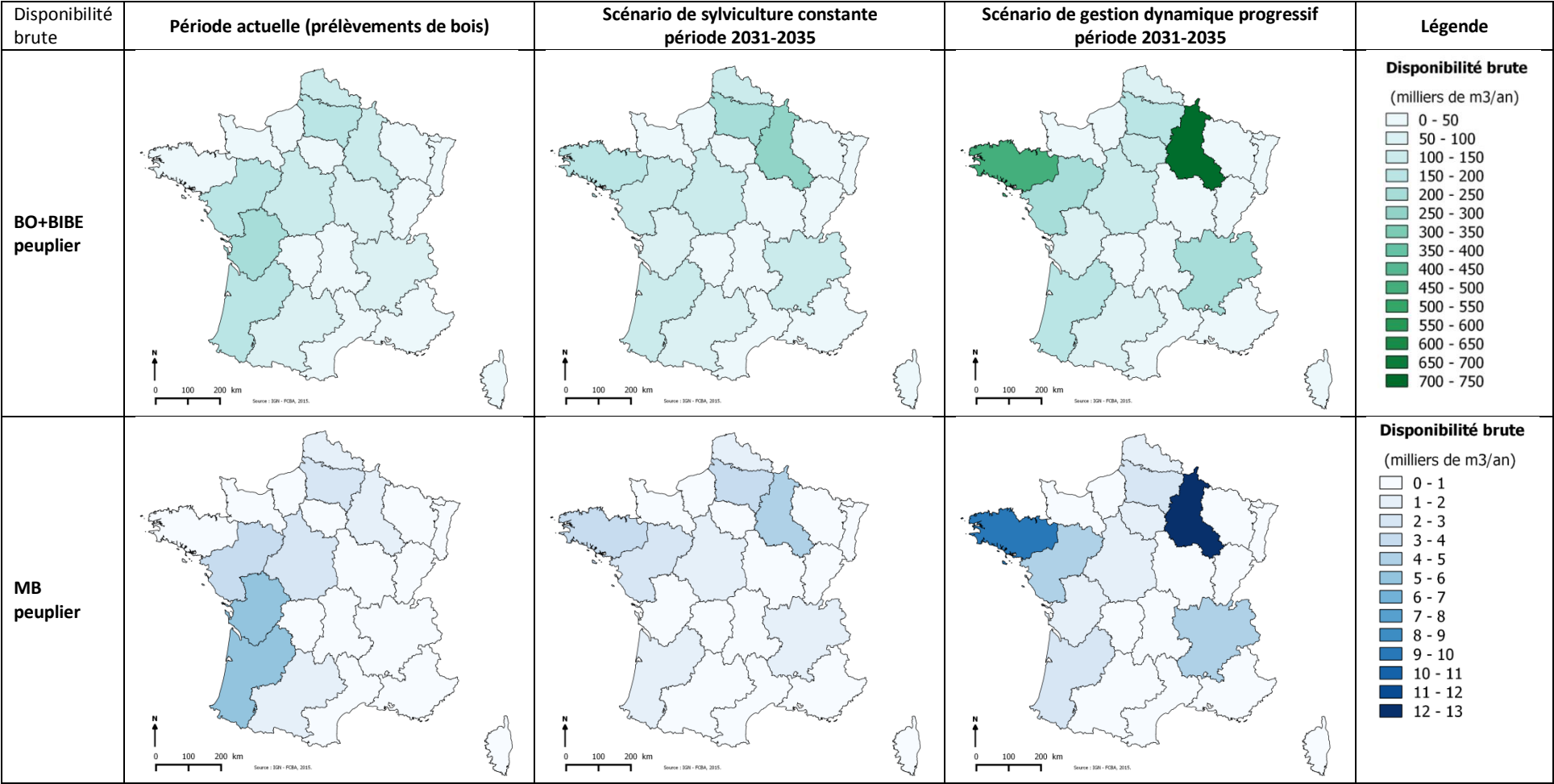
Les cartes suivantes donnent l'évolution de la répartition régionale des disponibilités brutes en forêt, entre la période actuelle (colonne de gauche) et la période 2031-2035 pour le scénario de sylviculture constante (colonne du milieu) et le scénario de gestion dynamique (colonne de droite). Les résultats sont en annexe 29A, 30A et 31A et 22.

Figure 20 : Evolution des disponibilités forestières brutes par région, en fonction du scénario



Les cartes suivantes donnent l'évolution de la répartition régionale des disponibilités brutes par type d'usages en peupleraie, entre la période actuelle (colonne de gauche) et la période 2031-2035 pour le scénario de sylviculture constante (colonne du milieu) et le scénario de gestion dynamique (colonne de droite).

Figure 21 : Evolution des disponibilités brutes en peuplier par région, en fonction du scénario



4. Disponibilités technico-économiques et supplémentaires à l'horizon 2035

4.1. Principe général du calcul de la part économiquement exploitable

La méthode de calcul de la disponibilité technico-économique consiste à vérifier la rentabilité économique de la réalisation d'une coupe de bois en se plaçant du point de vue d'un exploitant forestier (le principe de la méthode est le même que dans l'étude ADEME 2009).

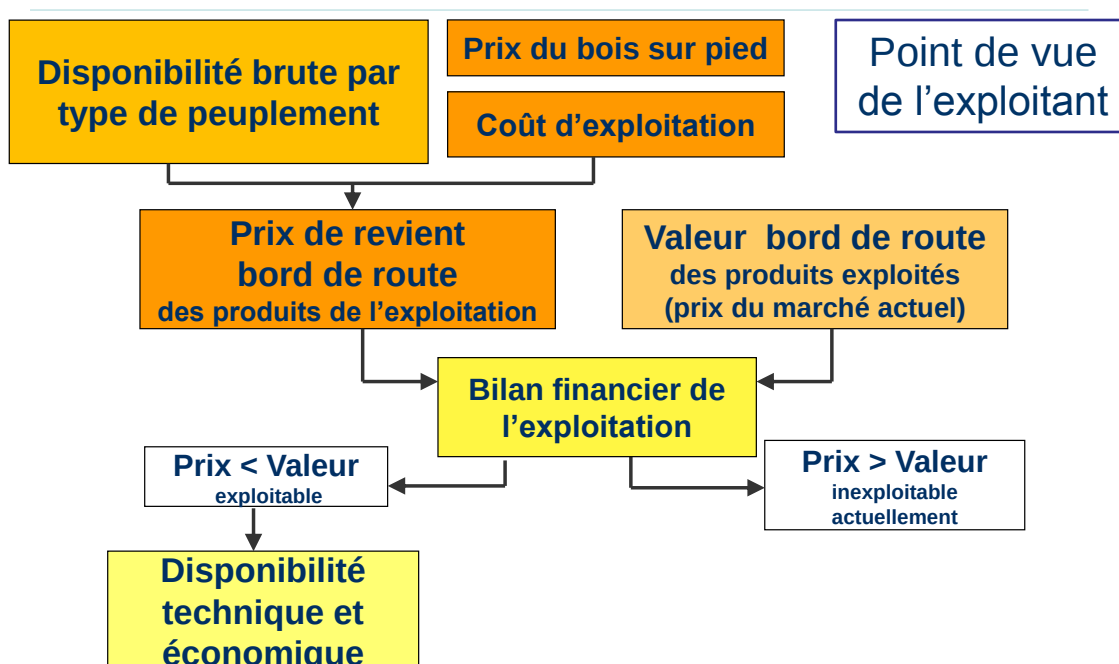
A partir de la disponibilité brute, la méthode nécessite :

- Une estimation du coût d'exploitation, en fonction du type de peuplement, du type de coupe et des conditions d'exploitation comme la pente et la distance de débardage ;
- Une estimation des prix moyens du bois bord de route, selon l'essence et le type de produit ;
- Une évaluation des prix du bois sur pied, selon l'essence, la classe de diamètre et la région.

La comparaison du coût de revient (somme du prix du bois sur pied et du coût d'exploitation) avec le prix du marché bord de route permet de déterminer la part économiquement exploitable de la disponibilité brute, après déduction des pertes d'exploitation et prise en compte de la fertilité des sols pour déterminer l'exploitabilité des menus bois.

Enfin, la disponibilité supplémentaire est calculée en retranchant à la disponibilité technico-économique une estimation de la récolte actuelle. Le schéma ci-dessous résume la démarche générale.

Figure 22 : Méthode d'estimation des disponibilités technico-économiques et supplémentaires



Dans l'approche mise en œuvre, les disponibilités brutes estimées pour une période donnée sont supposées prélevées au cours de cette période. Cela signifie que les volumes sont extraits du stock sur pied en croissance estimé en fin de la période, lequel sert de base au calcul des disponibilités brutes de la période suivante. Ainsi, la disponibilité calculée avec le modèle pour une année N peut être sous-estimée si les prélèvements réalisés l'année N-1 n'ont pas atteint la disponibilité estimée pour l'année N-1.

4.2. Calcul technico-économique

4.2.1. Une méthode de calcul qui optimise les volumes exploitables

La disponibilité technico-économique est la part de la disponibilité brute qui est techniquement et économiquement exploitable, c'est-à-dire de façon rentable à la fois pour le propriétaire, l'exploitant, et l'utilisateur final.

Pour calculer cette disponibilité, on estime successivement :

- La valeur des bois sur pied, compte tenu des essences, du volume et de la dimension des bois présents ;
- Le coût de leur exploitation, compte tenu là aussi des essences, du volume unitaire, mais aussi des conditions d'exploitation ;
- La valeur des produits bord de route finalement extraits. On tient compte ici des pertes d'exploitation et des précautions environnementales pour l'exploitation des rémanents ;
- Et enfin on calcule le bilan financier de l'opération, qui permet de déterminer si l'opération est économiquement rentable.

L'ensemble de ces étapes est réalisé pour l'exploitation :

- de BO seul ;
- de BO couplé au BIBE (ou BIBE seul si absence de BO) ;
- de BO, de BIBE et de MB avec les deux derniers pris séparément ;
- de BO, de BIBE et de MB avec les deux derniers extraits ensembles (ex : cas d'arbres entiers).

Parmi ces différentes options, on retient celles qui aboutissent à un bilan économique d'exploitation positif, avant de retenir parmi ces dernières, celle qui valorise le maximum de matière (déduction faite des pertes d'exploitation générées par les différents modes d'exploitation).

Ainsi, quelle que soit la parcelle, le bilan matière s'ordonne ainsi:

$$\text{BO} + (\text{BIBE} + \text{MB ensemble}) > \text{BO} + (\text{BIBE} + \text{MB pris séparément}) > \text{BO} + \text{BIBE} > \text{BO}$$

Le calcul maximise donc le volume récolté, et il arrive par conséquent fréquemment que la récolte des menus bois soit considérée comme possible, parce qu'on considère qu'ils peuvent être récoltés simultanément avec le BIBE dans une même opération. En pratique, sur la coupe, la récolte de bois d'industrie qui est pratiquée en billons sépare ceux-ci du menu bois. La récolte des menus bois devient alors impossible, d'un point de vue économique. En montagne, il arrive en outre que la découpe pratiquée soit proche de 20 cm, laissant sur coupe la totalité du BIBE pourtant estimé récoltable. A l'opposé, le débardage par câble d'arbres entiers, permet, du fait du façonnage des arbres sur la place dépôt, de mobiliser les MB.

Le calcul de disponibilité technico-économique peut donc conduire à intégrer dans le chiffre de disponibilité des volumes (et notamment les MB) qui deviendraient en fait indisponibles selon les modalités réelles de l'exploitation. Il est nécessaire d'en tenir compte dans l'interprétation des résultats, notamment pour les MB dont la part actuellement effectivement récoltée est très faible.

4.2.2. Caractérisation de l'exploitabilité technico-économique

Quatre séries de critères ont une incidence sur le volume de bois exploitable d'un peuplement.

Les pertes d'exploitation : Ce sont des pertes inhérentes à l'exploitation (souches, égobelage, traits de scie, rebus et pertes diverses). Le taux de perte adopté varie selon le compartiment :

- 8 % pour le BO-P ;
- 15 % pour le BIBE-P ;
- 15 % pour le MB s'il est récolté avec le BIBE (arbres ou houppiers entiers) et 50 % s'il est récolté séparément.

Les critères techniques : Ce sont ceux que le terrain impose. La pente des parcelles est un critère limitant pour l'accès des engins mais aussi des bucherons qui ne peuvent plus opérer au-delà d'une pente de 100 %. La présence ou la possibilité de créer un itinéraire de débardage pour extraire le bois des parcelles et l'amener à une place de dépôt est également à prendre en compte, de même que la portance du sol qui peut empêcher le passage des engins.

Les critères environnementaux et réglementaires : Selon la fertilité du sol, la disponibilité en MB est retenue ou non dans le volume disponible. Si le sol est trop pauvre pour permettre la récolte des rémanents, seuls le BO et le BIBE présents sur la parcelle sont inclus dans le calcul du bilan de la mise bord de route. Par ailleurs, dans certains zonages les travaux d'exploitation sont soumis à autorisation et la constitution du dossier de demande entraîne un surcoût qui est pris en compte.

Les critères économiques : Un exploitant forestier ne réalisera pas une coupe de bois s'il ne réalise pas une marge. Il faut donc que la valeur des bois récoltés mis bord de route soit supérieure au prix de revient pour l'exploitant. Ce prix de revient est la somme du coût d'exploitation et du prix du bois sur pied qu'il peut proposer au propriétaire. De leur côté, dans la majorité des cas, les propriétaires forestiers ne déclencheront pas une coupe de bois s'ils n'en retirent pas un bénéfice minimum (prix de retrait). Finalement, la coupe ne peut se faire que si le coût d'exploitation est inférieur à la différence entre le prix des produits bord de route et le prix minimum des bois sur pied acceptable par le propriétaire. Les prix du bois (sur pied et bord de route) et le coût d'exploitation dépendent des espèces, du volume unitaire des arbres, de leur qualité et des conditions d'exploitation.

4.2.3. Classement des peuplements selon leur mode d'exploitation le plus probable

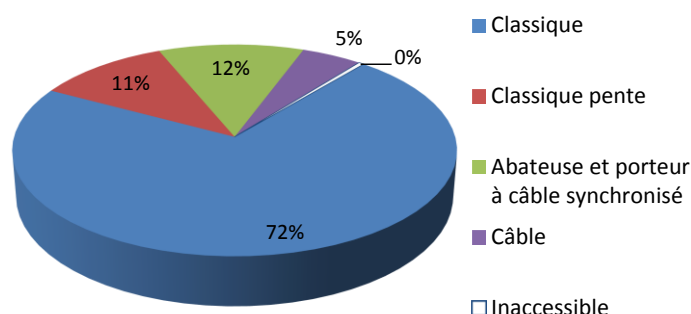
A partir d'observations objectives sur le terrain, l'IGN classe habituellement les peuplements selon quatre grandes catégories d'exploitabilité physique. Ces classes ne correspondent pas directement à des systèmes d'exploitation auxquels un coût d'exploitation peut être affecté, notamment parce que ces systèmes peuvent varier au cours du temps selon les régions.

Pour les besoins de l'étude, quatre systèmes d'exploitation principaux ont été définis. Ils correspondent chacun à l'utilisation d'engins particuliers ayant leurs coûts propres. Puis les peuplements ont été classés dans le système d'exploitation le plus probable :

- Mode d'exploitation classique : Il est mis en œuvre sur tous les terrains de pente inférieure à 35 % et dont les sols sont portants au moins une partie de l'année et permettent la pénétration des engins sur coupe. Les systèmes d'exploitation suivants sont possibles selon les espèces, le type de coupe, le volume des arbres et les produits façonnés :
 - Abattage manuel et débardage par porteur (billons) ou débusqueur (grumes),
 - Abattage mécanisé et débardage par porteur (billons) ou débusqueur (grumes).
- Mode d'exploitation classique de pente : Il est mis en œuvre sur les pentes comprises entre 35 et 100 %, où une piste de débardage existe ou peut être créée pour rejoindre une place de dépôt. Il correspond au système d'exploitation suivant :
 - Abattage manuel et débardage en grande longueur par débusqueur. Avec ce système, l'exploitation des menus bois ne peut pas être pratiquée, et celle des houppiers ne l'est généralement pas.
- Mode d'exploitation par engin à treuil synchronisé : Les conditions pour la mise en œuvre de ce nouveau système d'exploitation sont des pentes de moins de 60 % et l'absence d'obstacles comme des rochers ou des ressauts. Il correspond au système d'exploitation suivant :
 - Abattage mécanisé par abatteuse et débardage au porteur assisté d'un treuil à avancement synchronisé qui retient les engins en descente et les tracte en montée.
- Mode d'exploitation par câble aérien : On a classé dans ce mode d'exploitation les surfaces où :
 - la portance est nulle toute l'année ;
 - la pente est forte et la distance de débardage est supérieure à 1000 m.

Les autres situations rencontrées en forêt (pentes supérieures à 100 %, routes impossibles à créer) ont été déclarées inaccessibles et les disponibilités brutes correspondantes exclues de la disponibilité technico-économique. La figure suivante donne la proportion des différents modes d'exploitation supposés dans la surface forestière française.

Figure 23 : Répartition de la surface forestière nationale par système d'exploitation



Ce classement selon les modes d'exploitation les plus probables est différent de celui qui a été décrit au chapitre B.1.2.2 et qui est la classification classique définie par l'IGN pour ses publications. C'est ce dernier qui sera utilisé pour la présentation des résultats.

4.2.4. Coût d'exploitation

Le coût d'exploitation de chaque système d'exploitation a été divisé en deux composantes :

Le coût de l'abattage et du façonnage : Il varie avec le type de peuplement, la dimension des arbres, le mode d'exploitation, la difficulté d'exploitation, et la nature des produits façonnés.

Il présente les caractéristiques générales suivantes :

- Quel que soit le mode d'exploitation (manuel ou mécanisé), le coût est inversement proportionnel au volume unitaire des tiges ;
- Ce coût dépend de la complexité du façonnage. Le façonnage manuel des gros houppiers de feuillus en billons entraîne un coût plus élevé que le simple démembrement de ces houppiers en vue de leur débardage pour le déchiquetage en plaquettes ;
- Dans le cas de l'abattage mécanisé, les actions les plus coûteuses sont le déplacement vers l'arbre à abattre et son abattage. L'ébranchage et le billonnage de la tige ne représente qu'une faible part du coût d'exploitation, si bien que le coût d'exploitation est inversement proportionnel au taux de prélèvement ;
- Le coût est augmenté lorsque les conditions deviennent difficiles (pente supérieure à 35 %).

Le coût du débardage : Il varie selon le mode de débardage, les produits débardés, les engins utilisés, la longueur et la difficulté de l'itinéraire de débardage.

Il présente les caractéristiques générales suivantes :

- Le coût dépend principalement du système de débardage (porteur, débusqueur) et donc des produits débardés (billons, grumes, arbres entiers/houppiers, rémanents/menus bois) ;
- Il dépend des conditions de débardage, et notamment de la pente, qui influent sur le système de débardage : skidder en condition de pente, porteur à câble synchronisé, câble aérien, etc. ;
- Il dépend aussi des produits transportés. Plus la charge transportée est proche de la charge maximale, plus bas est le coût de revient au m³. Par exemple, par rapport à un chargement classique de billons, un porteur aura un meilleur rendement avec un chargement d'arbres entiers (charge plus importante qui déborde à l'arrière du plateau) et plus mauvais avec des rémanents

- d'exploitation (menus bois) dont le foisonnement limite la charge bien au-dessous du chargement maximal ;
- Le coût dépend également fortement de la distance de débardage, qui diminue la quantité de bois transportée par unité de temps.

Un tableau synthétique des coûts des différents systèmes d'exploitation est donné en annexe 11.

NB : On n'a pas pris en compte une possible amélioration des rendements de l'exploitation forestière qui permettrait d'en diminuer les coûts. Cependant cette amélioration serait vraisemblablement liée à une plus forte mécanisation, également génératrice de coûts supplémentaires (amortissement de l'investissement, coût de fonctionnement).

Les conséquences de la présence de réglementations particulières sur le site ont été prises en compte en sus, en majorant le coût d'exploitation d'un montant forfaitaire de 5 €/m³. On a considéré que ces conséquences réglementaires apparaissaient dès lors qu'il fallait faire des demandes ou des déclarations de travaux. C'est le cas des zones à enjeux n°3 définies dans l'étude (zones avec enjeu de protection de biotope ou de conservation du patrimoine, voir chapitre B.1.2.4). Les zones n°1 n'ont pas vocation à produire du bois, et la décision de couper ne repose pas sur des critères économiques ; dans le cas des zones humides, le surcoût est inclus dans le système d'exploitation adopté (câble). Les zones n°4 (enjeu social) peuvent voir le déclenchement des coupes gêné ou retardé, mais le coût lui-même de l'exploitation ne paraît pas comme devant être augmenté.

4.2.5. Prix du bois sur pied et prix du bois bord de route

Un prix du bois national a été déterminé en moyennant des observations nationales ou régionales quand ces dernières étaient disponibles. Ce prix du bois a ensuite été régionalisé en tenant compte des variations observées par rapport à la moyenne nationale, sur différentes périodes de temps.

a. Prix du bois sur pied

Le prix du bois sur pied a été déterminé à partir de nombreuses sources de données :

- Statistiques des ventes de bois de l'ONF ;
- Observatoire des prix du bois de Lorraine, d'Alsace et d'Aquitaine ;
- Publication des CRPF des régions Pays de la Loire, Bretagne et Aquitaine ;
- Communication de la coopérative COFORET ;
- Analyse des comptes rendus des ventes publiées par FORDAQ, des experts forestiers et d'autres sources ponctuelles.

A partir de ces éléments, un prix moyen a été déterminé pour l'ensemble de la France en fonction de la catégorie de diamètre à 1,30 m, de l'essence (chêne, hêtre, frêne, merisier, sapin/épicéa, Douglas, pin maritime, pin sylvestre, autres pins) et du type de bois façonné (bois de trituration feuillu et résineux, bois de feu bûche, bois énergie).

L'annexe 12 donne la moyenne nationale des prix du bois sur pied observée au 2^{ème} semestre 2014.

b. Prix du bois bord de route

Les sources suivantes ont été analysées :

- Enquête sur la valeur finale des produits bord de route (ministère de l'agriculture jusqu'en 2012) ;
- Enquête sur le prix des grumes (SSP à partir de 2012) ;
- Enquête sur le prix du bois énergie (CEEb) ;
- Indice de variation du prix du bois de trituration rendu usine (UCFF) ;
- Indice des prix du bois façonnés (Observatoire de Franche-Comté) ;
- Prix du bois façonné (Observatoire sur le prix du bois de Lorraine) ;
- Prix du bois bord de route (CRPF des régions Centre et Ile-de-France).

De la même manière que pour le bois sur pied, un prix du bois moyen national a été déterminé par essence et par type de produit façonné. L'annexe 13 donne la moyenne nationale des prix du bois bord de route retenus pour l'étude, par essence et par produit.

c. Régionalisation du prix du bois

Pour tenir compte des variations régionales du prix du bois sur pied et bord de route, un coefficient a été appliqué au prix du bois national. Cet indice est issu d'une méthodologie définie dans le projet CARTOFA (financement de la fondation Tuck). La compilation d'un grand nombre de données de prix régionales et nationales sur plusieurs années et pour diverses essences a permis de déterminer un ratio entre le prix du bois sur pied ou bord de route régional et la moyenne du prix du bois national correspondant. De cette façon, on tient compte des variations parfois importantes entre les prix de diverses régions.

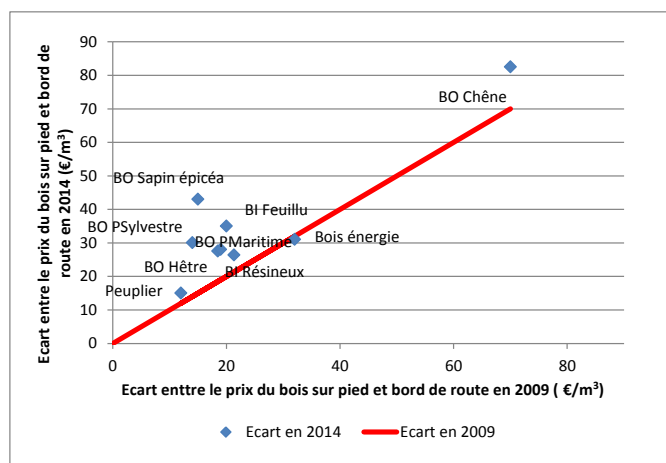
d. Evolution des prix depuis 2009

Depuis 2009, les prix du bois d'œuvre et surtout d'industrie ont fortement augmenté, de l'ordre de 30 % pour le bois d'œuvre et de plus de 50 % pour le bois d'industrie (il rejoint le prix du bois énergie de 2009).

Mais ce qui est remarquable, c'est que l'écart de prix entre le bois sur pied et le bois bord de route, c'est-à-dire le coût possible pour l'exploitation a également augmenté, permettant ainsi théoriquement l'exploitation de parcelles plus difficiles d'accès (les exploitants forestiers ont pu également en profiter pour reconstituer leurs marges très diminuées ces dernières années).

Le graphique suivant montre la variation de l'écart de prix entre 2009 et 2014. Elle est particulièrement importante pour le sapin-épicéa, le pin sylvestre et le bois d'industrie feuillu. Sous la pression d'une forte demande en bois énergie, la valeur de ce produit a rejoint celle du BE bûche observée en 2009. Ce niveau permet l'exploitation du bois énergie, avec des coûts d'exploitation encore élevés par rapport à d'autres pays et qui ne permettent pas encore une rémunération satisfaisante des propriétaires.

Figure 24 : Evolution de l'écart entre le prix du bois sur pied et bord entre 2009 et 2014



De ces observations, on voit que d'un point de vue technico-économique, la disponibilité pourrait augmenter de façon notable par rapport à 2009, au moins pour le BO-P résineux et le BIBE-P.

4.3. Estimation de la récolte courante

Il est nécessaire d'estimer la récolte courante pour évaluer la disponibilité supplémentaire qui correspond aux volumes qui pourraient être prélevés en plus dans le futur par rapport à ce qui est fait actuellement.

4.3.1. Mesure des prélèvements et estimation de la récolte à partir des données de l'IGN

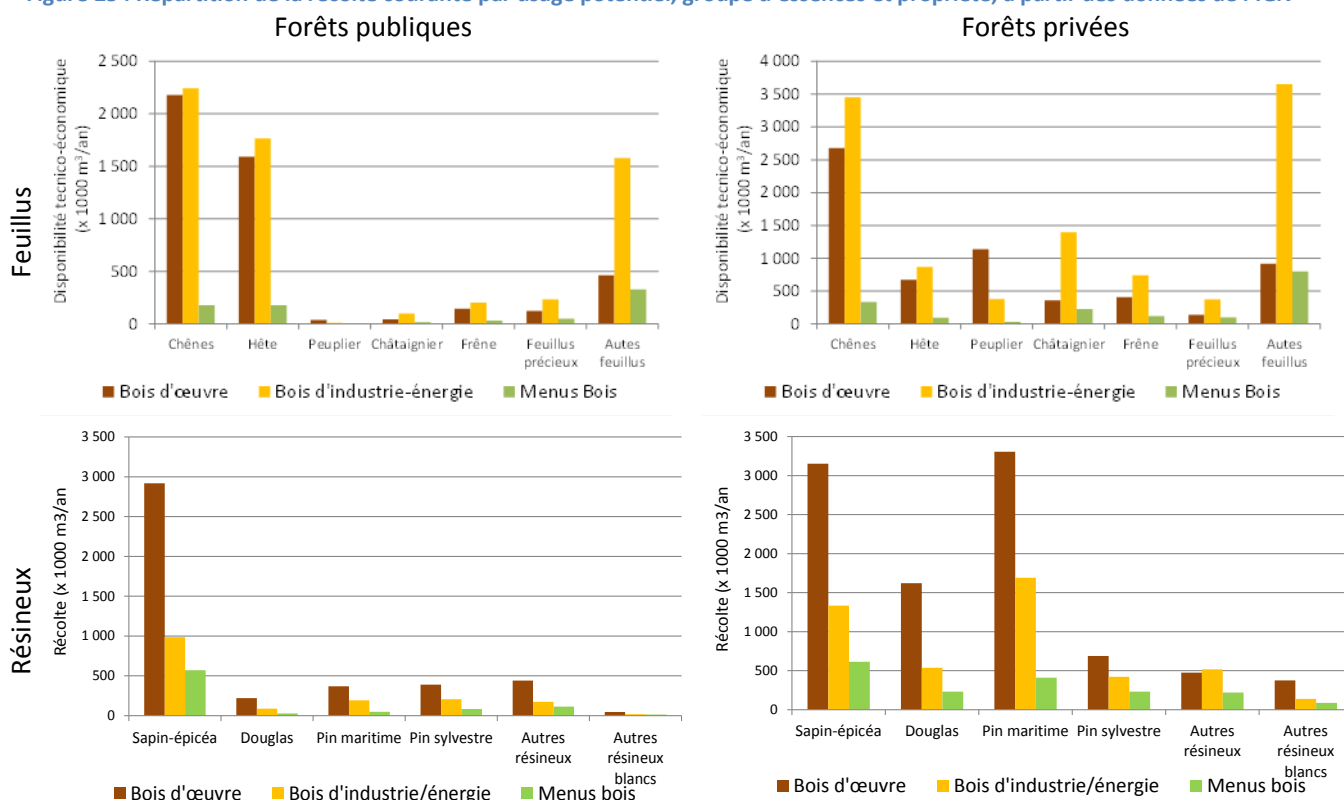
L'IGN ne mesure pas la récolte (entendue comme la quantité de bois effectivement extraite des parcelles), mais les prélèvements, c'est-à-dire le volume des arbres abattus.

On peut néanmoins approcher le volume de récolte en retranchant au volume des prélèvements un taux forfaitaire de pertes en exploitation (cf. B.4.2.2). Le volume réellement exploitable qui en résulte est ensuite ventilé en types de produits potentiels (BO-P, BIBE-P) à l'aide des coefficients définis dans l'étude (cf. B.3.4.4). Pour les menus bois le résultat ne correspondra en fait le plus souvent qu'à un volume techniquement disponible, car ils sont actuellement *a priori* très peu récoltés.

La récolte estimée à partir des mesures IGN atteint 48,8 Mm³ de BO-P et de BIBE-P en moyenne par an sur la période 2011-2015, dont 24,9 Mm³/an de BO-P (14 Mm³ de résineux) et 23,3 Mm³/an de BIBE-P (6,3 Mm³ de résineux). S'y ajoutent 5,1 Mm³/an de MB, dont 2,6 Mm³ de résineux.

La figure suivante donne la répartition de la récolte estimée sur la période 2011-2015 selon l'essence, la propriété, et l'usage potentiel des bois.

Figure 25 : Répartition de la récolte courante par usage potentiel, groupe d'essences et propriété, à partir des données de l'IGN



* Chênes : chênes pédonculés et sessiles

** MB : il s'agit d'une disponibilité techniquement exploitable, après déduction des volumes sur les sols peu fertiles.

Les forêts publiques totalisent 35 % de la récolte nationale de BO et de BIBE avec 16,8 Mm³/an, et les forêts privées 31,4 Mm³/an.

Globalement, la récolte estimée de bois d'œuvre occupe une part plus importante dans les forêts publiques que dans les forêts privées, dans les peuplements feuillus comme dans les peuplements résineux. Cela reflète à la fois les différences de structure et de gestion de la forêt (on trouve davantage de taillis et de mélanges futaie taillis en forêt privée), d'histoire (les forêts privées sont plus jeunes en moyenne et notamment les plantations FFN sont plus fréquentes en forêt privée), et d'objectifs de gestion (révolutions souvent plus courtes en forêt privées, et objectif de production de bois de feu plus fréquent).

Si ces différences sont peu importantes pour les chênes, le hêtre et le peuplier, elles sont très marquées pour les autres feuillus (châtaignier, frêne, feuillus précieux, et tous les autres feuillus). On retrouve également ces différences chez les résineux, mais de façon beaucoup moins marquée en lien avec l'utilisation classique des résineux en bois d'œuvre et leur faible usage comme bois de feu. On retrouve la différence public/privé pour les sapins-épicéas, les boisements d'épicéas en forêt privée étant récoltés plus précocement en moyenne (vers 50 ans) que ceux des forêts publiques (vers 80 à 100 ans, mais ils sont en outre plus fréquents dans les régions de montagne).

4.3.2. Analyse de la cohérence globale entre les différentes estimations de récolte

Modulo certaines hypothèses, la récolte estimée à partir des données de l'IGN pour la période 2011-2015 peut être comparée aux autres sources de données jusque-là seules disponibles, à savoir l'enquête sur la récolte de bois commercialisée (EAB exploitation forestière et scieries) et l'enquête sur la consommation en énergie (dont le bois de feu) des ménages de l'INSEE traitée par le CEREN.

La comparaison de ces différentes sources permet de mieux ventiler la récolte actuelle selon sa destination : industrie / énergie / bois de feu des ménages.

Tableau 6 : Comparaison de la récolte estimée à partir des données de l'IGN (2011-2015) avec la récolte estimée par l'EAB (moyenne 2010-2014) et le CEREN (2006)

	Récolte estimée à partir de l'IGN	Récolte commercialisée (EAB)				Consommation hors EAB (CEREN)	Total EAB+ CEREN	Bilan
Milliers de m ³ /an	Total	BO	BI	BE bûche	BE plaquette	BE bûche	Total	Total
Bois fort feuillu	27 891	5 130	4 192	4 694	1595**	14 900	30 511	-2 620
Bois fort résineux	20 297	14 518	7 783				22 301	-2 004
Total bois fort	48 188	19 648	11 975	4 694	1 595	14 900	52 812	-4 624
Menu bois feuillus*	2 504				177**		177	+2 327
Menus bois résineux*	2 645						0	+2 645
Total menus bois	5 149						177	+4 972
Total général	53 337	19 648	11 975	4 694	1 772	14 900	52 989	+348

*La récolte effective des menus bois est inconnue. Les valeurs affichées correspondent aux prélèvements moins les pertes d'exploitation.

** Estimations

La différence globale d'estimation entre les deux familles de sources serait donc de 0,3 Mm³ au total ce qui est extrêmement faible, mais de -4,6 Mm³ si on ne considérait que le bois fort.

Toutefois le résultat de cet exercice de rapprochement de différentes sources statistiques doit être analysé avec précaution car les écarts observés peuvent avoir de nombreuses origines, et les chiffres sont très sensibles à certaines hypothèses de calcul :

- Les trois sources de données ne sont pas exemptes d'incertitude. Elle est estimée à environ 10 % sur le volume bois fort tige pour le prélèvement IGN. Elle est inconnue pour les autres enquêtes, mais elle est certainement importante dans les enquêtes déclaratives et notamment sur la consommation de bois de feu des ménages ;

- La définition et le mode de calcul du volume varie entre les différentes sources et même au sein d'une même source pour les enquêtes EAB et CEREN qui sont renseignées par les exploitants et les ménages (sur ou sous écorce, tarif de cubage pour les arbres sur pied, volume des grumes, m³ d'encombrement, etc.). La répartition du volume aérien total de prélèvement de l'IGN entre les compartiments bois fort (houppier inclus) et menus bois (diamètre inférieur à 7 cm) repose sur un modèle global national ;
- Les pertes d'exploitation sont estimées à dire d'expert dans l'estimation réalisée à partir des données IGN ;
- On a fait l'hypothèse prudente que les houppiers résineux ne sont jamais façonnés en BI. Ainsi tout ce volume, y compris d'éventuelles grosses branches, est affecté dans la catégorie MB, ce qui peut conduire à le surestimer légèrement. On a également fait l'hypothèse que tous les houppiers des feuillus de moins de 25 cm de diamètre était du MB, ce qui peut surestimer légèrement ce volume au détriment du BIBE-P ;
- On constate souvent que l'exploitation du bois de chauffage par des particuliers pour leur propre usage les conduit à pratiquer des découpes fin bout inférieures à 7 cm, ce qui équivaut à la mobilisation d'une partie des menus bois dont la récolte serait de ce fait sous-estimée dans le tableau 7 ci-dessus ;
- La récolte EAB intègre des bois provenant d'espaces boisés hors forêt, notamment des haies et des alignements ce qui surestime d'autant la récolte en forêt.

Compte tenu de toutes ces considérations, on peut conclure que les deux sources d'estimation (IGN d'une part et EAB/CEREN d'autre part) sont tout à fait cohérentes. D'autant plus que la récolte EAB a été fortement perturbée en Aquitaine par la tempête de 2009 qui a causé une forte augmentation de la récolte de pin maritime les années suivantes. En prenant comme période de référence pour l'EAB, la période 2012-2014 au lieu de 2010-2014, l'écart global passe à 1,5 Mm³ mais l'écart sur le bois fort se réduit à 2,3 Mm³.

4.3.3. Comparaison des usages BO estimés et constatés

L'estimation de la récolte à partir des données de l'IGN peut être ventilée par usage bois d'œuvre et bois d'industrie, avec des modèles établis à partir des observations de terrain de l'IGN (chapitre B.3.4.4).

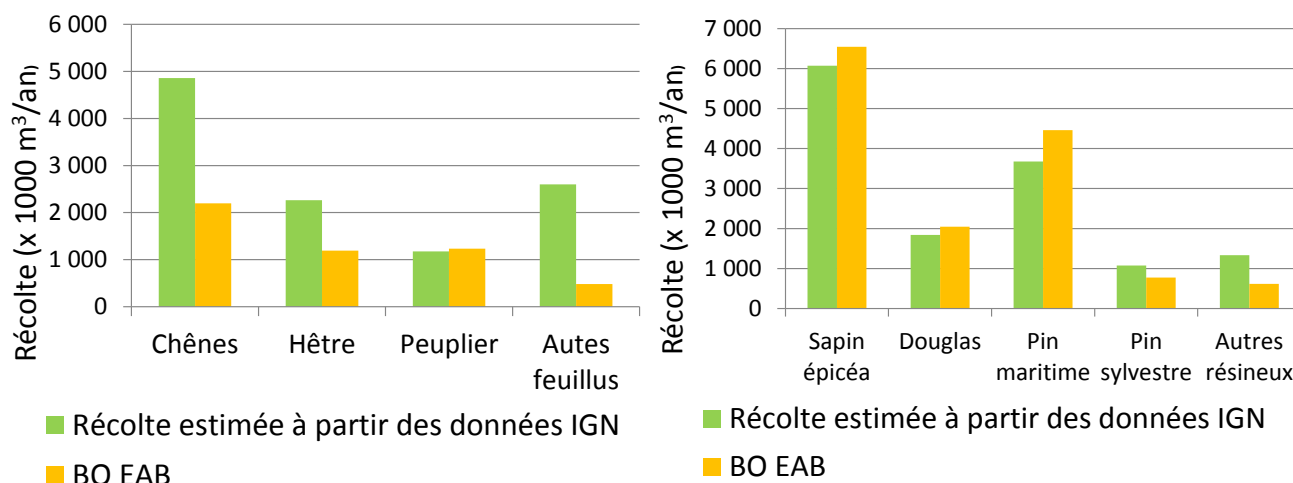
La comparaison de ces estimations avec la récolte EAB pour chaque essence permet d'approcher l'usage réel des bois. Elle est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Comparaison de la récolte de bois d'œuvre estimée à partir des données de l'IGN avec la récolte observée par l'EAB

Milliers de m ³ /an	BO-P (estimation à partir des données de l'IGN)	BO (déclaration à l'EAB)	Ecart	
Chênes*	4 858	2 198	2 660	55%
Hêtre	2 263	1 192	1 071	47%
Peuplier	1 175	1 232	-57	-5%
Autres feuillus	2 598	480	2 118	82%
Total feuillus	10 894	5 102	5 792	53%
Sapin-épicéa	6 071	6 544	-473	-8%
Douglas	1 840	2 046	-206	-11%
Pin maritime	3 675	4 461	-786	-21%
Pin sylvestre	1 077	773	304	28%
Autres résineux	1 334	617	717	54%
Total résineux	13 998	14 518	-520	-4%

* Chênes pédonculés et sessiles pour l'estimation à partir des données de l'IGN

Figure 26 : Comparaison de la récolte de bois d'œuvre estimée à partir des données de l'IGN et de la récolte déclarée à l'EAB par groupe d'essences (x 1000 m³/an)



Il apparaît que la récolte de bois d'œuvre potentiel feuillu estimée à partir des données de l'IGN est plus de deux fois plus importante que la récolte déclarée à l'EAB (hors peupliers pour lesquels le volume de BO estimé par l'IGN correspond à la récolte déclarée à l'EAB). Cet écart peut avoir deux origines :

- La part du volume de bois d'œuvre est surestimée dans le volume total de la tige : le modèle de calcul est établi à partir des observations de l'IGN qui définissent la part de BO-P dans la tige. Il est possible que les découpes pratiquées en réalité conduisent à une valorisation bois d'œuvre inférieure aux estimations arbre sur pied réalisées par les agents de l'IGN, d'autant que la partie valorisée en bois d'œuvre varie en fonction des marchés. Comme la demande en bois énergie est forte, il est possible qu'une partie des grumes de chênes et de hêtres et autres feuillus soit valorisée en BE plutôt qu'en BO de faible qualité (caisserie, palettes, traverses).
- Certains arbres dont l'usage potentiel aurait pu être du bois d'œuvre sont utilisés pour d'autres usages (énergie ou trituration, dans le cas du bouleau, du tremble, du tilleul, etc.). On l'observe aussi sur des grumes de chêne, de hêtre, ou de feuillus précieux qui sont valorisés en bois énergie par des petites propriétaires ignorants de la valeur potentielle de leur bois.

Pour les résineux, il y a des différences notables selon les essences :

- L'écart est réduit (de l'ordre de 10 %) pour les résineux blancs et le douglas. Le modèle de calcul peut sous-estimer la part de BO-P dans la tige, car du petit sciage (palette) peut être récolté dans des billons de 12 à 17 cm de diamètre fin bout.
- Pour le pin maritime, la récolte EAB est supérieure à la récolte estimée à partir des données de l'IGN, mais cela est dû à la tempête de 2009 en Aquitaine qui a entraîné une forte augmentation conjoncturelle de la récolte. Sur les trois dernières années (2012 à 2014), la récolte moyenne de pin maritime s'établit à 3,6 millions de m³, soit un niveau parfaitement cohérent avec la récolte observée par l'IGN, hors effet tempête.
- Pour les autres résineux (pin sylvestre et résineux divers) on observe, comme pour les feuillus, une surestimation de la part de bois d'œuvre par l'IGN par rapport à la récolte déclarée à l'EAB. Pour ces essences, le marché du sciage est moins porteur que pour les essences majeures et certains peuplements médiocres (pin sylvestre du Sud-Est de la France ou du Massif Central, pin d'Alep en région méditerranéenne) sont alors valorisés en trituration plutôt qu'en bois d'œuvre.

Selon les régions administratives, l'écart entre la récolte de BO-P feuillu estimée à partir des données de l'IGN et la récolte enregistrée par l'EAB varie de façon assez notable, comme indiqué en annexe 14. D'une manière générale, c'est dans le nord et le nord-est que le bois d'œuvre feuillu est le mieux valorisé et que l'écart entre la récolte estimée à partir des données de l'IGN et la récolte EAB est le plus faible. C'est particulièrement vrai pour le hêtre (Picardie, Lorraine, Franche Comté) et les autres feuillus (Picardie). Pour le chêne, l'écart reste important, mais augmente en descendant vers le sud et l'ouest.

Remarque sur le BIBE libre et le BIBE lié

Le BIBE est récolté soit dans la tige des petits arbres, où il constitue l'unique produit (hors MB toujours présents) soit dans le sommet de la tige et le houppier des arbres plus gros, où on ne peut pas façonner de bois d'œuvre.

On appelle **BIBE-P libre**, la part du BIBE-P dont la récolte n'est pas conditionnée par la récolte du BO-P, qui constitue la plupart du temps le déclencheur de la coupe. Il s'agit donc par exemple du BIBE-P disponible dans les petits bois. La proportion de BIBE libre est relativement faible (38 % pour les feuillus).

Cependant d'après l'analyse de la récolte réalisée précédemment, il semble que cette approche soit théorique : on a montré que beaucoup de BO-P était récolté pour d'autres usages que le bois d'œuvre. L'exploitation de ce bois d'œuvre « libère » ainsi le BIBE-P qui lui est lié. De ce fait, on pourrait considérer que si la demande en BIBE augmentait, sans que la demande de BO n'augmente, une offre trop faible de BIBE-P libre pourrait être comblée par la récolte de BO-P de moindre qualité et non valorisé sur le marché du bois d'œuvre et du BIBE-P lié associé.

L'annexe 15 estime plus précisément la part du BIBE-P libre et lié en fonction de différentes hypothèses.

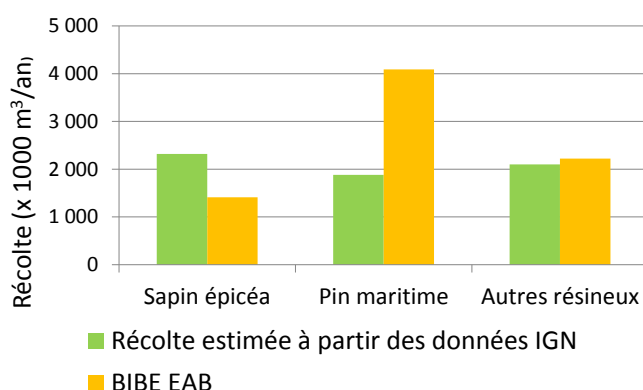
4.3.4. Comparaison des usages BI résineux

Le tableau et la figure suivante comparent la récolte de BIBE-P résineux estimée avec les données IGN et la récolte enregistrée par l'EAB. La comparaison pour le BIBE feuillu n'a pas été faite, car le pourcentage commercialisé ne constitue qu'une faible part du volume mobilisé, parce que l'enquête CEREN ne distingue pas les essences et surtout, parce qu'on a vu qu'une part importante du volume de BO potentiel était utilisé pour des usages BIBE.

Tableau 8: Comparaison entre les volumes estimés à partir des données de l'IGN et la récolte de bois de trituration et d'industrie résineux déclarée à l'EAB

Milliers de m ³ /an	BI (estimation à partir des données de l'IGN)	BI (déclaration à l'EAB)	Ecart	
Sapin-épicéa	2 318	1 413	905	39%
Pin maritime	1 882	4 088	-2 206	-117%
Autres résineux	2 099	2 221	-122	-6%
Total	6 299	7 722	-1 423	-23%

Figure 27 : Comparaison de la récolte estimée avec les données IGN et la récolte de BIBE de résineux déclarée à l'EAB



La comparaison de la récolte de bois de trituration résineux estimée à partir des données de l'IGN et avec l'EAB donne des résultats variables selon les essences :

- La récolte de bois blanc estimée à partir des données de l'IGN est largement supérieure à la récolte pour la trituration : une part de ce bois peut en effet être utilisée en petits sciages (palette), la récolte EAB de BO en résineux blancs étant par ailleurs supérieure à la récolte de BO dérivée des

données de l'IGN. Une autre part peut être laissée en forêt lorsque l'exploitation est difficile (exploitation en montagne).

- La récolte de pin maritime est largement inférieure à la récolte moyenne observée sur les cinq dernières années, mais celle-ci a été beaucoup augmentée suite à la tempête de 2009 en Aquitaine. C'est le cas aussi de la récolte de BO pour cette même essence.
- La récolte de BIBE-P des autres résineux calculée à partir des données de l'IGN est légèrement inférieure à la récolte déclarée à l'EAB ; c'était l'inverse pour le BO : cela confirme l'hypothèse faite plus haut, à savoir qu'une part du BO potentiel de ces essences est en fait utilisée comme bois d'industrie.

4.4. Résultats en disponibilité technico-économique et supplémentaire

Des tableaux de résultats détaillés sont disponibles en annexe (23 à 35).

4.4.1. Résultats généraux pour le BO-P et le BIBE-P

La **disponibilité technico-économique** de BO-P et de BIBE-P cumulés atteindrait 55,7 Mm³/an au cours de la période 2031-2035 avec le scénario de sylviculture constante (soit + 16 % par rapport à aujourd'hui) et jusqu'à 68 Mm³/an avec le scénario dynamique soit + 41 %. A cette échéance, le volume potentiellement valorisable en BO-P serait de 28,6 Mm³/an avec le scénario de sylviculture constante, ce qui représenterait 51 % du total. Ce chiffre atteindrait 34,4 Mm³/an avec le scénario de gestion dynamique.

Synthèse de la disponibilité technico-économique de BO-P et de BIBE-P en 2031-2035 :

- **Scénario de sylviculture constante : 55,7 Mm³/an** dont :
 - **Bois d'œuvre potentiel (BO-P) :**
 - Volume : 28,6 Mm³/an, dont 15,4 Mm³ de résineux (54 % du total BO-P)
 - Tep : 5,9 Mtep/an, dont 2,9 Mtep de résineux (49 % du total BO-P)
 - **Bois industrie-bois énergie potentiel (BIBE-P) :**
 - Volume : 27,1 Mm³/an, dont 6,3 Mm³ de résineux (23 % du total BIBE-P)
 - Tep : 6,1 Mtep/an, dont 1,2 Mtep de résineux (20 % du total BIBE-P)
- **Scénario de gestion dynamique progressif : 68 Mm³/an** dont :
 - **Bois d'œuvre potentiel (BO-P) :**
 - Volume : 34,4 Mm³/an, dont 17,1 Mm³ de résineux (50 % du total BO-P)
 - Tep : 7,1 Mtep/an, dont 3,2 Mtep de résineux (45 % du total BO-P)
 - **Bois industrie-bois énergie potentiel (BIBE-P) :**
 - Volume : 33,6 Mm³/an, dont 7,2 Mm³ de résineux (21 % du total BIBE-P)
 - Tep : 7,6 Mtep/an, dont 1,4 Mtep de résineux (19 % du total BIBE-P)

Tableau 9 : Disponibilité technico économique par scénario, période, groupe d'essences et types de produit (x 1000 m³/an)

Scénario	Période	Feuillus, hors peuplier			Résineux			Peupliers			Toutes essences		
		BO-P	BIBE-P	Total BO+ BIBE	BO-P	BIBE-P	Total BO+ BIBE	BO-P	BIBE-P	Total BO+ BIBE	BO-P	BIBE-P	Total BO+ BIBE
Prélèvements courants ⁵	2011-2015	9 719	16 606	26 326	13 998	6 299	20 297	1 175	391	1 566	24 892	23 296	48 189
Scénario de sylviculture constante	2016-2020	10 239	17 476	27 716	14 565	6 313	20 877	1 254	430	1 684	26 058	24 219	50 277
	2021-2025	10 723	18 353	29 076	14 788	6 236	21 024	1 350	432	1 782	26 861	25 021	51 882
	2026-2030	11 287	19 342	30 629	15 065	6 263	21 328	1 344	408	1 752	27 696	26 013	53 709
	2031-2035	11 921	20 409	32 330	15 364	6 346	21 709	1 329	370	1 699	28 614	27 125	55 738
Scénario de gestion dynamique progressif	2016-2020	10 602	17 891	28 493	14 715	6 283	20 998	1 516	483	1 999	26 833	24 657	51 490
	2021-2025	12 230	20 572	32 802	15 554	6 437	21 991	1 661	542	2 204	29 445	27 551	56 997
	2026-2030	13 928	23 477	37 405	16 506	6 821	23 327	1 740	592	2 331	32 174	30 890	63 063
	2031-2035	15 216	25 835	41 051	17 123	7 198	24 320	2 027	583	2 610	34 366	33 616	67 981

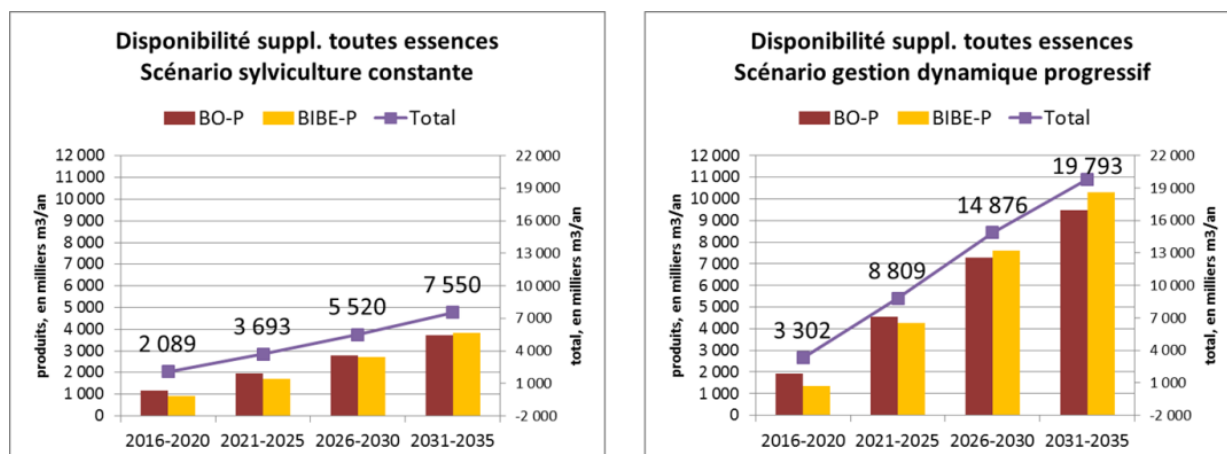
Résultats en tep dans l'annexe 27.

⁵ Estimation à partir des observations de prélèvements de l'IGN auxquelles sont appliquées des hypothèses (taux de pertes en exploitation, ventilation du volume prélevé dans les compartiments de l'arbre et notamment la part de MB), et après avoir retranché l'estimation de la récolte actuelle pour les MB.

La **disponibilité supplémentaire** de BO-P et de BIBE-P cumulées est évaluée en retranchant à la disponibilité technico-économique une estimation de la récolte actuelle (voir chapitre B.4.3).

En 2031-2035, elle s'établirait à +7,6 Mm³/an avec le scénario de sylviculture constante (+1,7 Mtep/an), et +19,8 Mm³/an avec le scénario dynamisé (+4,4 Mtep/an).

Figure 28 : évolution des disponibilités supplémentaires suivant les scénarios et les types de produits

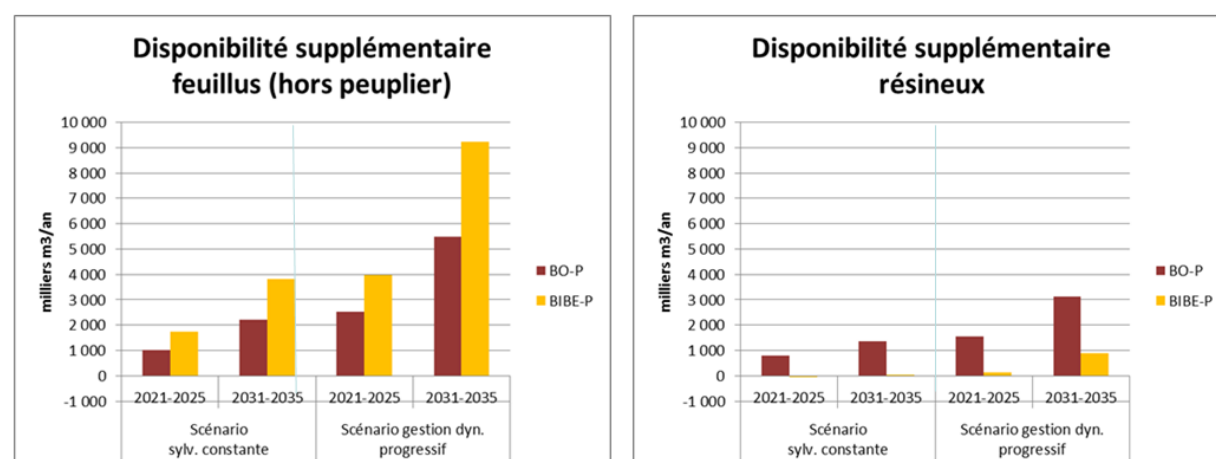


Les disponibilités supplémentaires progressent pour les deux types d'usages BO-P et BIBE-P. La progression est toutefois plus rapide pour les usages BIBE-P, en raison de l'importance des feuillus.

Le plus fort potentiel de développement de la récolte concerne les essences feuillues, pour lesquelles la disponibilité en BO-P et BIBE-P cumulées pourrait croître de 6,1 Mm³/an entre aujourd'hui et 2031-2035 avec le scénario de sylviculture constante, soit 80 % de la disponibilité supplémentaire. En dynamisant la gestion, la disponibilité supplémentaire feuillue serait de 15,8 Mm³/an à la même échéance.

A contrario, même si les disponibilités résineuses progressent également sur la période, les marges de croissance sont particulièrement limitées, avec seulement +1,4 Mm³/an en 2031-2035, et exclusivement constituées de BO-P. La dynamisation de la gestion dans les peuplements résineux permettrait de libérer des volumes additionnels en 2031-2035, mais avec +4 Mm³/an dont seulement 0,9 Mm³/an de BIBE-P, les quantités sont beaucoup moins importantes que chez les feuillus.

Figure 29 : Evolution des disponibilités supplémentaires feuillues et résineuses suivant le scénario de gestion



Synthèse de la disponibilité supplémentaire de BO-P et de BIBE-P en 2031-2035 :

- **Scénario de sylviculture constante : +7,6 Mm³/an** dont :
 - **Bois d'œuvre potentiel (BO-P) :**
 - Volume : +3,7 Mm³/an, dont +1,4 Mm³ de résineux (37 % du total BO-P)
 - Tep : +0,8 Mtep/an, dont +0,26 Mtep de résineux (31 % du total BO-P)
 - **Bois industrie-bois énergie potentiel (BIBE-P) :**
 - Volume : +3,8 Mm³/an, avec uniquement des feuillus
 - Tep : +0,9 Mtep/an, avec uniquement des feuillus
- **Scénario de gestion dynamique progressif : +19,8 Mm³/an** dont :
 - **Bois d'œuvre potentiel (BO-P) :**
 - Volume : +9,5 Mm³/an, dont +3,1 Mm³ de résineux (33 % du total BO-P)
 - Tep : +2 Mtep/an, dont +0,57 Mtep de résineux (30 % du total BO-P)
 - **Bois industrie-bois énergie potentiel (BIBE-P) :**
 - Volume : +10,3 Mm³/an, dont +0,9 Mm³ de résineux (9 % du total BIBE-P)
 - Tep : +2,4 Mtep/an, dont +0,2 Mtep de résineux (8 % du total BIBE-P)

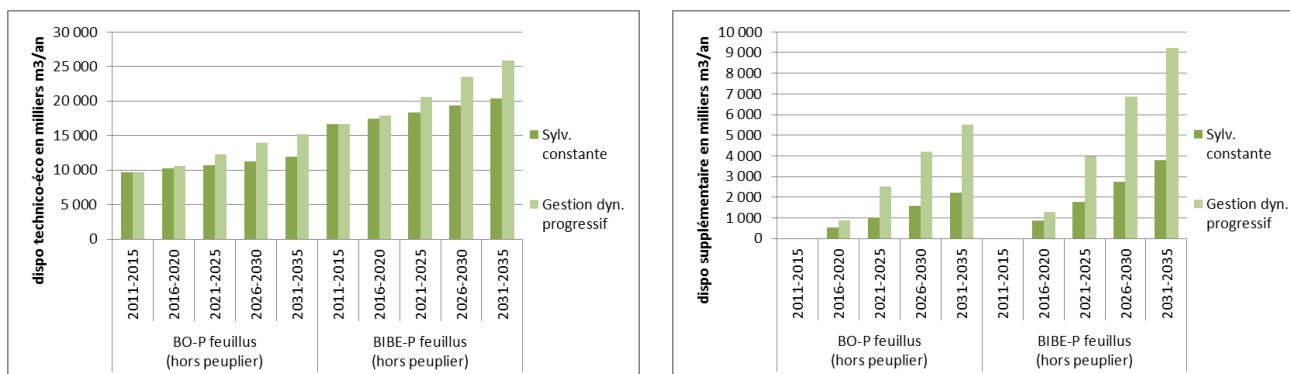
Tableau 10 : Disponibilité supplémentaire par scénario, période, groupe d'essences, et types de produit (x 1000 m³/an)

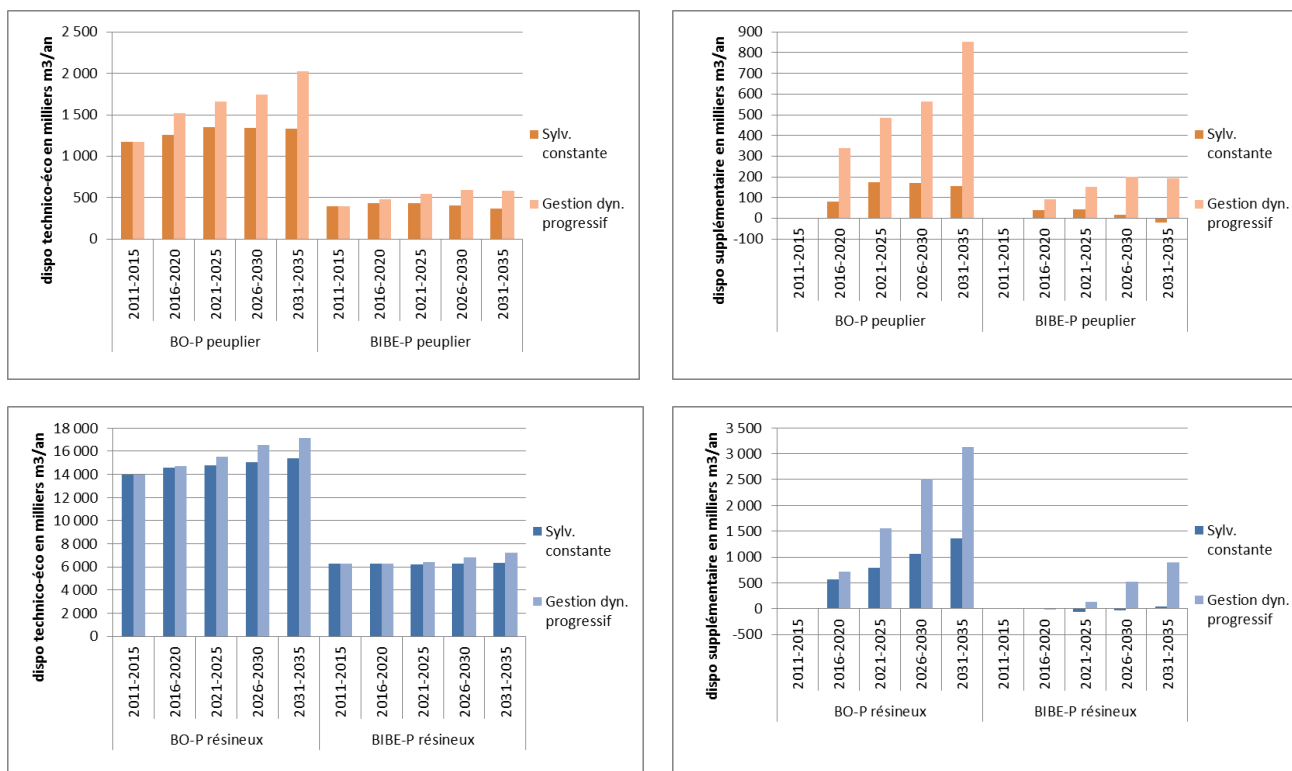
		Feuillus, hors peuplier			Résineux			Peupliers			Toutes essences		
Scénario	Période	BO-P	BIBE-P	Total BO BIBE-P	BO-P	BIBE-P	Total BO_P BIBE-P	BO-P	BIBE-P	Total BO_P BIBE-P	BO-P	BIBE-P	Total BO_P BIBE-P
Sylviculture constante	2016-2020	520	870	1 390	567	13	580	79	39	118	1 166	922	2 088
	2021-2025	1 004	1 747	2 751	791	-64	727	175	41	216	1 970	1 724	3 694
	2026-2030	1 567	2 736	4 303	1 067	-36	1 031	168	17	186	2 802	2 717	5 520
	2031-2035	2 202	3 802	6 004	1 367	46	1 413	154	-21	133	3 723	3 827	7 550
Gestion dynamique progressif	2016-2020	883	1 284	2 167	718	-16	701	341	92	433	1 942	1 360	3 301
	2021-2025	2 511	3 966	6 477	1 557	138	1 694	486	151	638	4 554	4 255	8 809
	2026-2030	4 209	6 871	11 080	2 509	522	3 030	564	201	766	7 282	7 594	14 876
	2031-2035	5 497	9 229	14 725	3 125	898	4 023	852	193	1 044	9 474	10 320	19 792

Les mêmes résultats sont disponibles en tep, dans l'annexe 27.

Les figures suivantes présentent l'évolution des disponibilités technico-économiques et supplémentaires des groupes d'essences selon le type d'usage potentiel et le scénario de gestion.

Figure 30 : Evolution des disponibilités technico-économiques (colonne de gauche) et supplémentaires (colonne de droite) selon le groupe d'essence (en lignes) et le scénario d'offre (couleurs dans les graphiques)





Les résultats d'une analyse de sensibilité du volume de disponibilité au prix du bois sur pied sont décrits en annexe 21.

4.4.2. Résultats généraux pour les Menus Bois

La **disponibilité technico-économique** de MB atteindrait à l'horizon 2035 entre 6,2 Mm³/an (2,4 Mtep/an) et 8,1 Mm³/an (3,1 Mtep/an) selon le scénario de gestion mis en œuvre. Les MB représenteraient 10 % du total de la disponibilité.

Synthèse de la disponibilité technico-économique de MB en 2031-2035 :

- **Scénario de sylviculture constante :**
 - Volume : 6,2 Mm³/an, dont 3,1 Mm³ de résineux (51 % du total MB)
 - Tep : 2,4 Mtep/an, dont 1,3 Mtep de résineux (54 % du total MB)
- **Scénario de gestion dynamique progressif :**
 - Volume : 8,1 Mm³/an, dont 3,8 Mm³ de résineux (47 % du total MB)
 - Tep : 3,1 Mtep/an, dont 1,5 Mtep de résineux (48 % du total MB)

Bien que les disponibilités technico-économiques soient importantes, la majeure partie de ces menus bois n'est actuellement pas récoltée. On a vu en effet que la méthode de calcul utilisée pour estimer leur exploitabilité vise le volume maximum exploitable et non la rentabilité maximale de la coupe (voir chapitre B.4.2.1).

Synthèse de la disponibilité supplémentaire de MB en 2031-2035 :

- **Scénario de sylviculture constante :**
 - Volume : +5,9 Mm³/an, dont +2,9 Mm³ de résineux (51 % du total MB)
- **Scénario de dynamisation progressive de la gestion :**
 - Volume : +7,8 Mm³/an, dont +3,7 Mm³ de résineux (47 % du total MB)

Tableau 11 : Disponibilité technico-économique et supplémentaire des MB par scénario et période de calcul (milliers de m³/an)

Scénario	Période	Disponibilité technico-économique				Disponibilité supplémentaire				Dispo. Supplémentaire non liée à l'exploitation du BI
		Feuillus	Résineux	Peuplier	Total	Feuillus	Résineux	Peuplier	Total	
Sylviculture constante	Récolte courante	140	142	2	284					
	2016-2020	2 663	2 682	39	5 384	2 523	2 540	37	5 099	1 099
	2021-2025	2 806	2 778	37	5 621	2 666	2 636	35	5 337	1 337
	2026-2030	2 955	2 901	34	5 889	2 815	2 758	32	5 605	1 605
	2031-2035	3 096	3 038	30	6 163	2 956	2 895	28	5 879	1 879
Gestion dynamique progressif	Récolte courante	140	142	2	284					
	2016-2020	2 839	2 794	43	5 676	2 699	2 652	41	5 392	1 392
	2021-2025	3 351	3 129	47	6 527	3 211	2 987	45	6 243	2 243
	2026-2030	3 871	3 471	53	7 394	3 731	3 329	51	7 110	3 110
	2031-2035	4 316	3 750	48	8 115	4 176	3 608	46	7 831	3 831

Les volumes de MB annoncés sont tous mobilisables, mais selon des modalités différentes :

- Ils peuvent être mobilisables seuls, c'est-à-dire indépendamment des autres produits de la coupe. Toutefois cela reste rare dans le contexte technico économique actuel. Par exemple, en cas de débardage par câble, les arbres entiers peuvent être débardés puis ébranchés bord de route. Dans ce cas les MB pourraient être mobilisés de façon rentable. Cela peut même être une nécessité, sous peine de saturation de la zone de travail. Cependant, le débardage par câble reste encore marginal en France à l'heure actuelle. Dans la plupart des autres cas, l'exploitation des MB seuls n'est pas rentable, compte tenu du faible volume à l'hectare et de leur foisonnement qui rend leur débardage onéreux. De plus, les menus bois peuvent également servir à tapisser le parcours des engins afin d'éviter le tassement des sols, les rendant impropres à l'utilisation en énergie ;
- Ils peuvent être récoltés simultanément avec le BIBE dans le cas de récoltes d'arbres entiers ou de houppiers grossièrement démembrés. Dans ce cas le bilan économique est généralement positif. En effet, le coût du façonnage est réduit à l'abattage, le débardage en très grande longueur entraîne de faibles coûts de débardage.

Mais, lorsque du BIBE est récolté pour la trituration, les billons sont généralement façonnés directement sur la coupe puis débardés bord de route. Dans ce cas les menus bois sont le plus souvent laissés sur place, car les volumes à l'hectare sont trop peu importants pour être récoltés de façon rentable.

De la sorte, bien que les disponibilités technico-économiques soient relativement importantes, la majeure partie de ces menus bois n'est actuellement pas récoltée, et donc laissée sur le parterre des coupes du fait du mode d'exploitation du BI en billons. Ainsi, alors que la disponibilité technico-économique totale de MB est estimée aujourd'hui à 5,1 Mm³/an, leur récolte est estimée à moins de 0,3 Mm³/an.

On estime par ailleurs que le volume de menus bois liés à la récolte de bois de trituration en billon est de 4 Mm³/an⁶. Dans les conditions technico-économiques actuelles, la disponibilité supplémentaire ne serait donc que de 0,8 Mm³/an.

La valorisation des MB a vocation à s'améliorer, comme cela a été le cas dans les pays scandinaves où la récolte des MB, séparés des billons de trituration, est couramment pratiquée.

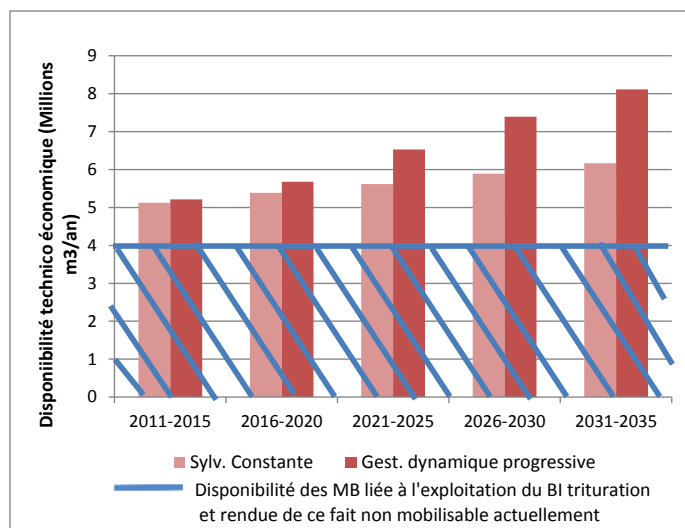
La disponibilité supplémentaire « effective », c'est-à-dire qui serait vraiment mise sur le marché dans des conditions économiques acceptables, serait alors comprise en 2031-2035 entre 0,8 Mm³/an (disponibilité

⁶ Sur les 14 Mm³ de bois de trituration utilisés en France pour la pâte et les panneaux, 70 % (10 Mm³) sont des bois ronds. On a considéré que 1 m³ de trituration générerait 0,4 m³ de MB récoltable.

supplémentaire actuelle) et 5,9 Mm³ pour le scénario de sylviculture constante ou 7,8 Mm³ pour le scénario de gestion dynamique progressive.

Maintenant, si on considère que le volume de MB lié à la récolte de BI en billon ne change pas, c'est-à-dire que les techniques n'évoluent pas et que le niveau de récolte de bois pour la trituration reste constant à l'horizon 2035, alors l'ampleur de la fourchette proposée serait réduite de 4 Mm³/an soit des disponibilités supplémentaires en 2031-2035 comprises entre 0,8 Mm³/an et 1,9 Mm³ pour le scénario de sylviculture constante ou 3,8 Mm³/an pour le scénario dynamique progressive.

Figure 31 : Evolution de la disponibilité supplémentaire totale des MB. La part de cette disponibilité actuellement rendue indisponible par l'exploitation de la trituration est symbolisée par des hachures sur le graphique.



4.4.3. Résultats par essence (BO-P et BIBE-P)

Les disponibilités technico-économiques des principales essences feuillues et résineuses sont présentées ci-dessous.

Tableau 12 : Disponibilité technico-économique de BO-P et BIBE-P des feuillus par scénario et période (x 1000 m³/an)

Scénario	Période	Essences feuillues							
		Chênes ¹	Hêtre	Châtaignier	Frêne	Feuillus précieux	Peupliers	Autres feuillus	Total feuillus
Prélèvements courants, pertes déduites	2011-2015	10 547	4 901	1 902	1 497	871	1 566	6 608	27 891
Sylviculture constante	2016-2020	11 049	4 990	2 018	1 631	933	1 684	7 094	29 400
	2021-2025	11 536	5 040	2 125	1 770	998	1 782	7 607	30 858
	2026-2030	12 089	5 140	2 235	1 928	1 070	1 752	8 166	32 381
	2031-2035	12 694	5 277	2 346	2 103	1 149	1 699	8 759	34 029
Gestion dynamique progressif	2016-2020	11 445	5 022	2 026	1 678	961	1 999	7 360	30 492
	2021-2025	13 284	5 556	2 242	1 944	1 140	2 204	8 636	35 006
	2026-2030	15 126	6 241	2 475	2 240	1 347	2 331	9 976	39 737
	2031-2035	16 491	6 573	2 706	2 542	1 540	2 610	11 199	43 661

¹ Chênes pédonculés et sessiles

Tableau 13 : Disponibilité technico-économique de BO-P et BIBE-P des résineux par scénario et période (x 1000 m³/an)

Scénario	Période	Essences résineuses					
		Sapin pectiné et épicéa commun	Douglas	Pin maritime	Pin sylvestre	Autres résineux	Total résineux
Prélèvements courants, pertes déduites	2011-2015	8 389	2 467	5 557	1 705	2 179	20 297
Sylviculture constante	2016-2020	8 407	2 679	5 700	1 775	2 316	20 877
	2021-2025	8 298	2 850	5 640	1 830	2 407	21 024
	2026-2030	8 229	3 020	5 654	1 889	2 536	21 328
	2031-2035	8 178	3 199	5 719	1 951	2 662	21 709
Gestion dynamique progressif	2016-2020	8 460	2 692	5 680	1 794	2 372	20 998
	2021-2025	8 897	2 936	5 615	1 947	2 595	21 991
	2026-2030	9 528	3 166	5 617	2 125	2 891	23 327
	2031-2035	9 822	3 352	5 672	2 263	3 212	24 320

Les essences emblématiques de la sylviculture française, à savoir les chênes pédonculés et sessiles et le hêtre pour les feuillus (hors peuplier), et les sapins-épicéas, douglas, pin maritime et pin sylvestre pour les résineux, représentent à elles-seules 72 % des prélèvements actuels, avec 33,6 Mm³/an de BO-P et de BIBE-P cumulés.

La disponibilité de ces essences croît de 3,5 Mm³/an avec le scénario de sylviculture constante en 2031-2035 par rapport à la récolte actuelle, soit +10 %. Elle est pratiquement stable pour le hêtre avec seulement +8 % (le marché de cette essence est déprimé depuis plusieurs années). Elle est stable pour les sapins-épicéas qui sont déjà gérés de manière soutenue compte tenu de la forte demande, et pour le pin maritime dont la ressource est majoritairement constituée de jeunes peuplements replantés après les tempêtes de 1999 et de 2009. En revanche la disponibilité des chênes progresse de manière significative, avec +2,1 Mm³/an à +5,9 Mm³/an selon le scénario en 2031-2035 par rapport à la période actuelle. Cette progression est surtout le fait des chênaies pédonculées en forêt privée, où la ressource se rencontre dans des peuplements jeunes, avec des arbres de diamètre moyens bois.

La contribution de ces « grandes » essences à la récolte nationale diminue lentement mais progressivement au fil des années, pour atteindre 68 % de la disponibilité technico-économique totale en 2031-2035, avec le scénario de sylviculture constante et moins de 67 % avec le scénario de gestion dynamique.

En effet, la disponibilité des essences accompagnatrices (charmes, châtaigniers, etc.), et des essences installées récemment de manière spontanée (ex : essences pionnières feuillues dans les accrus naturels, y compris les chênes pédonculés) ou artificielle (ex : boisements résineux comme les douglas, pins noir et laricio) progresse plus vite. Avec le scénario de sylviculture constante le taux de croissance du frêne atteint ainsi 41 %, celui des feuillus divers 32 % (charme, chênes pubescents et verts, bouleau, robinier, saule, noisetier, tremble, etc.), le châtaignier 23 %, le douglas 30 % et les autres résineux 22 % (pins noir et laricio, épicéa de Sitka, mélèzes, cèdres, etc.).

La dynamisation de la gestion a un effet positif et significatif sur la disponibilité de la plupart des essences (voir figure 31), à l'exception du douglas et du pin maritime. Le premier est géré de manière déjà dynamique et il n'y a pratiquement pas de marge de progrès, et le second souffre encore des conséquences des tempêtes.

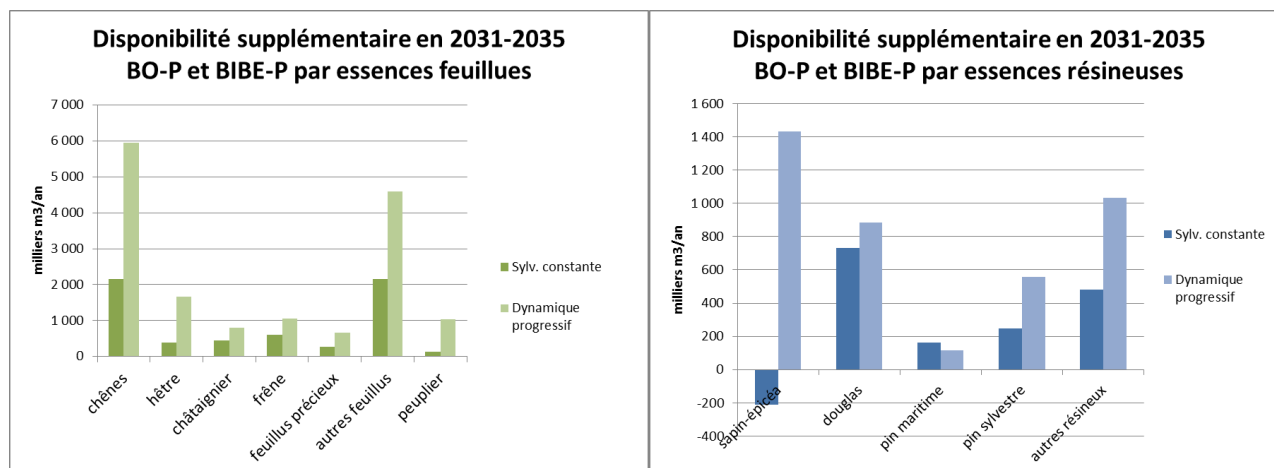
Les essences les plus sensibles à une dynamisation sont feuillues, avec le frêne et les autres feuillus (charme, bouleaux, etc.) qui progressent de 70 %, suivi par les chênes avec +56 %. La dynamisation de la gestion des peupleraies aurait un effet très significatif car elles sont vieillissantes : elle pourrait conduire à accroître le niveau de la récolte d'environ 1 Mm³/an à l'horizon 2035.

Les marges de développement chez les résineux sont nettement plus limitées. La disponibilité des autres résineux progresse de 59 % mais les volumes concernés restent relativement faibles. La dynamisation de la

gestion permettrait de libérer environ +1,5 Mm³/an de sapin-épicéa, dans des conditions d'exploitabilité toutefois plus difficiles.

Les volumes de disponibilités supplémentaires par essences en 2031-2035 sont illustrés dans les graphiques suivants. Les volumes de BO-P et de BIBE-P sont publiés dans les annexes 29A à 29C.

Figure 32 : Disponibilité supplémentaire de BO-P et BIBE-P des principales essences par scénario en 2031-2035 (x 1000 m³/an)



4.4.4. Résultats par type de propriété (BO-P et BIBE-P)

A l'heure actuelle les forêts publiques représentent 25 % de la superficie forestière en France métropolitaine mais elles totalisent 35 % de la récolte de BO-P et de BIBE-P cumulés, dont 15 % pour les forêts domaniales. Le taux de prélèvement y est le plus fort.

Parce qu'elles représentent plus de 50 % de la superficie boisée, les forêts privées sans PSG sont actuellement les premières contributrices aux prélèvements de bois en France. Le taux de prélèvement y est toutefois largement inférieur à la moyenne nationale (voir chapitre B.1.2.5). Enfin les forêts privées avec un PSG contribuent actuellement pour 18 % à la récolte nationale. Le taux de prélèvement y est proche de celui des forêts des collectivités.

Le plus grand potentiel de développement des prélèvements se trouve en forêt privée. Les tableaux suivants présentent l'évolution des disponibilités technico-économiques puis supplémentaires pour les usages BO-P et BIBE-P confondus, et selon le type de propriété et le scénario.

Tableau 14 : Disponibilité technico économique de BO-P et BIBE-P par scénario, période et type de propriété (x 1000 m³/an)

Scénario	Période	Forêts domaniales	Forêts des collectivités	Total forêts publiques	Forêts privées avec un PSG	Forêts privées sans PSG	Forêts privées Aquitaine	Total forêts privées
Prélèvements courants	2011-2015	7 144	9 618	16 762	8 485	16 568	6 374	31 427
Sylviculture constante	2016-2020	7 173	9 879	17 052	8 858	17 837	6 530	33 225
	2021-2025	7 130	10 064	17 194	9 114	19 114	6 459	34 688
	2026-2030	7 143	10 324	17 467	9 387	20 403	6 452	36 241
	2031-2035	7 197	10 632	17 829	9 686	21 743	6 481	37 909
Gestion dynamique progressif	2016-2020	7 175	9 924	17 099	8 910	19 010	6 471	34 391
	2021-2025	7 900	11 279	19 179	9 430	21 987	6 401	37 818
	2026-2030	8 715	12 988	21 703	9 937	25 048	6 376	41 361
	2031-2035	8 478	14 372	22 850	10 407	28 347	6 377	45 131

Nota : Les chiffres des forêts privées sans PSG sont sous-estimés par rapport à la réalité car l'information sur les PSG n'était pas disponible en Aquitaine au moment de l'étude.

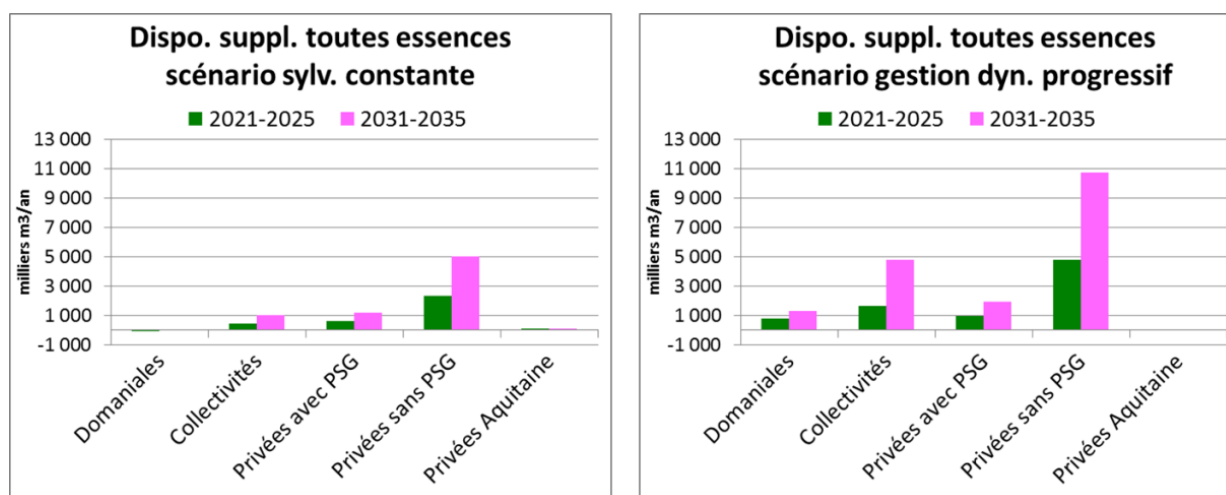
Tableau 15: Disponibilité supplémentaire de BO-P et BIBE-P par scénario, période et type de propriété (x 1000 m³/an)

Scénario	Période	Forêts domaniales	Forêts des collectivités	Total forêts publiques	Forêts privées avec un PSG	Forêts privées sans PSG	Forêts privées Aquitaine	Total forêts privées
Sylviculture constante	2016-2020	29	261	290	374	1 269	156	1 799
	2021-2025	-14	447	432	630	2 546	85	3 261
	2026-2030	0	706	705	902	3 834	78	4 815
	2031-2035	53	1 014	1 067	1 201	5 175	107	6 483
Gestion dynamique progressif	2016-2020	31	306	337	425	2 442	97	2 965
	2021-2025	756	1 661	2 417	945	5 419	27	6 391
	2026-2030	1 571	3 370	4 941	1 452	8 480	2	9 934
	2031-2035	1 334	4 754	6 088	1 923	11 779	3	13 705

Le volume de disponibilité supplémentaire atteindrait + 6,5 Mm³/an en 2031-2035 avec le scénario de sylviculture, soit 85 % du total national. Il serait encore de +13,7 Mm³/an avec le scénario de gestion dynamique progressif, soit 70 % du total national.

La dynamisation de la gestion permettrait d'accroître les prélèvements de bois dans l'ensemble des types de propriété, mais l'effet est plus sensible en forêt publique pour lesquelles il a été considéré que la gestion était dynamisable sur toute la surface à court terme.

Figure 33 : Disponibilités supplémentaires par type de propriété en 2021-2025 et en 2031-2035



Situation dans les forêts privées

Parmi les forêts privées, c'est dans les forêts sans PSG (hors Aquitaine) que réside le plus fort potentiel de croissance de récolte. Avec une disponibilité en BO-P et BIBE-P cumulée de 21,7 Mm³/an en 2031-2035 avec le scénario de sylviculture constante, leur contribution à la récolte totale nationale passerait de 34 % actuellement à 39 % (soit + 5,2 Mm³/an). Ce taux atteindrait même 42 % dans le cas du scénario dynamisé (+ 11,8 Mm³/an par rapport à aujourd'hui). Ces forêts sont plus souvent jeunes, issues d'accrus, et souvent moins gérées compte tenu de leur faible taille.

Des possibilités de développement de la récolte de BO-P et de BIBE-P existent également dans les forêts privées dotées d'un PSG (hors Aquitaine) mais elles sont sensiblement plus limitées, avec +1,2 Mm³/an à +1,9 Mm³/an selon le scénario en 2031-2035 par rapport à aujourd'hui. Ces forêts sont actuellement gérées de manière plus soutenue et les arbres y sont plus gros, en moyenne.

Il n'y a pas de disponibilités supplémentaires en bois dans les forêts privées d'Aquitaine, largement marquées par les tempêtes de 1999 et de 2009.

En forêt privée, les disponibilités supplémentaires feuillues estimées avec le scénario de sylviculture constante en 2031-2035 sont constituées majoritairement de chênes (+2 Mm³/an, dont 65 % dans les

forêts sans PSG) et de feuillus divers (+1,8 Mm³/an, dont 72 % dans les forêts sans PSG). Les disponibilités en hêtre sont relativement limitées avec +0,4 Mm³/an, dont 80 % dans les forêts sans PSG. On retrouve ce même taux pour le châtaignier. Les frênes offrent +0,5 Mm³/an, dont 84 % dans les forêts sans PSG.

Les disponibilités supplémentaires résineuses se rencontrent exclusivement dans les forêts sans PSG. Le douglas est la première essence avec +0,6 Mm³/an (dont 79 % dans les forêts sans PSG), puis viennent les pins divers (+0,3 Mm³/an, dont 75 % dans les forêts sans PSG), le pin sylvestre (92 % dans les forêts sans PSG) et le pin maritime avec environ +0,2 Mm³/an chacun. Les disponibilités en sapins-épicéas et autres résineux blancs sont nulles, et même négatives dans les propriétés avec un PSG.

Les disponibilités supplémentaires permises par une intensification de la gestion en forêt privée sont concentrées dans les forêts sans PSG, avec 80 % de la disponibilité feuillue totale des forêts privées (soit +7,9 Mm³/an) et la totalité de la disponibilité résineuse (soit +2,8 Mm³/an).

Les marges de récolte supplémentaire offertes par une intensification de la gestion en forêt privée à l'horizon 2035 concerne pour les feuillus, les chênes pédonculés et sessiles (+3,9 Mm³/an, dont 70 % dans les forêts sans PSG), puis les feuillus divers (+3,3 Mm³/an, dont 80 % dans les forêts sans PSG), les hêtres (+0,8 Mm³/an, dont 83 % dans les forêts sans PSG), les frênes (+0,8 Mm³/an, dont 87 % dans les forêts sans PSG) et les châtaigniers (+0,7 Mm³/an, exclusivement dans les forêts sans PSG).

En ce qui concerne les résineux, les disponibilités supplémentaires les plus importantes se rencontrent chez les pins divers (+0,7 Mm³/an, dont 76 % dans les forêts sans PSG), les douglas (+0,6 Mm³/an, exclusivement dans les forêts sans PSG), les sapin-épicéas (+0,6 Mm³/an, exclusivement dans les forêts sans PSG, à noter que la disponibilité est négative dans les forêts avec un PSG) et enfin les pins sylvestres (+0,4 Mm³/an, dont 89 % dans les forêts sans PSG). Les disponibilités en pin maritime sont estimées à +0,2 Mm³/an.

Situation dans les forêts publiques

La disponibilité supplémentaire dans les forêts publiques est très limitée avec le scénario de sylviculture constante. Elle pourrait s'accroître de 0,4 Mm³ par an en 2025, et jusqu'à +1 Mm³ par an en 2035. Ces chiffres sont exclusivement imputables aux forêts des collectivités.

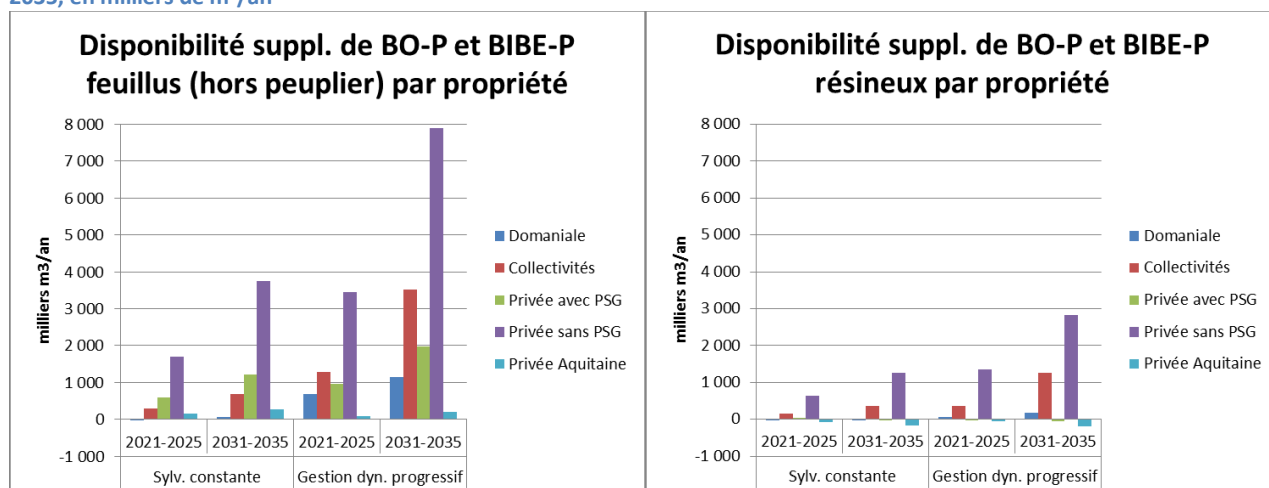
Une dynamisation de la gestion des forêts publiques, là où elle est effectivement envisageable (i.e. en dehors des réserves, etc.), permettrait a priori d'augmenter le volume de disponibilité de +2,4 Mm³/an en 2025, et jusqu'à +6,1 Mm³/an en 2035. Ces volumes proviendraient majoritairement des forêts des collectivités, avec 80 % du total.

La contribution des forêts publiques à la hausse de la disponibilité nationale estimée avec le scénario de sylviculture constante en 2031-2035 est faible pour les essences feuillues (+0,7 Mm³/an) comme pour les essences résineuses (+0,3 Mm³/an). Ce dernier chiffre représente cependant 25 % du total national. Ces volumes concernent exclusivement les forêts des collectivités. Les essences concernées sont les feuillus divers, et dans une moindre mesure les chênes, les douglas et les résineux divers. Les disponibilités supplémentaires en hêtre, sapins-épicéas et pin sylvestre sont nulles.

Les disponibilités supplémentaires permises par une intensification de la gestion en forêt publique sont concentrées dans les forêts des collectivités, avec 87 % de la disponibilité résineuse totale des forêts publiques (soit +1,3 Mm³/an) et 76 % de la disponibilité totale feuillue des forêts publiques (soit +3,5 Mm³/an).

Les marges de récolte supplémentaire concernent en premier lieu les chênes pédonculés et sessiles (+2 Mm³/an, dont 74 % dans les forêts des collectivités), puis les feuillus divers (+1,3 Mm³/an, dont 77 % dans les forêts des collectivités), les hêtres (+0,8 Mm³/an, dont 75 % dans les forêts des collectivités), les sapin-épicéas (+0,8 Mm³/an, dont 95 % dans les forêts des collectivités) et enfin les douglas et les autres pins avec chacun +0,25 Mm³/an (dont 46 % dans les forêts des collectivités pour ces derniers).

Figure 34 : Disponibilité supplémentaire de BO-P et BIBE-P feuillus et résineux selon le type de propriété en 2021-2025 et 2031-2035, en milliers de m³/an

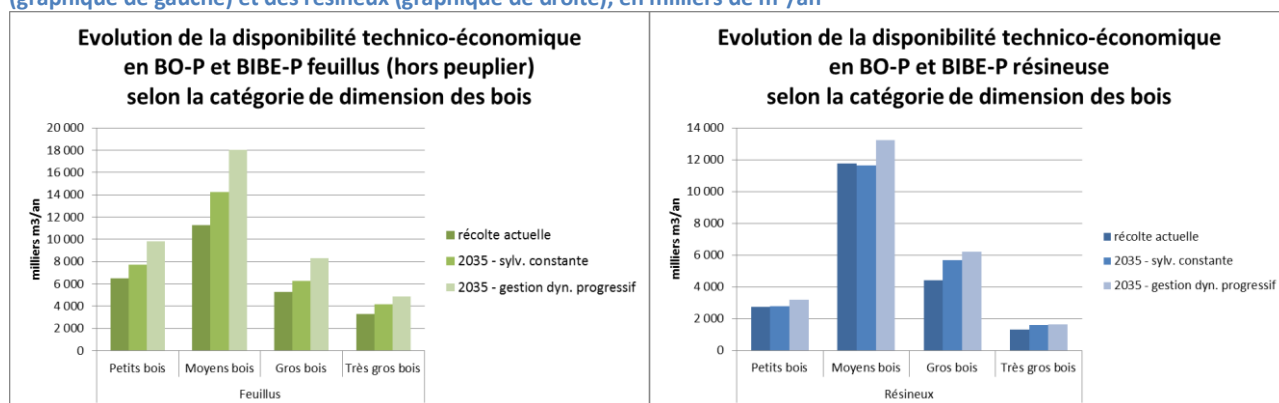


4.4.5. Résultats par catégorie de dimension des bois (BO-P et BIBE-P)

Les prélèvements actuels de gros et de très gros bois **feuillus** (hors peuplier, diamètre supérieur à 50 cm) représentent 8,5 Mm³/an, soit 32 % du total des feuillus. Leur disponibilité technico-économique atteint 10,4 Mm³/an en 2031-2035 avec le scénario de sylviculture constante, et jusqu'à 13,2 Mm³/an en cas de dynamisation de la gestion, soit des hausses importantes avec respectivement +22 % et +54 %.

La part des gros et des très gros bois dans la récolte totale des essences feuillues reste toutefois inchangée quel que soit le scénario. En effet les marges de récolte supplémentaire dans les dimensions petits bois (diamètre inférieur à 25 cm) et surtout moyens bois sont très importantes (figure 34), compte tenu de la prépondérance des anciens taillis, taillis sous futaie, et accrus naturels. Le stock de bois sur pied dans les gros et très gros bois feuillus s'accroît lentement au fil des années comme présenté dans le chapitre B.3.5.1. Les gros bois représentent 25 % du stock total sur pied feuillu en 2035, contre 24 % aujourd'hui. Ce taux moyen masque toutefois de fortes différences régionales et suivant les catégories de propriétés, et il existe localement des possibilités de récoltes additionnelles dans ces dimensions.

Figure 35 : Evolution de la disponibilité technico-économique de BO-P et BIBE-P selon la dimension des bois des feuillus (graphique de gauche) et des résineux (graphique de droite), en milliers de m³/an



Avec 5,8 Mm³/an, les gros et très gros bois **résineux** contribuent actuellement pour 28 % à la récolte totale des résineux. Leur disponibilité technico-économique progresse de 26 % avec le scénario de sylviculture constante, pour atteindre 7,3 Mm³/an en 2031-2035. La dynamisation de la gestion augmente peu le volume de disponibilité de ces gros arbres, puisqu'elle atteint 7,9 Mm³/an.

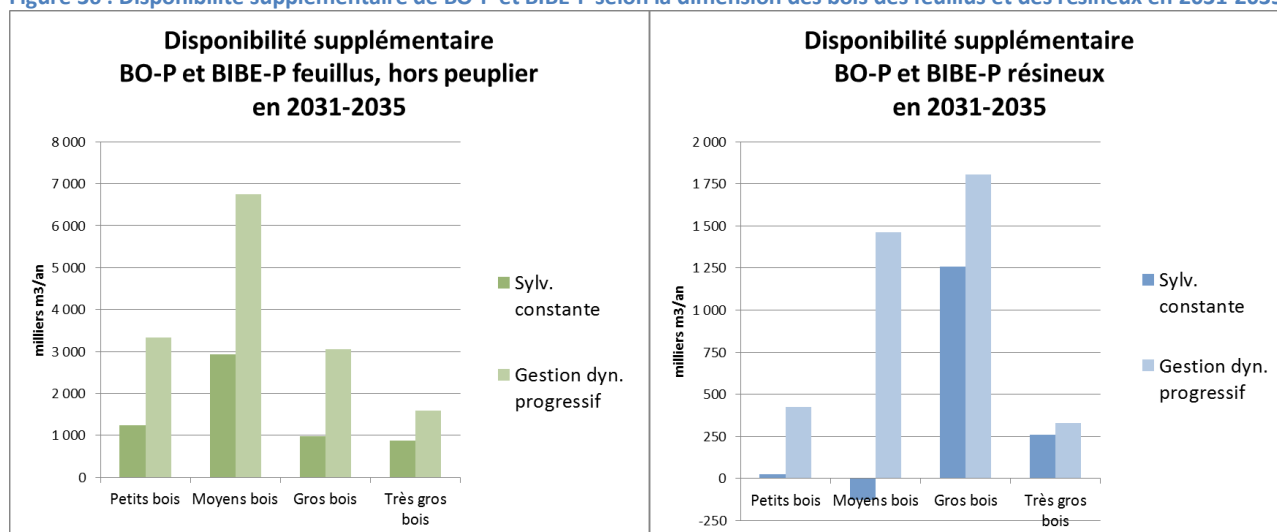
Cette hausse plutôt limitée découle directement de l'hypothèse de prudence fixée pour le scénario de gestion dynamique, à savoir une hausse limitée des taux de coupes dans ces dimensions actuellement peu

recherchées par les marchés. C'est notamment le cas pour les très gros bois de diamètre supérieur à 70 cm, qui ne représentent actuellement que 7 % du total de la récolte résineuse (1,3 Mm³/an), et pour lesquels la part dans la récolte totale resterait inchangée à l'horizon 2031-2035 quel que soit le scénario.

Ainsi la disponibilité supplémentaire résineuse estimée dans cette étude concernerait prioritairement les arbres de dimension moyens bois (voir figure 35).

Le stock de bois sur pied des gros et des très gros arbres s'accroît rapidement au fil des années, comme présenté dans le chapitre B.3.5.1 : les gros bois représentent 32 % du stock total sur pied en 2035 contre 25 % aujourd'hui. Il existe par conséquent des marges importantes de récoltes additionnelles dans ces dimensions, à condition de savoir exploiter et transformer ces bois. Les possibilités de développements futurs sont d'ailleurs principalement dans ces dimensions, car la part des gros et très gros bois dans la récolte totale résineuse grimpe à 32 % en 2031-2035 malgré des taux de coupe peu augmentés, signe de ressources limitées dans les dimensions petits et moyens bois.

Figure 36 : Disponibilité supplémentaire de BO-P et BIBE-P selon la dimension des bois des feuillus et des résineux en 2031-2035

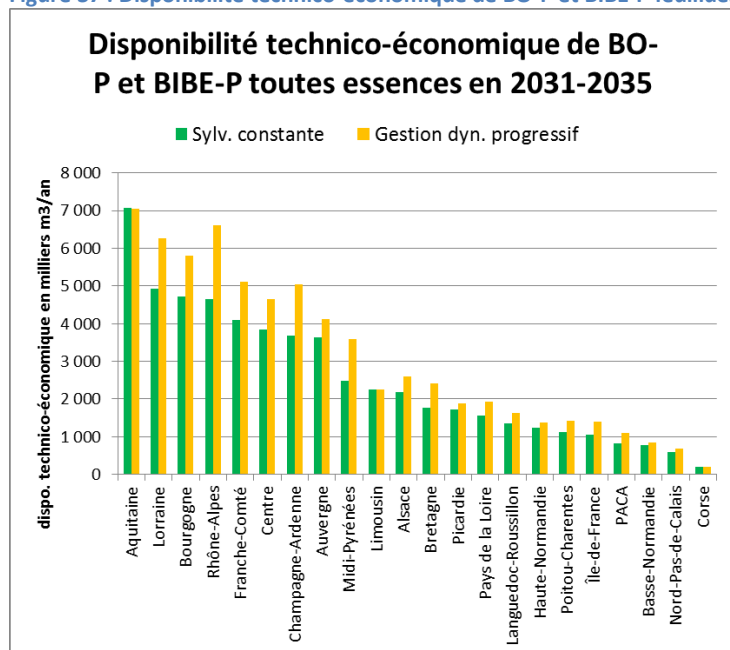


4.4.6. Résultats par localisation géographique (BO-P et BIBE-P)

Les régions avec les plus forts volumes de disponibilités technico-économiques en 2031-2035 restent les grandes régions forestières traditionnelles françaises, à savoir l'Aquitaine et les régions du Grand Est (Franche-Comté, Lorraine, Champagne-Ardenne). On trouve toutefois aussi les régions d'un grand centre de la France constitué de la Bourgogne et de la région Centre. On trouve aussi Rhône-Alpes qui est une région fortement boisée et très vaste.

Parmi les régions où les volumes de disponibilités augmentent le plus vite dans l'hypothèse d'une dynamisation de la gestion se trouve Rhône-Alpes (+42 %) mais aussi des régions actuellement considérées comme moins forestières comme Midi-Pyrénées (+45 %), la Bretagne (+37 %), PACA (+37 %), et l'Île-de-France (+32 %). A elles seules ces cinq régions « périphériques » représentent 36 % de la disponibilité additionnelle qui serait permise par le scénario de gestion dynamique en 2031-2035 par rapport au scénario de sylviculture constante.

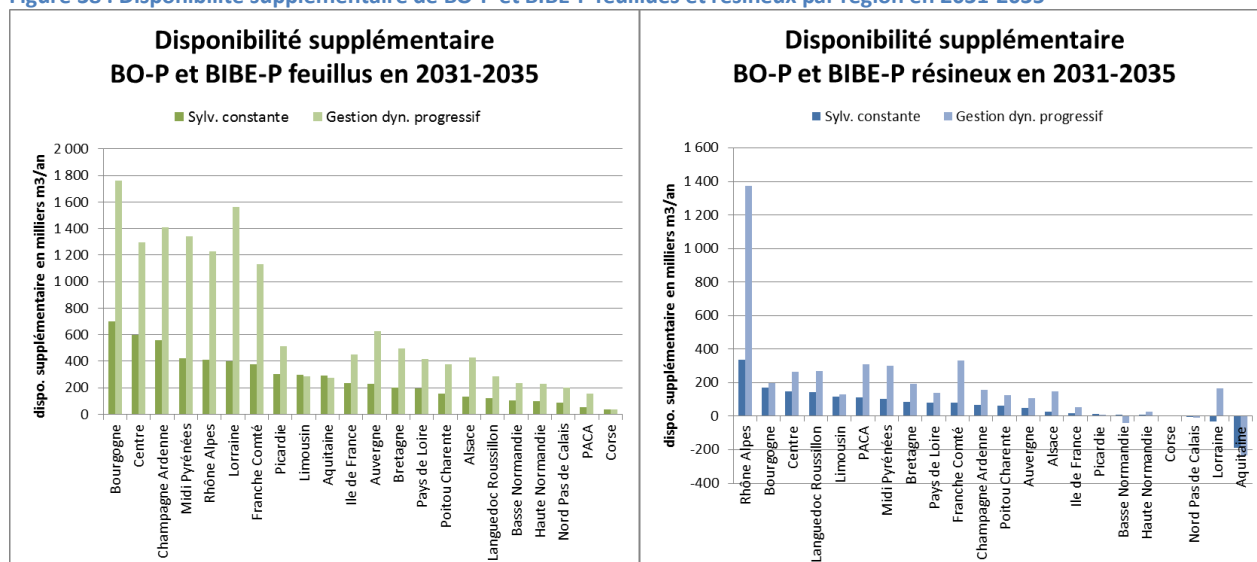
Figure 37 : Disponibilité technico-économique de BO-P et BIBE-P feuillues et résineux par région en 2031-2035



Les disponibilités supplémentaires de BO-P et BIBE-P feuillues sont prépondérantes dans les régions d'un grand centre de la France (Bourgogne, Centre, sud de Champagne-Ardenne), et sur les franges au sud et à l'est du massif central (régions Midi-Pyrénées et Rhône-Alpes). Les régions Lorraine, Alsace et Franche-Comté sont également très bien placées, avec des enjeux de mobilisation de bois dans les forêts communales et les forêts privées sans PSG.

Les disponibilités supplémentaires résineuses permises par une intensification de la gestion en 2031-2035 se situent quant à elles majoritairement dans les régions de montagne, avec Rhône-Alpes représentant 34 % du total à elle seule, PACA et Languedoc-Roussillon totalisant 14 % à elles deux, et aussi Franche-Comté avec 8 %. A noter également la contribution de la région Centre et ses peuplements de pins, qui représente 7 % de la disponibilité supplémentaire nationale en résineux. La région Aquitaine reste déficitaire en résineux.

Figure 38 : Disponibilité supplémentaire de BO-P et BIBE-P feuillues et résineux par région en 2031-2035



Les annexes 30 à 32 donnent la répartition par région des disponibilités technico-économiques et supplémentaires, par types de produits bois potentiels et en fonction des groupes d'essences.

4.4.7. Résultats par catégories d'exploitabilité physique (BO-P et BIBE-P)

Le calcul de la disponibilité technico-économique tient compte des conditions physiques d'exploitation selon une nomenclature détaillée décrite dans le chapitre B.4.2.3. On peut toutefois recalculer *a posteriori* les résultats suivant les classes d'exploitabilité physique définies classiquement par l'IGN.

Environ 20 % de la récolte nationale se réalise actuellement dans les forêts jugées les plus difficilement exploitables.

Près de 23 % de la disponibilité supplémentaire de BO-P et de BIBE-P se situe dans les forêts les plus difficilement exploitables en 2031-2035 si les pratiques de gestion restaient inchangées. Ce taux atteindrait 23,5 % avec le scénario de dynamisation de la gestion.

Chez les résineux, la part des peuplements difficilement exploitables dans la disponibilité supplémentaire totale est sensiblement plus élevée. Elle passe en 2031-2035 de 39 % si la sylviculture est constante à 42 % quand la gestion est dynamisée. Le tableau ci-dessous donne les volumes par classe d'exploitabilité.

Tableau 16: Disponibilité supplémentaire de BO-P et BIBE-P par scénario, essence, période et exploitabilité (x 1000 m³/an)

Scénario	Période	Exploitabilité facile et moyenne			Exploitabilité difficile et très difficile		
		Tous feuillus	Résineux	Total facile et moyenne	Tous feuillus	Résineux	Total difficile et très difficile
Sylviculture constante	2016-2020	1 239	421	1 660	270	160	429
	2021-2025	2 423	461	2 884	543	266	809
	2026-2030	3 640	634	4 274	849	397	1 247
	2031-2035	4 958	865	5 823	1 180	547	1 727
Gestion dynamique Progressif	2016-2020	2 192	518	2 710	410	183	592
	2021-2025	5 930	1 120	7 050	1 185	574	1 759
	2026-2030	9 726	1 801	11 528	2 119	1 229	3 348
	2031-2035	12 797	2 341	15 138	2 972	1 682	4 655

4.4.8. Résultats par zones à enjeux de gestion spécifiques (BO-P et BIBE-P)

Actuellement les zones dont l'enjeu prioritaire pour la gestion est différent de la production de bois (voir chapitre B.1.2.4) contribuent faiblement à la récolte nationale de BO-P et de BIBE-P, avec 6,3 % du total. Ce taux augmente d'un point à l'horizon 2031-2035 dans les deux scénarios, car les peuplements y sont souvent plus jeunes que la moyenne nationale et ils atteignent progressivement des diamètres exploitables.

Les zones où la gestion courante n'a pas été dynamisée (parcs, réserves, terrains toujours engorgés, terrains militaires, sites concernés à la fois par les directives Oiseaux et Habitats) représentent une disponibilité technico-économique de BO-P et de BIBE-P de 2,1 Mm³/an en 2031-2035. Les forêts des sites classés (et qui ne sont pas concernées par les enjeux cités précédemment) offrent en 2031-2035 une disponibilité comprise entre 0,5 Mm³/an (scénario de sylviculture constante) et 0,6 Mm³/an (scénario de gestion dynamique progressif), et celles dites péri-urbaines entre 1,2 Mm³/an et 1,8 Mm³/an.

La disponibilité supplémentaire dans ces zones s'accroît au fil du temps, de +0,9 Mm³/an pour le scénario de sylviculture constante en 2031-2035 à +1,6 Mm³/an pour le scénario de gestion dynamique. Ces volumes représentent respectivement 13 et 9 % de la disponibilité supplémentaire nationale.

C. DEMANDE EN BOIS A L'HORIZON 2035

1. Démarche pour la réalisation des scénarios de demande en bois

La demande en bois pour l'industrie et l'énergie est définie comme la demande pour les industries de première et deuxième transformation (importations comprises), et pour l'export.

La définition de scénarios d'évolution de la demande en bois est un exercice de prospective. Elle consiste à imaginer les futurs possibles dans différents contextes, en se basant sur des hypothèses d'évolutions techniques et économiques.

La démarche pour la construction de scénarios quantitatifs de demande s'est appuyée sur :

1. Une analyse de la documentation existante :
 - Bibliographie : nombreuses études de prospectives sur l'évolution de la demande en bois surtout pour l'énergie ;
 - Tendances passées : récolte en forêt, imports nets de produits bois ronds et de première transformation.
2. Le recueil de l'avis des professionnels de la filière au cours d'une réunion le 10 février 2015 ou de contacts des experts du FCBA.

2. Analyse de la demande en bois actuelle et future

2.1. Contexte et définition de la demande en bois en France

La demande en bois résulte de la demande des consommateurs finaux industriels ou particuliers, provenant des marchés nationaux ou internationaux (exports). Cette demande finale est satisfaite par la forêt, par les industries de première transformation ou par les importations, les industries de la première transformation du bois s'approvisionnant sur le marché du bois rond français ou avec des importations.

La demande qui est étudiée et définie ici est une **demande globale en équivalent bois rond**⁷. Elle correspond à la demande nette en produits bois (sciages, pâtes, panneaux, bois énergie) pour la satisfaction des besoins des industries de deuxième transformation (ameublement, emballage, etc.) ou pour des usages finaux (construction, énergie, etc.). Elle est convertie en volume de bois rond pour être directement comparée à l'offre de bois rond forestier.

L'exercice de définition de scénarios de la demande future est abordé sous trois angles complémentaires :

- La compilation et la synthèse d'études prospectives réalisées récemment, qui fournissent une estimation de la demande en bois aux horizons 2020, 2030 voire 2050 ;
- L'analyse de la récolte et de la consommation de bois au cours des 20 dernières années et de leurs évolutions tendanciennes ;
- La vision des industriels eux-mêmes quant à l'évolution des différents secteurs de la filière bois.

De ces analyses ont été tirés des scénarios de demande pour les principaux produits (bois d'œuvre feuillu et résineux, bois d'industrie, bois énergie) et des scénarios d'évolution pour les 20 prochaines années.

⁷ La conversion d'un volume de sciage en bois rond génère un volume de PCS potentiel dont il est tenu compte dans les bilans. Si ce sont des sciages importés, les PCS correspondants sont compensés par un export équivalent de PCS.

2.2. Evolution de la demande : revue des exercices de prospectives

Un exercice de prospective ne consiste pas à prédire le futur mais plutôt à envisager différents futurs à partir d'hypothèses et, dans le cas présent, à en tirer les conséquences sur les possibilités de la forêt française de répondre aux demandes en bois.

Les exercices de prospectives incluant la demande en bois ont été nombreux ces dernières années :

- Etude prospective à moyen terme (BIPE 2013) ;
- Scénarios énergétiques (ANCRE 2013) ;
- Scénario négaWatt 2011 (Association NégaWatt 2013) ;
- Prospective AFTERRES 2050 (Solagro 2013) ;
- Elaboration de visions énergétiques 2030-2050 (ADEME 2012) ;
- Perspective de valorisation du bois d'œuvre feuillu en France (FCBA 2011) ;
- Plan National des Energies Renouvelables en 2009 ;
- La forêt française 2050-2100 (CGAAER 2008).

Dans la suite du texte, on fera référence à ces études en les désignant par le nom de l'organisme auteur et son millésime.

Chacune de ces prospectives adopte une démarche différente selon les objectifs qu'elle poursuit :

- Définir les chemins pour atteindre un objectif déterminé (ex : atteinte du facteur 4 en 2050, réduction à 50 % de la part du nucléaire en 2025 ou arrêter le nucléaire d'ici à 2030). C'est le cas des prospectives ADEME, ANCRE ou NEGAWATT qui appréhendent l'ensemble des énergies fossiles ou renouvelables et tentent de construire une évolution possible du mix énergétique national (avec l'introduction à forte proportion des énergies renouvelables) selon différents scénarios correspondant à des hypothèses d'évolutions technologiques, à des choix politiques, ou à des évolutions de la société.
- Envisager l'évolution du système forêt ou forêt - agriculture : Il s'agit ici de proposer, à partir des tendances lourdes du passé, une ou plusieurs évolutions possibles qui prennent en compte à la fois des critères économiques, environnementaux, territoriaux et humains. Le scénario AFTERRES 2050 ou la prospective du CGAAER en 2008 font partie de cette catégorie.
- Utiliser les données économiques globales et sectorielles pour simuler ou établir une prospective pour tout ou partie de la filière bois. Les études FCBA de 2011 et BIPE de 2013 relèvent de cette catégorie.

Ces prospectives ne donnent pas toujours des résultats chiffrés précis et surtout ventilés par produits. Cependant, on a synthétisé dans les graphiques ci-dessous l'évolution de la demande donnée par plusieurs d'entre elles.

Figure 39 : Demande totale de bois forestier ventilée par produits d'ici à 2050 selon les prospectives ADEME, AFTERRES et CGAAER (BO = Bois d'œuvre, BI = Bois d'industrie, BE = Bois Energie)

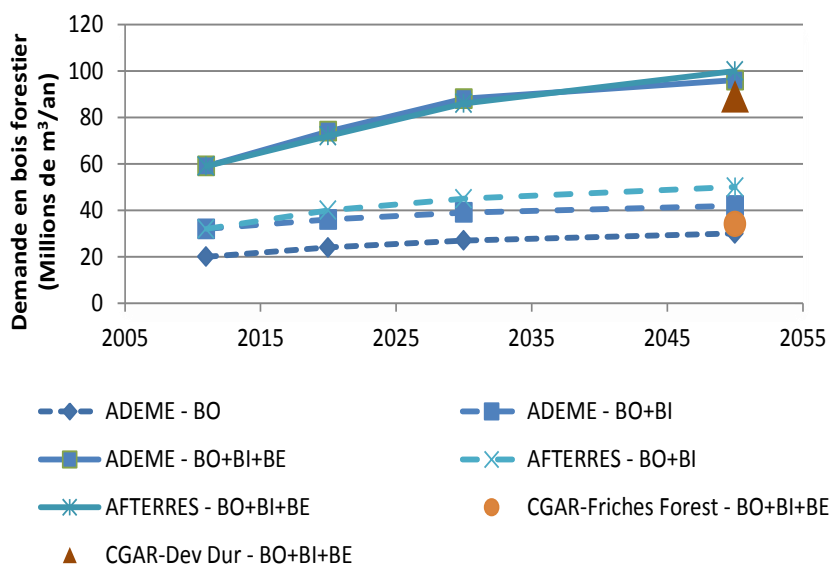
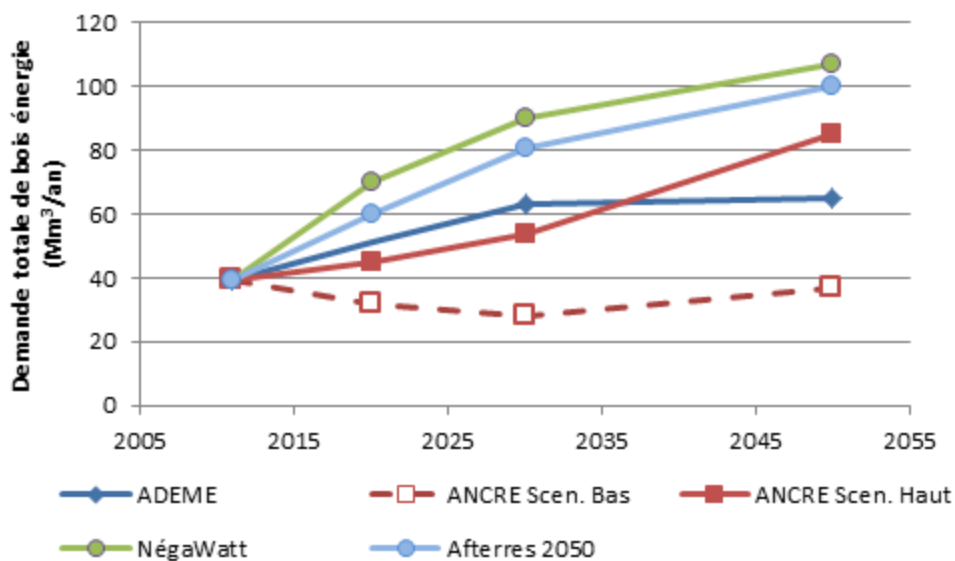


Figure 40 : Demande en bois énergie d'ici à 2050 selon les prospectives ADEME, AFTERRES, ANCRE et NEGAWATT



On peut tirer quelques caractéristiques fortes de l'ensemble de ces scénarios prospectifs :

L'augmentation de l'utilisation du bois matériau (construction, ameublement, emballage) est envisagée dans plusieurs scénarios : elle suppose toutefois des évolutions en profondeur de la filière bois française dans son ensemble et de la demande des consommateurs, afin que le bois matériau augmente ses parts de marché dans tous les secteurs (la construction en particulier), et dans les échanges internationaux.

L'équilibre économique de la filière bois apparaît fragile : la compétitivité du bois vis-à-vis des autres matériaux ou vis-à-vis des énergies fossiles n'est pas toujours considérée comme favorable. Cela se traduit par la stagnation des volumes récoltés au niveau national depuis deux décennies, et la diminution du nombre de scieries et d'industries lourdes (pâte à papier en particulier). Le bois énergie pourrait rester peu concurrentiel vis-à-vis des énergies fossiles (hors subvention à l'investissement).

Une forte demande en bois pour l'énergie est envisagée dans tous les scénarios : la biomasse est un élément essentiel dans le mix des énergies renouvelables des 40 prochaines années. Les chiffres avancés supposent une forte augmentation du taux de mobilisation de la disponibilité forestière et nécessitent une structuration de la filière. Les taillis à courte rotation (TCR) sont plusieurs fois envisagés comme pouvant apporter le facteur d'accélération nécessaire à la satisfaction des besoins énergétiques.

2.3. Evolution de la demande : analyse de la consommation passée

Au cours des dernières années, la récolte et la consommation de bois ont évolué diversement selon les catégories de produits. L'analyse de ces évolutions permet de dégager une tendance pour les années futures.

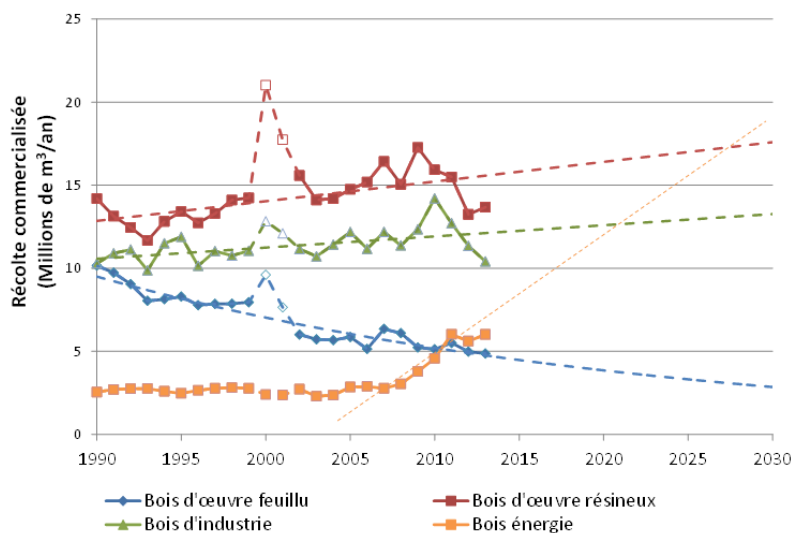
On peut analyser la demande observée :

- à la sortie de la forêt (c'est-à-dire au niveau de la récolte forestière) ;
- à l'entrée des industries de première transformation, en tenant compte des imports de bois rond ;
- à l'entrée des industries de deuxième transformation, en tenant compte des produits de 1^{ère} transformation en plus des imports.

On se limitera à la première et à la dernière approche qui donnent respectivement l'état de la filière mobilisation et celui des usages bois « primaires ». Le graphique suivant montre l'évolution de la récolte forestière commercialisée depuis 1990 (source EAB enquête « exploitation forestière ») et l'extrapolation linéaire de ces variations à la vingtaine d'années suivantes.

On a exclu de l'analyse la récolte de BO des années 2000 et 2001 car elle fut très fortement augmentée à la suite des tempêtes de 1999. La tendance pour le BE repose uniquement sur les années postérieures à 2006, pour un meilleur réalisme compte tenu de l'émergence récente de la filière.

Figure 41 : Evolution de la récolte forestière en France (millions m³ sur écorce) et extrapolation des variations par produit à 2030

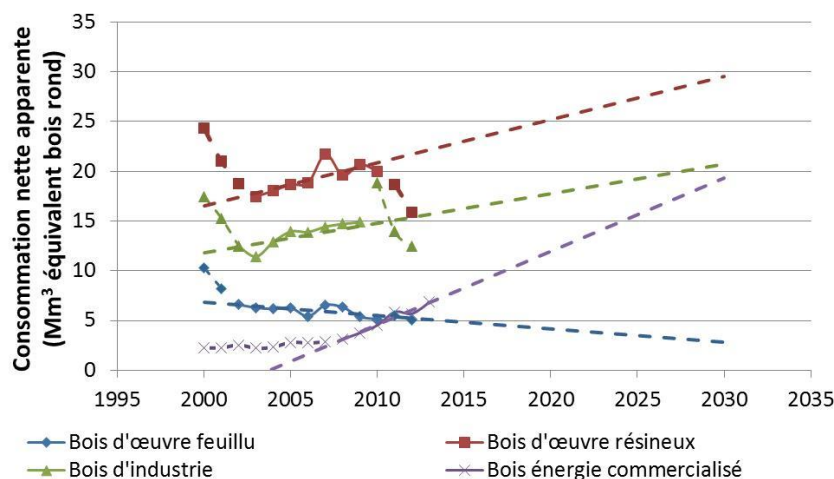


Ce graphique montre que si les évolutions de la récolte observées depuis 20 ans se poursuivaient de la même manière, on aurait pendant les 10 ou 20 ans qui viennent :

- Une augmentation soutenue de la récolte de bois d'œuvre résineux ;
- Une diminution importante de la récolte de bois d'œuvre feuillu ;
- Une augmentation légère de la consommation de bois d'industrie ;
- Une augmentation très marquée de la récolte de bois énergie commercialisé, jusqu'à 20 Mm³ en 2030 si on poursuit l'évolution de la consommation à partir de 2007.

Le graphique suivant montre l'évolution de la demande industrielle nette de l'industrie de 2^{ème} transformation en équivalent bois rond (c'est-à-dire la quantité de bois équivalente qu'il faudrait faire sortir de forêt), incluant les produits connexes de scierie (PCS) générés par les industries pour satisfaire la demande finale et l'extrapolation de cette évolution à 2030.

Figure 42 : Evolution de la demande industrielle nette de 2^{ème} transformation en France (équivalent millions de m3 bois rond sur écorce) et son extrapolation à 2030 (les années 2012 et 2013 ont été exclues de l'extrapolation pour le BO résineux car elles ont été marquées par la crise économique)



Les évolutions de la consommation nette des industries de deuxième transformation montre les mêmes variations que celles de la récolte forestière, mais en les accentuant.

Les variations liées à l'afflux de bois dus aux tempêtes de 1999 et de 2009 et aux variations d'activité économique (crise de 2012 et 2013) fragilisent toutefois les résultats des extrapolations, et particulièrement pour le résineux : selon qu'on prend en compte ou non les variations dues à la crise de 2012 et 2013 la consommation de BO résineux pourrait :

- rester stable à 20 Mm³ par an (évolution tendancielle de 2003 à 2013) ;
- atteindre 33 Mm³ en 2035 (évolution tendancielle à partir des observations 2003 -2011) ;
- atteindre 25 Mm³ en 2035 (à partir de la récolte 2013, reprendre la tendance de l'évolution 2003-2011 soit +0,5 Mm³/an).

2.4. Evolution de la demande : consultation des secteurs industriels

Les différents secteurs industriels utilisant du bois ont été réunis le 10 février 2015 pour exposer leur vision de l'évolution de leur demande en bois d'ici à 2035, aussi bien en qualité qu'en quantité. Cette réunion avait pour objectif de construire ensemble des scénarios sur l'évolution de la demande industrielle et énergétique pour les principaux produits bois.

Ce type d'exercice a des limites, surtout sur une période aussi longue quand on sait que l'évolution d'un secteur dépend de l'évolution de l'activité économique nationale et internationale, de la compétitivité des industries par rapport aux concurrents européens ou plus lointains, et de l'évolution des goûts et habitudes des consommateurs. Les résultats de cette consultation fournissent donc selon les secteurs, une vision des tendances plus que des objectifs quantifiés de développement.

L'annexe 16 donne la liste des participants à cette réunion, ainsi que la synthèse de la perception de l'évolution de la demande en matière première des personnes présentes, pour leur secteur propre.

Le secteur du sciage n'a pu se rendre présent à cette réunion et la perception de l'évolution de la demande par les professionnels de ce secteur n'a pas pu être recueillie. Les scénarios élaborés ont donc été construits à partir des données de l'évolution passée de la demande en sciage feuillu et résineux et des perspectives disponibles qui évoquaient cet aspect.

2.5. Synthèse et scénarios retenus sur l'évolution de la demande

Deux scénarios d'évolution de la demande ont été imaginés pour chaque secteur industriel :

- Un scénario d'évolution tendancielle ;
- Un scénario plus volontariste.

Ils ont été construits à partir de l'analyse bibliographique et de l'évolution passée des consommations de bois, puis confrontés aux visions des industriels au cours de la réunion du 15 février 2015.

Secteur du sciage feuillu

Les utilisateurs de sciages feuillus ou de leurs produits dérivés (ameublement, fenêtres) soulignent généralement le manque de compétitivité des sciages feuillus français par rapport aux importations : ceux-ci ne répondraient pas au cahier des charges techniques des industriels et/ou seraient trop chers.

De fait, l'évolution tendancielle de la demande en sciages feuillus en France montre une diminution depuis 25 ans. On peut donc imaginer deux scénarios :

- Scénario 1 : La tendance observée se stabilise au niveau actuel d'une demande de 5 Mm³ par an.
- Scénario 2 : Restructuration du tissu industriel du sciage feuillu qui redevient compétitif et qui peut regagner des parts de marché vis-à-vis de l'importation. La demande pourrait s'établir alors à 7 Mm³ par an en 2035.

Secteur du sciage résineux

Le secteur du sciage dépend de l'activité économique en général (secteur de l'emballage) et plus particulièrement du secteur de la construction (charpente, huisseries, construction bois, coffrages) qui représente actuellement à lui seul de l'ordre des deux tiers de la consommation de sciages, surtout résineux.

La loi sur la transition énergétique qui encourage la réhabilitation énergétique des bâtiments, l'utilisation de matériaux bio-sourcés pour ces travaux, l'augmentation du taux de pénétration du bois dans les constructions neuves et les extensions de bâtiments, peut dynamiser l'utilisation du bois dans la construction, en plus de ses usages traditionnels.

L'examen des évolutions d'avant la crise (période 2003-2009) et pendant celle-ci, peut conduire à l'élaboration de deux scénarios contrastés selon qu'on considère que la forte décroissance de la consommation de bois de sciage résineux est conjoncturelle et pourra être rattrapée rapidement, ou au contraire affectera durablement l'activité du secteur :

- Scénario 1 : La crise des cinq dernières années va impacter durablement l'activité, et le bois ne parviendra pas à gagner des marchés dans le secteur. Il ne retrouvera les niveaux de 2007 à 21 Mm³ que dans une vingtaine d'années. Cela correspond à une évolution tendancielle de la consommation de bois, avec des taux de pénétration de celui-ci peu différents de ceux d'aujourd'hui. Cette tendance est équivalente à l'application de la pente de l'évolution tendancielle entre 2003 et 2009, en partant du niveau de consommation atteint en 2013 ;
- Scénario 2 : Une forte reprise d'activité du secteur de la construction en général permet le rattrapage des années de crise, accompagné d'une forte pénétration du bois dans la réhabilitation, l'efficacité énergétique, la construction neuve et les extensions. Cela permet d'augmenter très fortement les volumes demandés, qui atteignent 30 Mm³ en 2035. Cela correspond à la projection à 2035 de l'évolution tendancielle de la demande en bois entre 2003 et 2009.

Secteur de la palette

La reprise économique et la reconquête des marchés perdus vis-à-vis de l'importation peuvent conduire à une progression de 1 % par an de volumes produits, soit plus 2 millions de tonnes brutes (Mtb) de bois résineux en 20 ans.

Secteur de la pâte et du papier

On considère qu'il n'y aurait pas de forte évolution de la consommation de bois rond, mis à part un rétablissement des volumes les premières années consécutives à la crise actuelle.

Secteur du panneau de process

On envisage un développement tendanciel de la demande de bois de l'ordre de 5 % par an. La part de bois rond utilisée sera limitée par les concurrences d'usage (énergie en particulier). Les scénarios d'évolution pourraient être les suivants :

- Scénario 1 : Augmentation de 0,8 Mtb de la consommation de bois rond pour atteindre 2,5 Mtb en 2035. Ce scénario tient compte de la concurrence d'usage avec le secteur de l'énergie en particulier ;
- Scénario 2 : Augmentation de 1,9 Mtb de la consommation de bois rond pour atteindre 3,6 Mtb en 2035, si la concurrence avec les autres usages est moins prononcée.

Secteur de l'ameublement :

- Scénario 1 : Evolution tendancielle sans développement de l'industrie locale qui subit toujours la concurrence des producteurs chinois ou européens ;
- Scénario 2 : Reprise du développement de l'industrie du meuble en France portée par le changement du statut du meuble qui devient un bien de consommation. L'industrie nationale du meuble est favorisée par la proximité des magasins qu'elle peut livrer plus facilement.

Secteur de l'énergie

La consommation de bois énergie d'origine forestière a été estimée à 30,5 Mm³ en 2011 (JWEE 2011) dont 22 Mm³ de bois consommés par les ménages (bûches et granulés de bois), 0,5 Mm³ de plaquettes forestières, 6 Mm³ de connexes des industries de la trituration pâte et des panneaux (liqueurs noires et écorces et rebuts divers), 1 Mm³ de connexes de scierie et 1 Mm³ de bois ronds divers (charbon de bois, briquettes). Cette consommation est estimée en 2015 à 33 Mm³, essentiellement à cause de l'augmentation des quantités de plaquettes forestières mobilisées (+ 3,5 Mm³/an), les PCS de scierie étant préférentiellement transformés en granulés bois qui gagnent des parts de marché sur le bois bûche dans le chauffage domestique. L'annexe 36A détaille la répartition des produits dans la consommation de bois pour l'énergie.

On a considéré que les deux compartiments bois de feu des ménages et connexes de trituration resteront constants tout au long de la période étudiée en faisant les hypothèses suivantes :

- Bois de feu des ménages : si le nombre de foyers (poêles, inserts etc.) augmente, ils auront un meilleur rendement ce qui stabiliserait le volume consommé. Par ailleurs l'augmentation de la consommation de granulés bois viendrait en substitution de la consommation de bûche ;
- Secteur des pâtes et panneaux : les hypothèses de variation des volumes traités réalisées pour ces secteurs étant de faible ampleur, leur production de connexes pour l'énergie resterait stable.

Trois scénarios d'évolutions ont été définis, hors bois de feu des ménages (22 Mm³/an) et secteur de la trituration (6 Mm³/an) :

- Scénario 1 : Le manque de compétitivité de l'énergie issue de biomasse vis-à-vis des énergies fossiles ou des autres énergies renouvelables conduit à réviser à la baisse les objectifs de production d'énergie renouvelable assignés à la biomasse forestière et l'effort d'investissement est fortement ralenti dans les décennies à venir. A court terme, les projets en cours sont réalisés pour atteindre une consommation totale de bois forestier pour l'énergie de 36 Mm³ par an pendant la période 2012-2025. Les investissements étant fortement ralentis, la consommation de bois atteindrait 39 Mm³ par an sur la période 2031-2035 (et 40 Mm³ en 2035) soit une augmentation de 11 Mm³ sur les deux décennies de l'étude, hors consommation des ménages et connexes de trituration ;
- Scénario 2 : Les objectifs de production d'énergie par la biomasse sont maintenus à un niveau élevé et la consommation de biomasse forestière continue d'augmenter à la même vitesse que pendant les cinq dernières années, pour atteindre 48 Mm³ par an sur la période 2031-2035 (et 50 Mm³ en 2035) soit une augmentation de 20 Mm³ sur les deux décennies de l'étude, hors consommation des ménages et connexes de trituration ;

- Scénario 3 : Les objectifs de production d'énergie renouvelable sont intensifiés pour atteindre 57 Mm³ par an de biomasse consommée pour l'énergie au total sur la période 2031-2035 (ou 60 Mm³ en 2035) soit une augmentation de la consommation de biomasse pour l'énergie de 29 Mm³ après deux décennies, hors consommation des ménages et connexes de trituration.

3. Scénarios quantitatifs de demande en bois pour l'industrie et l'énergie

Trois scénarios quantitatifs d'évolution de la demande industrielle globale ont été constitués à la suite de l'analyse bibliographique et de la consultation des professionnels de la filière. Chacun de ces scénarios repose sur l'évolution particulière de la demande pour quatre familles de produits : le bois d'œuvre feuillu, le bois d'œuvre résineux, le bois d'industrie et le bois énergie (consommation des particuliers incluse).

3.1. Scénario « marché atone »

L'activité économique reste marquée par la crise de 2008 et elle a du mal à retrouver un niveau du même ordre. Le bois est toujours concurrencé par les matériaux classiques, aussi bien dans ses usages matériaux que pour l'énergie, et n'arrive pas à gagner des parts de marché importantes.

Pour constituer ce scénario, on prend les scénarios d'évolution tendancielle de tous les secteurs industriels.

Les volumes demandés atteignent alors en 2031-2035 :

- **Bois d'œuvre feuillu** : 5 Mm³ par an (stabilisation de la demande au niveau actuel) ;
- **Bois d'œuvre résineux** : 21 Mm³ par an (faible augmentation) ;
- **Bois d'industrie** : 15 Mm³ par an (faible augmentation) ;
- **Bois énergie** : 39 Mm³ par an (augmentation limitée aux projets en cours et à quelques projets supplémentaires), dont 22 Mm³ de bois de feu des ménages pour les ménages et 6 Mm³ de BE issus de la transformation du BI en pâte à papier et panneaux.

3.2. Scénario « énergie et bois d'industrie »

Une volonté politique permet le développement de l'utilisation du bois pour la production d'électricité et de chaleur. Les investissements engagés nécessitent la mobilisation de BIBE en grande quantité. Les actions de mobilisation profitent également aux industriels de la pâte et des panneaux qui, quoique placés en situation de concurrence d'usage, peuvent bénéficier des moyens mis en place pour mobiliser et exploiter le bois.

Par ailleurs, l'activité économique globale influant sur les secteurs de la construction, de l'emballage ou du papier, reste atone et, comme dans le scénario « marché atone », le niveau de consommation du bois retrouve lentement son niveau d'avant la crise.

Les volumes demandés atteignent alors en 2031-2035 :

- **Bois d'œuvre feuillu** : 5 Mm³ par an (stabilisation de la demande au niveau actuel) ;
- **Bois d'œuvre résineux** : 21 Mm³ par an (faible augmentation) ;
- **Bois d'industrie** : 16 Mm³ par an (faible augmentation) ;
- **Bois énergie** : 48 Mm³ par an dont 22 Mm³ de bois de feu des ménages pour les ménages et 6 Mm³ de BE issus de la transformation du BI en pâte à papier et panneaux.

3.3. Scénario « filière dynamique »

Grâce à des programmes d'investissement importants dans l'ensemble de la filière bois (l'exploitation en forêt, la mobilisation, la première et la deuxième transformation, y compris les chaufferies), l'outil industriel a gagné en compétitivité et conquis des parts de marché dans le bâtiment neuf, dans la rénovation énergétique, et dans l'ameublement. Les quantités de bois demandées augmentent fortement. Le programme énergie renouvelable est intensifié par rapport à aujourd'hui, et il est rendu possible par une mobilisation sans précédent des ressources forestières.

Les volumes demandés atteignent alors en 2031-2035 :

- **Bois d'œuvre feuillus** : 7 Mm³ par an ;
- **Bois d'œuvre résineux** : 30 Mm³ par an ;
- **Bois d'industrie** : 16 Mm³ par an ;
- **Bois énergie** : 57 Mm³ par an, dont 22 Mm³ de bois de feu des ménages pour les ménages et 6 Mm³ de BE issus de la transformation du BI en pâte à papier et panneaux.

3.4. Récapitulatif de la demande pour les différents scénarios

Le tableau suivant montre l'évolution des demandes en bois par produit, y compris les imports, pour les périodes 2021-2025 et 2031-2035 et selon les différents scénarios. Les volumes sont exprimés en équivalent bois ronds, avant transformation et intégrant des produits connexes qui peuvent être utilisés pour d'autres usages.

Tableau 17 : Hypothèses d'évolution de la demande pour les différents scénarios depuis la demande actuelle jusqu'aux périodes 2012-2025 et 2031-2035 (en millions de m³/an)

Demande (Mm ³ équivalent bois rond par an)	Demande actuelle (2015)	Marché atone		Energie & Industrie		Filière dynamique	
		2021-2025	2031-2035	2021-2025	2031-2035	2021-2025	2031-2035
BO Feuillus	5	5	5	5	5	6	7
BO résineux	15	18	21	18	21	23	30
BI	14	14	15	15	16	15	16
BE*	33	36	39**	39	48	43	57

* La demande actuelle issue de forêt est constituée de 22 Mm³ de bois consommés par les ménages (y compris les granulés de bois), 4 Mm³ de plaquettes forestières, 6 Mm³ de connexes des industries de la trituration (liqueurs noires, écorces, rebuts divers) et 1 Mm³ de bois rond divers (charbon de bois, briquettes)

** L'augmentation de la demande est limitée à la finalisation des gros projets financés jusqu'en 2015 (appels à projets CRE et BCIAT) et des chaufferies de plus petite importance disséminées sur le territoire national.

On ne peut calculer la demande totale sans tenir compte des doubles comptes : le BO génère ainsi des PCS utilisés pour la trituration ou pour l'énergie. Le bois d'industrie génère des connexes (liqueurs noires, écorces, rebuts) utilisés pour l'énergie.

L'annexe 36B donne le détail de l'évolution de la demande période par période, pour les différents produits.

D. COMPARAISON OFFRE / DEMANDE A L'HORIZON 2035

La partie B de ce rapport a étudié l'offre de bois possible à partir de l'état actuel de la forêt française et de l'évolution des prélèvements, compte tenu des contraintes et des attentes qui pèsent sur elle. La partie C a défini différents scénarios d'évolution de la demande en bois, pour les différents types d'usages des bois. On va comparer ici l'offre de bois forestier à la demande industrielle, suivant les différents scénarios qui ont été construits de façon indépendante.

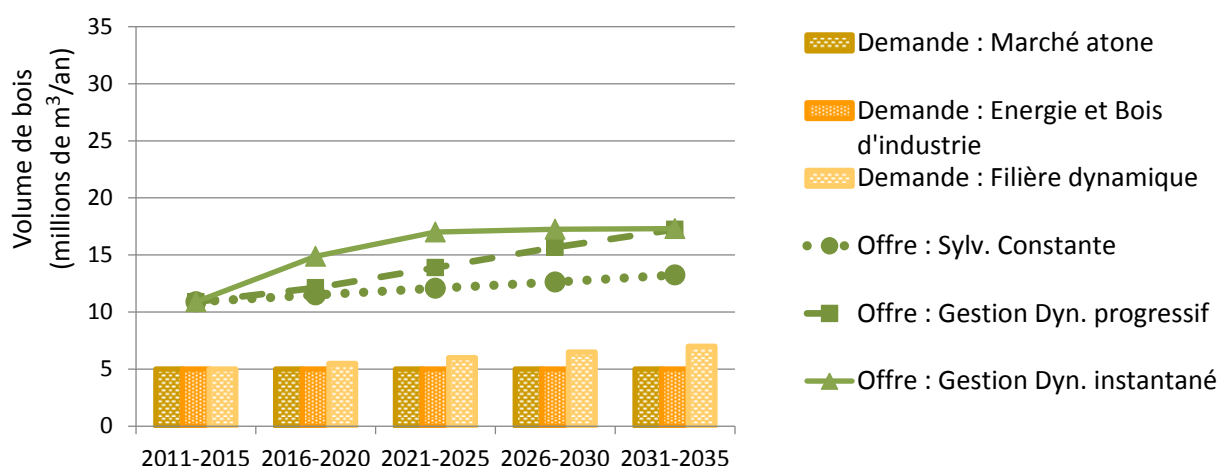
L'offre de bois rond (auparavant désignée comme la disponibilité technique et économique) des différents produits ou groupes de produits a été rapprochée de la demande pour les différents scénarios. La démarche permet d'analyser la satisfaction de la demande ainsi imaginée par les différents types de développement et de gestion sylvicole modélisés. Un troisième scénario de gestion (intitulé « gestion dynamique instantanée ») a été rajouté sur les graphiques pour montrer l'incidence sur la disponibilité d'une mise en œuvre plus rapide de la gestion dynamique envisagée (cf. annexe 20).

L'offre de BO-P et la demande de BO équivalent bois rond peuvent être directement comparées. En revanche, la demande de BIBE peut être satisfaite par différentes sources : BIBE-P de bois rond, MB, PCS issus des sciages et de la trituration, et BO-P non utilisé comme BO. C'est donc l'offre cumulée de ces différentes sources qui a été comparée à la demande pour les différents scénarios.

1. Comparaison offre / demande pour le BO feuillu

Le graphique suivant compare l'offre et la demande en BO feuillu pour les différents scénarios.

Figure 43 : Comparaison de l'offre de bois d'œuvre potentiel feuillu avec la demande en bois d'œuvre



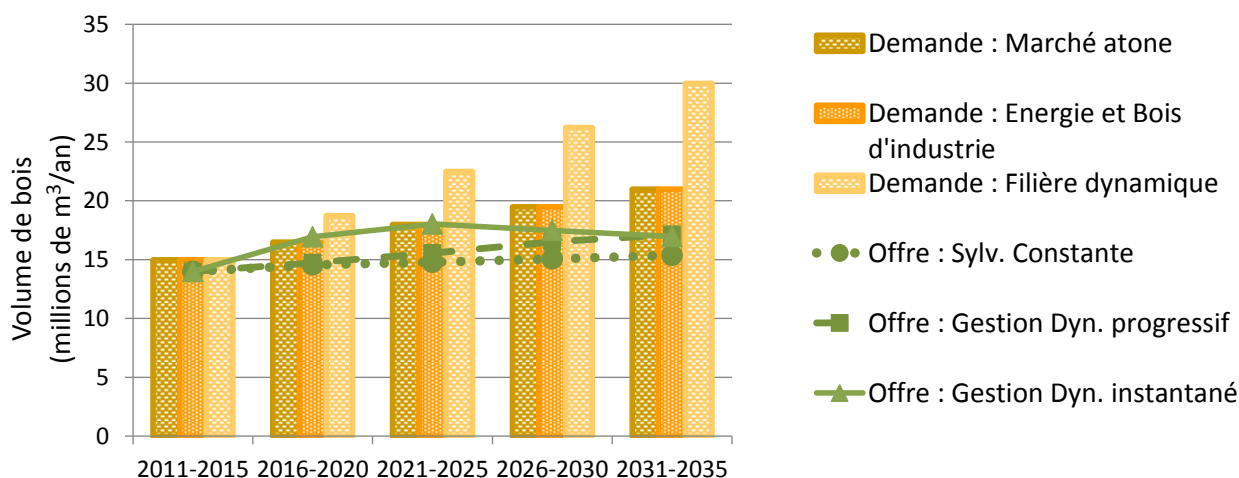
L'offre de bois d'œuvre feuillu apparaît largement excédentaire par rapport à la demande actuelle et future, quel que soit le scénario. Une dynamisation de la filière bois d'œuvre est possible car il y a de la matière dans les essences majeures (chênes, hêtre et peuplier), mais aussi dans les feuillus divers (châtaignier, frêne, feuillus précieux, tremble, bouleau, etc.). La structure actuelle de la ressource forestière feuillue, marquée par la prédominance d'anciens taillis et taillis sous futaie vieillis, d'accrus naturels, etc., permet d'affirmer qu'il ne s'agira pas à 100 % de bois de première qualité. On a vu d'ailleurs qu'une large part (environ 50 % soit 5 Mm³ par an) du bois d'œuvre feuillu potentiel récolté actuellement est utilisé à d'autres fins (bois d'industrie, bois énergie) que le bois d'œuvre. Dans tous les cas, l'offre de BO-P feuillu dépasse 10 Mm³ par an et pourrait satisfaire à la fois la demande en BO feuillue réelle et une part de la demande en BIBE.

L'évolution de l'offre de BO-P feuillu, permettrait de satisfaire à la fois la demande en BO *stricto sensu* (5 à 7 Mm³ par an), et la consommation actuelle de bois ayant un potentiel BO mais qui sont actuellement utilisés comme BIBE (5 Mm³ par an). Un excédent de l'ordre de 5 à 7 Mm³ par an de BO-P pourrait être dégagé avec le scénario de gestion dynamique progressif en 2031-2035 par rapport aux scénarios de demande.

2. Comparaison offre / demande pour le BO résineux

La figure suivante compare l'offre et la demande de BO résineux pour les différents scénarios

Figure 44 : Comparaison de l'offre et de la demande de bois d'œuvre résineux



Aujourd'hui, l'offre potentielle de bois d'œuvre résineux d'origine française n'est pas suffisante par rapport à la demande. Cela rend nécessaire le recours à des importations, principalement de sciages.

L'augmentation de l'offre prévue par le scénario de dynamisation progressive de la gestion forestière ne serait pas suffisante si la demande retrouvait les niveaux antérieurs à la crise de 2008, et encore moins si elle se développait davantage comme suggéré dans le scénario de demande d'une filière bois dynamique.

Dans l'état actuel de la forêt, il faudrait alors encore augmenter la part des importations, ou modifier les essences utilisées en substituant du bois d'œuvre feuillu au bois d'œuvre résineux, par exemple pour la charpente, la construction bois, ou l'emballage. Il faudrait ainsi substituer de 4 à 13 Mm³/an de BO d'œuvre résineux par autant de BO feuillu selon les scénarios de demande. Ce volume est théoriquement disponible vu la consommation courante de BO feuillu. Il faudrait alors développer des innovations technologiques économiquement acceptables, et adapter l'outil industriel pour savoir valoriser ces bois.

A plus long terme, ou de façon complémentaire, le déficit en grumes résineuses estimé entre 4 et 13 Mm³ par an en 2031-2035 pourrait être comblé par un ambitieux programme de (re)-boisement résineux, comme dans les années 60-70, par exemple en substitution de peuplements feuillus pauvres. Cette disponibilité supplémentaire ne serait cependant pas disponible avant 30 à 50 ans après les plantations. A titre d'exemple, les 400 000 ha de Douglas plantés en France entre les années 1960 et 1980 produisent actuellement plus de 2 Mm³ de bois d'œuvre par an. La plantation ambitieuse de 2 Mha de Douglas pourrait ainsi produire 10 Mm³ par an 30 à 50 ans plus tard.

3. Comparaison offre / demande pour le BIBE

La demande en bois d'industrie peut être satisfaite par l'offre en BIBE-P ou BO-P, alors que la demande en bois énergie peut l'être à la fois par du BO-P, du BIBE-P et par les MB, par du bois rond et par des produits connexes, issus de la transformation du BO mais aussi de la transformation du BI (liqueurs noires, écorces, etc.).

Pour déterminer les quantités de BIBE disponibles on a cumulé :

- L'offre de BIBE rond des différents scénarios ;
- La part des menus bois non récoltés avec du bois de trituration. Pour cela, on a estimé que les arbres où on façonnait des billons de trituration faisaient en moyenne 15 cm de diamètre. Pour ce diamètre, la récolte de 1 m³ de bois de trituration génère environ 0,58 m³ de MB mobilisable, (pertes d'exploitation déduites). Actuellement, le volume de bois rond utilisé en trituration est de près de 7 Mm³, leur récolte génère donc 4 Mm³ de MB à déduire de l'offre des différents scénarios.

- Les PCS générés par la transformation du BO en sciages. Le rendement moyen du sciage toutes essences a été estimé à 50 % et la quantité de PCS générée est donc également de 50 % du BO transformé ;
- Le BO-P (essentiellement feuillu) non utilisé actuellement comme BO et disponible pour la demande en BIBE ;
- La consommation des ménages issue des forêts a été considérée constante et égale à 22 Mm³/an ;
- La production de produits connexes par les industries de la pâte et des panneaux a été considérée égale à 40 % du bois rond consommé soit 6 Mm³/an.

Le bilan offre / demande sera réalisé successivement en prenant en compte deux niveaux de contribution :

- BIBE, MB et PCS ;
- BIBE, MB, PCS et BO-P actuellement non utilisé comme BO.

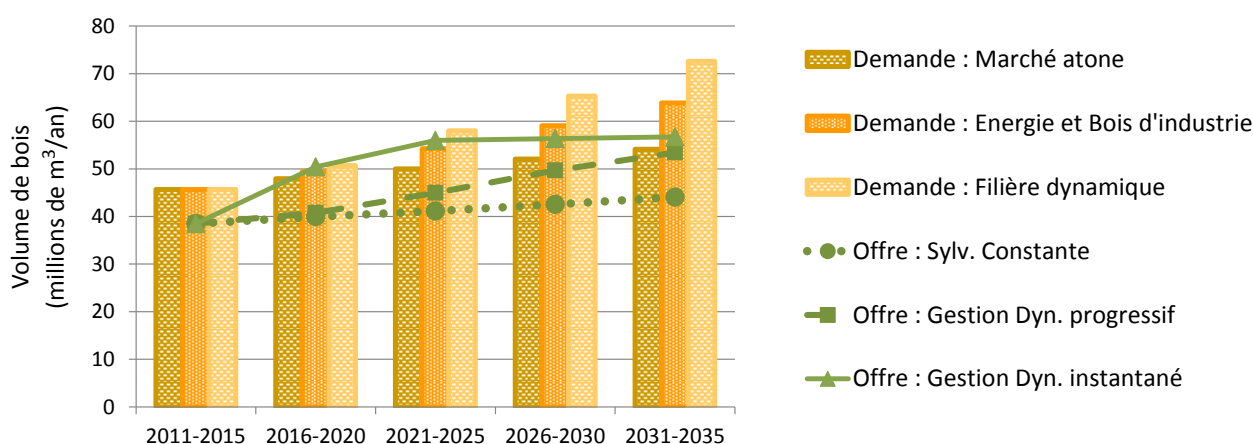
Le BO-P peut être utilisé comme BIBE comme on vient de le voir. On peut également envisager de l'utiliser à la place du BO résineux manquant dans le bilan. On a donc étudié l'incidence sur le bilan de cette utilisation.

Les annexes 36C, 36D, 36E et 36F donnent le détail de l'offre des différents scénarios par produit avec ou sans substitution du BO résineux manquant par du BO feuillu, en comparaison avec la demande des différents scénarios.

Comparaison de l'offre de bois rond, de MB et de PCS avec la demande de BIBE

La figure suivante montre ce bilan pour les trois scénarios d'offre, comparé aux trois scénarios de demande.

Figure 45 : Comparaison de l'offre de BIBE-P totale (bois ronds et PCS) et MB avec la demande de BIBE pour les trois scénarios



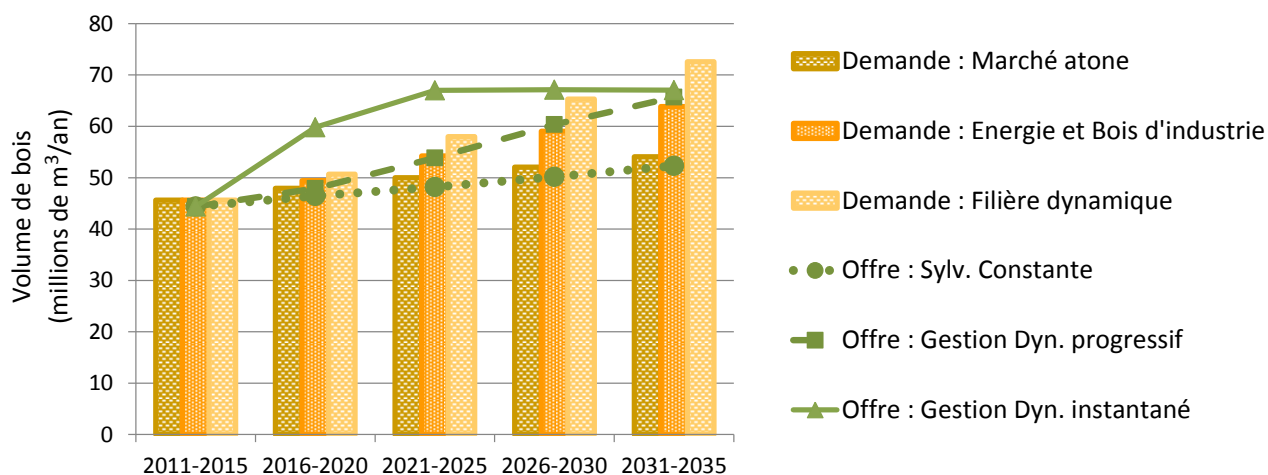
Le bilan matière est négatif si on ne prend en compte que le BIBE *stricto sensu* pour les deux principaux scénarios de gestion forestière « sylviculture constante » et « gestion dynamique progressive ». Le scénario de gestion dynamique progressif permet de satisfaire la demande, mais seulement au cours de la période 2031-2035.

Le scénario de gestion dynamique instantané permet de satisfaire la demande du scénario filière atone sur toute la période étudiée et celle du scénario énergie et bois d'industrie jusqu'à la période 2021-2025.

Comparaison de l'offre de bois rond, de MB, de PCS et de BO-P actuellement non utilisé comme BO avec la demande de BIBE

La figure suivante compare l'offre cumulée de bois rond, de MB, de PCS et de BO-P actuellement non utilisé comme BO avec les trois scénarios de demande en BIBE.

Figure 46 : Comparaison de l'offre cumulée du bois rond en y intégrant la part du BO potentiel des feuillus non valorisé en BO et des PCS avec les trois scénarios de demande



En intégrant le BO-P actuellement non utilisé comme tel, on améliore suffisamment le bilan matière pour que :

- L'offre du scénario de sylviculture constante satisfasse presque la demande d'une filière atone sur toute la période étudiée ;
- L'offre du scénario de gestion dynamique progressive couvre également la demande du scénario énergie et bois d'industrie à partir de 2025 ; pendant les périodes précédentes, il faudrait accélérer légèrement la dynamisation de l'offre pour qu'elle atteigne le niveau de la demande
- L'offre du scénario de gestion dynamique instantané permet de satisfaire la demande d'une filière dynamique jusqu'en 2026-2030.

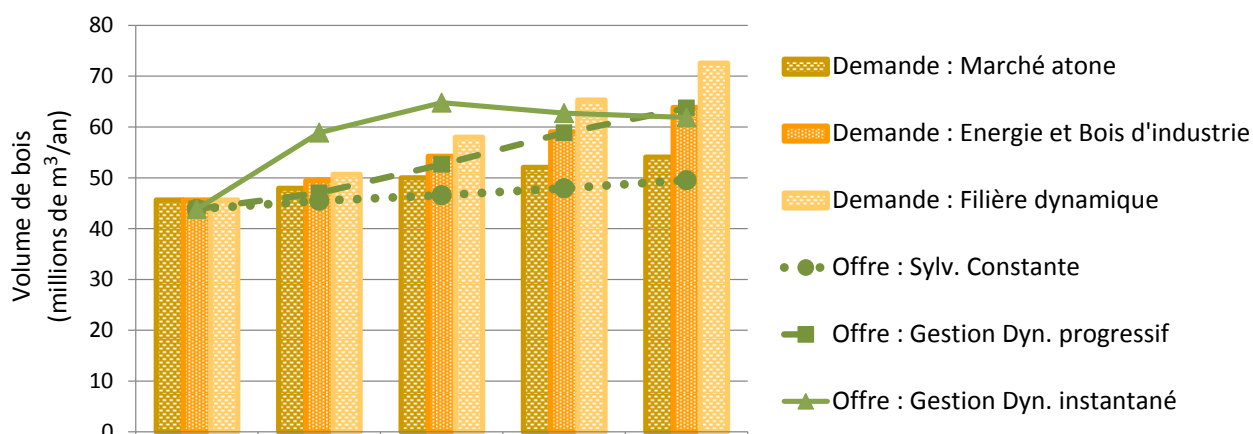
L'équilibre observé sur la période initiale reflète bien le fait que l'usage de BO-P (essentiellement feuillu) pour de la trituration ou de l'énergie permet actuellement de satisfaire une demande importante de BIBE.

On voit que la poursuite de cette pratique serait nécessaire pour qu'un équilibre offre/demande soit trouvé entre un scénario d'offre et un scénario de demande, toutes autres choses égales par ailleurs.

L'augmentation de l'usage de BO feuillu prévu dans le scénario filière dynamique n'est pas déterminante pour rompre à lui seul cet équilibre en diminuant un peu l'offre de BIBE.

En revanche, si on envisageait la substitution de la demande en BO résineux non satisfaite par la forêt française par une demande en BO feuillu, les quantités en jeu seraient suffisamment importantes (jusqu'à 5.1 Mm³/an en 2035 avec le scénario à sylviculture constante) pour réduire significativement la disponibilité en BIBE, comme la montre la figure suivante.

Figure 47 : Comparaison de l'offre cumulée de bois rond (en y intégrant la part du BO potentiel des feuillus non valorisé en BO et en faisant l'hypothèse que la demande de BO résineux non satisfaite est remplacée par une demande en BO feuillu) et des PCS avec les trois scénarios de demande



De fait, l'offre diminue de 1,9 à 5,2 Mm³/an selon les scénarios, ce qui dégrade le bilan matière pour le BIBE, malgré la prise en compte des PCS générés par la transformation en France des bois ronds.

4. Conclusions sur les bilans matière

Le bilan matière apparaît contrasté selon les produits. Il est :

- excédentaire pour le BO-P feuillu ;
- déficitaire pour le BO-P résineux ;
- à peu près équilibré pour le BIBE, mais sous certaines conditions.

Du point de vue de la comparaison des scénarios entre eux :

- L'offre de tous les scénarios est supérieure à la demande de tous les scénarios pour le BO feuillu ;
- L'offre de tous les scénarios est inférieure à la demande de tous les scénarios pour le BO résineux ;
- L'offre en BIBE du scénario sylviculture constante arrive presque à satisfaire la demande d'un marché atone et l'offre d'une gestion dynamique progressive permet de satisfaire la demande du scénario bois énergie et bois d'industrie, mais pas celle du scénario filière dynamique.

En conclusion, si on tient compte de la production potentielle des PCS, des usages réels du bois à l'heure actuelle (valorisation en BIBE d'une part de l'offre potentielle de BO de faible qualité) et des gisements annexes, l'offre forestière pourrait permettre de satisfaire les deux scénarios de demande « filière atone » et « énergie et bois d'industrie ». La demande du scénario « filière dynamique » qui prévoit une forte progression de la demande en BO et en BIBE ne pourrait pas être totalement satisfaite, sans recourir à des importations massives de bois, mais en valorisant le plus possible le bois en France pour garder la disponibilité et l'usage des PCS sur le territoire national.

La réalisation de l'équilibre offre / demande réclame cependant plusieurs conditions qu'on ne peut considérer comme aisées à réaliser :

- Une dynamisation importante de la sylviculture et de la mobilisation des bois. La progressivité de la mise en œuvre prévue dans le scénario permet de l'envisager de façon réaliste mais la mobilisation des bois dans les forêts privées sans PSG restera difficile ;
- Une dynamisation de la filière bois d'œuvre feuillue pour rendre possible techniquement et économiquement la substitution par des feuillus de certains usages BO actuellement réalisés avec des résineux. Ce serait nécessaire pour limiter l'importation de sciages résineux. Cette hypothèse n'avait pas été faite au moment de l'élaboration des scénarios pour le BO feuillu, ce qui montre sa faible probabilité à court terme ;

- Une dynamisation de la filière bois dans son ensemble, pour favoriser au moins la première transformation du bois sur le territoire national et y conserver l'usage des PCS pour la trituration et l'énergie. Cela pourrait passer par une augmentation du rendement du sciage en utilisant des techniques d'aboutage pour l'utilisation de diamètres plus petits.

Par ailleurs certaines sources de bois n'ont pas été estimées dans cette étude et ne sont pas ou mal valorisées actuellement. Leur mobilisation permettrait d'améliorer ou de faciliter l'atteinte de l'équilibre entre l'offre et la demande :

- L'amélioration ou la modification des techniques de récolte pourrait permettre de récolter plus de MB, actuellement laissés sur coupes quand on récolte des billons de bois d'industrie. La récolte des rémanents d'exploitation est ainsi réalisée dans les pays scandinaves ; néanmoins, il faut garder à l'esprit que l'exploitation des rémanents ne peut être réalisée partout, sans risquer d'appauvrir les sols et de dégrader la durabilité de la sylviculture ;
- Il n'a pas été envisagé ici l'augmentation de la récolte des gros et très gros bois de plus de 50 cm de diamètre, actuellement peu prisés par l'industrie et en particulier celle du sciage résineux. Leur transformation par des outils plus adaptés mais qui restent à créer ou optimiser, pourrait rendre possible et rentable leur mobilisation.

Néanmoins et malgré sa richesse, la forêt française est confrontée au manque de disponibilité en bois résineux par rapport à la demande industrielle. Une solution serait de modifier progressivement la ressource par un grand programme de reboisement, comme cela a été fait avec les plantations FFN dans les années 60-80. Une autre solution est d'adapter l'outil industriel à une ressource feuillue abondante et en augmentation constante. A brève échéance, si une reprise même relativement faible de la demande en bois se manifestait, cela se traduirait immédiatement par une reprise immédiate des importations que la crise avait diminuées ces dernières années.

La demande en bois prise en compte dans l'étude (et notamment en bois énergie) ne concerne pas les ressources hors forêt, qui représentent au total plus de 10 Mm³/an :

- Bois bûche des haies et des jardins pour les particuliers ;
- Plaquette bocagères ou issues de l'élagage et de l'exploitation des arbres urbains ;
- Souches forestières ;
- Déchets bois.

La forêt française est bien évidemment limitée en surface et en disponibilités en bois. Dans le cadre des hypothèses formulées pour la définition des différents scénarios d'offre et de demande, le scénario de demande « filière dynamique » permet d'appréhender le niveau au-delà duquel la forêt nationale ne pourra approvisionner la filière bois nationale, et en particulier la filière énergie.

E. PISTES POUR DES AMELIORATIONS FUTURES

La mobilisation de données et d'approches nouvelles et parfois inédites comme les données sur les prélèvements en forêt, la carte des PSG ou la comparaison offre/demande à l'horizon 2035, a permis d'enrichir fondamentalement la pertinence des résultats proposés. En ce sens l'étude permet une grande avancée par rapport aux études précédentes.

Ces évolutions soulèvent des questions et ouvrent des perspectives de travaux complémentaires de recherche, de développement, d'ingénierie et de production pour accroître, valoriser et enrichir les connaissances, les méthodes et les sources d'informations, avec l'objectif d'améliorer encore davantage la précision et le réalisme des résultats.

Intégrer les effets du changement climatique sur l'évolution de la forêt française au-delà de 2035 :

- Améliorer les modèles de croissance et de mortalité utilisés en projection afin de :
 - Evaluer les effets du changement climatique sur la production forestière à long terme ;
 - Evaluer les conséquences à long terme des scénarios de gestion sur les disponibilités en bois et le puits de CO₂.
- Intégrer les effets des crises sanitaires et des aléas climatiques d'ampleur significatives (tempêtes, sécheresses) dans les résultats des projections, en développant des indicateurs de risque.

Acquérir des informations pour évaluer plus précisément la ressource et ses conditions d'exploitabilité :

- Consolider les données déjà existantes :
 - L'étude a pu bénéficier de données inédites : observation directe des prélèvements de bois en forêt par l'IGN permettant de mieux caractériser la récolte actuelle, cartes des zonages réglementaires et de gestion ayant une influence sur la mobilisation des bois, carte des forêts privées dotées d'un plan de gestion du CNPF. La plupart de ces données méritent des consolidations pour accroître leur précision spatiale (par exemple la carte des PSG) ou statistique (mesures des prélèvements).
- Acquérir des informations métier nouvelles, en collaboration avec les acteurs de la filière :
 - Développer des bases de données géographiques sur la desserte et les contraintes associées, qui soient cohérentes au niveau national ;
 - Identifier les peuplements concernés par des enjeux de gestion spécifique, comme les forêts assurant des fonctions récréatives et paysagères ou les peuplements sans avenir économique. Ces peuplements pourraient être évalués à partir des données IGN sur la base de spécifications définies par les professionnels
 - Affiner la caractérisation des forêts privées (morcellement) et développer les connaissances sur les facteurs agissant sur les comportements des propriétaires afin de scénariser les variations de mode de gestion ;
 - Améliorer la relation entre les critères d'exploitabilité physique relevés par l'IGN et les systèmes d'exploitation ; Améliorer la caractérisation des produits disponibles et les usages possibles.
- Accroître la précision régionale des résultats d'inventaire IGN pour atteindre l'échelle des bassins d'approvisionnement :
 - Développer des méthodes statistiques d'analyse des données IFN déjà disponibles à l'échelle nationale, en réponse aux demandes particulières des régions ;
 - Développer des méthodes d'inventaire multi-source en France, en enrichissant l'inventaire de l'IGN avec des données auxiliaires (dont images aériennes, satellites, Lidar, etc.).

Affiner l'analyse de la comparaison offre / demande :

- Améliorer la relation entre la demande en produits bois ou dérivés du consommateur final et la demande en bois rond pour mieux définir les scénarios de demande en bois rond ; en particulier mieux évaluer la demande liée au secteur de la construction et de l'emballage ;
- Modéliser l'interaction offre demande pour simuler la capitalisation du bois sur pied quand la récolte est inférieure à la disponibilité et inversement.

F. CONCLUSIONS

Le calcul des disponibilités technico-économiques et supplémentaires à l'horizon 2035 a mobilisé des données nouvelles, dont la mesure directe de la récolte en forêt, la carte des forêts privées avec un PSG et les cartes de différents zonages environnementaux ou patrimoniaux.

Deux scénarios de gestion forestière ont été définis : un scénario de sylviculture constante prolongeant les pratiques actuelles, et un scénario où la gestion est dynamisée de manière ambitieuse pour permettre de récolter plus de bois, mais selon une mise en œuvre progressive dans l'espace et dans le temps pour demeurer réaliste.

Les résultats confirment que les capacités de la forêt française permettent une augmentation importante de la récolte, de l'ordre de 20 Mm³/an hors MB à l'horizon 2035, tout en restant dans le cadre d'une gestion durable et réaliste. Cette disponibilité supplémentaire est majoritairement feuillue et localisée dans les propriétés privées sans plan simple de gestion.

Une augmentation de la récolte pourrait satisfaire une augmentation de la demande de BO feuillus et surtout de BIBE pour l'industrie et l'énergie. La disponibilité en BO-P résineux resterait cependant au-dessous de la demande envisagée, quel que soit le scénario. Les scénarios esquissent aussi les limites biologiques du système de production forestière ; la biomasse forestière ne peut constituer l'unique réponse à une forte augmentation de la demande, en énergies renouvelables en particulier.

Certaines ressources de bois n'ont cependant pas été abordées dans cette étude, ou pourraient être mieux valorisées qu'actuellement.

Parmi les ressources forestières les principales perspectives concernent :

- L'amélioration ou la modification des techniques de récolte. Elles seraient nécessaires pour permettre de récolter davantage de MB, actuellement laissés sur coupe quand les billons de bois d'industrie sont récoltés. La récolte des rémanents d'exploitation est ainsi réalisée dans les pays scandinaves. L'exploitation des rémanents devra néanmoins toujours se limiter aux conditions de fertilité des sols (cf. résultats du projet RESOBIO).
- Une augmentation de la récolte des gros bois résineux, en tenant compte des zones de protection et en veillant à préserver les arbres d'intérêt remarquable pour la biodiversité. Leur transformation par des outils adaptés pourrait rendre leur mobilisation possible et rentable, or les volumes concernés sont importants et en augmentation continue. En outre, les enjeux de renouvellement de ces peuplements sont forts, notamment dans le contexte de changement climatique et pour limiter les volumes exposés en cas de tempête.

En outre, si la forêt est la source principale de biomasse ligneuse, les sources non forestières représentent des quantités non négligeables dont la valorisation optimale reste à réaliser : bûches et plaquettes issues des haies et des arbres urbains, ou encore déchets bois.

L'étude montre par ailleurs que l'équilibre entre l'offre et la demande des scénarios les plus ambitieux ne pourrait être atteint que sous plusieurs conditions fortes, parmi lesquelles :

- Une dynamisation de la filière bois d'œuvre feuillu pour rendre possible techniquement et économiquement la reconquête de marchés perdus. Il s'agit de permettre la substitution par des feuillus de certains usages BO actuellement réalisés avec des résineux. Cette évolution suppose une meilleure adéquation des outils industriels, et du dispositif réglementaire et normatif, à la ressource française constituée majoritairement d'essences feuillues ;
- Une dynamisation de la filière bois dans son ensemble, pour développer la première transformation du bois sur le territoire national et y conserver l'usage des PCS pour la trituration et l'énergie. Cela pourrait passer notamment par une augmentation du rendement du sciage en développant des techniques d'aboutage pour l'utilisation de diamètres plus petits ou de bois de moindre qualité ;

- Une dynamisation importante de la sylviculture et de la mobilisation des bois. Le scénario de gestion forestière propose une évolution progressive et réaliste des disponibilités en bois. Le potentiel important des forêts privées devra être mobilisé de manière prépondérante, ce qui appelle à la mise en œuvre de dispositifs incitatifs adaptés à cette cible ;
- Une valorisation temporaire en bois d'industrie ou énergie d'une partie du BO-P ayant les moins bonnes qualités, et qui n'est pas absorbé actuellement par le marché du bois d'œuvre ;
- Une hausse progressive de la proportion des résineux dans la ressource française. La transformation de peuplements feuillus de faible valeur économique et environnementale (ex : accrues d'essences communes et/ou non adaptées aux stations) en plantations résineuses à plus forte croissance pourrait augmenter la récolte de BO résineux dans les 30 à 60 années à venir. Il faudrait que l'effort de reboisement soit très important (équivalent à 2 à 5 fois les plantations de Douglas réalisées avec l'aide du FFN) pour espérer combler le déficit identifié en 2035 selon les scénarios.

Ces différentes conditions nécessitent la mise en place de politiques ambitieuses de soutien de la filière, pour limiter les importations :

- Créer de bonnes conditions de mobilisation du bois afin de baisser les coûts rendus usine et d'améliorer l'attractivité de la récolte pour les ETF et pour les propriétaires (animation auprès des propriétaires, regroupements fonciers et/ou de la gestion, fiscalité forestière, amélioration de la desserte et des conditions de transport, soutien à la mécanisation de l'exploitation forestière feuillue, etc.) ;
- Augmenter la demande en bois : incitation à l'utilisation du bois notamment dans la construction et l'emballage pour augmenter ses parts de marché par rapport à d'autres matériaux, sensibiliser la société en général à l'intérêt de la récolte et de l'utilisation du bois, conduire des actions de type marketing auprès des prescripteurs (architectes, constructeurs, industriels) des utilisateurs finaux ;
- Développer des techniques permettant l'utilisation de bois massif feuillu ou résineux dans de multiples secteurs et encourager la recherche des solutions techniques innovantes et compétitives pour utiliser du bois matériaux dans de nouveaux secteurs.

L'étude appelle également un certain nombre de travaux complémentaires. Il s'agit notamment de mieux analyser l'évolution de la demande en prenant mieux en compte les marchés, et d'estimer les impacts économiques et sociaux (coûts, investissements, emplois, etc.) que génèrerait cette transition à l'horizon 2035 mais aussi au-delà et ainsi tenir compte du temps long forestier. Ainsi, des études et projets de recherche complémentaires seraient à réaliser dans le domaine des sciences économiques et sociales.

Dans la même perspective post 2035, des travaux complémentaires permettraient de mieux rendre compte des impacts des changements globaux dans les modèles de ressource forestière, et ainsi de pouvoir réaliser des projections robustes sur le long terme et évaluer les conséquences des orientations prises aujourd'hui en matière de gestion forestière.

Il est également essentiel de développer la production et la diffusion d'informations de qualité nécessaires aux décideurs des échelons nationaux et régionaux, concernant notamment la ressource, ses conditions d'exploitabilité, et l'environnement économique. Cela passe par la poursuite et l'enrichissement des acquisitions et des partages de données entre les différents maillons des filières, et leur capitalisation notamment au sein de systèmes d'informations partagés.

BIBLIOGRAPHIE

ADEME 2012. Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030 – 2050 – Synthèse.

CEREN 2008. Bilan national du bois de chauffage en 2006. 118 p.

Colin A., Thivolle-Cazat A., Coulon F., Barnérias C., Couturier C. 2009 Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020. Rapport final de convention. Contrat IFN / ADEME n°0601C0134, avec FCBA et SOLAGRO, 105 p. <http://www.dispo-boisenergie.fr>.

Colin A. 2014. Analyse de la ressource forestière et populicole en Picardie et des disponibilités en bois à l'horizon 2030. Rapport final de la convention CRPF Nord-Picardie BH/CC n°818 et IGN DIRNE/NORD/12/0487 du 8 juillet 2013. Septembre 2014. 192 p.

Colin A. 2014 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 CO₂ 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). 58 p.

Cacot E. et al. 2006. La récolte raisonnée des rémanents en forêt. ADEME éditions. 20 p.

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

Gégout J.-C. et al. 2002. Comportement écologique des espèces forestières vis-à-vis du climat et du sol en France. Application à l'évaluation des charges critiques d'acidité et d'azote. ENGREF, LERFoB. Rapport final de la convention de recherche ADEME/ENGREF n°9962003, Nancy.

Ginisty C., Chevalier H., Vallet P., Colin A. 2009. Évaluation des volumes de bois mobilisables à partir des données de l'IFN « nouvelle méthode » - Actualisation 2009 de l'étude « biomasse disponible » de 2007 - Rapport final de convention Cemagref / IFN / DGFAR n° E 10/08 du 19 juin 2008. 60 p.

Ginisty C., Vallet P., Chevalier H., Colin A. 2011. Disponibilité en biomasse ligneuse en forêt, dans les peupleraies et dans les haies pour les différents usages du bois. Evaluation à l'échelle métropolitaine à partir des données de l'Inventaire forestier national et des statistiques de consommation de bois. Revue Forestière Française LXIII, 12 p.

Hervé J.-C., Wurpillot S., Vidal C., Roman-Amat B. 2014. L'inventaire des ressources forestières en France : un nouveau regard sur des nouvelles forêts. Rev. For. Fr. LXVI - 3-2014 - © AgroParisTech, 2014. pp. 247-260

IFN 2011a. Volume de bois sur pied dans les forêts françaises : 650 millions de mètres cubes supplémentaires en un quart de siècle. L'IF n°27 - 2ième trimestre 2011. Editeur IFN. 11 p.

IFN 2011b. Prélèvements de bois en forêt et production biologique : des estimations directes et compatibles. L'IF n°28 - 3ième et 4ième trimestres 2011. Editeur IFN. 16 p.

Loustau D. éditeur 2004. Séquestration de Carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. Rapport Final Projet GICC 2001 "Gestion des impacts du changement climatique" et Convention Gip ECOFOR n°3/2001. INRA, Bordeaux - Pierroton, France. 137 p.

Loustau D. editor 2010. Forests, carbon cycle and climate change. Ouvrage collectif issu du projet CARBOFOR, Editions 615 QUAE, Versailles, collection Update Sciences and Technologies. ISBN: 9782759203840. 348 p.

Peyron J-L., Hervé J-C. 2013. Comment évaluer le niveau d'exploitation des ressources forestières françaises ? Revue Forestière Française LXIV – 5-2012 – pp. 599-611.

Pischedda D. Coord. 2009. Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL ». Guide pratique. FCBA et ONF. Ouvrage édité par l'Office national des forêts. 113 p.

Thivolle-Cazat A., Le Net E. 2014. La mobilisation de la ressource forestière aujourd'hui et demain. Rev. For. Fr. LXVI – 4 – 2014.

Thivolle-Cazat A., COLIN A., LAMBERT P. 2012. Etude de la ressource et de la disponibilité forestière en Lorraine à l'horizon 2025. Convention FCBA-DRAAF n°ETU-2011-10 ; convention IGN-DRAAF n°ETU-2011-11. Rapport final.

Thivolle-Cazat A., Colin A., Méredieu C., Drouineau S., Cavaignac S., Bailly A., Labbé T., Lambert P. 2013. Disponibilité en bois en Aquitaine.

Vallet P. et al. 2006. Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. Forest Ecology and Management vol. 229, no1-3, pp. 98-110.

Wernsdörfer H., Colin A., Bontemps J.-D., Chevalier H., Pignard G., Cauria 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 69:829-844.