

# Projections des stocks et flux de carbone du secteur forêt-bois français dans un contexte de changement climatique

Par Claire BASTICK, Antoine COLIN et Henri CUNY  
Institut national de l'information géographique et forestière (IGN)

Et Marin CHAUMET, Gérard DEROUBAIX, Mouchira LAHIANI,  
Lucile SAVAGNER et Estelle VIAL  
Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement (FCBA)

Afin d'atteindre la neutralité carbone en 2050, la France s'est fixé des objectifs ambitieux en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre. La forêt et le bois sont des éléments clés dans la Stratégie Nationale Bas-Carbone du fait de leur capacité à séquestrer du carbone et à éviter, grâce à l'emploi du bois, des émissions de carbone fossile. Pour accompagner ces stratégies, les pouvoirs publics et les acteurs économiques s'appuient sur des informations et expertises documentées.

Cet article résume les principales conclusions de l'étude IGN-FCBA de mai 2024 sur le potentiel d'atténuation du changement climatique du secteur forêt-bois hexagonal [1].

Divers scénarios d'évolution conjointe de la ressource forestière et du bilan carbone de la filière ont été simulés aux horizons 2050 et 2080, en tenant compte d'un gradient de niveaux de récolte, d'effets du changement climatique et de stratégies de renouvellement.

Ces projections dont les hypothèses ont été validées avec des experts spécialisés, mobilisent les outils et les connaissances scientifiques et techniques les plus à jour.

## Une gamme variée de scénarios d'évolution de la forêt et de la filière

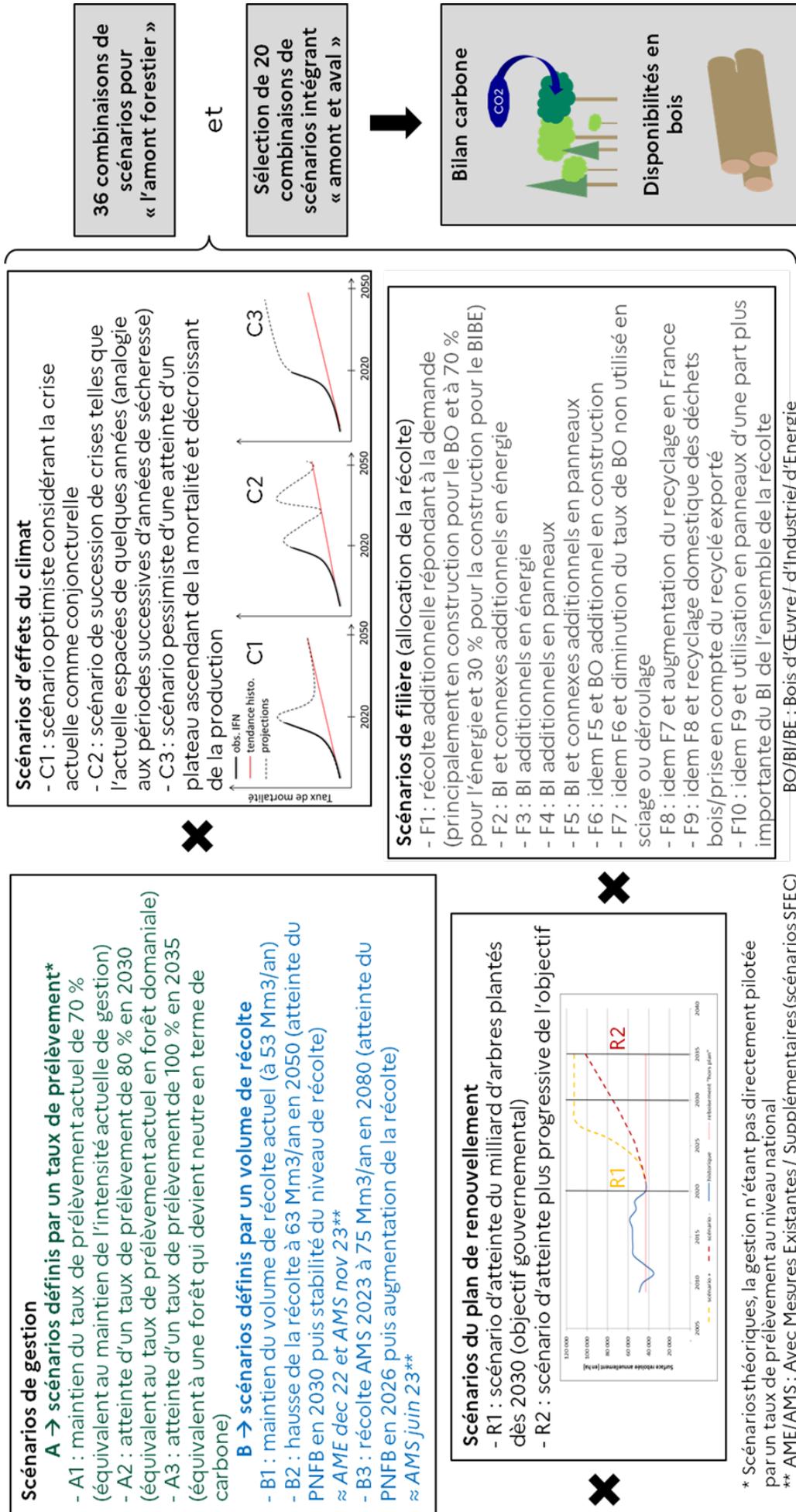
Suivant une approche prospective, une large gamme de trajectoires a été simulée, illustrant l'ampleur des possibles mais aussi celle des incertitudes. Ces trajectoires sont issues du croisement de divers scénarios d'effets du climat, de mise en œuvre du plan de renouvellement gouvernemental, de gestion forestière et d'usages des bois dans la filière (cf. Figure 1).

Trois scénarios d'effets du climat représentent un gradient de sévérité des impacts des sécheresses, hors autres événements extrêmes (tempêtes, méga-feux...). Ils ont été construits à partir des tendances récentes d'évolution de la croissance et de la mortalité observées dans les données IFN [2]. Les limites des connaissances scientifiques actuelles ne permettent pas de relier directement et quantitativement les évolutions de température et de précipitations des trajectoires climatiques du GIEC [3] à des changements dans les dynamiques naturelles des peuplements. La tempora-

rité des crises simulées dans ces scénarios a été fixée arbitrairement.

Deux scénarios reprennent l'objectif du milliard d'arbres du plan de renouvellement gouvernemental [4], avec une graduation dans la réussite et la rapidité de mise en œuvre. Dans tous les cas, ces scénarios ne concernent que les surfaces aidées par le plan de renouvellement, soit essentiellement des peuplements identifiés comme déperissants ou vulnérables. Les renouvellements effectués dans le cadre de la gestion forestière courante sont intégrés dans les scénarios de gestion.

Six scénarios de gestion simulent l'offre de bois disponible à l'horizon 2050. Les niveaux de prélèvement sont définis à l'échelle nationale soit par un taux de prélèvement de l'accroissement, soit par un volume absolu de récolte. La déclinaison varie localement selon la ressource présente et les possibilités d'évolution de la mise en gestion. Trois types de récoltes viennent alimenter les disponibilités en bois nationales : les coupes des scénarios du plan de renouvellement (majoritairement de peuplements déperissants), les coupes sanitaires subies et les coupes de gestion courante.



**Scénarios de filière (allocation de la récolte)**

- F1 : récolte additionnelle répondant à la demande (principalement en construction pour le BO et à 70 % pour l'énergie et 30 % pour la construction pour le BIBE)
- F2 : BI et connexes additionnels en énergie
- F3 : BI additionnels en énergie
- F4 : BI additionnels en panneaux
- F5 : BI et connexes additionnels en panneaux
- F6 : idem F5 et BO additionnel en construction
- F7 : idem F6 et diminution du taux de BO non utilisé en sciage ou déroulage
- F8 : idem F7 et augmentation du recyclage en France
- F9 : idem F8 et recyclage domestique des déchets bois/prise en compte du recyclé exporté
- F10 : idem F9 et utilisation en panneaux d'une part plus importante du BI de l'ensemble de la récolte

BO/BI/BE : Bois d'Œuvre / d'Industrie/ d'Énergie

Figure 1 : Schéma des différents scénarios et combinaisons de scénarios de l'étude (Source : étude IGN-FCBA de mai 2024).

Les scénarios d'effet du climat, de renouvellement et de gestion ont été implémentés dans le modèle de projection de la ressource forestière MARGOT [5] afin de simuler l'évolution des stocks et des flux de bois. Puis les résultats ont été convertis en tonnes de carbone.

Enfin, dix scénarios de filière allouent les volumes de récolte entre différents types de produits, en favorisant plus ou moins certains usages et le recyclage par rapport aux usages observés actuellement. L'allocation est basée sur l'évolution projetée des besoins futurs en différents produits bois, issue du scénario de demande calculé dans l'étude.

## Les impacts du changement climatique et de l'adaptation des forêts

Les scénarios d'effets du climat ont un impact majeur sur les résultats, avec des variations, pour le scénario B1\_R1\_C3 à 2050, de l'ordre de - 25 % pour la production et + 77 % pour la mortalité par rapport à l'actuel, engendrant une décapitalisation des forêts dans les trajectoires les plus pessimistes (cf. Figure 2).

Des effets par vagues de crises sont vraisemblables au moins localement avec des risques associés d'offre de bois irrégulière en quantité et/ou en qualité. Les deux crises scénarisées par hypothèse dans le scénario C2 fournissent une illustration de ce phénomène.

De fortes incertitudes demeurent sur ces scénarios, tant sur le lien avec les évolutions climatiques, que sur la capacité d'adaptation des arbres, ou sur les différences de réponses entre essences, etc.

La mise en œuvre du plan de renouvellement entraîne une inévitable phase de décapitalisation dans un premier temps, phase qui serait susceptible dans tous les cas de survenir plus ou moins rapidement compte tenu du caractère dépérissant ou vulnérable des peuplements reboisés.

À l'horizon 2050, les peuplements renouvelés dans le plan présentent un stockage de carbone à l'hectare plus de deux fois supérieur aux autres peuplements. Compte tenu du temps long de la croissance forestière, les effets du plan de renouvellement, notamment sur l'augmentation de la qualité des bois produits, ne sont visibles qu'à long terme, au-delà de 2050 (cf. Figure 3). Les conséquences positives sur le stockage de carbone et la production de bois sont conditionnées au bon ciblage des peuplements à renouveler ainsi qu'à la bonne réussite des plantations. Cette réussite dépend du choix d'essences et de sylvicultures adaptées, de l'atteinte de l'équilibre sylvo-cynégétique, de la préparation des terrains et de la réalisation des entretiens des plantations, etc.

## L'évolution de l'offre et de la demande en bois

Les scénarios de gestion A, plus théoriques, font peser sur le secteur aval les effets du climat puisque le niveau de récolte est directement lié à la production biologique. Dans les scénarios de la famille B, le stockage de carbone en forêt devient une conséquence du niveau de récolte. Ces scénarios testent des orientations de gestion volontairement contrastées selon une approche prospective. Compte tenu de l'aggravation des effets du climat, le A1 entraîne une baisse des disponibilités et favorise le stockage en forêt, tandis que le B1 main-

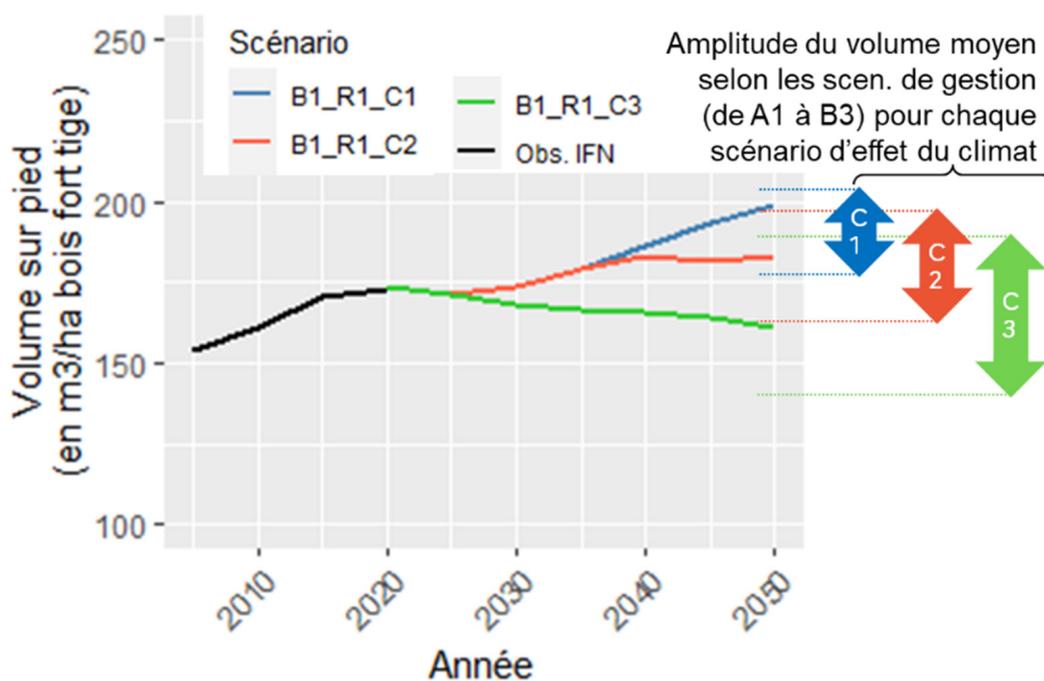


Figure 2 : Évolution du volume sur pied selon les scénarios d'effets du climat (Source : étude IGN-FCBA de mai 2024).

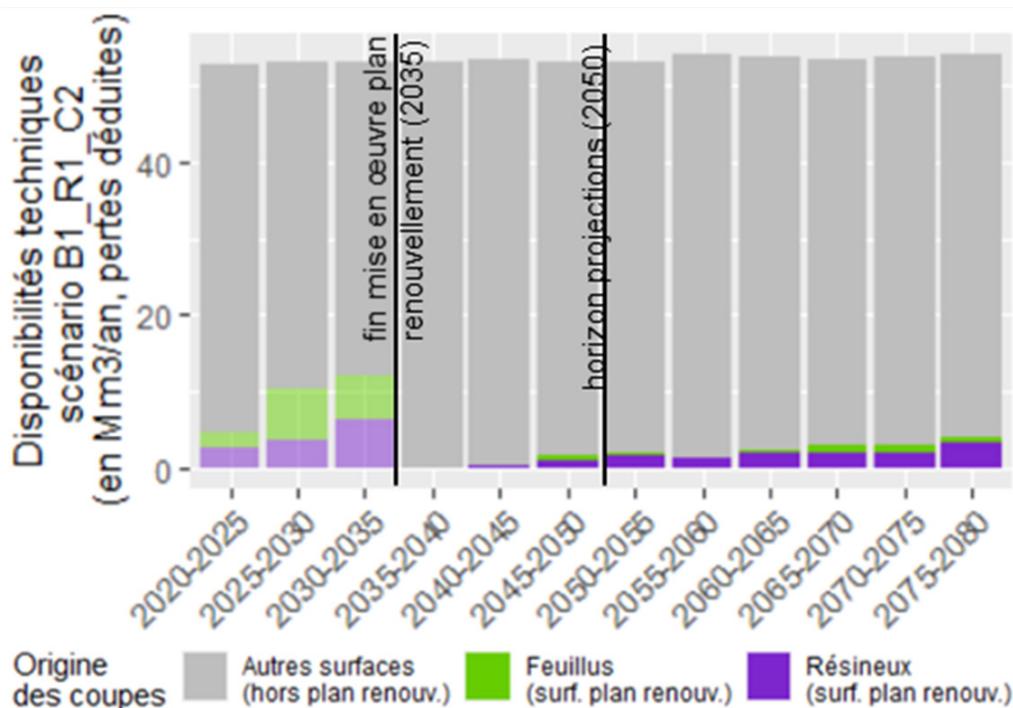


Figure 3 : Évolution des disponibilités issues des surfaces aidées dans le plan de renouvellement (Source : étude IGN-FCBA de mai 2024).

tient globalement le niveau de récolte actuel mais se traduit par le passage à une sylviculture de crise dans certains peuplements. L'augmentation de la récolte fixée dans le B2 implique une baisse du stock de bois en forêt (cf. Tableau 1).

L'activation de leviers de différentes natures est indispensable pour réussir à augmenter la récolte. Le scénario B2 nécessite par exemple le passage d'environ 20 % de la surface forestière d'une catégorie de gestion « faible » à une gestion plus « forte », supposant des évolutions majeures de l'accessibilité ou la levée de

freins sociaux-économiques. Par ailleurs, les marges de manœuvre pour une dynamisation de la gestion concerneraient principalement certaines forêts, plutôt privées et feuillues. Par ailleurs, d'autres enjeux comme la protection de la biodiversité doivent aussi être pris en compte.

L'enjeu de valorisation des produits accidentels pour maximiser le bilan carbone est majeur dans tous les scénarios. L'estimation de la part mobilisable reste très incertaine, mais elle pourrait atteindre jusqu'à 12 % de la récolte dans certaines combinaisons de scénarios

Tableau 1 : Résultats de différents scénarios de gestion en 2050 (Source : étude IGN-FCBA de mai 2024).

	Actuel (période IFN 2013-2022)	Scénario A1_R1_C2 (en 2050)	Scénario B1_R1_C2 (en 2050)	Scénario B2_R1_C2 (en 2050)
Disponibilités techniques (Mm³/an pertes déduites)	52,3	42,0	53,1	64,3
Taux de prélèvement (% de l'accroissement net)	69 %	70 %	89 %	107 %
Volume moyen sur pied (m³/ha bois fort tige)	173	198	183	169
Part de feuillus dans la récolte (% des disponibilités techniques)	49 %	55 %	55 %	58 %
Part des coupes sanitaires (% des disponibilités techniques)	Non estimé	6 %	6 %	7 %

et de périodes. Cette récolte « subie » nécessite une adaptation forte à la fois de l'amont et de l'aval.

En tenant compte des orientations stratégiques de la France, l'évolution de la demande projetée est à la hausse dans la plupart des secteurs de la filière, atteignant un total de + 14 % entre 2019 et 2050 (cf. Tableau 2). Seule l'augmentation de la récolte des scénarios B2 et B3 permettrait de satisfaire globalement cette hausse de la demande, avec toutefois des tensions sur le bois d'œuvre résineux. Mais pour éviter le recours massif aux importations, cette évolution de la demande requiert également une amélioration de la compétitivité et un développement des capacités productives du tissu industriel français, notamment dans le secteur de la construction, pour lequel les investissements du plan France 2030 [6] ouvrent des perspectives.

Tableau 2 : Scénario de demande projetée  
(Source : étude IGN-FCBA de mai 2024).

Secteur	Évolution projetée de la demande entre 2019 et 2050
Bâtiment	+ 33 %
Ameublement	+ 29 %
Emballage	+ 18 %
Énergie	+ 13 %
Pâte à papier	- 5 %

## Le bilan carbone de la filière forêt-bois

Dans la plupart des scénarios, la baisse amorcée il y a quelques années du stockage ou puits de carbone en forêt [7] se poursuit sur les prochaines décennies, notamment dans les cas de hausse de la récolte et d'effets sévères du climat. Mais à l'horizon 2050 jusqu'au scénario B2\_C2, les écosystèmes forestiers continuent de stocker davantage de carbone chaque année (cf. Figure 4).

L'impact des crises rend le bilan carbone amont très labile, pouvant passer de puits à source suivant les périodes. Une vision carbone sur de larges fenêtres temporelles est nécessaire face à ces variations conjoncturelles et pour intégrer le temps long des dynamiques de la forêt.

Le stockage dans le bois mort ne représente pas un réservoir de long terme, bien qu'il lisse ou retarde l'effet des crises et de l'aggravation du climat. En cas de forte surmortalité, il est d'ailleurs susceptible d'entraîner des risques (exemple : accumulation de combustible).

Si le stockage dans les sols représente actuellement environ 12 MtCO<sub>2</sub>/an, il n'est pas acquis pour l'avenir et n'a pas été intégré quantitativement en projection dans l'étude compte tenu des incertitudes sur son devenir.

La contribution de la filière aval au bilan carbone est évaluée uniquement dans les scénarios qui conduisent au maintien ou à l'augmentation de la récolte. Actuellement, les usages matériaux reposent principalement sur le bois résineux. La hausse des disponibilités peut répondre à l'évolution de la demande en bois matériau, sous réserve d'une adaptation de la filière

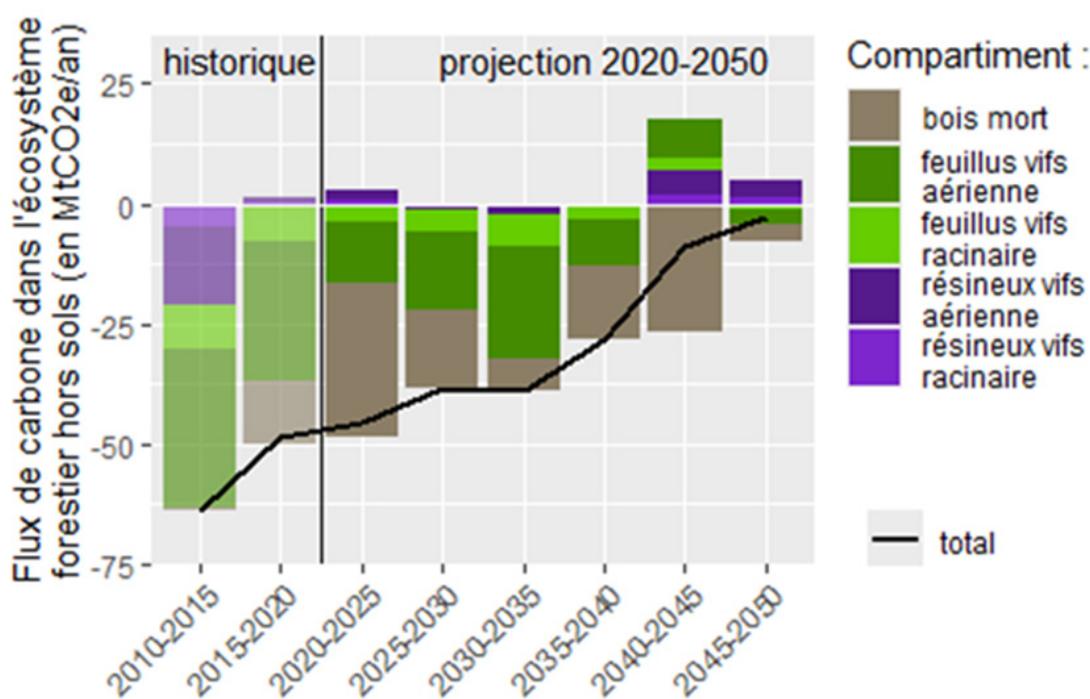


Figure 4 : Évolution du stockage carbone en forêt dans le scénario B2\_R1\_C2  
(Source : étude IGN-FCBA de mai 2024).

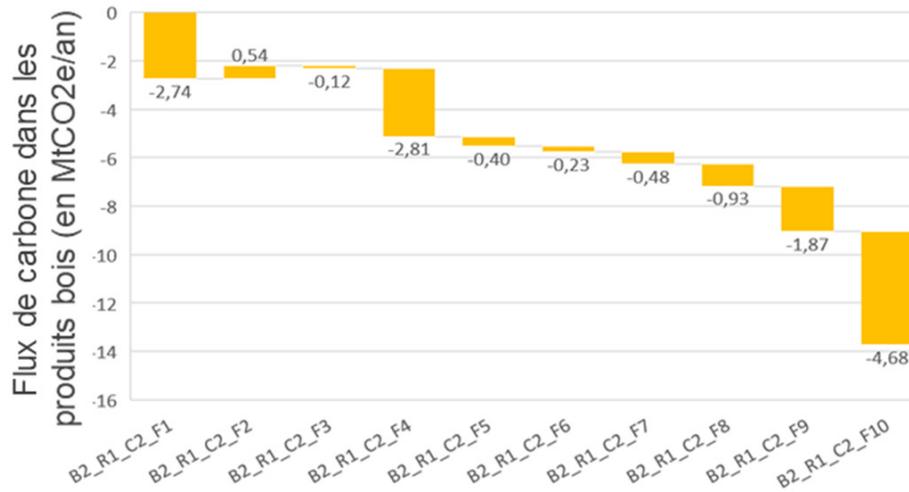


Figure 5 : Évolution du stockage carbone dans les produits bois suivant le scénario de filière (Source : étude IGN-FCBA de mai 2024).

à l'emploi des bois feuillus et des bois de crise et du maintien d'une disponibilité en résineux.

La hausse de la récolte permet une augmentation du stockage de carbone dans les produits bois et de l'effet substitution. La différence de 20 % des disponibilités entre le scénario B1 et B2 (pour la combinaison R1\_C2\_F1) entraîne en 2050 une augmentation du stockage annuel de carbone dans les produits bois de + 50 %, de la substitution matériaux de + 10 % et de la substitution énergie de + 40 %.

L'utilisation de la récolte additionnelle en matériaux plutôt qu'en énergie, la diminution du taux de bois d'œuvre non utilisé en sciages ou en déroulage et l'augmentation du recyclage sont des leviers majeurs

pour améliorer le bilan carbone aval, avec des gains possibles de plusieurs millions de tonnes de CO<sub>2</sub> entre les différents scénarios F (cf. Figure 5).

L'effet substitution est également sensible aux hypothèses retenues, notamment sur le mix énergétique que le bois remplace, et la potentielle décarbonation des autres secteurs économiques qui pourrait induire une baisse de cet effet à l'avenir [8]. Mais dans tous les cas, le comparatif avec d'autres matériaux ou énergies demeure favorable au bois.

Le jeu de balancier entre le bilan carbone amont et aval nécessite d'adopter une vision intégrée du secteur forêt-bois dans sa contribution à l'atténuation du changement climatique (cf. Figure 6).

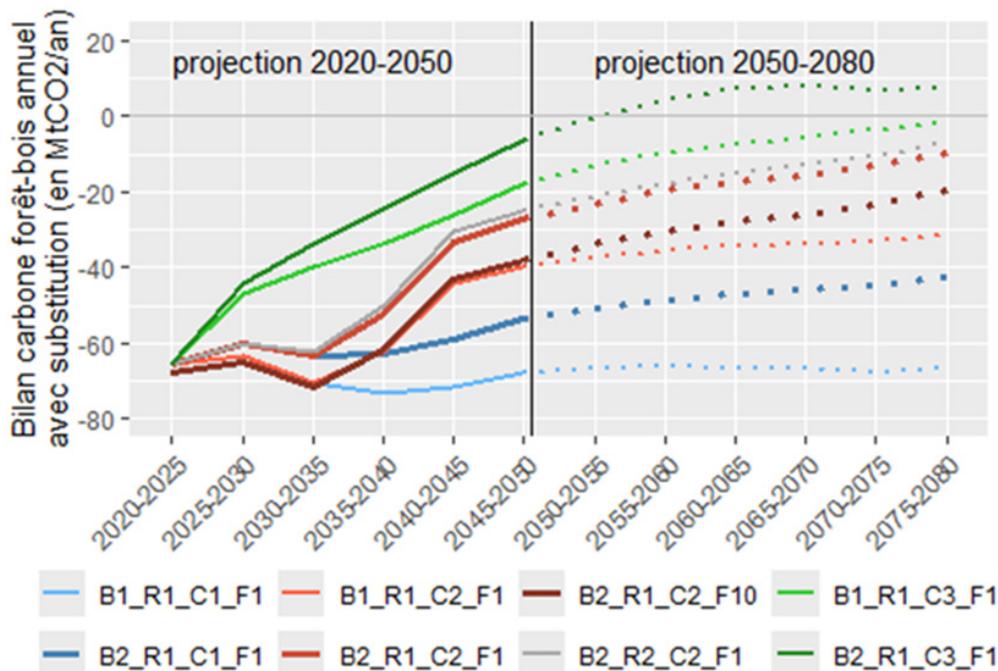


Figure 6 : Évolution des bilans annuels intégrés amont-aval par scénario (Source : étude IGN-FCBA de mai 2024).

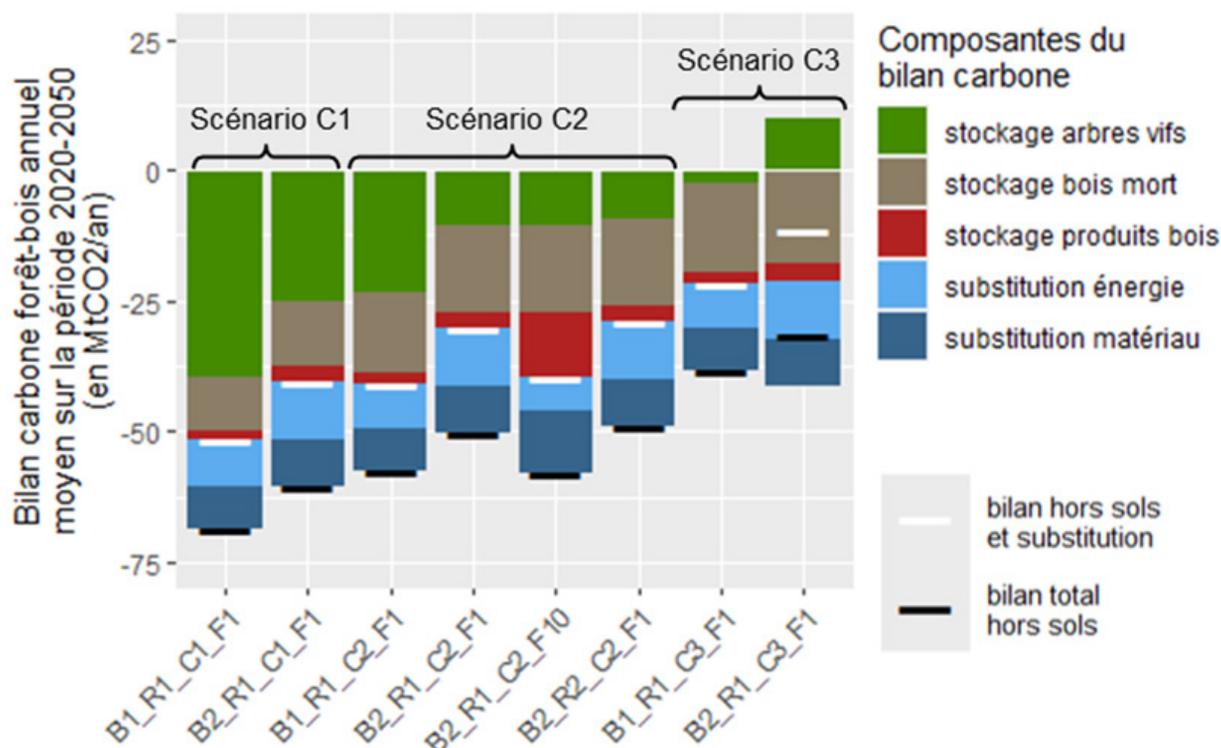


Figure 7 : Répartition par compartiment des bilans annuels moyens par scénario (Source : étude IGN-FCBA de mai 2024).

Si le scénario B1 est globalement plus favorable que le B2, les scénarios d'effets du climat sont de loin le premier facteur de sensibilité des bilans totaux en carbone. Ainsi, plus le climat se dégrade, plus la contribution de la filière devient importante. Si dans le scénario C1, la filière représente 25 à 30 % du bilan et la gestion B1 est plus favorable que la B2, dans le scénario C3, la filière pèse 50 à 80 % du bilan et la différence entre les bilans carbone des scénarios B1 et B2 est plus faible (cf. Figure 7).

Le différentiel entre les scénarios de filière, plus ou moins favorables aux usages matériaux et au recyclage est du même ordre de grandeur que l'augmentation de la récolte entre B1 et B2. L'effet du plan de renouvellement n'est quant à lui visible qu'à plus long terme.

## Conclusions et perspectives

Malgré une diminution de sa contribution dans la plupart des trajectoires projetées, le secteur forêt-bois reste un allié dans la lutte contre l'effet de serre. À surface forestière égale le puits forestier ne peut pas augmenter indéfiniment. La filière prolonge le stockage dans les produits et surtout assure l'usage d'une matière renouvelable permettant l'effet de substitution. La complémentarité entre l'amont et l'aval est primordiale dans le bilan carbone et le rôle de la filière est d'autant plus important si le climat se dégrade. L'enjeu est d'assurer un développement cohérent de la filière : d'une part en investissant dans les usages à longue durée de vie (y compris pour les feuillus et bois de crise), qui ont un effet très fort sur le bilan carbone, tout en améliorant le recyclage, la réutilisation et le réemploi ; et d'autre part en préservant une production de bois dont la quantité

comme la qualité favorise la performance de la filière. L'équilibre entre les composantes du bilan carbone requiert des choix de société et des arbitrages politiques à visée de long terme, probablement spécifiques selon les territoires, et qui pourraient amener à passer d'une logique visant une augmentation du puits à celle visant un pilotage par les stocks de carbone.

Au-delà du bilan carbone, les trajectoires simulées ont des implications plus larges, couvrant différents enjeux économiques, sociaux, environnementaux, etc. Les conséquences sur l'emploi et la vitalité des filières ou sur le stock de bois sur pied exposé au risque seraient différentes selon les scénarios. Les conditions d'une hausse de la récolte de bois reposent notamment sur une ambition forte de massification de la gestion en forêt privée. Elles nécessitent également de prendre en compte les enjeux de biodiversité tant au niveau des pratiques de gestion que des surfaces protégées. Les attentes sociétales vis-à-vis de la forêt, des coupes de bois et des modes de consommation seront des facteurs majeurs susceptibles d'influencer la trajectoire empruntée.

Si le secteur forêt-bois contribue à la lutte contre le changement climatique, il est également fragilisé par ses effets. L'adaptation devient un enjeu majeur et même la condition au stockage de carbone. L'adaptation doit concerner de façon conjointe l'amont, l'aval et la société.

La forte sensibilité du bilan carbone aux effets du climat souligne l'enjeu du développement d'une culture du risque, via la protection de la vitalité des forêts, l'adaptation sur le temps long, la réactivité tant de la gestion forestière que de la filière bois lors des crises. En forêt,

le renouvellement par des essences compatibles avec les conditions futures et l'évolution des pratiques sylvicoles visant à ajuster la récolte à l'état des peuplements ou à abaisser le risque sont des mesures d'adaptation essentielles. Les réponses doivent être diversifiées et parfois expérimentales, selon les situations rencontrées. Leur mise en œuvre doit tenir compte du temps long des dynamiques forestières et reposer sur un système de monitoring régulier et précis. L'évolution des modalités de production et des comportements de consommation constitue aussi un levier dans l'adaptation, notamment pour développer l'usage des bois de crise, des feuillus en tant que matériaux, le recyclage, etc.

Cette étude prospective embarque un certain nombre d'incertitudes, d'ampleurs variables mais souvent cumulatives. La gamme de trajectoires étudiées et les analyses de sensibilité illustrent ces limites, qui appuient la nécessité de poursuivre les travaux de recherche, de partage de connaissances entre les organismes de l'amont et de l'aval, d'expertises pluridisciplinaires, et aussi d'acquisition de données complémentaires, notamment sur les effets du changement climatique.

## Bibliographie

- [1] BASTICK C. *et al.* (2024), « Projections des disponibilités en bois et des stocks et flux de carbone du secteur forestier français », mai 2024, [En ligne], disponible sur : [www.ign.fr/projections-bois-carbone-foret-francaise-2023-2024](http://www.ign.fr/projections-bois-carbone-foret-francaise-2023-2024)
- [2] IGN (2022), « Mémento - Inventaire Forestier National - édition 2022 », [En ligne], disponible sur : [https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/memento\\_2022.pdf](https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/memento_2022.pdf)
- [3] MTECT (2023), « La trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) », [En ligne], disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/document-reference-TRACC.pdf>
- [4] MASA (2023), « Objectif forêt : rapport du comité spécialisé "gestion durable des forêts" en vue de l'élaboration du plan national de renouvellement forestier - Annexes », [En ligne], disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/rapport-objectif-foret>
- [5] AUDINOT T. (2021), « Développement d'un modèle de dynamique forestière à grande échelle pour simuler les forêts françaises dans un contexte non-stationnaire », Université de Lorraine, [En ligne], disponible sur : <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-03587619>
- [6] MTECT (2023), « France 2030 et les ambitions en matière de transition écologique », [En ligne], disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/france-2030-et-ambitions-en-matiere-transition-ecologique>
- [7] IGN (2021), « Indicateurs de gestion durable », [En ligne], disponible sur : <https://foret.ign.fr/IGD/fr/indicateurs/1.4>
- [8] FBF, COPACEL, CODIFAB & CARBONE 4 (2024), « Filière forêt-bois : Scénario de convergence du bouclage bois-biomasse à l'horizon 2050 », [En ligne], disponible sur : <https://franceboisforet.fr/2024/02/12/communique-de-presse-2030-2050-quel-scenario-carbone-pour-la-filiere-foret-bois>