



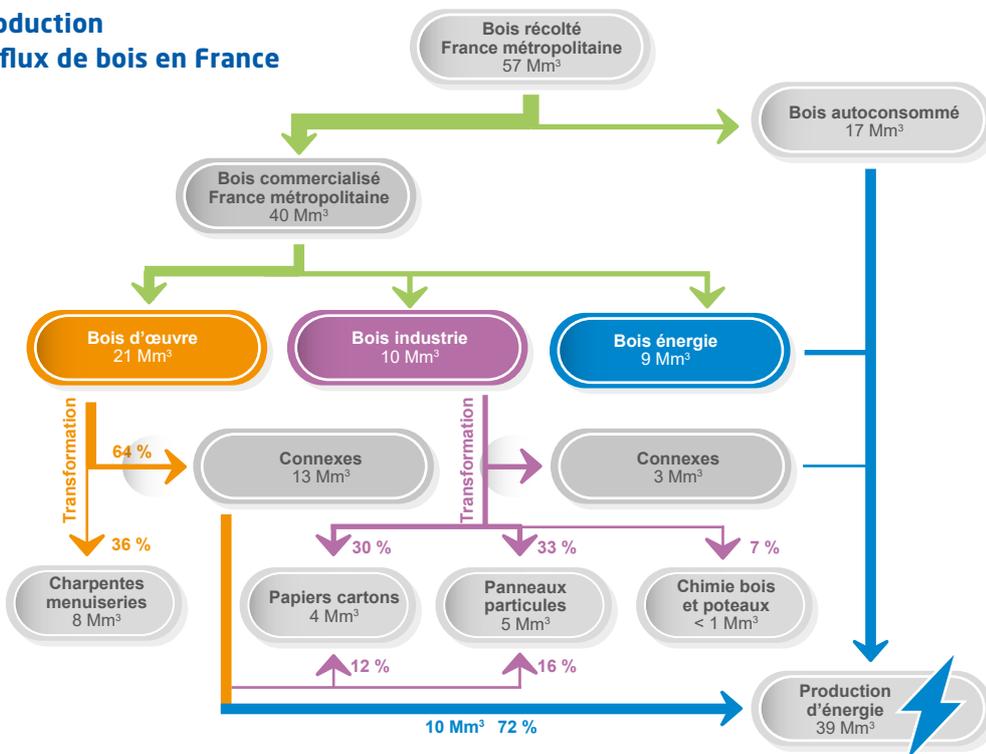
# Vers une planification de la filière forêt-bois

La forêt française fournit du bois utilisé pour produire de la chaleur, des matériaux de construction, des emballages et du papier. En outre, grâce à la séquestration annuelle du carbone dans l'écosystème forestier inhérente à la croissance des arbres, la forêt joue un rôle clé dans l'atténuation du changement climatique. Enfin, elle héberge une faune et une flore riches et variées, qui sont parfois menacées par les activités humaines.

L'usage du bois prélevé en forêt constitue un paramètre clé des politiques d'atténuation. Le bois d'œuvre et l'usage en matériaux de ses coproduits permettent de stocker le carbone. Cet usage est préférable à l'usage en énergie, car la combustion du bois conduit à une augmentation immédiate du carbone atmosphérique. Celle-ci n'est compensée que progressivement lors de la nouvelle croissance forestière.

Ainsi, les politiques publiques en place, qui reposent sur le postulat de neutralité carbone du bois énergie et minorent le stockage du carbone dans les matériaux bois, ne donnent pas les bonnes incitations. Il serait souhaitable de réorienter les soutiens au bois énergie vers les filières de production de matériaux à durée de vie longue. Plus largement, la planification de la filière, de la gestion forestière à l'usage du bois, en passant par l'industrie de la transformation, devra prendre en compte non seulement les enjeux d'adaptation au changement climatique et d'atténuation, mais également ceux d'indépendance énergétique et de biodiversité. Concilier ces différents enjeux se révèle ardu, et des planifications adaptées aux caractéristiques de chaque peuplement, notamment à leur richesse biologique et à leur vulnérabilité au changement climatique, seront nécessaires.

## Production et flux de bois en France



Note : les importations, les exportations et le recyclage ne sont pas indiqués dans un souci de lisibilité.

Lecture : 36 % du bois de la filière bois d'œuvre (en orange) est transformé en matériaux bois (charpentes, menuiseries, etc.), le reste est transformé en bois industrie ou utilisé en bois énergie. 70 % du bois de la filière bois industrie (en mauve) est transformé en papiers, cartons, panneaux de particules, chimie du bois et poteaux, le reste est utilisé en bois énergie.

Source : France Stratégie, d'après Agreste (2023), « Récolte de bois en 2021. Hausse de 8,9 % de la récolte de bois pour répondre à la demande », *Primeur*, n° 3, mars, et Ademe (2021), *Forêts et usage du bois dans l'atténuation du changement climatique*, coll. « Expertises »

Hélène  
Arambourou

département Développement  
durable et numérique

La Note d'analyse est publiée sous la responsabilité éditoriale du commissaire général de France Stratégie. Les opinions exprimées engagent leurs auteurs et n'ont pas vocation à refléter la position du gouvernement.

## INTRODUCTION

La filière forêt-bois (Encadré 1) fait aujourd'hui l'objet d'une attention particulière car elle constitue un élément clé des politiques de lutte contre le réchauffement climatique. Elle contribue, d'une part, au stockage du carbone dans l'écosystème forestier et dans les matériaux bois (stock de carbone) et, d'autre part, à la séquestration annuelle du carbone via la croissance des arbres (flux de carbone). Toutefois, du fait du changement climatique, et notamment des périodes de sécheresse récurrentes, la séquestration annuelle de carbone en forêt a été divisée par deux au cours de la dernière décennie.

Dans le cadre des débats sur l'atténuation des effets du changement climatique, deux stratégies opposées sont souvent présentées dans la littérature<sup>1</sup>. Schématiquement, la première consiste à augmenter le stock de carbone contenu dans la forêt en réduisant son exploitation, tandis que la seconde consiste à exporter une partie du carbone des forêts vers des matériaux bois à durée de vie longue. C'est cette dernière stratégie que la Stratégie nationale bas carbone 2 (SNBC 2), en cours de révision, privilégiait. Néanmoins, elle soulève des interrogations, tant en matière de faisabilité technico-économique que de préservation de la biodiversité.

De nombreux rapports déplorent la sous-exploitation de la forêt française<sup>2</sup> – le taux de prélèvement étant nettement inférieur à la croissance annuelle – et proposent un développement ambitieux de la filière forêt-bois, notamment par une augmentation de la récolte.

Si, de prime abord, le développement de cette filière paraît séduisant, il pose question. En effet, outre l'atténuation du changement climatique, la forêt assure de multiples fonctions, qu'elles soient économiques, environnementales ou sociétales. Dès lors, comment privilégier l'une de ces fonctions sans affecter les autres ? Quelle est la meilleure stratégie en matière de séquestration de carbone, de protection de la biodiversité et de services écosystémiques ? Quelle place pour la filière bois énergie ?

### Encadré 1 – Chiffres clés de la filière forêt-bois

*La forêt métropolitaine française couvre 17,1 millions d'hectares (Mha), dont 12,8 Mha de forêts privées, 1,5 Mha de forêts domaniales et 2,8 Mha de forêts communales. La majeure partie de la forêt privée est détenue par des propriétaires possédant plus de 10 hectares : 24 % par des propriétaires possédant plus de 100 hectares, 37 % par des propriétaires détenant entre 10 et 100 hectares, 14 % par des propriétaires détenant entre 4 et 10 hectares et 24 % par des propriétaires détenant moins de 4 hectares<sup>3</sup>.*

*La superficie forestière métropolitaine est en constante augmentation. Entre 1985 et 2022, elle s'est étendue sur 3,0 Mha (+ 20 %), notamment sur des terres agricoles en déprise, quand dans le même temps le volume de bois sur pied a augmenté de un milliard de mètres cubes (+ 56 %). La hausse du volume de bois sur pied est ainsi davantage liée à la capitalisation des peuplements préexistants qu'à la croissance de la surface forestière.*

*La forêt est majoritairement composée de peuplements monospécifiques<sup>4</sup> (47 % de la surface) devant les peuplements à deux essences (34 %) et plus (19 %). Les peuplements sont pour la plupart composés de feuillus (67 % de la surface forestière totale)<sup>5</sup>.*

Dans un premier temps, le rôle de la filière forêt-bois dans la production de combustibles et matériaux, la lutte contre le changement climatique et la préservation de la biodiversité sera décrit. Dans un second temps, il s'agira d'identifier les avantages et les inconvénients inhérents aux deux stratégies d'atténuation susmentionnées, en les opposant de façon théorique.

## LA FORÊT, AU CENTRE DE DIFFÉRENTES STRATÉGIES

### *La forêt fournit du bois matériau et du bois énergie*

En France métropolitaine, sur la période 2012-2020, la production biologique brute<sup>6</sup> annuelle des forêts de production<sup>7</sup> s'élève en moyenne à 87,8 millions de mètres cubes (Mm<sup>3</sup>) par an, tandis que 51,0 Mm<sup>3</sup> de bois sont prélevés chaque année<sup>8</sup>.

1. IGN-INRAE (2020), *Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique. Entre séquestration du carbone en forêt et développement de la bioéconomie*, Versailles, Quae, coll. « Matière à débattre et décider » ; Ademe (2017), *Projet Bicaiff : bilan carbone de la ressource forestière française. Projections du puits de carbone de la filière forêt-bois française et incertitude sur ses déterminants*, rapport final, mars.

2. CESE (2012), *La valorisation de la forêt française*, octobre ; Cour des comptes (2020), *La structuration de la filière forêt-bois, ses performances économiques et environnementales*, avril.

3. CNPF (2021), *Les chiffres clés de la forêt privée française*, Centre national de la propriété forestière.

4. Les peuplements monospécifiques sont des peuplements pour lesquels une essence d'arbre occupe plus de 75 % du couvert dans l'étage dominant.

5. Voir les indicateurs de gestion durable des forêts de l'IGN : <https://foret.ign.fr/IGD/fr/>

6. La production biologique brute correspond à la production des arbres ayant un diamètre de plus de 7,5 cm, à une hauteur de 1,30 m.

7. Forêts privées ou publiques accessibles et non classées en réserves intégrales. Cela représente 16,1 Mha sur un total de 17,1 Mha.

8. Le bois prélevé diffère du bois récolté. Le bois prélevé ne concerne que les arbres ayant un diamètre de plus de 7,5 cm, à une hauteur 1,30 m et non les arbres plus petits ni les volumes des branches et houppiers, qui peuvent néanmoins être récoltés. Il prend en compte les pertes d'abattage, qui par définition ne sont pas récoltées et restent en forêt.



## Encadré 2 – Évolution du gain annuel de bois en forêt (en Mm<sup>3</sup>) entre les périodes 2005-2013 et 2012-2020

**Bois d'œuvre** : bois de qualité supérieure pouvant être exploité par sciage, déroulage ou tranchage ou transformé en merrains. En fonction des essences, sa qualification se fait à partir de ses dimensions. En France, 75 % du bois d'œuvre provient de résineux, ces derniers répondant mieux aux besoins du marché (troncs droits et peu de nœuds).

**Bois industrie** : bois qui ne peut pas être utilisé en bois d'œuvre du fait de ses caractéristiques ou bien coproduits du bois d'œuvre. Généralement, il est utilisé en panneaux, en isolants, en pâte à papier ou bien encore en emballages et palettes.

Le bois matériau comprend le bois d'œuvre et une partie du bois industrie, tels les panneaux, les isolants et le bois d'ingénierie (bois abouté, contreplaqué, lamellé-croisé et lamellé-collé).

**Bois énergie** : le bois énergie désigne l'utilisation du bois comme combustible pour produire essentiellement de la chaleur (plus de 90 % du bois énergie) et dans une moindre mesure de l'électricité ou du biocarburant de deuxième génération. En 2021, le bois représente 35 % des énergies

renouvelables produites en France<sup>9</sup>. Le bois énergie commercialisé est un coproduit de l'exploitation forestière (houppiers et jeunes arbres des éclaircies sylvicoles, environ 9 Mm<sup>3</sup>) ou de l'activité des scieries et de l'industrie de transformation (sciures et chutes, environ 13 Mm<sup>3</sup>). Il est indissociable du bois d'œuvre et du bois d'industrie, puisque ce sont majoritairement les parties du bois non utilisées dans ces filières qui alimentent la filière bois énergie. Toutefois, les forêts ayant peu ou pas de valeur pour le bois d'œuvre (accessibilité, essences, qualité du bois) fournissent également du bois énergie. Le bois énergie non commercialisé, appelé « bois autoconsommé » (environ 17 Mm<sup>3</sup>), constitue le bois récolté en forêt, généralement utilisé directement par le récoltant pour se chauffer. D'autres sources de bois sont utilisées à des fins énergétiques : les déchets bois (3 Mm<sup>3</sup>) et les tailles issues de haies et d'arbres hors forêt (8 Mm<sup>3</sup>)<sup>10</sup>. Le bois constitue une ressource énergétique locale relativement importante. La production primaire à partir de biomasse solide, hors déchets, s'élève à 130 térawatts-heure (TWh) en 2021, dont 125 TWh issus de la biomasse bois et 5 TWh issus de la biomasse agricole et alimentaire. Ainsi, la biomasse bois contribue de manière non négligeable à limiter la dépendance énergétique nationale, représentant 8 % de la production d'énergie primaire en France.

La mortalité des arbres tend à s'accroître depuis une dizaine d'années. Ainsi, elle a augmenté de 54 % entre les périodes 2005-2013 et 2012-2020<sup>11</sup>, et représente sur la période 2012-2020 11,4 Mm<sup>3</sup>/an de bois. Cela est lié à la succession des épisodes de sécheresse, qui provoquent un stress hydrique et favorisent l'expansion des insectes xylophages et des champignons, et dans une moindre mesure aux tempêtes. Les épisodes de sécheresse affectent également la croissance des arbres. Ainsi, en dix ans, la baisse de production biologique brute est estimée à 4 %, représentant une perte de 3,7 Mm<sup>3</sup>/an en moyenne. Enfin, dans la même période, le volume de prélèvement a augmenté de 20 %, soit une hausse de 8,6 Mm<sup>3</sup>/an en moyenne, du fait d'une hausse de la demande et des coupes sanitaires inhérentes au développement d'organismes pathogènes<sup>12</sup>. La combinaison de la baisse de croissance (production biologique brute), de la mortalité accrue et de l'augmentation des prélèvements se traduit par une réduction du gain annuel en forêt au cours de la dernière décennie ; il est ainsi passé de 41,7 Mm<sup>3</sup>/an à 25,4 Mm<sup>3</sup>/an (Tableau 1).

Le bois récolté en forêt est destiné à trois filières (Encadré 2), selon ses caractéristiques et les capacités de transformation disponibles : la filière bois d'œuvre, la filière bois industrie et

**Tableau 1 – Évolution du gain annuel de bois en forêt (Mm<sup>3</sup>) entre les périodes 2005-2013 et 2012-2020**

En Mm <sup>3</sup> /an	2005-2013	2012-2020
<b>Production biologique brute</b>	91,5	87,8
<b>Mortalité</b>	7,4	11,4
<b>Prélèvements</b>	42,4	51,0
<b>Gain en forêt = production biologique brute - mortalité - prélèvements</b>	41,7	25,4

Source : France Stratégie, d'après IGN (2022), *Mémento de l'inventaire forestier*, p. 31

la filière bois énergie. La Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) 2019-2023 ainsi que le projet de directive européenne RED 3 prévoient une utilisation du bois en cascade, c'est-à-dire que la transformation du bois en matériaux doit être privilégiée à l'utilisation du bois en énergie, cette dernière n'intervenant que pour les sous-produits qui n'ont pas d'autres usages.

Pourtant, la tendance en matière de répartition des usages du bois apparaît contraire à une utilisation en cascade. En effet, depuis 2010, les volumes de bois d'œuvre et de bois d'industrie commercialisés diminuent tandis que ceux

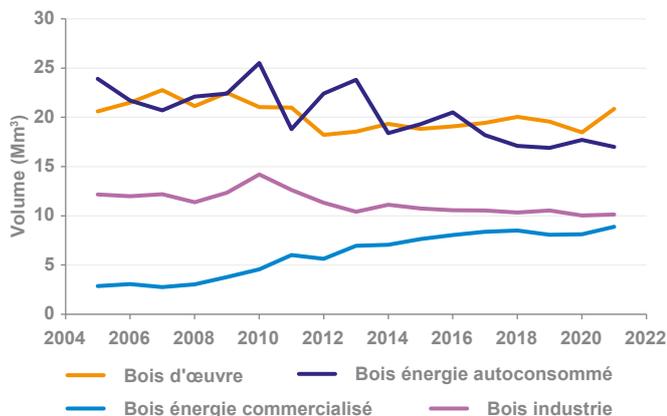
9. Datalab (2022), *Chiffres clés des énergies renouvelables*, septembre.

10. Solagro (2021), *Le bois énergie. État des lieux, lieux de controverse*, janvier.

11. IGN (2022), *Mémento de l'inventaire forestier*.

12. Agreste (2023), « Récolte de bois en 2021. Hausse de 8,9 % de la récolte de bois pour répondre à la demande », *Primeur*, n° 3, mars.

**Graphique 1 – Évolution du bois commercialisé et autoconsommé entre 2005 et 2021**



Source : France Stratégie d'après Agreste, enquête *Exploitations forestières et scieries* (EXFSRI)

de bois énergie augmentent. Les volumes de bois énergie commercialisés ont doublé en dix ans quand, dans le même temps, les volumes de bois énergie autoconsommé ont diminué (Graphique 1), probablement du fait d'une structuration accrue de la filière bois énergie suivie d'un report du bois bûche autoconsommé vers du bois commercialisé de type pellets.

En France métropolitaine, en 2021, 57 Mm<sup>3</sup> de bois ont été récoltés en forêt. En prenant en compte le bois énergie commercialisé (9 Mm<sup>3</sup>), le bois énergie non commercialisé (17 Mm<sup>3</sup>), ainsi que les sous-produits du bois

**Tableau 2 – Durée de vie moyenne de quelques matériaux à durée de vie longue**

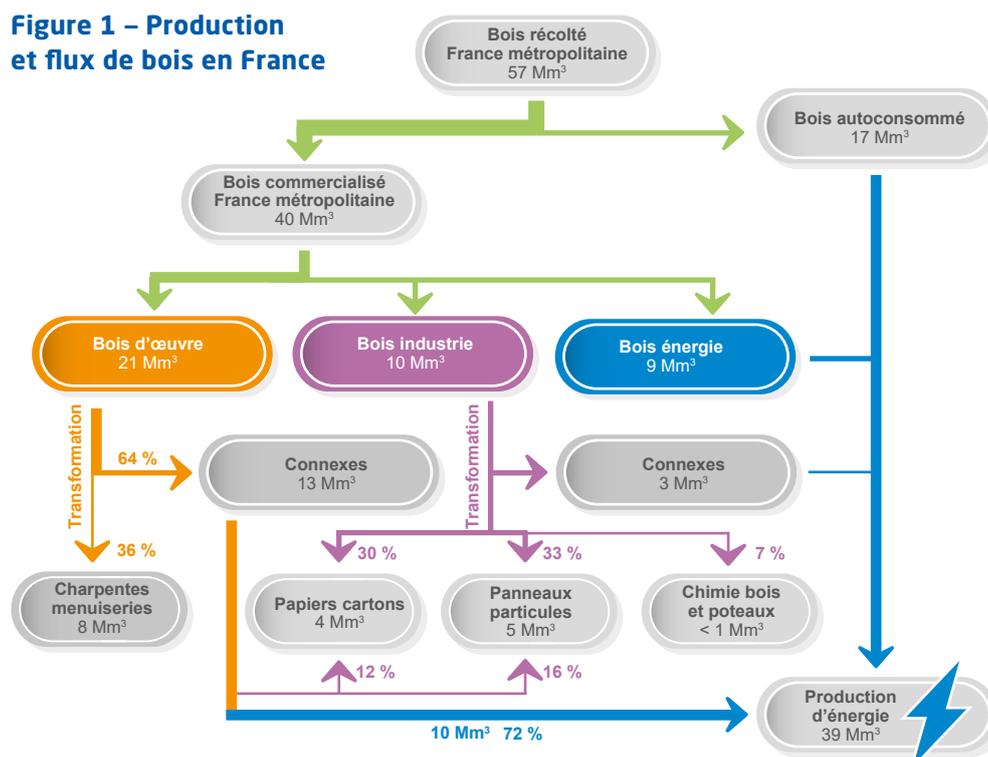
Bois d'œuvre	
Charpente et couverture	72 ans
Parquet et lambris	43 ans
Contreplaqué	43 ans
Agencement et menuiserie	22 ans
Ameublement	14 ans
Bois industrie	
Panneaux de particules	36 ans

Source : France Stratégie, d'après Ademe (2021), *Forêts et usage du bois dans l'atténuation du changement climatique*, coll. « Expertises »

d'œuvre et du bois industrie réorientés vers le bois énergie (10 Mm<sup>3</sup> et 3 Mm<sup>3</sup> respectivement), c'est 68 % du bois récolté qui part en bois énergie, contre 21 % qui part pour la production de matériau bois à durée de vie longue (Figure 1).

Les matériaux à durée de vie longue sont ceux entrant dans la construction-rénovation et dans l'ameublement et qui présentent des durées de vie supérieures à dix ans, à la différence des matériaux à durée de vie courte (papier, emballage, couverts, etc.). Il peut s'agir de bois d'œuvre ou de bois industrie (Tableau 2). Les durées de vie des matériaux peuvent être allongées en améliorant leur recyclage, ce qui

**Figure 1 – Production et flux de bois en France**



Note : les importations, les exportations et le recyclage ne sont pas indiqués dans un souci de lisibilité. Selon la Veille économique mutualisée – VEM<sup>13</sup>, bois d'œuvre : importation 12,5 Mm<sup>3</sup> et exportation 6 Mm<sup>3</sup> ; bois industrie : importation 14,4 Mm<sup>3</sup>, exportation 14,5 Mm<sup>3</sup> et bois recyclé 1 Mm<sup>3</sup> ; bois énergie : importation 2,8 Mm<sup>3</sup>, exportation 2,4 Mm<sup>3</sup> et bois recyclé 2,6 Mm<sup>3</sup>.

Lecture : 36 % du bois de la filière bois d'œuvre (en orange) est transformé en matériaux bois (charpentes, menuiseries...), le reste est transformé en bois industrie ou utilisé en bois énergie. 70 % du bois de la filière bois industrie (en mauve) est transformé en papiers, cartons, panneaux de particules, chimie du bois et poteaux, le reste est utilisé en bois énergie.

Source : France Stratégie, d'après Agreste (2023), « Récolte de bois en 2021. Hausse de 8,9 % de la récolte de bois pour répondre à la demande », *Primeur*, n° 3, mars, et Ademe (2021), *Forêts et usage du bois dans l'atténuation du changement climatique*, coll. « Expertises »

13. <https://vem-fb.fr/index.php/chiffres-cles/filieres-d-usage>



permet au bois de servir à plusieurs usages successivement. Aujourd'hui, en fin de vie, environ 40 % des matériaux bois sont valorisés en matériaux (notamment en panneaux de particules), 40 % en énergie et 20 % ne sont pas valorisés (ils sont enfouis ou incinérés)<sup>14</sup>.

Les aides à la filière bois énergie (Fonds chaleur, éco-prêt à taux zéro, MaPrimeRénov' et réduction du taux de TVA sur la vente de chaleur renouvelable) ont très probablement contribué à favoriser le développement du bois énergie au détriment des matériaux bois issus du bois industrie. La Cour des comptes<sup>15</sup> estimait qu'en 2018 la moitié des soutiens publics annuels de toute la filière forêt-bois, soit 611 millions d'euros annuels<sup>16</sup>, était dédiée au bois énergie, contre moins de 100 millions pour la filière de transformation du bois matériau et l'utilisation en construction. Les aides au bois énergie tendent à augmenter depuis plusieurs années afin de réduire la dépendance de la France aux énergies fossiles. Par exemple, la part du Fonds chaleur soutenant la création de chaufferies bois s'élève à 146 millions d'euros en 2022, contre 62 millions en 2018. De même, les aides à l'acquisition par les ménages d'appareils de chauffage bois performants sont passées de 170 millions d'euros en 2018 à 446 millions d'euros en 2022. Si des crédits supplémentaires ont été annoncés pour la filière construction bois dans le cadre du plan « France 2030 » (180 millions en 2022 et 2023), les montants demeurent bien inférieurs à ceux alloués au bois énergie.

Aujourd'hui, moins de 1 Mm<sup>3</sup> de bois rejoint les filières de la chimie du bois<sup>17</sup>, de la production de biogaz par gazéification, ou bien encore de la production de biocarburant, par liquéfaction. Toutefois, compte tenu des ambitions, tant en matière de développement du biogaz<sup>18</sup> que de carburants issus du bois, notamment dans l'aéronautique<sup>19</sup>, ces filières pourraient être amenées à se développer dans le futur<sup>20</sup>.

En 2021, la balance commerciale de la filière forêt-bois est estimée à -8,6 milliards d'euros, avec un déficit qui se creuse depuis deux décennies, notamment concernant les

meubles (-3,4 milliards) et la pâte à papier (-2,2 milliards)<sup>21</sup>. L'industrie de la transformation du bois, tournée vers le résineux, apparaît insuffisamment dimensionnée pour répondre au marché national ainsi que pour valoriser la ressource forestière française, essentiellement composée de feuillus. La France exporte du bois brut bon marché et importe des produits transformés intermédiaires ou finaux à plus forte valeur ajoutée : arbres sciés, charpentes et meubles. De plus, ces exportations de bois brut conduisent à l'exportation des connexes issus de la transformation, réduisant leur disponibilité pour les filières de l'énergie et de l'industrie.

### La forêt participe à l'atténuation du changement climatique

En flux, avec 53 MtCO<sub>2</sub> séquestrées chaque année en moyenne entre 2012 et 2020<sup>22</sup>, la forêt française est un acteur majeur de l'atténuation du changement climatique (Figure 2 page suivante). Cette séquestration correspondait durant cette période à 13 % des émissions annuelles françaises de gaz à effet de serre (GES)<sup>23</sup>.

En forêt, si la séquestration annuelle de carbone, c'est-à-dire le flux, a lieu majoritairement (85 %) dans la biomasse vivante (46 MtCO<sub>2</sub>/an) du fait de l'activité photosynthétique, le stock de carbone, estimé à 2,8 milliards de tonnes de carbone en 2015, se situe quant à lui pour 52 % dans les sols et le bois mort<sup>24</sup>.

Dans l'inventaire national des émissions de GES (Encadré 3 page 7), la séquestration annuelle de carbone dans les premiers horizons du sol est considérée comme nulle, faute de données disponibles. Ce compartiment devrait être ajouté prochainement. Les données du réseau Renecofor amènent à penser que ce puits est important ; en extrapolant les données recueillies sur le réseau de forêts publiques suivi, il pourrait atteindre 20 MtCO<sub>2</sub>/an<sup>25</sup>. L'étude IGN-INRAE retient quant à elle le chiffre de 7 MtCO<sub>2</sub>/an<sup>26</sup>, que nous avons repris dans la Figure 2.

14. Ademe (2022), *Bilan national du recyclage 2010-2019*, rapport final, janvier.

15. Cour des comptes (2020), *La structuration de la filière forêt-bois...*, op. cit.

16. 304 millions d'euros de dépenses fiscales sous forme de crédit d'impôt et de TVA réduite et 307 millions d'euros de crédits budgétaires.

17. Extraction de composés de la biomasse utilisés dans l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique.

18. Ademe-GRDF-GRT Gaz (2018), *Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ?*, étude.

19. La *Feuille de route française pour le déploiement des biocarburants aéronautiques durables* identifie les résidus de bois comme des ressources potentielles.

20. Les scénarios de l'Ademe pour un mix 100 % renouvelable prévoient en 2050 une production énergétique par pyrogazéification du bois comprise entre 31 et 138 TWh<sub>PCS</sub> (Térawatt-heure pouvoir calorifique supérieur), soit un volume de bois compris entre 10 et 50 Mm<sup>3</sup>.

21. Agreste (2022), « Commerce extérieur – Bois et dérivés. Le déficit extérieur des bois se creuse en 2022 », *Synthèses conjoncturelles*, n° 407, juin.

22. Les volumes de bois de la Figure 2 proviennent de l'inventaire forestier de l'IGN, et peuvent différer des volumes de bois récoltés issus des données de l'Agreste (Graphique 1) en raison de méthodes d'estimation différentes. L'IGN estime la production de bois en forêt et les prélèvements sur une période de cinq ans par observation sur des aires forestières bien identifiées (appelées « placettes »). Les données de bois commercialisés de l'Agreste proviennent d'enquêtes annuelles.

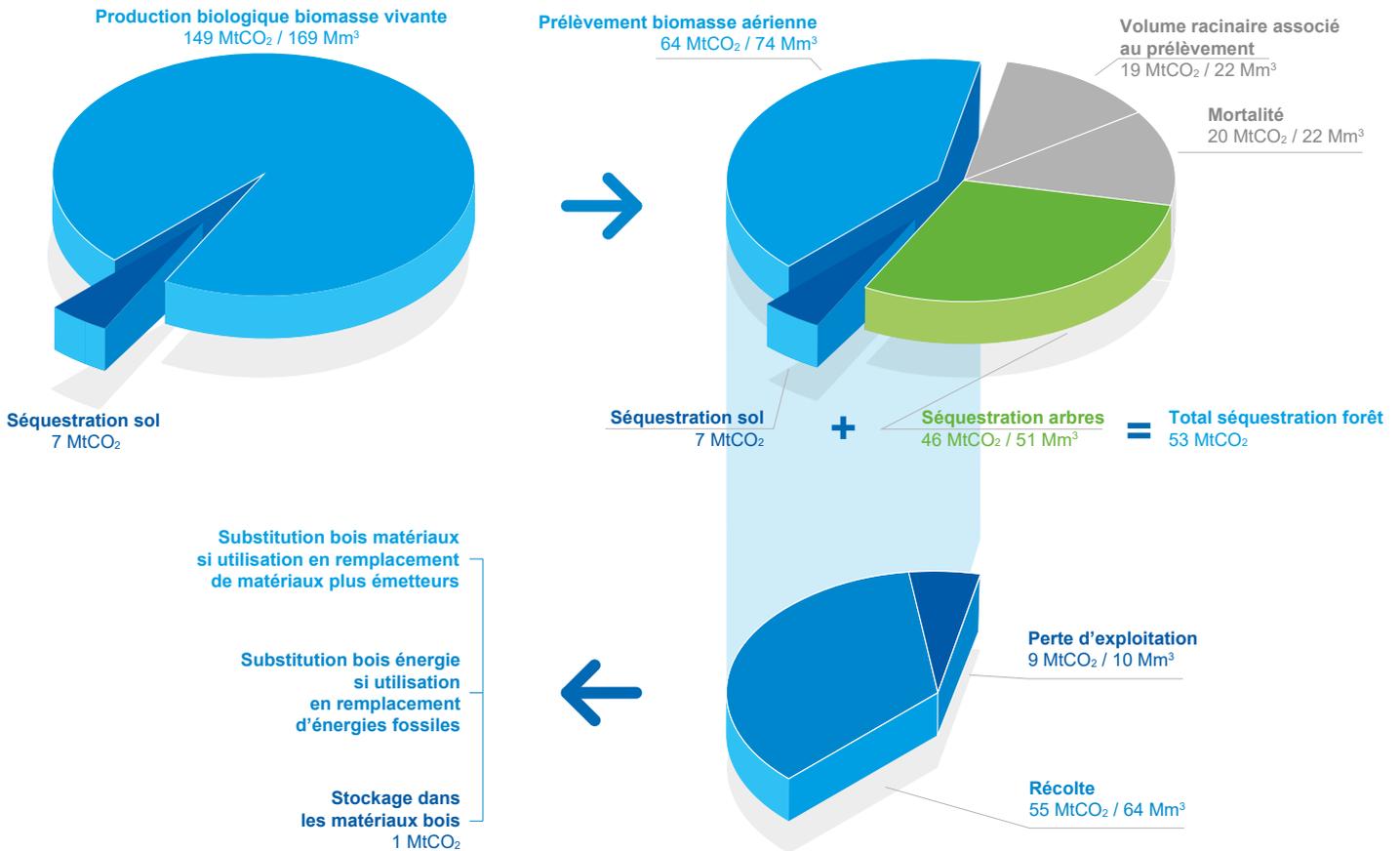
23. Citepa (2022), *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2020 – Rapport Secten*, juin.

24. Voir le critère 1 « 1.4 Contribution de la forêt à l'atténuation de l'effet de serre (bilan carbone) » des indicateurs de gestion durable des forêts de l'IGN.

25. Jonard M., Nicolas M., Coomes D., Caignet I., Saenger A. et Ponette Q. (2019), « Les sols des forêts du réseau Renecofor séquestrent le carbone », *Forêt-entreprise*, n° 245, mars-avril, p. 67-71.

26. IGN-INRAE (2020), *Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique...*, op. cit.

Figure 2 – Flux de carbone moyen annuel de la filière forêt-bois sur la période 2012-2020



Note : les volumes de « prélèvement » et « mortalité » ont été convertis (calculs France Stratégie) en flux de carbone grâce aux coefficients établis dans le cadre du projet Carbofor. Le niveau de séquestration annuelle des sols est estimé à 7 MtCO<sub>2</sub>/an. Les pertes d'exploitation, qui comprennent la partie aérienne de la souche, les différentes purges, une partie des écorçages et des rémanents, correspondent en moyenne à 14 % des prélèvements. Dans les prélèvements, on considère que seule la biomasse aérienne est prélevée, pas le volume racinaire (souche).

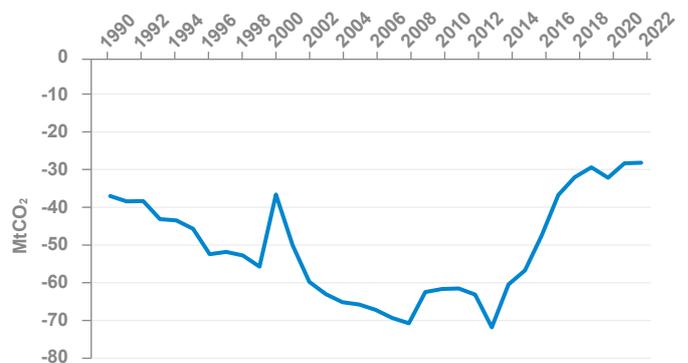
Lecture : la séquestration annuelle de la forêt s'élève à 53 MtCO<sub>2</sub> ; elle comprend la séquestration des arbres (46 MtCO<sub>2</sub>) et la séquestration des sols forestiers (7 MtCO<sub>2</sub>).

Source : France Stratégie, d'après IGN (2022), *Mémento de l'inventaire forestier* et GIP-Ecofor (2004), *Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles*, rapport final du projet Carbofor, juin

Le stockage annuel dans les matériaux bois est faible (1 MtCO<sub>2</sub>/an), ce qui signifie que la quantité de carbone stockée dans les productions de l'année est proche du déstockage lié à la destruction des matériaux bois antérieurs. Ce stockage a tendance à diminuer en raison d'une production accrue de matériaux à courte durée de vie, au détriment de matériaux à longue durée de vie<sup>27</sup>.

Entre les périodes 2005-2013 et 2012-2020, la séquestration annuelle en forêt (hors sols) est passée en moyenne de 65 MtCO<sub>2</sub> à 45 MtCO<sub>2</sub> (Graphique 3) du fait de l'augmentation de la mortalité (-8 MtCO<sub>2</sub>), de la diminution de la croissance des arbres (-7 MtCO<sub>2</sub>), de l'augmentation des prélèvements (-4 MtCO<sub>2</sub>) et de la réduction des stocks dans la litière (-1 MtCO<sub>2</sub>).

Graphique 3 – Évolution de la séquestration annuelle de carbone dans la forêt française (les sols ne sont pas pris en compte) entre 1990 et 2022



Source : Citepa (2023), *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022 – Rapport Secten*

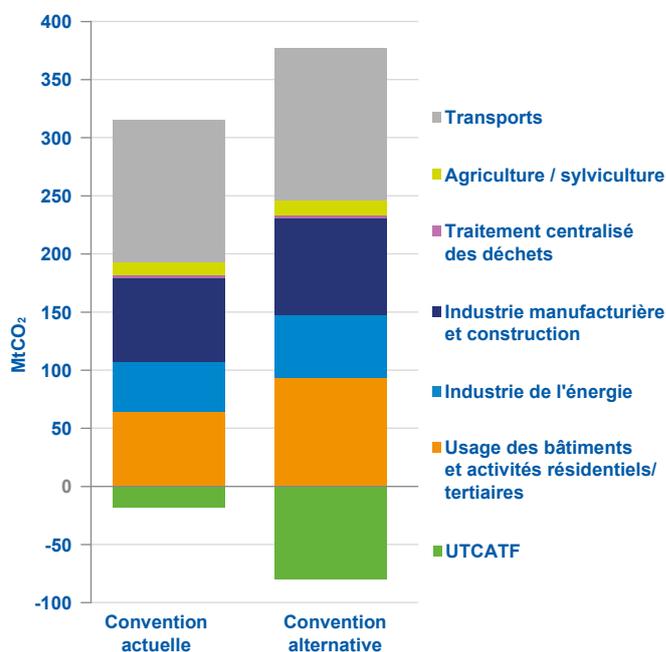
27. Citepa (2023), *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022 – Rapport Secten*.

### Encadré 3 – Comment comptabilise-t-on le flux de carbone issu du bois énergie dans l'inventaire national des émissions de GES ?

Suivant la méthodologie internationale d'établissement des inventaires d'émissions de GES, les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> inhérentes à la combustion du bois sont comptabilisées lors du prélèvement en forêt, dans le poste « Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie » (UTCATF). Elles ne sont donc pas comptabilisées ultérieurement lors de sa combustion (par exemple dans le secteur du bâtiment), de façon à éviter une double comptabilisation.

Une autre convention pourrait être de comptabiliser les émissions de la combustion du bois, et plus généralement de la biomasse, au niveau de l'utilisateur final (Graphique 2). Cela augmenterait notamment les émissions des secteurs de l'industrie, de l'énergie et de l'usage des bâtiments, de respectivement 27 % et 39 %. Ces deux approches apportent des informations complémentaires sur les flux de carbone à une date donnée. La question du choix de l'une ou l'autre de ces conventions (ou de toute autre convention intermédiaire), de nature statistique, ne doit pas être confondue avec celle de l'estimation des facteurs d'émission du bois énergie, qui, quant à elle, doit prendre en compte l'impact du recours au bois énergie sur l'ensemble de son cycle de vie (voir Figure 3 infra).

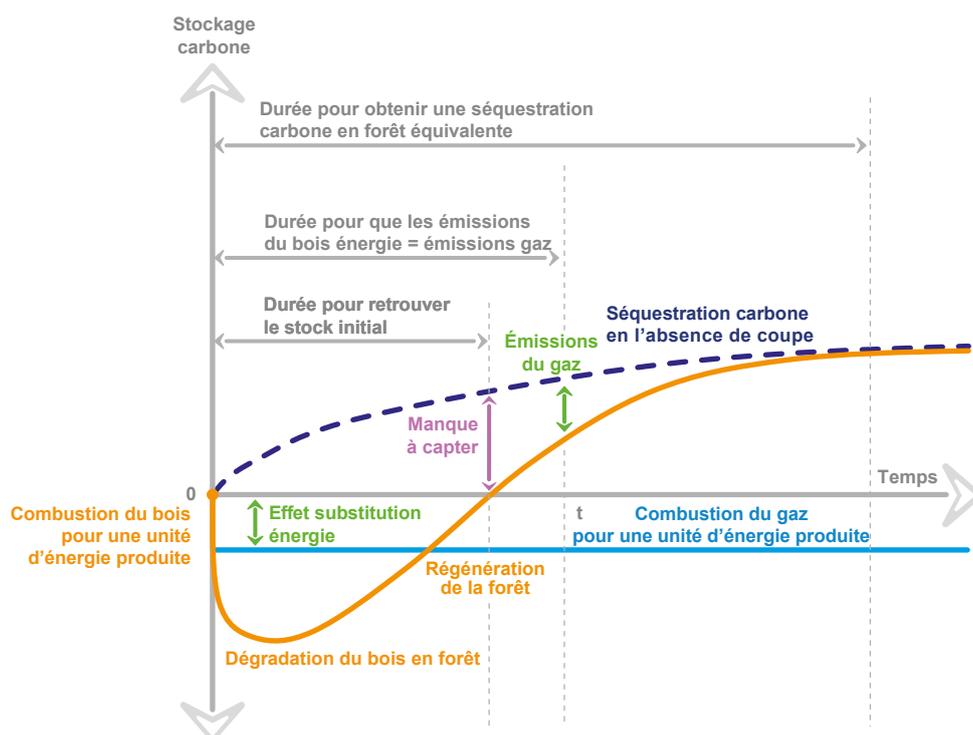
### Graphique 2 – Émissions de CO<sub>2</sub> en 2021 (Mt) selon la convention de calcul actuelle de l'inventaire national des émissions, et selon une convention de calcul alternative



Lecture : émissions de carbone selon la convention actuelle (à gauche), et en sortant les émissions de biomasse (toute biomasse confondue : biomasse agricole, biomasse bois issue de la forêt et biomasse bois hors forêt) du secteur de UTCATF (à droite).

Source : France Stratégie, d'après Citepa (2022), *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2020 – Rapport Secten*, juin

### Figure 3 – Évolution schématique du stockage carbone généré par la production de bois énergie (courbe orange) comparée à une absence de récolte (courbe en pointillé) et à un chauffage au gaz (courbe bleue)



Note : les émissions de carbone liées à la sylviculture, à la préparation du combustible et au transport ne sont pas figurées. Pour le bois énergie, ces émissions peuvent représenter entre 0 % et 32 % des émissions totales, selon que l'on utilise des coproduits directement dans les scieries pour produire de la chaleur ou bien que l'on produise des plaquettes issues de taillis forestiers<sup>28</sup>.

Lecture : les émissions totales du bois énergie ne deviennent inférieures à celles du gaz qu'après un temps  $t$  où la différence entre la séquestration du carbone en l'absence de coupe (courbe en pointillé) et l'évolution du stock de carbone dû au prélèvement de bois énergie (courbe orange) est inférieure aux émissions du gaz.

Source : France Stratégie, adapté de Leturcq P. (2020), « GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution », *Scientific Reports*, vol. 10, novembre

28. Ademe (2021), *Analyse du cycle de vie du bois énergie collectif et industriel*, synthèse, janvier.

L'usage énergétique du bois, que ce soit par combustion directe ou sous forme de biocarburant ou de biogaz après transformation, est souvent présenté comme neutre en carbone. Cette idée repose sur l'hypothèse d'un équilibre immédiat entre les émissions de CO<sub>2</sub> engendrées par la combustion du bois (ou des produits énergétiques dérivés) et les quantités de CO<sub>2</sub> absorbées par photosynthèse lors de la croissance des arbres. En ce sens, les émissions liées à la combustion de bois énergie sont considérées comme nulles<sup>29</sup>, que ce soit dans le cadre de la taxe carbone, du marché carbone européen (EU-ETS), des réglementations nationales sur le bâtiment (RE 2020 et diagnostic de performance énergétique) ou bien encore de la méthodologie d'établissement des bilans carbone<sup>30</sup>.

Ce postulat est toutefois contestable car il ne tient pas compte des dynamiques temporelles des processus de stockage et déstockage du carbone<sup>31</sup>. En effet, le recours au bois énergie émet du CO<sub>2</sub> biogénique, du fait de la combustion et de la dégradation du bois prélevé en forêt, alors que l'accroissement biologique des forêts n'augmente ni au même rythme ni dans les mêmes proportions. D'une part, la régénération met du temps à reconstituer les stocks et, d'autre part, sans la hausse de la récolte, le carbone serait resté séquestré dans les forêts plus longtemps et les arbres auraient pu continuer leur croissance et donc séquestrer du carbone par photosynthèse (manque à capter)<sup>32</sup>.

Pour une même quantité d'énergie produite, les émissions de carbone liées à la combustion du bois sont supérieures à celles du gaz<sup>33</sup> : elles s'élèvent à 97 kgCO<sub>2</sub> par gigajoule (GJ) pour le bois contre 56 kgCO<sub>2</sub>/GJ pour le gaz<sup>34</sup>. Ainsi, en considérant le bilan carbone global, incluant le manque à capter et les émissions émises par la combustion-dégradation du bois, ce n'est que progressivement, sur une durée pouvant varier d'une décennie à plus d'un siècle en fonction du mode de gestion forestière (Figure 3), que les émissions liées au bois énergie sont compensées par l'absorption

supplémentaire de carbone par la forêt. Cette durée est à mettre en regard de l'objectif de neutralité carbone de la France, fixé à 2050.

Le bilan carbone d'un accroissement du recours au bois énergie est étroitement dépendant du type d'exploitation forestière et de l'horizon temporel considéré. De plus, juger de la pertinence du recours au bois énergie en matière d'atténuation nécessite de comparer ce bilan aux émissions des combustibles auxquels il est susceptible de se substituer (effet de substitution)<sup>35</sup>. Plusieurs études<sup>36</sup> mettent en évidence le fait que l'exploitation forestière ayant uniquement pour objectif la production de bois énergie, aujourd'hui très rare en France, présente, par rapport au gaz naturel, un bilan carbone défavorable, et ce au-delà de cent ans. En revanche, la récolte des résidus issus de l'exploitation forestière a un bilan carbone comparable à celui du gaz à horizon d'une dizaine d'années, compte tenu du fait que ces résidus émettraient du carbone lors de leur décomposition, s'ils n'étaient pas récoltés<sup>37</sup>.

À prélèvement donné, les matériaux bois à durée de vie longue ont un meilleur effet d'atténuation que le bois énergie. En effet, d'une part l'effet de substitution matériau est deux fois plus élevé que l'effet de substitution énergie<sup>38</sup> et, d'autre part, le bois matériau permet de stocker le carbone retiré de la forêt, ne se traduisant par des émissions que lors du prélèvement, avec la décomposition des résidus, et en fin de vie si ce bois est brûlé ou enfoui<sup>39</sup> (Figure 4 page suivante).

Les politiques d'atténuation actuelles, reposant sur le postulat de neutralité carbone du bois énergie et minorant l'avantage des matériaux bois à durée de vie longue en matière de stockage carbone, sont susceptibles de conduire à une consommation de bois énergie trop importante et, au contraire, une consommation de bois matériau trop faible par rapport à l'optimum socioéconomique.

29. Ces subventions implicites s'ajoutent aux aides explicites précédemment mentionnées.

30. Ademe et ministère de la Transition écologique (2022), *Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre conformément à l'article L. 229-25 du code de l'environnement*, version 5, juillet.

31. Leturcq P. (2020), « GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution », *Scientific Reports*, vol. 10, novembre ; Citepa (2020), « La biomasse énergie est-elle neutre en carbone ? Analyse complémentaire du rapport Secten édition 2020 » ; CRE (2023), *La biomasse et la neutralité carbone*, mars.

32. Cette croissance plafonne toutefois à un certain âge, dépendant de l'essence considérée, ce qui implique que l'effet est borné.

33. Pour les équipements individuels, poêle à bûches, poêle à granulés et chaudière gaz, les données d'émissions CO<sub>2</sub> données par l'Ademe dans sa Base carbone® sont parcellaires puisqu'elles n'intègrent pas la combustion du bois en tant que telle, les émissions étant considérées comme instantanément compensées par la croissance des arbres.

34. Citepa (2022), *Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France*, 19<sup>e</sup> édition, mars.

35. L'effet de substitution du bois énergie est généralement considéré égal à 0,5, c'est-à-dire que l'utilisation d'un mètre cube de bois en remplacement d'énergies fossiles permet d'éviter en moyenne l'émission de 0,5 tonnes de CO<sub>2</sub> fossiles.

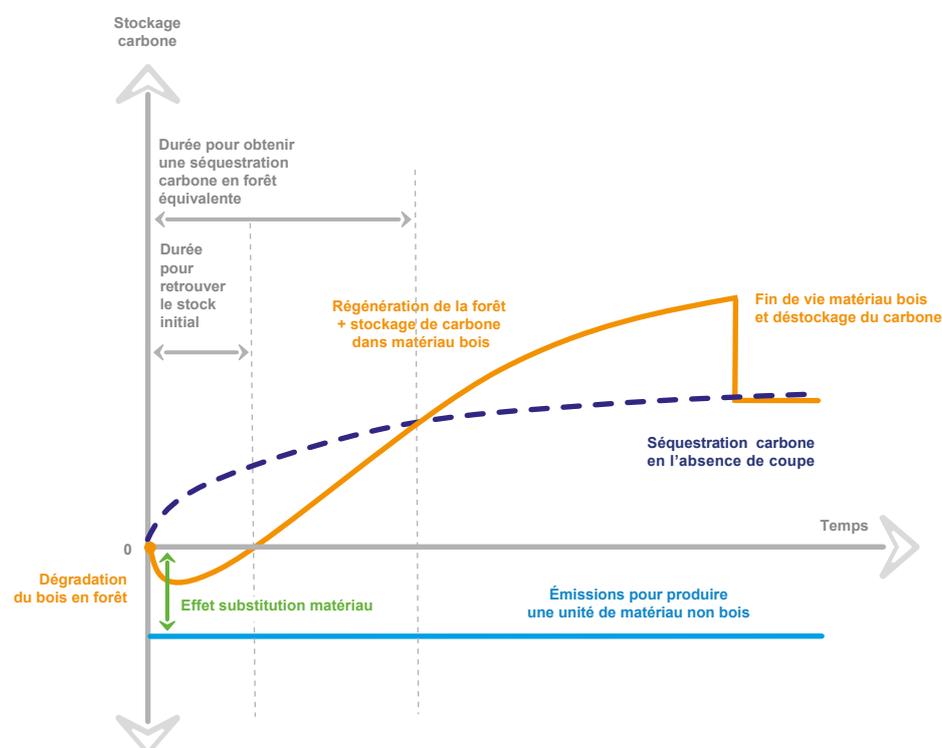
36. Commission européenne (2021), *The Use of Woody Biomass for Energy Production in the EU. JRC Science for Policy Report*, Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne ; Ademe (2021), *Analyse du cycle de vie du bois énergie collectif et industriel*, op. cit.

37. Le déstockage du carbone dans le bois mort présente une dynamique exponentielle. La moitié des très gros bois mort est dégradée en trente ans pour les feuillus et dix ans pour les résineux (dégradation totale en quarante-trois et quatorze ans, respectivement). Pour les menus bois (branches de diamètre inférieur à 7 cm), cette durée est estimée à cinq ans (dégradation totale en cinq ans). Voir IGN-INRAE (2020), *Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique...*, op. cit.

38. L'effet de substitution du bois matériau est généralement considéré égal à 1,1, c'est-à-dire que l'utilisation d'un mètre cube de bois (en considérant les émissions inhérentes à sa préparation) en remplacement de matériaux tels que le PVC, l'aluminium, le béton ou l'acier permet d'éviter en moyenne l'émission d'1,1 tonne de CO<sub>2</sub> fossiles.

39. Dans ce cas, le bois émet du carbone pendant plusieurs années lors de sa décomposition.

**Figure 4 – Évolution schématique du stockage carbone généré par la production de bois matériau (courbe orange) comparée à une absence de récolte (courbe en pointillé) et à l'utilisation d'un matériau non bois (courbe bleue)**



Lecture : par comparaison avec le scénario d'utilisation d'un matériau non bois (en trait plein bleu), l'utilisation d'un matériau bois est préférable dès la coupe ( $t = 0$ ) car les émissions liées à la dégradation du bois en forêt demeurent inférieures aux émissions inhérentes au matériau non bois. Toutefois, cela suppose que tout le bois prélevé devienne du bois matériau (bois d'œuvre et bois d'industrie), ce qui n'est pas le cas actuellement (Graphique 1).

Source : France Stratégie

Les incitations en la matière devraient idéalement s'appuyer sur des facteurs d'émissions prenant en compte la dynamique réelle d'émission et de séquestration du carbone. Ces facteurs pourraient être évalués en considérant l'écart moyen d'émissions, sur une durée à déterminer (trente ans ou cent ans<sup>40</sup>, par exemple), entre une situation où du bois serait prélevé pour un usage donné et une situation sans prélèvement<sup>41</sup>. Ces facteurs, qui pourraient dépendre de l'origine du bois – mode de gestion et essence –, seraient en général positifs pour le bois énergie (émissions carbone) mais négatifs à moyen ou long terme pour les matériaux bois à durée de vie longue (séquestration carbone).

### La forêt constitue un réservoir de biodiversité

Comparativement à d'autres milieux, la biodiversité des espaces forestiers apparaît préservée. Pourtant, un quart des habitats forestiers, en particulier des habitats liés aux milieux aquatiques (tourbières et forêts alluviales), sont

considérés dans un mauvais état de conservation. Les listes rouges de l'Union internationale pour la conservation de la nature considèrent que plus de la moitié des espèces de plantes forestières sont menacées, ainsi que 7 % des mammifères et 17 % des oiseaux inféodés aux forêts métropolitaines<sup>42</sup>. Les effectifs des oiseaux forestiers ont chuté de 19 %<sup>43</sup> entre 1980 et 2016<sup>44</sup>.

Dix facteurs ont été identifiés comme particulièrement importants en matière de biodiversité, parmi lesquels la présence de bois morts et de très gros bois vivants<sup>45</sup>. Ainsi, une corrélation positive et significative entre le volume de bois morts et la richesse d'espèces saproxyliques, c'est-à-dire dont le cycle de vie dépend du bois en décomposition, a été rapportée dans la littérature scientifique<sup>46</sup>. Les bois morts abritent près d'un quart de la biodiversité forestière et deux tiers des espèces associées aux arbres dépendent étroitement, que ce soit pour leur habitat ou leur alimentation, des stades sénescents ou du bois mort.

40. Une durée de cent ans serait cohérente avec la convention retenue dans les inventaires officiels pour convertir les émissions des différents gaz à effet de serre en équivalent CO<sub>2</sub>.

41. Correspondant à l'écart entre la courbe bleue en pointillés et la courbe en orange des graphiques 2 et 3.

42. CGDD (2018), *Efese. Les écosystèmes forestiers*, coll. « Théma Analyse – Biodiversité », octobre.

43. L'Observatoire national de la biodiversité observe, quant à lui, un déclin de 2 % pour les oiseaux forestiers entre 1989 et 2021. Voir la page « Évolution des populations d'oiseaux communs spécialistes » de son site Internet.

44. Rigal S., Dakos V., Alonso H. et Devictor V. (2023), « Farmland practices are driving bird population decline across Europe », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 120(21).

45. Emberger C., Larriou L. et Gonin P. (2016), *Dix facteurs clés pour la biodiversité des espèces en forêt*, Centre national de la propriété forestière.

46. Lassauce A., Paillet Y., Jactel H. et Bouget C. (2011), « Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: Meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms », *Ecological Indicators*, vol. 11(5), septembre, p. 1027-1039.

Or, le volume de bois morts est significativement réduit dans les forêts exploitées. Ainsi, en France métropolitaine, le volume de bois morts s'élève en moyenne à 24 m<sup>3</sup>/ha<sup>47</sup>, avec une différence entre forêts exploitées (21 m<sup>3</sup>/ha de bois morts en moyenne) et forêts non exploitées (59 m<sup>3</sup>/ha de bois morts en moyenne)<sup>48</sup>.

De même, la richesse biologique augmente significativement avec le diamètre et donc avec l'âge des arbres. Au cours de sa vie, un arbre est exposé à de nombreux accidents qui peuvent laisser des traces sur sa morphologie, traces qui deviennent au cours du temps autant de micro-habitats<sup>49</sup>. Ainsi, les arbres ayant dépassé leur âge d'exploitabilité économique<sup>50</sup> offrent de nombreux habitats pour les lichens, les champignons corticiés et saproxyliques, les insectes (notamment les coléoptères) et les oiseaux cavicoles (pics, mésanges et chouettes) (Figure 5 page suivante). Par conséquent, il existe un décalage, qui peut atteindre plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, entre l'optimum économique d'exploitabilité et l'optimum biologique.

En forêt, les arbres sont exploités à un âge compris entre 40 ans (pin maritime) et 170 ans (chêne), selon les essences. En France, les très gros bois représentent 6 % du volume de bois vivant des forêts de production<sup>51</sup>, en croissance depuis 1981 : la quantité de très gros bois vivants (diamètre supérieur à 70 cm) a plus que doublé<sup>52</sup>.

Une gestion forestière permettant de combiner la fonction de production avec des objectifs environnementaux et sociétaux peut parfois favoriser un habitat propice à de nombreuses espèces. Ainsi, par l'ouverture de la forêt, la création de canopées semi-ouvertes et la préservation de vieux arbres isolés servant d'habitat, ce type d'exploitation favorise les espèces thermophiles et photophiles telles que les orchidées, certains coléoptères et papillons.

En matière d'exploitation forestière, l'exploitation mécanisée accrue de la forêt peut s'accompagner d'un tassement des sols lié au passage des engins. Ce tassement affecte la capacité d'infiltration du sol, les cycles biogéochimiques des éléments minéraux, ainsi que la faune du sol, notamment les populations de lombrics, ce qui a pour corollaire de réduire les possibilités futures de régénération naturelle<sup>53</sup>.

**Tableau 3 – Abondance de quelques groupes taxonomiques, en fonction de l'exploitation de la forêt**

	Forêt exploitée	Forêt non exploitée
Plantes vasculaires	↑	↓
Bryophytes	↓	↑
Lichens	↓	↑
Champignons	↓	↑
Coléoptères saproxyliques	↓	↑
Oiseaux	↔	↔
Carabes	↔	↔
Coléoptères non saproxyliques	↔	↔

Source : France Stratégie, d'après Paillet Y. et Bergès L. (2010), « Chapitre 4. Naturalité des forêts et biodiversité : une comparaison par méta-analyse de la richesse spécifique des forêts exploitées et non exploitées en Europe », dans Vallauri D. (dir.), *Biodiversité, naturalité, humanité. Pour inspirer la gestion des forêts*, Paris, Tec et Doc

Si, de manière générale, la richesse biologique est plus élevée en forêt non exploitée<sup>54</sup>, les dynamiques diffèrent selon le groupe taxonomique considéré (Tableau 3). En ce sens, afin d'améliorer la richesse taxonomique à l'échelle d'un massif forestier, il apparaît opportun de maintenir une forte hétérogénéité dans les stades et les structures de peuplements du massif, de sorte à offrir une variété de niches écologiques.

## QUELLES ORIENTATIONS ET POUR QUELS OBJECTIFS ?

Afin d'identifier les avantages et les inconvénients des stratégies de gestion forestière en matière d'atténuation décrites dans la littérature<sup>55</sup>, nous comparons de façon schématique et théorique deux stratégies opposées : d'une part, une gestion caractérisée par une exploitation accrue et une gestion productive de la forêt, accompagnée d'un stockage de carbone dans des matériaux à durée de vie longue, et, d'autre part, une gestion caractérisée par une exploitation moindre, et un stockage accru de carbone en forêt (Tableau 4 page 12).

### *La stratégie de moindre exploitation, propice au stockage du carbone et à la biodiversité*

Cette stratégie est bénéfique à la biodiversité, les vieux peuplements hébergeant davantage d'espèces. De plus, la faible exploitation contribue à conserver un niveau élevé de bois morts en forêt, favorables aux espèces saproxyliques, ainsi qu'aux espèces inféodées à celles-ci.

47. IGN (2022), *Mémento de l'inventaire forestier*, op. cit.

48. Paillet Y., Gosselin M. et Gosselin F. (2017), « Quelles variables pour analyser la réponse de la biodiversité à la mise en réserve intégrale ? Une approche par naturalité(s) », *Rendez-vous techniques de l'ONF*, n° 56, p. 33-39.

49. Büttler R., Lachat T., Krumm F., Kraus D. et Larrieu L. (2020), « Connaître, conserver et promouvoir les arbres-habitats », *Notice pour le praticien*, n° 64, WSL, janvier.

50. Âge permettant l'optimum économique.

51. Forêts privées ou publiques accessibles et non classées en réserves intégrales. Cela représente 16,1 Mha sur un total de 17,1 Mha.

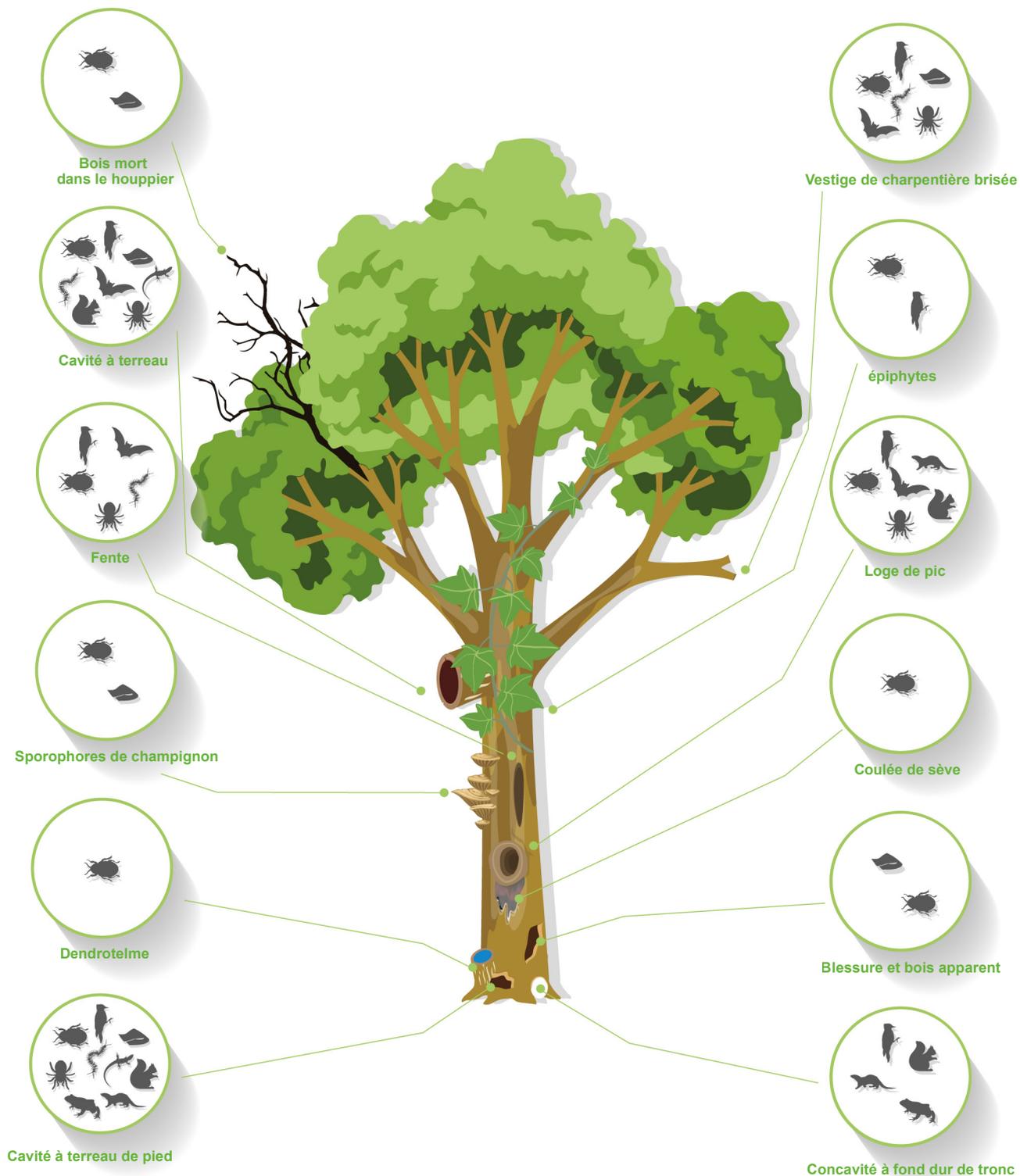
52. Voir les indicateurs de gestion durable des forêts de l'IGN : <https://foret.ign.fr/IGD/fr/>

53. Ranger J., Legout A., Bonnaud P., Arrouays D., Nourisson G., Gelhaye D. et Pousse N. (2020), « Interactions entre les effets du tassement par les engins d'exploitation et la fertilité chimique des sols forestiers », *Revue forestière française*, vol. 72(3), AgroParisTech, p. 191-213.

54. Paillet Y. et Bergès L. (2010), « Chapitre 4. Naturalité des forêts et biodiversité : une comparaison par méta-analyse de la richesse spécifique des forêts exploitées et non exploitées en Europe », dans Vallauri D. (dir.), *Biodiversité, naturalité, humanité. Pour inspirer la gestion des forêts*, Paris, Tec et Doc, p. 41-49.

55. IGN-INRAE (2020), *Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique...*, op. cit. ; Ademe (2017), *Projet Bicaff : bilan carbone de la ressource forestière française...*, op. cit.

**Figure 5 – Un vieux arbre porte des micro-habitats qui servent d’abris, de lieux de reproduction, d’hibernation et de nutrition pour de nombreux animaux, champignons et lichens**



Source : Büttler R., Lachat T., Krumm F., Kraus D. et Larrieu L. (2020), « Connaître, conserver et promouvoir les arbres-habitats », Notice pour le praticien, n° 64, WSL, janvier, p. 2

**Tableau 4 – Description schématique de deux stratégies de gestion en matière d'atténuation**

	Stratégie de moindre exploitation	Stratégie d'une exploitation accrue
<b>Stockage du carbone</b>	Le carbone est essentiellement stocké dans les forêts. Il s'agit de maintenir les vieux peuplements.	Il s'agit d'extraire une partie du carbone des forêts pour le capitaliser dans des matériaux bois à durée de vie longue. Le bois extrait est en partie compensé par des plantations plus jeunes.
<b>Gestion</b>	Développement des réserves biologiques. L'expansion de la forêt se fait majoritairement de façon spontanée	Les forêts sont gérées de façon à accroître leur productivité : peuplements jeunes et essences productives notamment de résineux. En plus de l'extension naturelle de la forêt, de nouvelles forêts sont plantées sur des terres agricoles en déprise. Les espèces plantées sont sélectionnées de façon à être adaptées aux conditions pédoclimatiques futures.
<b>Prélèvement</b>	Les prélèvements se situent autour de 50 % de la production biologique nette annuelle.	Les prélèvements se situent entre 70 % et 80 % de la production biologique nette annuelle.

Note : la stratégie de moindre exploitation est caractérisée par un faible taux de prélèvement, tandis que la stratégie d'une exploitation accrue est caractérisée par le développement de forêts productives et une intensification des prélèvements.

Source : France Stratégie

En matière d'atténuation, ce type de stratégie est efficace à court et moyen terme, la forêt stockant des quantités substantielles et croissantes de carbone<sup>56</sup>. Toutefois, à plus long terme, cette stratégie pourrait se révéler moins performante d'un point de vue carbone. En effet, si le stock de carbone forestier est plus élevé dans les peuplements âgés, la séquestration annuelle de carbone diminue à partir d'un certain âge (variable en fonction des essences) pour atteindre un bilan nul<sup>57</sup> : le carbone capté par la photosynthèse est alors compensé par le carbone émis par la respiration.

Par ailleurs, cette stratégie pourrait se révéler particulièrement vulnérable face au changement climatique. En effet, les forêts sont sensibles à certains aléas climatiques, susceptibles de se produire dans des peuplements âgés stockant des quantités élevées de carbone. Par exemple, un incendie ou une tempête peut conduire à un déstockage massif et rapide du carbone. De plus, en cas de régénération naturelle, l'adaptation des peuplements pourrait

#### Encadré 4 – Les différents modes de gestion forestière

**Futaie régulière** : les arbres composant le peuplement ont tous le même âge. Des coupes d'éclaircies sont réalisées tous les six à douze ans. En cas de régénération naturelle, des coupes progressives des arbres de gros diamètre, dites « coupes de régénération », sont effectuées. En cas de plantation, une coupe rase finale est réalisée. Ce type de sylviculture permet de produire des arbres de grandes dimensions et homogènes, adaptés à l'industrie du bois. C'est le mode de gestion majoritaire.

**Futaie irrégulière** : les arbres sont d'essences et d'âges variés. Il y a donc un étagement vertical des arbres. Les coupes sont limitées en volume (15 % à 30 % du volume) mais rapprochées dans le temps (entre cinq et dix ans). Une partie des coupes vise l'amélioration du peuplement tandis qu'une autre est destinée à la récolte. La futaie irrégulière, en assurant un couvert continu des sols, limite les phénomènes d'érosion et le relargage de carbone des sols.

**Taillis sous futaie** : le peuplement est constitué d'un étage inférieur, le taillis, et d'un étage supérieur, la futaie, composé d'arbres d'âges et d'essences différents.

**Taillis** : les rejets de souches sont maintenus par des coupes de rajeunissement. Généralement le bois de taillis est utilisé pour produire du bois énergie ou du bois industrie. Le taillis ne concerne que les feuillus.

s'avérer trop lente au regard des évolutions climatiques et se traduire par un dépérissement accru des arbres.

Cette stratégie pourrait s'accompagner d'un creusement du déficit de la balance commerciale avec des importations de plaquettes, sciages, pâte, panneaux et meubles, pour répondre à la demande, notamment si la demande augmente en lien avec le développement de la bioénergie et de l'utilisation du bois dans la construction-rénovation.

#### La stratégie d'une exploitation accrue, une assurance face aux risques climatiques

Cette stratégie pourrait se traduire par un appauvrissement de la biodiversité, cette dernière étant étroitement liée à l'âge des arbres ainsi qu'à la quantité de bois morts. La biodiversité pourrait être d'autant plus affectée, si cette stratégie s'accompagne de plantations monospécifiques en futaies régulières (Encadré 4). De plus, en cas de récolte accrue des branchages et feuillages, l'exportation de matière

56. Du Bus de Warnaffe G. et Angerand S. (2020), *Gestion forestière et changement climatique. Une nouvelle approche de la stratégie nationale d'atténuation*, Fern-Canopée, janvier.

57. Cette assertion est néanmoins aujourd'hui remise en question : les forêts, après un pic de captation à 80-100 ans, continuent de stocker indéfiniment, et ce notamment du fait d'un puits de carbone du sol plus efficace dans les vieux peuplements que dans les jeunes.



organique et de nutriments hors de la forêt augmenterait, ce qui pourrait affecter la fertilité des sols et, de fait, la croissance des arbres<sup>58</sup>.

À court et moyen terme, cette stratégie présente un bilan carbone dégradé par rapport à celui de la stratégie de moindre intervention, le stockage-substitution dans les matériaux bois à durée de vie longue ne suffisant pas à compenser les pertes de stockage en forêt<sup>59</sup>. En supposant les parts bois entre bois d'œuvre, bois industrie et bois énergie inchangées par rapport à aujourd'hui, cette stratégie pourrait conduire à une augmentation des émissions de carbone pendant au minimum trois décennies<sup>60</sup>. Toutefois, à long terme, le bilan carbone pourrait devenir plus favorable du fait du renouvellement des peuplements, notamment des peuplements déperissants, avec des arbres séquestrant annuellement davantage de carbone. La durée au bout de laquelle cette stratégie présenterait un meilleur bilan carbone que la précédente ne fait pas consensus. Elle dépend de la gestion forestière, des essences plantées, des effets du changement climatique sur la croissance et la mortalité des arbres, de la durée de vie des matériaux bois, du niveau de recyclage des matériaux bois ainsi que des effets de substitution (c'est-à-dire des émissions des produits substituables au bois pour ses différents usages).

Dans cette stratégie, la mortalité est atténuée par la reconversion des peuplements vieillissants ou déperissants, et les dégâts induits par les incendies et tempêtes sont réduits<sup>61</sup>. Les accidents sanitaires d'origine biotique pourraient néanmoins devenir prépondérants si cette stratégie s'accompagne d'une réduction de la palette variétale des espèces plantées.

La réussite de cette stratégie dépend donc non seulement de la capacité à développer une filière amont, capable de fournir des plants de qualité en quantité suffisante pour le renouvellement forestier, mais également de la capacité à développer une filière aval capable de valoriser le bois récolté, notamment le bois de feuillus, et de mettre en place des débouchés du bois matériau en construction-rénovation. Il pourrait se révéler difficile de trouver des débouchés pérennes pour les matériaux bois, en raison d'un ralentissement du secteur de la construction. La France devrait alors exporter les matériaux produits sur son territoire<sup>62</sup>.

Les soutiens publics annuels à la filière, nécessaires pour impulser la transformation attendue, pourraient être substantiels. Selon une étude IGN-INRAE s'appuyant sur le modèle économique French Forest Sector Model<sup>63</sup>, la somme des soutiens à l'investissement en forêt, à l'offre, au transport, à la transformation et à la demande pourrait atteindre 3,4 milliards annuels en 2030, contre 1,2 milliard en 2018<sup>64</sup>, et continuer à croître pour atteindre plus de 6 milliards en 2050.

### Le choix stratégique dépendra de la priorisation des objectifs

À l'aune des éléments détaillés précédemment et de façon schématique, nous pouvons comparer les deux stratégies susmentionnées (Tableau 5).

Les deux fonctions de la forêt que sont la séquestration-stockage de carbone dans la biomasse et les sols et l'indépendance énergétique (en fournissant du bois énergie) ne peuvent pas être maximisées en même temps : une récolte accrue de biomasse pour alimenter la filière bois énergie se fait au détriment de la séquestration de carbone en forêt, et inversement<sup>65</sup>. En revanche, il existe une forte compatibilité entre préservation du stock de carbone contenu dans les forêts et préservation de la biodiversité<sup>66</sup>.

**Tableau 5 – Comparaison de la stratégie intensive et de la stratégie extensive de gestion forestière**

	Intervention moindre	Intervention accrue
<b>Bilan carbone à court/moyen terme</b>	+	-
<b>Robustesse face aux événements extrêmes</b>	-	+
<b>Biodiversité</b>	+	-
<b>Coût pour les finances publiques</b>	+	-
<b>Activité de la filière</b>	-	+
<b>Indépendance énergétique</b>	-	+

Source : France Stratégie

58. Ademe (2014), *Gestion des rémanents forestiers. Préservation des sols et de la biodiversité*, mars.

59. Ademe (2017), *Projet Bicaff : bilan carbone de la ressource forestière française...*, op. cit. ; IGN-INRAE (2020), *Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique...*, op. cit.

60. Valade A. et Bellassen V. (2020), « Réchauffement du climat : est-ce que la forêt française peut apporter des solutions d'ici 2050 ? », *Sciences, eaux & territoires*, n° 33, p. 70-77.

61. IGN-INRAE (2020), *Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique...*, op. cit.

62. I4CE (2022), *Réorienter les usages du bois pour améliorer le puits de carbone. Sur quels produits miser en priorité ?*, juin.

63. IGN-INRAE (2020), *Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique...*, op. cit.

64. Cour des comptes (2020), *La structuration de la filière forêt-bois...*, op. cit.

65. Fortin M., Pelletier C., François J. et Dufour A. (2016), « La forêt : stock de carbone ou source d'énergie ? », *Revue forestière française*, vol. 68(2), AgroParisTech, p. 133-142.

66. Bouget C., Gosselin M. et Laroche F. (2020), « Changement climatique : la biodiversité forestière à la croisée des enjeux de conservation et d'atténuation », *Sciences, eaux & territoires*, n° 33, p. 84-89.

La stratégie retenue devra prendre en compte les effets présents et à venir du changement climatique. En effet, du fait du changement climatique, des dépérissements massifs, des difficultés de croissance et de nombreux échecs de plantations<sup>67</sup> sont observés en forêt. Cela explique une grande part de la diminution de la séquestration annuelle de carbone en forêt (qui a été divisée par deux en dix ans), même si la hausse des prélèvements y a aussi contribué. Pire encore, certaines forêts sont devenues, depuis quelques années, émettrices nettes, c'est-à-dire que la séquestration de carbone est inférieure aux prélèvements et à la mortalité, comme en région Grand Est. Si la tendance se poursuit, la forêt française, dans sa globalité, pourrait devenir émettrice nette de carbone en 2030<sup>68</sup>. Cela pourrait obérer l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050<sup>69</sup>, le puits forestier étant un élément indispensable pour l'atteinte de cet objectif. Cet impact du changement climatique est susceptible d'influer sur la gestion forestière de plusieurs manières :

- la moindre croissance des peuplements allonge, toutes choses égales par ailleurs, le temps de retour carbone des matériaux bois, ce qui devrait conduire à relativement moins prélever ;
- à l'inverse, le risque de dépérissement des peuplements renforce, à essences données, l'intérêt d'accroître les prélèvements afin de tirer profit de la ressource en bois (notamment en substitution des matériaux plus carbonés) tant qu'elle est disponible ;
- le changement climatique rend par ailleurs nécessaire d'adapter les peuplements aux nouvelles conditions pédoclimatiques, ce qui peut passer par le remplacement accéléré de certaines essences.

Dans les faits, il ne s'agit pas de choisir entre une intensification des prélèvements ou pas, mais d'adapter la gestion forestière (Encadré 4) aux caractéristiques de chaque peuplement. Ainsi, une gestion intensive en prélèvements accompagnée de plantations irrégulières présentant une large palette variétale et une forte diversité génétique pourrait être mise en place dans les peuplements dépérissants ou qui pourraient présenter à court et moyen terme une vulnérabilité face au changement climatique. Cela

permettrait d'installer progressivement des essences mieux adaptées aux conditions pédoclimatiques, et ainsi d'accroître la séquestration annuelle de carbone.

De même, l'identification des peuplements à forte naturalité, c'est-à-dire anciens et matures, en cours d'élaboration, apparaît indispensable<sup>70</sup>. Elle permettra d'identifier les forêts à haut potentiel en matière de biodiversité, et ainsi de limiter ou interdire leur exploitation. Cela apparaît d'autant plus opportun que leur exploitation par des coupes massives est susceptible de s'accompagner d'un déstockage du carbone contenu dans les sols. Afin d'accroître la richesse et la diversité biologique, il s'avère également essentiel de créer un véritable réseau de peuplements protégés, reliés entre eux par des îlots de sénescence ou de vieux arbres favorables à la biodiversité.

### Privilégier le bois matériau au bois énergie pour accroître l'atténuation

Quelle que soit la stratégie de gestion forestière choisie, une façon d'améliorer le bilan carbone de la filière forêt-bois serait de réorienter une partie des coproduits de la sylviculture et des connexes de la transformation du bois vers la production de matériaux à durée de vie longue (panneaux, isolants et bois d'ingénierie), en lieu et place du bois énergie<sup>71</sup>. En effet, bien que l'utilisation du bois en cascade (voir *supra*, partie 1.1), avec une priorité donnée aux usages du bois les moins émetteurs de gaz à effet de serre, soit en principe encouragée, dans les faits cette hiérarchie n'est que partiellement respectée.

Aujourd'hui 4,6 Mm<sup>3</sup> de panneaux et isolants sont consommés en France chaque année. Bien que la construction neuve soit amenée à diminuer en raison d'un ralentissement de la croissance démographique et de la mise en œuvre de politiques publiques de sobriété foncière, la demande en panneaux et isolants bois pourrait augmenter pour répondre aux besoins de rénovations énergétiques. Si le bois supplante massivement les autres matériaux de construction, les besoins pourraient atteindre 20 Mm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2050<sup>72</sup>. À structure identique de la filière, en réorientant la moitié des coproduits aujourd'hui dirigés vers la filière bois énergie, ce sont 10 Mm<sup>3</sup> de bois supplémentaires qui pourraient alimenter les filières des panneaux et isolants.

67. Taux de plantation en échec de 38 % en 2022 d'après le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire.

68. CEA (2023), « La capacité des forêts françaises à absorber le CO<sub>2</sub> s'effondre », article publié le 7 juin.

69. Académie des Sciences (2023), *Les forêts françaises face au changement climatique*, rapport, juin.

70. Benest F., Carruthers-Jones J. et Guetté A. (2021), « Travaux actuels d'inventaire des forêts à forte naturalité à l'échelle nationale et européenne », *Revue forestière française*, vol. 73(2-3), AgroParisTech, p. 161-178.

71. I4CE (2022), *Réorienter les usages du bois pour améliorer le puits carbone...*, op. cit.

72. *Ibid.*



## CONCLUSION

En matière de gestion forestière, si à court et moyen terme la stratégie de moindre exploitation apparaît la plus adaptée quant à la préservation de la biodiversité et la séquestration de carbone, à plus long terme, du fait du vieillissement des peuplements et de leur vulnérabilité accrue aux effets du changement climatique, elle pourrait se révéler moins performante en matière d'atténuation. De nombreuses incertitudes pèsent toutefois sur le bilan carbone comparé des deux stratégies, qu'il s'agisse de la croissance forestière et de la mortalité (qui sont affectées par le changement climatique), des coefficients de substitution du bois matériau et du bois énergie (qui pourraient être revus à la baisse avec la décarbonation des secteurs de la construction et de l'énergie), ou bien encore du niveau d'incorporation de bois recyclé dans les matériaux (qui pourrait allonger la durée de vie des matériaux bois).

Plus qu'un choix unique de gestion pour la forêt, la gestion forestière devra être adaptée aux caractéristiques des peuplements. Pour ce faire, un travail local de caractérisation de l'état de santé, d'identification de la biodiversité et d'évaluation de la vulnérabilité des peuplements face aux effets du changement climatique devra être conduit. Il permettra d'identifier les forêts à forte naturalité afin de les protéger et de privilégier l'exploitation et le renouvellement de celles présentant ou qui pourraient présenter des difficultés de croissance.

En matière de filière aval, le bois énergie contribue à l'indépendance énergétique de la France et constitue un substitut aux énergies fossiles. Toutefois, il conviendrait de considérer son bilan carbone réel afin d'évaluer son utilisation optimale. En effet, l'idée selon laquelle le bois énergie est neutre en carbone est peu représentative des phénomènes biogéochimiques, et pourrait conduire à un recours excessif au bois énergie. Une méthodologie devrait être développée pour rendre compte des émissions réelles inhérentes à la combustion du bois, tant dans la réglementation que dans les bilans carbone réalisés par les industries et les entreprises.

Afin d'améliorer le potentiel d'atténuation de la filière forêt-bois, il serait opportun de réorienter une partie du bois énergie vers la production de matériaux à durée de vie longue, tels les panneaux et les isolants nécessaires à la rénovation énergétique des bâtiments. Cela passera par le développement des industries de première et de deuxième transformation, ainsi que par la mise en place d'outils adaptés au gisement feuillu de la forêt française. De plus, une réorientation des soutiens publics du bois énergie vers la filière bois industrie de production de matériaux bois à durée de vie longue serait souhaitable.

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



[www.strategie.gouv.fr](http://www.strategie.gouv.fr)



[@strategie\\_Gouv](https://twitter.com/strategie_Gouv)



[france-strategie](https://www.linkedin.com/company/france-strategie)



[francestrategie](https://www.facebook.com/francestrategie)



[@FranceStrategie\\_](https://www.instagram.com/FranceStrategie_)



[StrategieGouv](https://www.youtube.com/StrategieGouv)



Directeur de la publication : Gilles de Margerie, commissaire général ;  
directeur de la rédaction : Cédric Audenis, commissaire général adjoint ;  
secrétariat de rédaction : Olivier de Broca, Gladys Caré, Valérie Senné ;  
dépôt légal : juillet 2023 - N° ISSN 2556-6059 ;

contact presse : Matthias Le Fur,  
directeur du service Édition-Communication-Événements,  
01 42 75 61 37, [matthias.lefur@strategie.gouv.fr](mailto:matthias.lefur@strategie.gouv.fr)

Institution autonome placée auprès de la Première ministre, France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de politiques publiques à la demande du gouvernement. Les résultats de ses travaux s'adressent aux pouvoirs publics, à la société civile et aux citoyens.