

**CONNAÎTRE ET AGIR :
LE CARBONE FORESTIER**





JÉRÔME MOUSSET
 Directeur Bioéconomie
 et Énergies
 renouvelables

LES FORÊTS ET LES USAGES DU BOIS, des rôles essentiels dans la lutte contre le changement climatique

Les forêts rendent de nombreux services essentiels à la société. Elles constituent des réservoirs de biodiversité inestimables, contribuent à la conservation des sols et de la qualité des eaux, au captage et au stockage du carbone, aux valeurs et services socio-culturels et fournissent du bois pour

les matériaux et l'énergie.

Que ce soit au niveau mondial, européen ou national, les forêts sont au cœur des stratégies de protection de la biodiversité et de lutte contre le changement climatique. Elles en subissent les effets et jouent un rôle majeur pour les atténuer. En France, les stratégies nationales bas carbone et pour la biodiversité, le Programme national de la forêt et du bois et la loi de transition énergétique pour la croissance verte structurent les objectifs de développement des usages du bois et les orientations du secteur forestier, essentiel à la transition écologique et à l'atteinte de la neutralité carbone en 2050.

Le secteur forestier est donc un enjeu fort pour l'ADEME qui appuie les territoires et les organisations dans des trajectoires bas carbone et d'adaptation au changement climatique, favorisant la qualité de l'air, l'économie circulaire, la sobriété et le développement des énergies renouvelables. Dans ce cadre, elle soutient de nombreux programmes de recherche sur la forêt et les usages du bois, et accompagne le développement des filières bois à haute performance environnementale.

Les enjeux des forêts et des usages du bois dans la lutte contre le changement climatique sont néanmoins complexes. En collaboration avec des représentants de la recherche, des pouvoirs publics, des organismes de gestion forestière et des filières bois ainsi que des associations environnementales, l'ADEME a souhaité fournir des éléments de compréhension aux différents acteurs concernés par les actions climatiques, la gestion des forêts et le développement des usages du bois.

Ce guide présente ainsi le cycle de carbone en forêt (dont le captage et le stockage de carbone) et les effets induits par les différents usages du bois, comme le stockage dans les produits à longue durée de vie et l'évitement d'émissions de carbone d'origine fossile. Il décrit comment ces mécanismes interagissent en s'appuyant sur les derniers résultats des programmes de recherche. Il présente ensuite des leviers d'action et les outils disponibles pour favoriser les enjeux de la lutte contre le changement climatique dans le cadre d'une gestion forestière durable et multifonctionnelle.

Souhaitons que ce guide contribue largement à la compréhension des mécanismes du cycle du carbone et à la diffusion des leviers d'actions. Il est ainsi destiné aux acteurs de la forêt et de la filière bois ainsi qu'aux acteurs du climat. Basé sur l'état actuel des connaissances et résultats de compromis entre les contributeurs, il sera amené à évoluer à l'avenir avec les avancées scientifiques sur le sujet. ○

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME
 20, avenue du Grésillé
 BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination technique: Miriam Buitrago, ingénieure au service Forêt, Alimentation et Bioéconomie de l'Ademe

Suivi éditorial: Sylvie Guyader, Service mobilisation des professionnels de l'ADEME

Rédaction et conception graphique: Terre écos

Illustrations: Audrey Zeller

Impression: Imprimerie Peau - Certification PEFC, Imprim'Vert, Print Environnement.

Brochure Réf. ADEME 010986 téléchargeable sur www.ADEME.fr/mediatheque

EAN imprimé: 9791029714498

EAN numérique: 9791029714504

Dépôt légal: © ADEME Éditions, avril 2021 - 500 exemplaires

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Définitions

Qu'est-ce que... page **05**

Enjeux

La filière bois-forêt, clef de voûte du cycle du carbone Page **07**
Les politiques publiques fixent les caps à suivre Page **10**
Du sol à la cime des arbres, la forêt stocke du carbone Page **12**
Les produits bois stockent du carbone et aident à réduire les émissions fossiles Page **15**
La recherche de la complémentarité optimise l'atténuation Page **18**

Leviers

Évaluer la contribution à l'atténuation du changement climatique Page **20**
Préserver les surfaces forestières et boiser les terres dégradées Page **22**
Privilégier les pratiques favorables au stockage de carbone et au bois de qualité Page **24**
Faciliter la résilience et l'adaptation des forêts au changement climatique Page **27**
Soutenir l'économie circulaire, un pilier de la filière bois Page **29**

Outils

Un large éventail d'outils pour une gestion durable intégrant les enjeux climatiques Page **32**
Quel soutien financier pour les progrès du secteur forestier ? Page **34**

Perspectives

Amélioration de connaissances, diffusion et concertation Page **36**

Bibliographie Page **37**

Remerciements et mentions Page **39**

Les numéros entre crochets dans ce document renvoient à la bibliographie en pp. 37-38

QU'EST-CE QUE...

1 ... une gestion forestière durable ?

« La gérance et l'utilisation des forêts et des terrains boisés, d'une manière et à une intensité telles qu'elles maintiennent leur diversité biologique, leur productivité, leur capacité de régénération, leur vitalité et leur capacité à satisfaire, actuellement et dans le futur, les fonctions écologiques, économiques et sociales pertinentes aux niveaux local, national et mondial; et qu'elles ne causent pas de préjudices à d'autres écosystèmes. »¹

COMMENT SONT ÉVALUÉS LES STOCKS DE CARBONE ?

Les stocks de carbone sont mesurés en France par des outils fiables et adaptés: l'inventaire forestier national, réalisé par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), mesure ceux de la biomasse; les réseaux de mesure de la qualité des sols (RMQS) et le réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) évaluent ceux des sols.

2 ... un réservoir et des stocks de carbone forestiers ?

Le réservoir de carbone forestier est composé de différents compartiments interconnectés: la biomasse aérienne et souterraine, le bois mort, la litière, la matière organique des sols et les produits bois. La quantité de carbone contenue dans l'ensemble de ces compartiments à un moment donné correspond aux stocks de carbone forestiers.

3 ... un puits de carbone ?

Tout système qui absorbe plus de carbone qu'il n'en émet est un puits de carbone. Le réservoir forestier est considéré comme un puits lorsque son stock de carbone, qui cumule l'ensemble des compartiments, augmente. À l'inverse, une réduction des stocks représente une émission de carbone vers l'atmosphère. Pour calculer cette évolution, un bilan est réalisé entre le carbone entrant, issu de la croissance de la biomasse vivante, et sortant,

lié aux pertes par mortalité et prélèvements du bois (en tenant compte de la durée de vie du bois mort et des produits bois). À l'échelle de la forêt, le bilan comptabilise également les variations de stocks dans la litière et les sols. Les puits de carbone sont essentiels pour atteindre les objectifs de neutralité carbone [5] à l'échelle planétaire. La neutralité carbone implique un équilibre entre les émissions de gaz à effet de serre et la séquestration de carbone atmosphérique par des puits.

L'EXPANSION ET LA MATURATION DE LA FORÊT FRANÇAISE EN FONT UN PUIIS DE CARBONE IMPORTANT

Les forêts métropolitaines connaissent depuis deux siècles une dynamique d'expansion inédite. Au cours du XX^e siècle, la surface forestière s'est accrue de 6 millions d'hectares, pour couvrir aujourd'hui 16,8 millions d'hectares. Cette expansion de surface couplée à la maturation des forêts se traduit par une augmentation du stock de bois sur pied, qui a doublé au cours des cinquante dernières années [11]. Cette situation fait de la forêt française un puits de carbone important actuellement. Le taux moyen de prélèvements de bois entre 2009 et 2017, pour l'ensemble des usages, représente 60 % de l'accroissement biologique net² de la forêt [16].

4 ... les unités de mesures tC, tCO₂ et tCO₂eq ?

Les stocks sont généralement exprimés en tonnes de carbone (tC). Les flux de carbone liés aux variations de stock entre le réservoir forestier et l'atmosphère le sont en tonnes de dioxyde de carbone par an (tCO₂/an): une variation annuelle de stock de 1 tC correspond à un flux de 3,667 tCO₂/an (émission ou séquestration selon s'il s'agit d'une perte ou d'un gain de stock). On parle d'émissions de CO₂ équivalentes (CO₂eq) lorsque différents flux de GES sont additionnés. Ces émissions sont calculées sur la base des PRG (pouvoir de réchauffement global) à cent ans définis par le 4^e rapport du Giec: 1 pour le CO₂, 25 pour le CH₄ et 298 pour le N₂O.

1. Selon la définition du Processus d'Helsinki (Résolution H1 de la Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe).

2. Après déduction de la mortalité naturelle.

LES FORÊTS DANS L'INVENTAIRE NATIONAL DE GAZ À EFFET DE SERRE

L'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre (GES) [9], réalisé tous les ans par le Citepa³, comptabilise le puits de carbone de la forêt et des produits bois dans le secteur intitulé « Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) ». Il se fonde notamment sur les données de l'IGN, des services statistiques du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, du bilan de l'énergie (SDES) et des réseaux de suivi des sols. En 2019, ce puits total est estimé à 51,9 MtCO₂eq⁴ : 51,1 MtCO₂eq pour les forêts (dont 50,8 MtCO₂eq pour les forêts métropolitaines)⁵ et 0,8 MtCO₂eq pour les produits bois. Au total cela correspond à une séquestration d'environ 11 % des émissions de GES des autres secteurs. Les émissions de CO₂ liées à la dégradation ou à la combustion des produits bois en fin de vie et du bois énergie sont comptabilisées dans le calcul du puits forestier, au sein du secteur UTCATF, en tant que pertes de stocks de carbone. Ces pertes sont comptabilisées comme émissions au moment des prélèvements du bois sur la ressource, ou bien en fin de vie des produits bois à longue durée de vie. Afin d'éviter un double comptage, ces émissions de CO₂ ne sont pas comptabilisées dans les secteurs consommateurs de bois⁶. Le Règlement (UE) n° 2018/841 relatif au secteur UTCATF marque l'obligation de comptabilisation du puits forestier par rapport à un niveau de référence projeté⁷, établi sur la base des pratiques historiques, afin de prendre en compte les éventuels impacts liés aux modifications des pratiques sylvicoles ou du taux de prélèvements du bois dans les forêts restant forêts. On notera que les émissions liées aux défrichements⁸ des forêts en lien avec l'urbanisation, ou encore l'extension des terres agricoles, ne sont pas associées à la catégorie « Forêt » dans les inventaires. Les changements d'utilisation des terres sont rapportés selon l'usage final (par exemple, les « forêts converties en terres cultivées » sont incluses dans la catégorie « Terres cultivées »). Les défrichements de forêts représentent, en 2019 en France, une émission de 7,6 MtCO₂eq/an en France métropolitaine et de 3,7 MtCO₂eq/an en Outre-mer.

5 ... les différents usages complémentaires du bois ?

Le bois d'œuvre (BO), issu de la tige des arbres, doit respecter certains critères de dimensions et de qualité pour être destiné au sciage et être utilisé sous forme de bois massif : charpentes, menuiseries, meubles, parquets... Le bois d'industrie (BI) provient de la tige des arbres de plus faible diamètre ou de qualité inférieure, des plus grosses branches d'une certaine rectitude et des produits connexes du sciage ou du recyclage. Il est utilisé sous forme fragmentée ou défibrée pour fabriquer de la pâte à papier et des panneaux de bois. Le bois énergie (BE) valorise la même typologie de bois que le bois d'industrie, avec en plus l'ensemble du houppier, pour former des plaquettes, des bûches ou des granulés destinés à la production de chaleur et, dans une moindre mesure, à la production simultanée de chaleur et d'électricité (cogénération). D'autres usages seront amenés à se développer, comme la chimie du bois ou les biocarburants de deuxième génération.

Le bois énergie (BE) valorise la même typologie de bois que le bois d'industrie, avec en plus l'ensemble du houppier, pour former des plaquettes, des bûches ou des granulés destinés à la production de chaleur et, dans une moindre mesure, à la production simultanée de chaleur et d'électricité (cogénération). D'autres usages seront amenés à se développer, comme la chimie du bois ou les biocarburants de deuxième génération.

6 ... la substitution matériau et énergie ?

La substitution fait référence à l'utilisation accrue du bois en remplacement d'autres matériaux et énergies non renouvelables. Elle se calcule en comparant les émissions fossiles de la filière bois (sylviculture, chaîne de transformation, transport, etc.) aux émissions fossiles qui auraient été émises par d'autres filières lors de la production d'un même service.

LES ÉMISSIONS DE GES D'ORIGINE FOSSILE DE LA FILIÈRE BOIS

Dans l'inventaire national de GES [16], les émissions de gaz à effet de serre d'origine fossile de la filière bois sont comptabilisées de façon segmentée dans différents secteurs. En 2018, elles correspondent à 0,56 MtCO₂eq liées à la consommation d'énergies fossiles en sylviculture, 0,55 MtCO₂eq liées aux scieries et 2,4 MtCO₂eq à l'industrie papier-carton, auxquelles s'ajoutent les émissions d'utilisation du bois dans la construction et la fabrication de meubles. Cependant, pour ce dernier secteur, la comptabilisation dans l'inventaire national ne permet pas de différencier le bois des autres matériaux.

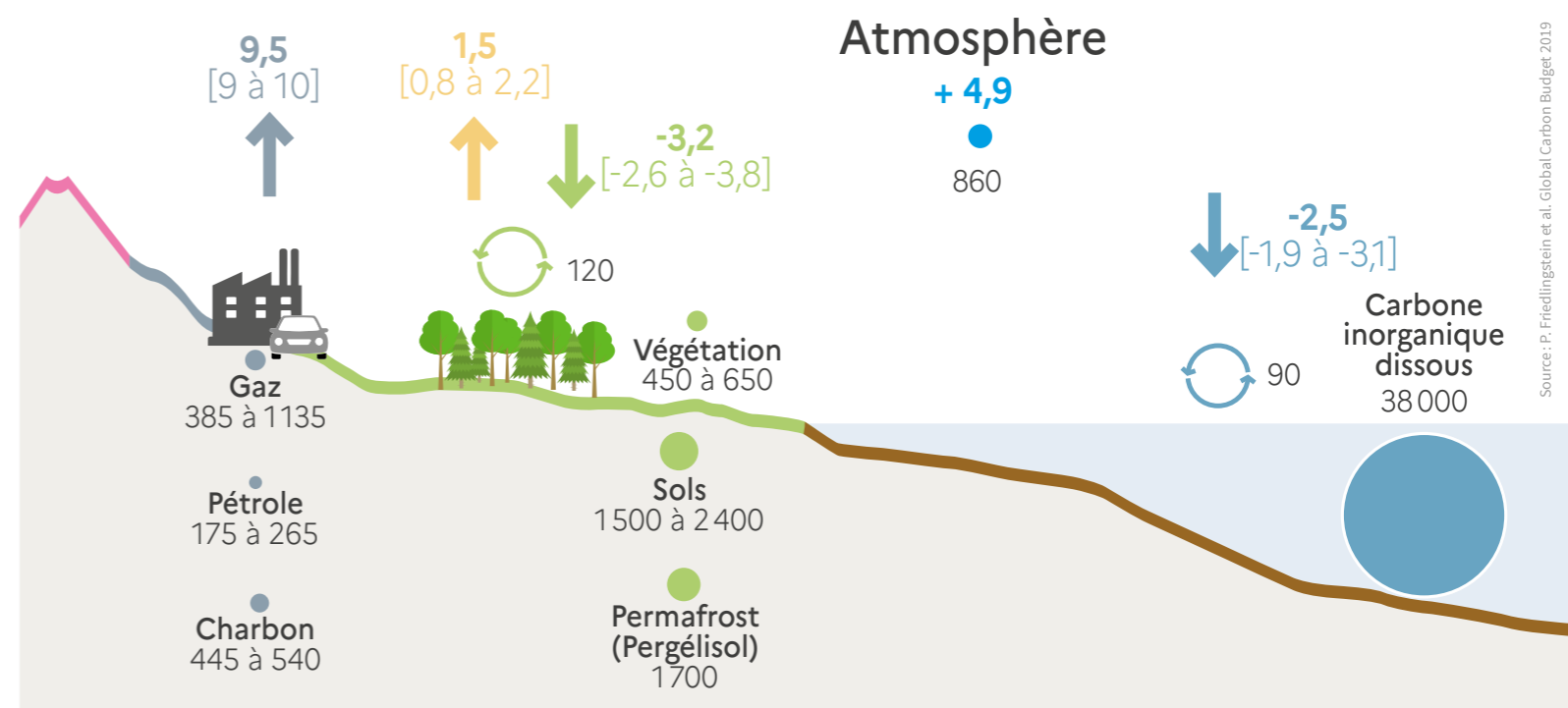
3. Centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique.
 4. Intégrant les émissions de CH₄ et N₂O liées notamment à la combustion de la biomasse lors du brûlage en forêt des résidus de coupes et des feux de forêts. Le puits de CO₂ est estimé à 52,86 MtCO₂.
 5. Ce résultat est sensiblement inférieur aux données présentées dans ce guide (cf. p. 12), qui proviennent notamment des indicateurs de gestion durable des forêts [22]. Les écarts s'expliquent par la différence des années de référence, la méthodologie utilisée pour comptabiliser les boisements et l'absence de prise en compte par l'inventaire national de GES des variations de stocks de carbone dans les sols, celui-ci considérant ce compartiment du réservoir forestier à l'équilibre.
 6. Les émissions de CH₄ et N₂O liées à la combustion de la biomasse pour la production d'énergie sont en revanche comptabilisées dans les secteurs consommateurs de bois, estimés en 2019 à 1,29 MtCO₂eq principalement dans le secteur résidentiel.
 7. FRL pour Forestry Reference Level en anglais. La comparaison entre le puits forestier estimé dans l'inventaire national et le FRL permettra de comptabiliser un débit ou un crédit comptable, calculé sur chaque période d'engagement [25].
 8. Conversion d'une surface forestière à une autre utilisation. Aujourd'hui, malgré un bilan net positif en termes d'augmentation de la surface forestière en France, des défrichements existent mais sont encadrés par la législation et soumis à des mesures compensatoires.

LA FILIÈRE BOIS-FORÊT, CLEF DE VOÛTE DU CYCLE DU CARBONE

LA FORÊT CONSTITUE UN RÉSERVOIR ET UN PUIT DE CARBONE QUI SONT ESSENTIELS POUR LE CLIMAT. ELLE FOURNIT ÉGALEMENT DES MATÉRIAUX ET DES ÉNERGIES RENOUVELABLES PERMETTANT DE LIMITER LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE D'ORIGINE FOSSILE.

Le principe d'atténuation du changement climatique consiste à stabiliser rapidement les concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, à un niveau qui réduit au maximum toute répercussion néfaste pour l'Homme et les écosystèmes. Pour cela, les actions d'atténuation visent à réduire les sources ou à renforcer les puits de gaz à effet de serre, tels que les forêts et les sols.

STOCKS ET FLUX DE CARBONE DANS LE MONDE ENTRE 2009 ET 2018



↑ Émissions fossiles (GtC/an) ↓ Séquestration dans la végétation et les sols (GtC/an) ↑ Émissions liées au changement d'utilisation des terres
 ↓ Séquestration dans les océans (GtC/an) + Augmentation dans l'atmosphère (GtC/an) ● Stocks (GtC) ○ Échanges avec l'atmosphère (GtC/an)

Le plus important flux de carbone mondial annuel vers l'atmosphère correspond aux émissions d'origine fossile (86 %), auxquelles s'ajoutent les émissions liées aux changements d'occupation des terres, notamment la déforestation à l'échelle de la planète (cf. p. 23). La végétation, les sols et les océans sont des puits de carbone : des réservoirs qui absorbent plus de gaz à effet de serre qu'ils n'en émettent. Le carbone inorganique dissous provient de la dissolution des minéraux des roches et du CO₂ des sols ; il contribue à acidifier les océans. Stocks et flux sont ici exprimés dans une même unité, la tonne de carbone, pour faciliter la compréhension (cf. p. 5).

Trois rôles dans l'atténuation du changement climatique

En absorbant du dioxyde de carbone (CO₂), grâce à la photosynthèse, les forêts jouent trois rôles essentiels dans l'atténuation climatique :

- **1) un rôle de réservoir** du fait du stockage de carbone dans la végétation et les sols des forêts, ainsi que dans les produits bois ;
- **2) un rôle de puits** car l'augmentation des stocks de carbone dans le réservoir forestier permet de retirer du CO₂ de l'atmosphère¹ ;
- **3) un rôle de réduction des émissions d'origine fossile** grâce à l'utilisation du bois en substitution d'autres matériaux (acier, ciment,

LES SERVICES RENDUS PAR LES FORÊTS

Outre sa participation au cycle du carbone, la forêt fournit un ensemble de services et de valeurs grâce à son patrimoine biologique et à sa biodiversité [8] : conservation des sols, protection contre les aléas naturels, filtrage des particules et des polluants, augmentation de la disponibilité et de la circulation de l'eau, service d'approvisionnement en matériaux et énergies, services socio-culturels (activités de loisir et de tourisme), dimension patrimoniale, etc. Une gestion forestière durable (cf. p. 5) et multifonctionnelle préserve ce faisceau de services et de valeurs.

etc.) ou énergies (charbon, pétrole, gaz, etc.), davantage consommateurs ou émetteurs de carbone fossile. Par sa capacité à maintenir et à augmenter les stocks de carbone en dehors de l'atmosphère, dans les forêts et les produits bois (rôle

1 et 2), et à réduire les émissions de GES d'origine fossile (rôle 3), le secteur forêt-bois est stratégique pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050. Ces mécanismes sont parfois regroupés sous l'appellation « 4S » : la séquestration

de carbone en forêt (réservoir et puits *in situ*), le stockage du carbone dans les produits bois (réservoir et puits *ex situ*), et les deux types de substitution, matériau et énergie. Ces mécanismes doivent être évalués conjointement car ils sont interconnectés : une action de réduction des émissions d'origine fossile par substitution, ou destinée à favoriser le stockage dans les produits bois, peut avoir un effet sur la fonction de puits ou de réservoir de carbone des forêts (cf. pp. 18-19).

Atténuation et adaptation sont indissociables

La capacité d'atténuation de la forêt repose sur son état de santé

LES FORÊTS D'OUTRE-MER

En plus de 16,8 millions d'hectares de forêts en métropole [16], la France compte plus de 8 millions d'hectares de forêt tropicale, diversifiée et riche en biodiversité dans les territoires ultramarins, principalement en Guyane. Son stock de carbone, en moyenne évalué à près de 300 tonnes par hectare (intégrant la biomasse et le sol) [21], représente, par unité de surface, presque le double de celui des forêts métropolitaines. Avec deux fois moins de surface, le réservoir forestier de carbone outre-mer est donc du même ordre de grandeur que celui de l'Hexagone. L'enjeu de sa protection est crucial dans la lutte contre le changement climatique.

et sur la préservation de ses différentes fonctions écologiques. Les massifs seront soumis aux effets du changement climatique, c'est pourquoi favoriser leur résilience et leur adaptation constitue un

enjeu impérieux pour mener à bien l'action d'atténuation (cf. pp. 27-28). À l'inverse, seul un changement climatique atténué permettra d'assurer la réussite des stratégies d'adaptation des forêts. ○

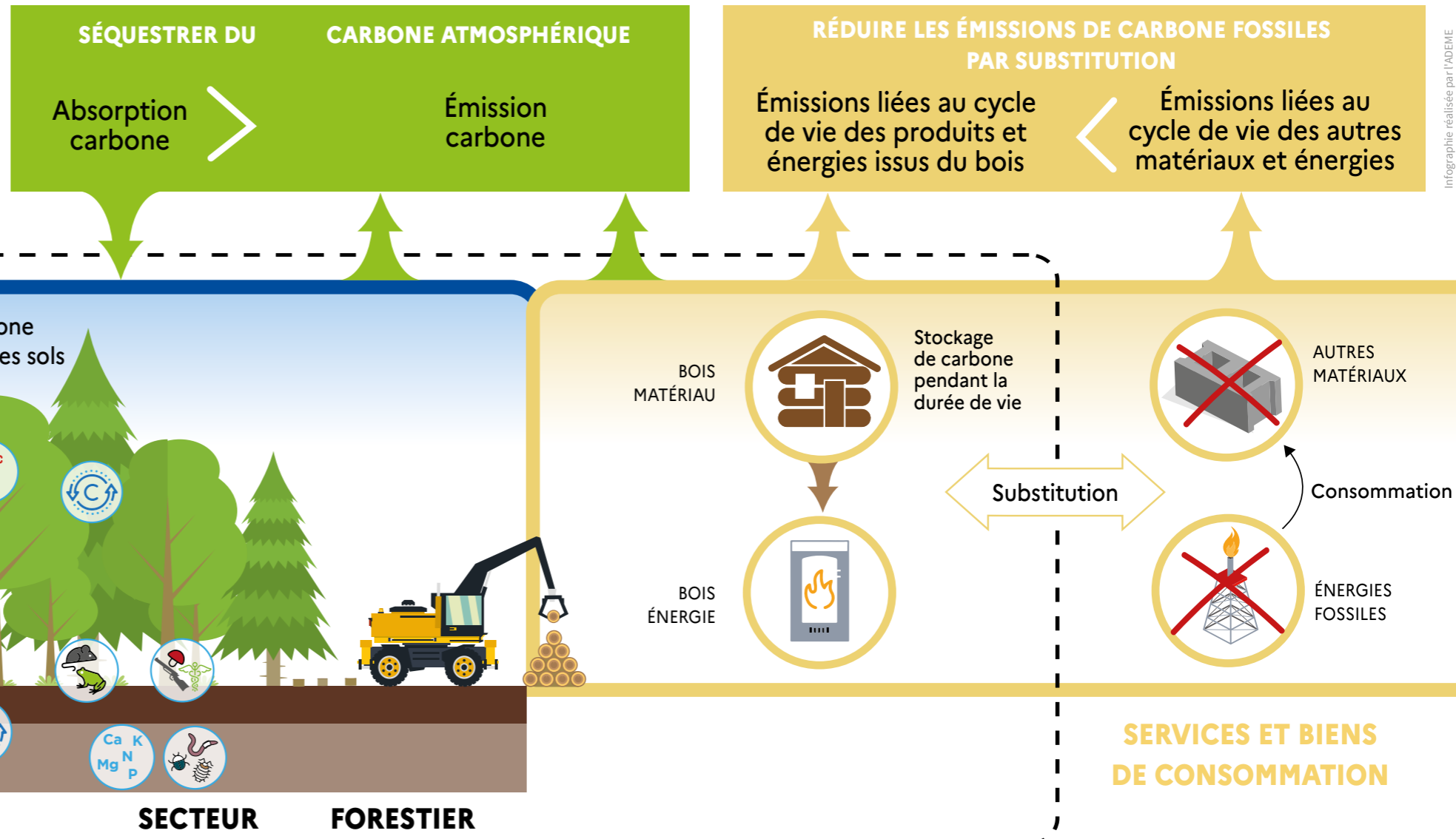
1. Inversement une réduction des stocks génère des émissions de CO₂ : c'est une source de carbone.

LA FORÊT ET LES USAGES DU BOIS DANS LE CYCLE DU CARBONE AU SEIN DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Bilan carbone biogénique : absorptions liées à l'accroissement biologique des forêts et émissions liées à la dégradation ou à la combustion du bois par mortalité naturelle et fin de vie des produits bois issus des prélèvements, auxquelles sont ajoutées les variations de carbone dans les sols et la litière.

Bilan carbone fossile : émissions GES liées à l'utilisation de combustibles fossiles tout le long du cycle de vie (production, transformation, transport, utilisation, fin de vie).

- Régulation de la qualité et des flux des eaux
- Biodiversité
- Patrimoine culturel et identitaire
- Stockage de carbone
- Maintien de la fertilité des sols et prévention contre l'érosion
- Protection contre les aléas naturels
- Chasse et cueillette
- Régulation des températures
- Services récréatifs



Infographie réalisée par l'ADEME

LES POLITIQUES PUBLIQUES FIXENT LES CAPS À SUIVRE

LES POLITIQUES PUBLIQUES ACCORDENT TOUTES UNE IMPORTANCE À LA SÉQUESTRATION DU CARBONE ET À LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX ET ÉNERGIES D'ORIGINE RENOUVELABLE. LEUR AMBITION EST AUSSI D'ADAPTER LA FORÊT ET LA FILIÈRE BOIS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE RENFORCER UNE GESTION FORESTIÈRE DURABLE ET MULTIFONCTIONNELLE.

L'atténuation du changement climatique grâce à la forêt et au bois constitue un objectif de politique publique, tant au niveau international et européen que national. La forêt et la filière bois constituent un secteur stratégique pour la neutralité carbone à l'horizon 2050, en répondant à deux besoins: celui d'alimenter l'économie en produits biosourcés renouvelables et en biomasse énergie, et celui de contribuer fortement au puits de carbone terrestre (cf. pp. 7-8). Mais les politiques

publiques ne se concentrent pas uniquement sur l'axe carbone.

Une multifonctionnalité à préserver



Elles prennent en compte, dans la gestion forestière, l'ensemble des valeurs associées aux écosystèmes forestiers (cf. pp. 8-9), qu'elles soient économiques (création de valeur et d'emplois), environnementales (biodiversité, qualité de l'eau et de l'air, lutte contre l'érosion des sols, gestion des risques naturels...) ou sociales (activités de loisir et de tourisme, façonnage des paysages...). ○

PAS D'ATTÉNUATION SANS ADAPTATION



La Stratégie nationale bas-carbone souligne, dans sa version révisée publiée en avril 2020, la nécessité de conjuguer les actions d'atténuation, d'adaptation au changement climatique et de gestion des risques (sécheresses, incendies, crises sanitaires, tempêtes...) afin de garantir la pérennité des rôles que la forêt et le bois jouent pour nos sociétés. Pour le secteur forêt-bois, atténuation du changement climatique et adaptation doivent être traitées en synergie (cf. p. 8). Les acteurs de la forêt et du bois ont remis, le 22 décembre 2020, au ministre de l'Agriculture et de l'Alimentation leur feuille de route pour l'adaptation des forêts au changement climatique¹. L'objectif est d'assembler les connaissances et de définir les grandes orientations permettant de maintenir les forêts et leurs services, et donc leur potentiel d'atténuation pour l'avenir.

1. <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/123421?token=4beb18b0c9c5ea4e439b9e4ded3e4ef1c580be84ff171a6cb981f35ef6a01fa7f>

DE L'INTERNATIONAL AUX TERRITOIRES, LES POLITIQUES

	TEXTES RÉFÉRENTS	PÉRIODE D'APPLICATION	OBJECTIFS
 INTERNATIONAL	<ul style="list-style-type: none"> • Accord de Paris, adopté sous la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). • Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD) • Objectifs de développement durable (ODD) n° 13 et 15. • Convention sur la biodiversité 	<p>À compter de 2021</p> <p>Depuis décembre 1996</p> <p>Depuis septembre 2019</p> <p>Depuis 1992</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels; • Atteindre la neutralité carbone dans la seconde moitié du siècle. • Conservation de la biodiversité
 UNION EUROPÉENNE	Cadre énergie climat 2030	2021 à 2030	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction d'au moins 40 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) par rapport aux niveaux de 1990; • Part d'au moins 32 % pour les énergies renouvelables; • Amélioration d'au moins 32,5 % de l'efficacité énergétique.
	Règlement UTCATF⁽¹⁾ Règlement (UE) n° 2018/841 du 30 mai 2018	2021 à 2030	<ul style="list-style-type: none"> • L'objectif est de ne pas dégrader la quantité de CO₂ séquestrée annuellement dans les sols agricoles, les forêts et les produits bois de l'UE, pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris.
	Directive (UE) 2018/2001 du 11 décembre 2018, dite « EnR II »⁽²⁾, pour Énergies renouvelables II	2021 à 2030	<ul style="list-style-type: none"> • Cette directive fixe des critères de durabilité et de réduction des émissions de GES pour l'ensemble de l'énergie produite à partir de biomasse, y compris forestière.
	Stratégie en faveur de la biodiversité	2021 à 2030	<ul style="list-style-type: none"> • Créer des zones protégées représentant au moins 30 % des mers et des terres en Europe; • Restaurer les écosystèmes marins et terrestres dégradés.
	Stratégie forestière de l'Union européenne	À partir de 2021	<ul style="list-style-type: none"> • Cette stratégie, renouvelée en 2021, vise à favoriser la préservation, la restauration et la gestion durable des forêts, à améliorer leur résilience et la protection de la biodiversité ainsi qu'à promouvoir la bioéconomie circulaire.

PUBLIQUES DÉFINISSENT DES OBJECTIFS

	TEXTES RÉFÉRENTS	PÉRIODE D'APPLICATION	OBJECTIFS
 FRANCE	<ul style="list-style-type: none"> • Stratégie nationale bas-carbone (SNBC 2) • Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) • Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse (SNMB) • Programme national forêt-bois (PNFB) 	Depuis 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamiser la gestion forestière dans un cadre durable, avec une meilleure adaptation de la forêt au changement climatique; • Augmenter la récolte et l'utilisation du bois. La SNBC reprend les objectifs du PNFB (+ 12 Mm³ entre 2016 et 2026) et est traduite par la PPE en termes de biomasse énergie (+ 37 à + 49 TWh de chaleur à partir de biomasse solide en 2028 par rapport à 2017); • Assurer un suivi des impacts de l'augmentation de récolte de bois, notamment en matière de biodiversité.
	Décret n° 2018-1043 du 28 novembre 2018 et arrêté du 28 novembre 2018 définissant le référentiel du Label Bas-Carbone	Depuis avril 2019	Encadrement des projets locaux de réduction des émissions de GES et d'amélioration de la séquestration carbone, à travers un financement par des entreprises ou des institutions, dans le cadre de contribution carbone ou de leur compensation volontaire.
	<ul style="list-style-type: none"> • Stratégie nationale pour les aires protégées 2030 • Stratégie nationale biodiversité 	Depuis janvier 2021 En cours de révision	<ul style="list-style-type: none"> • 30 % du territoire sous aires protégées; • 10 % du territoire sous protection forte.
 RÉGION/TERRITOIRE	Volet forestier du Plan de relance	2021-2022	Adaptation de la forêt au changement climatique pour mieux l'atténuer: 45 000 hectares de forêt reconstitués et adaptés, 50 millions d'arbres plantés et 200 M€ consacrés.
	<ul style="list-style-type: none"> • Programmes régionaux de la forêt et du bois (PRFB) • Schémas régionaux biomasse (SRB) 	Depuis 2020	Déclinaison régionale du PNFB.
	Plan climat-air-énergie territorial (PCAET)	Depuis 2016	Déclinaison et met en œuvre sur un territoire les objectifs internationaux, européens et nationaux en matière de qualité de l'air, d'énergie et de climat. Intègre des mesures sur la séquestration du carbone dans les sols et la végétation, la promotion de l'utilisation des matériaux biosourcés et des bioénergies.

(1) Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie. LULUCF: Land Use, Land Use Change, and Forestry en anglais.
(2) RED II en anglais.

DU SOL À LA CIME DES ARBRES, LA FORÊT STOCKE DU CARBONE

SOLS, RACINES, TRONCS ET BRANCHES, BOIS MORT... L'ÉCOSYSTÈME FORESTIER ABRITE DE NOMBREUX RÉSERVOIRS DE CARBONE. LE MAINTIEN DE CES STOCKS ET, SI POSSIBLE, LEUR AUGMENTATION CONSTITUENT UN ENJEU CRUCIAL DANS LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE.

Chaque compartiment de l'écosystème forestier est un réservoir de carbone: biomasse vivante aérienne et souterraine, bois mort, litière et matière organique du sol. Avec les zones humides, la forêt fait partie des occupations des sols qui possèdent les stocks les plus importants à l'hectare (cf. p. 22). Ces stocks sont très variables selon les conditions pédoclimatiques et les pratiques de gestion. Ceux des sols forestiers sont du même ordre de grandeur que ceux des prairies permanentes et loin devant ceux des sols cultivés ou imperméabilisés (cf. pp. 22-23). Ils stockent en moyenne 81 tC/ha dans leurs trente premiers centimètres et 9 tC/ha dans la litière [28]. À cela s'ajoutent les quantités de carbone contenues dans la biomasse vivante

aérienne et souterraine (en moyenne 79 tC/ha), ainsi que dans la biomasse morte (en moyenne 7 tC/ha) [22]. Aujourd'hui, la forêt métropolitaine joue un rôle de puits de carbone (cf. p. 5) : chaque année, ses stocks augmentent. En moyenne, entre 2010 et 2015, les estimations révèlent une séquestration dans la biomasse de 63 MtCO₂ supplémentaires par an. Avec une incertitude beaucoup plus importante, les sols forestiers pourraient séquestrer en moyenne 20 MtCO₂ par an [22]. Les sols forestiers sont a priori ceux dont l'augmentation des stocks est la plus importante en France aujourd'hui. Ce puits de carbone *in situ* dans la biomasse et les sols des forêts s'explique principalement par l'augmentation de la surface forestière et la croissance des arbres en volume, supérieure

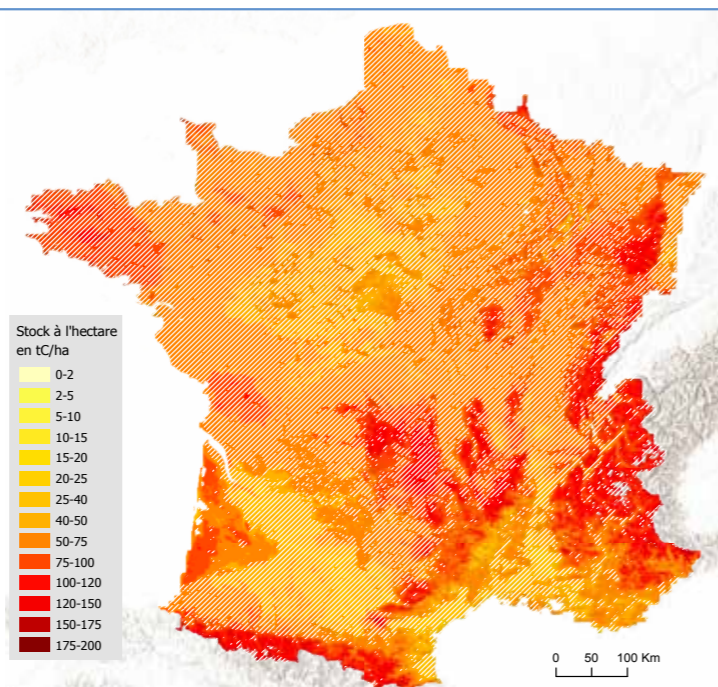
aux pertes par mortalité et aux prélèvements du bois (cf. p. 5).

Préserver le carbone du sol

Selon l'histoire de la parcelle, l'âge du peuplement, l'essence, les pratiques sylvicoles, les conditions pédoclimatiques ou les événements extrêmes (sécheresses, tempêtes, incendies, invasions biologiques...), chacun de ces compartiments peut séquestrer davantage de carbone, en perdre ou atteindre un état d'équilibre. Dans le cas du sol, l'historique est un élément essentiel. Pour les forêts anciennes, dont le sol est boisé depuis au moins deux siècles et qui ont été exploitées de manière à limiter les impacts sur le carbone du sol, le stock est très élevé et peut approcher l'équilibre.

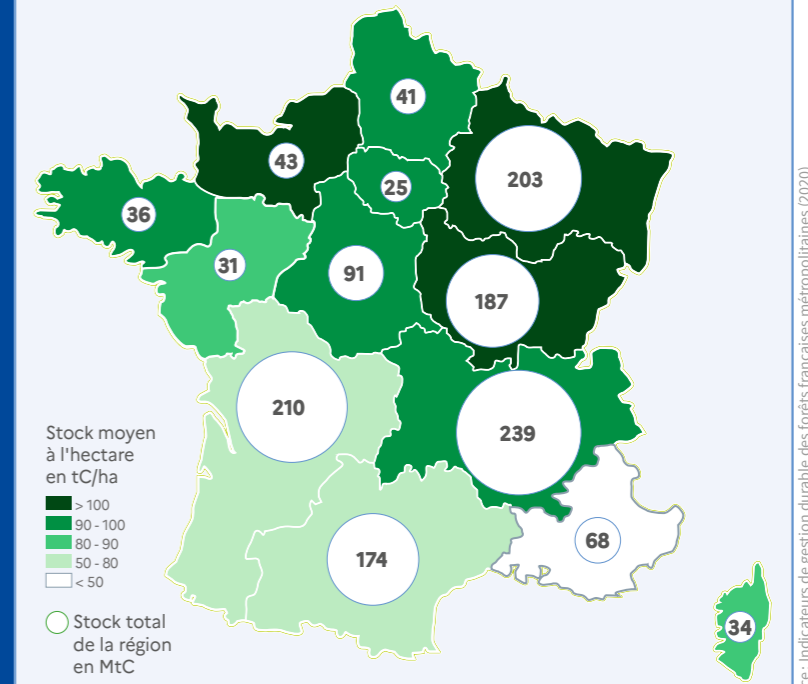
LES STOCKS DE CARBONE DU SOL EN FRANCE MÉTROPOLITAINE FOCUS SUR LE SOL FORESTIER

Le Réseau de mesure de la qualité des sols (RMQS) et le Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (Renecofor) évaluent les stocks de carbone des sols. Les sols forestiers métropolitains stockent 81 tC/ha. En considérant la surface forestière de 2015, ces sols abritent 1301 millions de tonnes de carbone à l'échelle de la métropole. Le RMQS révèle un effet important de la pédologie sur les stocks de carbone du sol.



LES STOCKS DE CARBONE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE

L'inventaire forestier national, réalisé par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), mesure les stocks de carbone de la biomasse. En 2015, la biomasse forestière (vivante et morte) abritait 1381 millions de tonnes de carbone à l'échelle de la métropole. Le stock total de chaque région dépend de la surface totale des forêts et de son stock moyen par hectare.



Son maintien est prioritaire dans la lutte contre le changement climatique, afin de ne pas provoquer d'émissions massives de carbone vers l'atmosphère. Certaines pratiques sylvicoles présentent un risque de déstockage plus important que d'autres (cf. pp. 24-26). À l'inverse, les stocks des forêts installées sur des sols agricoles ou des terres dégradées sont moindres, mais augmentent, y compris dans des systèmes forestiers où la récolte est plus importante.

Les effets de la gestion forestière sur le stockage dans la biomasse

Les dynamiques de stockage de carbone dans la biomasse forestière dépendent de trois paramètres: la croissance des forêts, qui détermine les absorptions de CO₂ atmosphérique, la mortalité naturelle et le prélèvement du bois, qui provoquent des réémissions progressives de carbone dans l'atmosphère par décomposition ou combustion. Les conditions pédoclimatiques influencent ce stockage: les forêts tempérées stockent en moyenne dans la biomasse plus de carbone par hectare que les forêts méditer-

ranéennes (cf. carte ci-dessus). La gestion forestière modifie ces paramètres à travers le choix des essences et les prélèvements qui vont déterminer les classes d'âge des peuplements. Les stocks dans la biomasse augmentent avec l'âge du peuplement, jusqu'à atteindre un niveau maximal de saturation dans les forêts matures non exploitées¹. Dans les forêts gérées selon un objectif de production de bois, l'âge de coupe des peuplements est inférieur à celui de la mortalité naturelle des arbres et généralement établi pour maximiser la rentabilité économique (cf. p. 26). Leurs stocks sont généralement inférieurs à l'état de saturation du réservoir. Ils tendent également à s'équilibrer à long terme lorsque le

niveau de prélèvement de bois se limite à l'accroissement des forêts. Aujourd'hui, les forêts françaises n'ont pas encore atteint ces états d'équilibre, c'est pourquoi elles représentent un puits de carbone important. Les coupes de bois jouent d'autres rôles importants dans l'atténuation climatique (cf. pp. 15-17). Les modes de sylviculture et les essences influent aussi sur le stockage du carbone en forêt. Une sylviculture orientée vers la production de bois d'œuvre, qui crée des systèmes de futaie, recherche une certaine qualité de bois, ce qui arrive plus tard dans la vie du peuplement comparativement aux systèmes d'exploitation en taillis. Pour cette raison, les stocks de carbone des futaies sont supérieurs à ceux des taillis exploités. La croissance des résineux est généralement plus rapide que celle des futaies de feuillus: leur stock de carbone augmente plus rapidement dans les jeunes peuplements et ils possèdent un potentiel de récolte plus important. Cependant, les futaies de feuillus représentent en moyenne un stock plus élevé à l'hectare et constituent aujourd'hui un puits de

2 826 MtC

sont stockées dans le sol et la biomasse des forêts métropolitaines. Cette quantité équivaut aux GES émis depuis vingt ans par la France (hors secteur UTCATF).

Source : [22, 28]

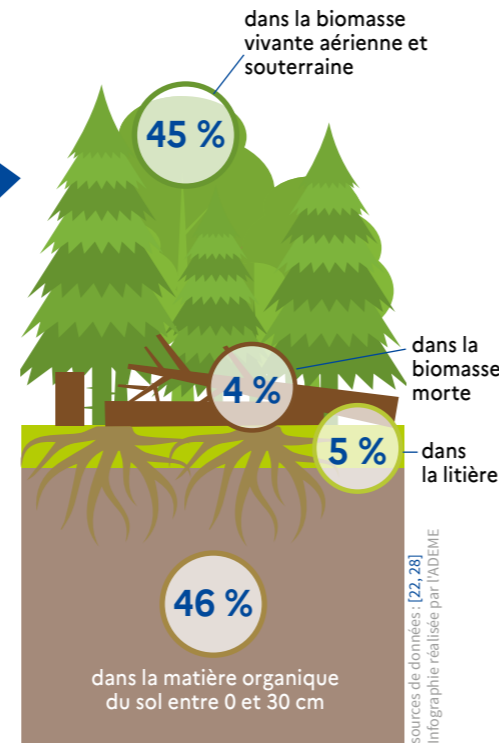
1. L'accroissement tend à s'équilibrer avec la mortalité naturelle.

LES STOCKS DE CARBONE EN FORÊT METROPOLITAINE

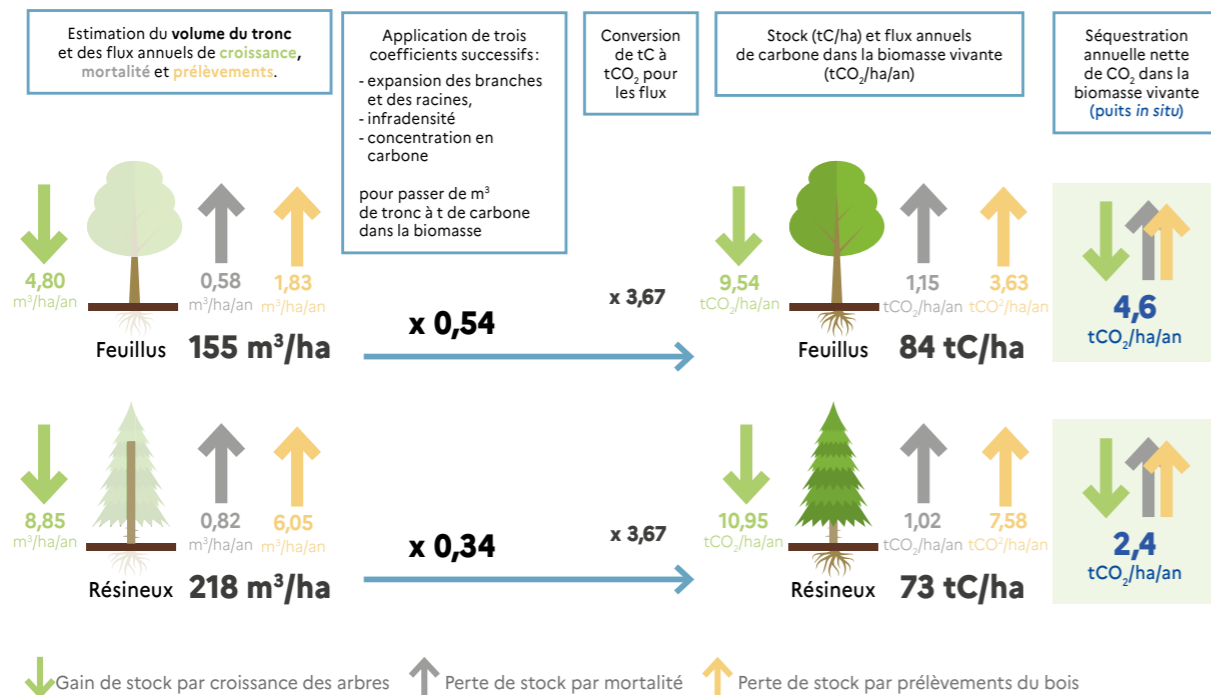
Le sol est un réservoir de carbone forestier très important puisqu'il contient 51 % du carbone stocké en forêt. Ses stocks se divisent en deux compartiments: l'humus, dont la litière (144 MtC), et la matière organique des sols mesurée entre 0 et 30 cm de profondeur (1 301 MtC). Le carbone contenu dans la biomasse forestière se répartit entre la biomasse vivante (aérienne, racinaire) et la biomasse morte: le tronc et les branches stockent 987 MtC, les racines 281 MtC, les ligneux bas et le bois mort sur pied ou au sol 114 MtC.

carbone *in situ* plus important: la durée de rotation est plus longue, le niveau des prélèvements de bois actuellement plus faible, le port étalé avec plus de grosses branches et l'infradensité (tonnes de matière sèche par m³ de bois) du bois plus forte. Le changement climatique bouleverse les stocks

de carbone en modifiant la vitesse de croissance des peuplements et la mortalité liée à des événements extrêmes. Afin que les différents compartiments de l'écosystème forestier puissent jouer leur rôle de réservoir, la résilience et l'adaptation face au changement climatique sont indispensables. ○



COMMENT SE CALCULENT LE STOCK ET LE FLUX DE CARBONE DANS LA BIOMASSE DES FORÊTS?



Source de données: Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans de carbone des forêts des territoires (PCAET), ADEME/IGN 2019
Infographie réalisée par l'ADEME

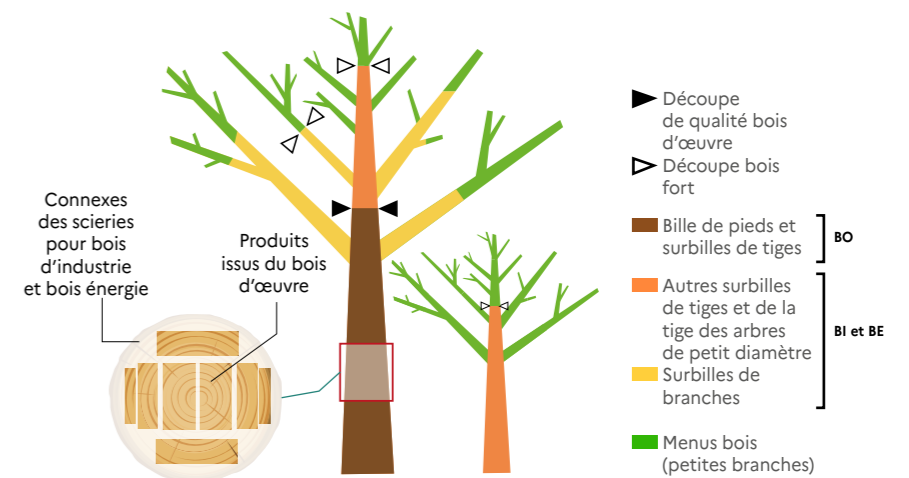
À l'échelle de la France métropolitaine, et compte tenu de l'âge des forêts, l'accroissement est actuellement de 8,9 m³ bois fort tige/ha/an pour les résineux et 4,8 m³ bois fort tige/ha/an pour les feuillus. Le prélèvement de bois est en moyenne de 6,1 m³/ha/an pour les résineux et 1,8 m³/ha/an pour les feuillus. Les résineux présentent en moyenne un niveau d'absorption brute à l'hectare supérieur aux feuillus (10,95 tCO₂/ha/an contre 9,54 tCO₂/ha) et les feuillus possèdent en moyenne un stock de carbone et un puits *in situ* plus élevé que les résineux: respectivement 84 tC/ha contre 73 tC/ha et 4,6 tCO₂/ha/an contre 2,4 tCO₂/ha/an. Dans les deux cas, les stocks et les puits de carbone sont très importants par rapport à d'autres occupations de terres.

LES PRODUITS BOIS STOCKENT DU CARBONE ET AIDENT À RÉDUIRE LES ÉMISSIONS FOSSILES

LA GESTION FORESTIÈRE DURABLE FOURNIT DES MATÉRIAUX ET DES ÉNERGIES RENOUVELABLES. LES PRODUITS BOIS STOCKENT DU CARBONE PENDANT TOUTE LEUR DURÉE DE VIE. ILS PEUVENT ÊTRE UTILISÉS À LA PLACE DES MATÉRIAUX ET DES COMBUSTIBLES FOSSILES, PLUS ÉMETTEURS DE GAZ À EFFET DE SERRE D'ORIGINE FOSSILE.

La lutte contre le changement climatique et l'épuisement des ressources fossiles placent les produits bois au cœur de la transition écologique et énergétique. Pour garantir son caractère renouvelable, la récolte du bois doit s'inscrire dans un cadre de gestion durable des forêts (cf. p. 5) assurant le renouvellement des peuplements et la préservation des services rendus par les forêts (cf. pp. 8-9).

RÉCOLTE ET USAGES DU BOIS



Infographie réalisée par l'ADEME

Bois d'œuvre, le pilier de la filière

La récolte se décompose en trois catégories destinées à différents usages: le bois d'œuvre, le bois d'industrie et le bois énergie (cf. p. 5 et figure ci-contre et figure p. 16). La récolte de bois d'œuvre représente un peu plus de la moitié du volume de bois commercialisé et se compose à 72,8 % de résineux¹. Dans les futaies, le niveau de récolte

dépend fortement de la demande en bois d'œuvre, qui revêt la valeur économique la plus élevée. Les coupes d'éclaircies, générant du bois pour l'industrie ou l'énergie, sont nécessaires à la bonne gestion des peuplements en vue de produire du bois d'œuvre de qualité. Les quantités disponibles pour les autres usages dépendent ainsi en bonne partie du dynamisme de la filière bois d'œuvre. La collecte directe des produits annexes à la production de bois d'œuvre (arbres les moins prometteurs lors des éclaircies, houppiers lors de la récolte finale, etc.), la valorisation des connexes de transformation du bois et le recyclage des produits bois en fin de vie fournissent

ainsi des ressources renouvelables pour l'industrie et la production d'énergie.

Le bois énergie, un coproduit

En intégrant le bois énergie résidentiel, collectif et industriel, la filière est aujourd'hui la première énergie renouvelable en France, avec près de 36 % de la production primaire totale d'énergie renouvelable. En 2019, elle représentait environ 67 % de la chaleur renouvelable [24]. La commercialisation de la récolte de bois énergie en forêt croît fortement (+ 265 % depuis 2008), notamment sous l'impulsion des politiques publiques. En revanche,

32 MtCO₂/an

pourraient être émises chaque année en plus, si les usages du bois issus de la récolte annuelle étaient remplacés par des produits et énergies non renouvelables².

Source: [22]

1. Alors que les résineux représentent un tiers de la surface forestière française.
2. Sans la prise en compte des effets de l'action sur le puits forestier.

l'autoconsommation de bois bûches dans le secteur domestique s'est fortement réduite avec l'amélioration du rendement des appareils de chauffage, l'apparition des poêles à granulés de bois et la réduction du nombre de ménages utilisateurs.

Allonger la durée de vie du produit bois

Un produit bois stocke du carbone pendant toute sa durée de vie. Plus elle est longue, plus le carbone retourne tard dans l'atmosphère. La durée de demi-vie est variable selon les produits et plus élevée

pour le bois d'œuvre (50 à 30 ans) et les panneaux particules (25 ans) que pour le papier carton (7 ans)³. Elle est négligeable pour la filière bois énergie. La complémentarité optimisée des usages priorise les utilisations à plus longue durée de vie et le recyclage matière pour favoriser le stockage *ex situ*, en tenant compte des qualités du bois et de ses usages potentiels (cf. pp. 29-32). Les stocks de carbone dans les produits bois, estimés à 91 MtC en 2015 pour la France, ont augmenté entre 2010 et 2015, générant un puits *ex situ* de 2,3 MtCO₂ par an en moyenne^[22].

Substitution aux ressources fossiles

Les facteurs d'émissions de GES d'origine fossile des produits matériau et énergie issus du bois, intégrant la consommation d'énergie fossile de la sylviculture à la fin de vie des produits (cf. p. 17), sont beaucoup plus faibles que ceux liés aux matériaux d'origine fossile ou minière plus énergivores (acier, PVC, béton, aluminium, etc.) et aux énergies fossiles (fuel, charbon, gaz). Utilisé en remplacement, le bois apporte un effet de « substitution » (cf. p. 6) qui réduit les émissions

de GES d'origine fossile et notre dépendance aux ressources non renouvelables. Le potentiel d'évitement reste très différent selon les usages du bois, les solutions de référence remplacées (voir figure ci-dessous) et les incertitudes liées aux mécanismes de marché. Il sera amené à évoluer dans le temps selon le développement de la filière bois et des filières non renouvelables (innovation des produits, technologies...).

7,5 à 20 Mm³ de récolte supplémentaire potentielle

Dans les quinze années à venir, des études de disponibilité en bois^[17, 18] montrent une augmentation du potentiel de la récolte de près de 7,5 Mm³, dont un tiers en bois d'œuvre, si le taux de prélèvement sur l'accroissement net des forêts est maintenu à 55 %, soit celui observé entre 2005 et 2013. Cette hausse s'explique par une augmentation

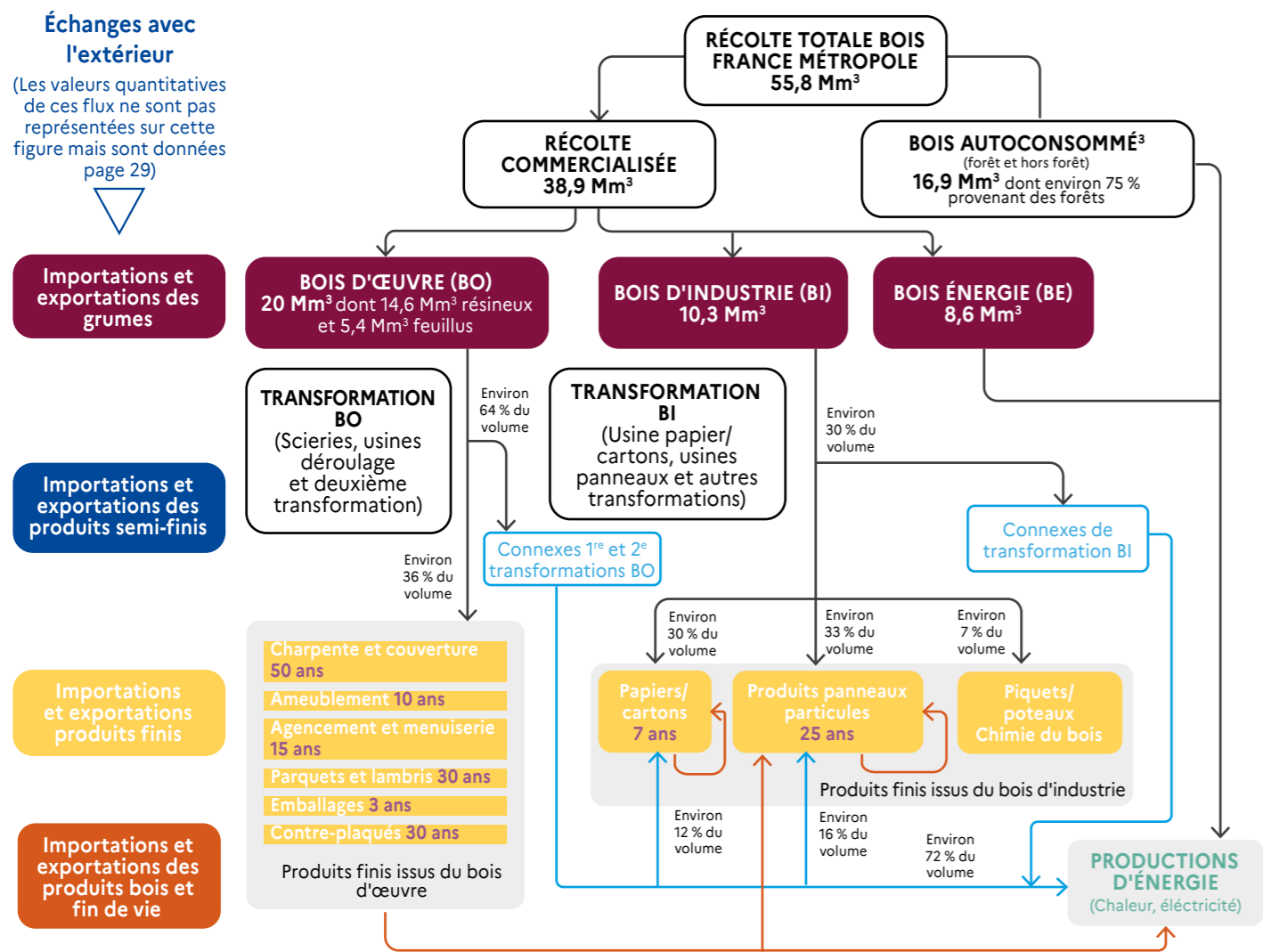
LES ÉMISSIONS DE CO₂ BIOGÉNIQUES

Dans la Base Carbone®^[3], et dans les facteurs d'émissions GES des produits/énergies issus du bois utilisés pour calculer les coefficients de substitution GES présentés dans cette brochure, les émissions de dioxyde de carbone liées à la combustion et à la dégradation des produits bois en fin de vie (dites émissions « biogéniques ») sont considérées comme équivalentes aux flux captés lors de la croissance des arbres. Ce bilan carbone global neutre a été considéré comme valable en France comme dans tous les pays où il y a peu de déforestation, permettant ainsi que les émissions de CO₂ biogéniques soient contrebalancées par l'accroissement forestier annuel. Cependant, cette hypothèse pourrait être modifiée avec l'évolution des pratiques pour prendre en compte l'impact sur les puits de carbone d'une hausse de la récolte de bois nécessaire au développement de l'usage du bois (cf. pp. 18-19).

des stocks de bois en forêt. Avec un scénario de coupes plus actives (70 à 75 % de l'accroissement⁴), les projections affichent une hausse de près de 20 Mm³, dont 4,1 millions en bois d'œuvre (2,4 Mm³ de feuillus et 1,7 Mm³ de conifères). Dans les deux cas, la récolte potentielle additionnelle se situerait essentiellement

en forêt privée et notamment sur des essences feuillues. Alors que la balance commerciale de la filière bois est aujourd'hui déficitaire (cf. p. 29), la valorisation d'une récolte plus importante nécessite de développer un tissu industriel qui puisse soutenir de telles évolutions (cf. pp. 29-31).

LES FLUX DE LA FILIÈRE BOIS EN 2018

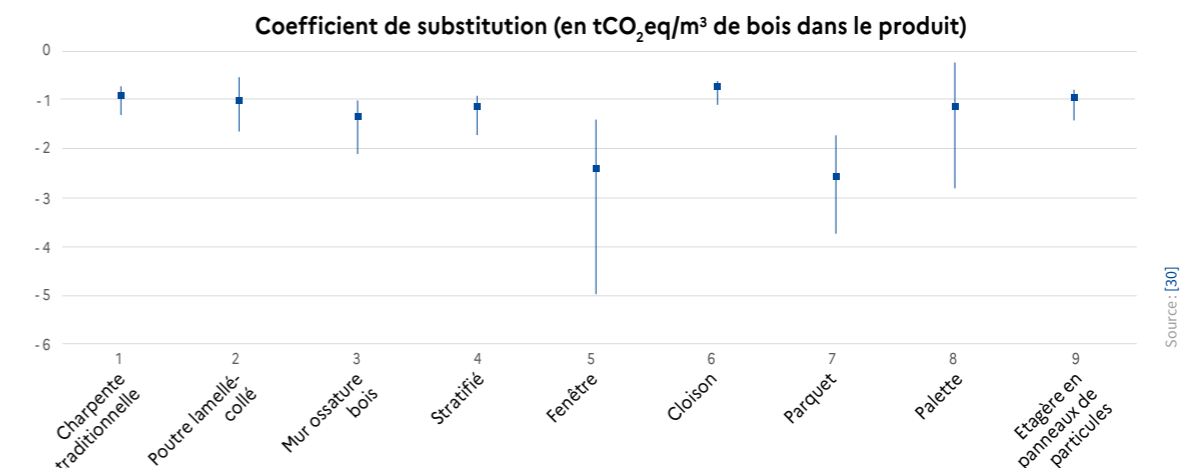


xx ans Durée de demi-vie des produits avec réutilisation → Valorisation des produits connexes de l'industrie du bois → Valorisation des produits en fin de vie

Sources : Données de récolte : Agreste Numéro 360 - décembre 2019 ; Pourcentage de répartition de la récolte du bois : valeurs estimatives données dans IGD 2020 [22] pour les calculs de stocks de carbone dans les produits bois récoltés en France Métropole (sans la prise en compte des importations/exportations). Durée de demi-vie issue de l'Inventaire national de gaz à effet de serre [9]. Figure réalisée par l'ADEME

LA SUBSTITUTION FOSSILE ET SES VARIATIONS

Des méta-analyses bibliographiques montrent un coefficient de substitution⁵ moyen pour les produits matériau bois, hors papier et carton, de 1,6 tCO₂eq fossiles évitée par mètre cube de bois incorporé dans les produits finis [29] (intégrant la valorisation énergétique des co-produits et celle des produits en fin de vie). Le coefficient de substitution direct en énergie serait en moyenne de 0,5 tCO₂eq fossiles évitée par mètre cube [29], variant selon le rendement énergétique et le type d'énergie substituée.



Ce diagramme souligne que les produits bois ont un impact GES d'origine fossile moins important que les produits concurrents. On peut remarquer une fluctuation des coefficients de substitution, liée à la variabilité des produits bois et des matériaux substitués. Pour plus d'informations sur les hypothèses des produits de référence, voir [30].

3. La durée au-delà de laquelle il reste moins de 50 % du produit (données de demi-vie moyenne utilisées dans l'inventaire national de GES).
4. Les politiques publiques s'assurent que le taux de prélèvement reste en deçà de l'accroissement.
5. Différentiel entre les émissions GES d'origine fossile d'un produit/énergie à base de bois et celles d'un autre produit possédant la même fonction, en tCO₂ par m³ de bois intégré dans les produits/énergies.

LA RECHERCHE DE LA COMPLÉMENTARITÉ OPTIMISE L'ATTÉNUATION

LES RÔLES DES FORÊTS ET DE LA FILIÈRE BOIS DANS L'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SE COMBINENT POUR SÉQUESTER DURABLEMENT DU CARBONE ATMOSPHÉRIQUE, TOUT EN UTILISANT PLUS DE BOIS EN SUBSTITUTION À DES MATÉRIAUX ET ÉNERGIES DAVANTAGE CONSOMMATEURS DE CARBONE FOSSILE.

Pour atténuer le changement climatique, les écosystèmes forestiers doivent séquestrer et stocker du carbone. L'accroissement de la récolte de bois diminue le rythme de séquestration en forêt, mais favorise le stockage dans les produits bois ainsi que la substitution à des énergies fossiles ou matériaux plus consommateurs de carbone fossile. Faut-il alors augmenter les récoltes, avec une cadence de coupes plus active, ou laisser pousser les forêts faiblement exploitées ?

Une compensation entre mécanismes

Malgré un fort niveau d'incertitude, tant sur les mécanismes de séquestration de carbone que sur l'économie d'émissions d'origine fossile (substitution), différentes études [29, 31, 12] montrent, à l'échelle nationale, qu'une augmentation de la récolte réduirait la séquestration dans les forêts à l'horizon 2050 (cf. pp. 12-14 et 24-26). Le rôle de réservoir de la forêt est préservé dans les cas

étudiés, mais les stocks augmentent plus lentement : le rôle de puits *in situ* est réduit. À terme, les effets restent incertains. Ils dépendront notamment de la réponse des forêts, selon les pratiques de gestion, au changement climatique et aux diverses crises qu'elles pourraient être amenées à subir (tempêtes, incendies, sécheresse, invasions biologiques, etc.).

Les études révèlent que cette baisse du rythme de séquestration liée à l'augmentation de la récolte, d'ampleur variable selon les itinéraires sylvicoles analysés dans chaque étude, pourrait être contrebalancée dans le temps par les bénéfices carbone apportés par une hausse de l'utilisation du bois, grâce au stockage de carbone plus important dans les produits bois couplé à des effets de substitution matériau et énergie (cf. pp. 15-17). Cependant, les résultats de ces études, menées jusqu'à l'horizon 2050, ne s'accordent pas totalement sur les dynamiques temporelles et l'ampleur de ces mécanismes. Les auteurs de l'étude Inrae/IGN

STOCKAGE *IN SITU* ET *EX SITU* AINSI QUE SUBSTITUTION s'articulent dans la gestion des forêts et tout au long de la filière bois.

2020 [29] estiment que, compte tenu des incertitudes sur les projections à 2050 des paramètres et des coefficients de calcul ainsi que sur les effets du changement climatique et des crises possibles, il est délicat de trancher définitivement sur la façon dont le contrebalancement entre les mécanismes privilégie l'une ou l'autre des stratégies de gestion. D'autres études montrent que cet équilibre pourrait être total ou partiel selon l'horizon de temps considéré et les pratiques mises en œuvre : d'abord partiel et puis total en vingt-cinq ans (un scénario de l'étude CNRS/Inrae 2018 [31]) ou rester partiel jusqu'en 2050 (étude Fern/canopée 2020 [12] et un scénario de l'étude CNRS/Inrae 2018) [31].

Quelle sera la différence de stockage entre les forêts laissées en libre évolution ou faiblement exploitées et celles qui sont exploitées d'une façon plus active, selon les modes de gestion différents et les effets du changement climatique ? Quel sera le potentiel d'évitement d'émissions fossiles, en fonction des usages du

bois et des produits ou énergies remplaçables, tenant compte des mécanismes du marché ? La réponse est complexe, beaucoup de paramètres restant incertains et nécessitant des analyses à plus long terme.

Les clefs de la complémentarité

Ces analyses apportent des enseignements clefs pour travailler la complémentarité entre les mécanismes de séquestration, de stockage et de substitution. Au niveau de la forêt (cf. pp. 24-26), la gestion doit être durable (cf. p. 5) pour préserver la capacité de production biologique et favoriser sa résilience face au changement climatique,

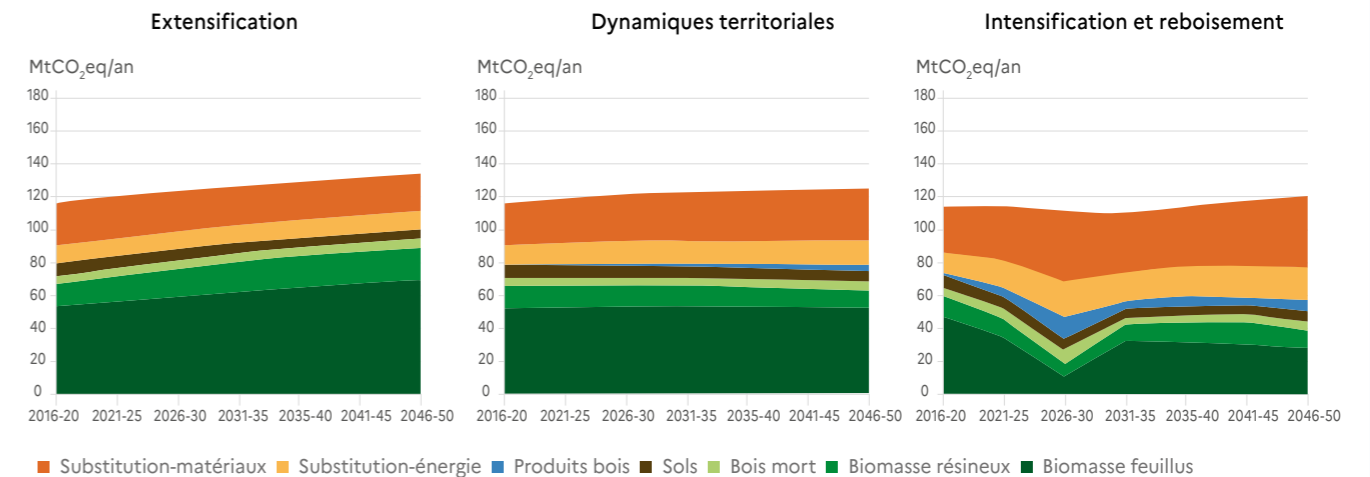
tout en privilégiant la production de bois d'œuvre. La reconstitution des peuplements sinistrés – par des invasions biologiques ou la répercussion des sécheresses, tempêtes, incendies... – ainsi que le boisement sur des friches ou zones de déprise agricole contribuent à atténuer le changement climatique. Ils entraînent une hausse de la séquestration de carbone en forêt tout en augmentant le potentiel de récolte de bois. Ensuite, l'utilisation du bois est d'autant plus bénéfique pour le climat que la complémentarité des usages est optimisée, en favorisant les produits à longue durée de vie et à fort potentiel de substitution, en valorisant les produits connexes des industries de transformation du bois et les produits

bois en fin de vie (cf. pp. 29-31). Cette stratégie dépend cependant des conditions de marché et nécessite l'établissement d'un tissu industriel qui puisse soutenir de telles évolutions des usages du bois. ○

FAVORISER LA RÉSILIENCE DES FORÊTS face au changement climatique et privilégier la production de bois d'œuvre.

COMPARAISON DES FLUX DE SÉQUESTRATION CARBONE ET D'ÉVITEMENT DES ÉMISSIONS PAR SUBSTITUTION, INDUITS PAR DIFFÉRENTES STRATÉGIES FORESTIÈRES [29]

PROJECTIONS SOUS MAINTIEN DU CLIMAT ACTUEL



Projection sous maintien du climat actuel des flux de carbone (puits *in situ* dans la biomasse, bois mort, sols et puits *ex situ* dans les produits bois et évitement des émissions de gaz à effet de serre d'origine fossile par substitution) de différentes stratégies de gestion forestière : extensification (maintien du volume global de prélèvement en valeur absolue), dynamiques territoriales (maintien du taux de prélèvement sur la croissance nette des forêts observée entre 2005 et 2013, soit 55 % en climat actuel) ou intensification (augmentation du taux de prélèvement à 70-75 % en climat actuel, associé à un plan de reboisement de 500 000 hectares réalisé entre 2021 et 2030 pour remplacer les peuplements en impasse sylvicole par des essences plus productives).

En cas d'aggravation des effets du changement climatique, les modèles simulent une forte réduction des vitesses de stockage dans l'écosystème, même si le stockage annuel dans l'écosystème forestier resterait positif. Les différences entre les trois scénarios de gestion s'atténuent, le rythme de croissance du stockage annuel étant plus fortement ralenti dans le scénario « Extensification ». L'ordonnement obtenu sous climat actuel entre les trois scénarios demeure néanmoins inchangé. Quant aux bilans carbone intégrés des scénarios, ils restent quasiment constants jusqu'en 2050 du fait de compensations entre la séquestration dans l'écosystème et dans les produits bois et les effets de substitution.

ÉVALUER LA CONTRIBUTION À L'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

LE SECTEUR FORESTIER POSSÈDE PLUSIEURS LEVIERS D'ACTION POUR ATTÉNUER LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, EN AMONT COMME EN AVAL DE LA FILIÈRE. POUR DÉCIDER ET AGIR, L'ÉVALUATION DU BILAN DE GAZ À EFFET DE SERRE SE RÉALISE EN FONCTION D'UN SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE.

Les actions d'atténuation du changement climatique visent à réduire les sources ou à renforcer les puits de gaz à effet de serre (GES). Pour guider les décisions, il est recommandé d'évaluer chaque action modifiant l'occupation des sols (cf. pp. 22-23), la gestion forestière (cf. pp. 24-26) ou l'utilisation du bois (cf. pp. 29-31) car ces facteurs influent sur les émissions de GES et les puits de carbone. L'évaluation doit rester multicritère pour prendre en compte l'ensemble des aspects environnementaux, économiques et sociaux. Le raisonnement reste quant à lui local, pour intégrer les spécificités des territoires et associer les acteurs concernés. Que ce soit à la parcelle ou à plus grande échelle, l'évalua-

L'ÉVALUATION REPOSE sur la définition d'un scénario de référence.

tion repose sur la définition d'un scénario de référence: ce qui se serait passé si cette action n'avait pas été réalisée. La différence entre les deux situations constitue le bilan GES de l'action.

Évaluation globale, de l'amont à l'aval

L'évaluation englobe tous les processus modifiés par l'action. Pour un boisement, par exemple, elle intègre la séquestration permise par le peuplement développé grâce à l'action, par rapport à la séquestration qui aurait eu lieu sans l'action (maintien de terres agricoles, boisement spontané sur friche...), le stockage de carbone des produits bois ainsi que les effets de substitution supplémentaires (grâce à la hausse des récoltes dans le temps). Les actions d'atténuation concernant la gestion forestière (boisements, amélioration des pratiques sylvicoles) doivent impérativement s'articuler avec

celles concernant l'adaptation des peuplements au changement climatique. Si l'atténuation est souvent conditionnée par une stratégie d'adaptation réussie, il convient aussi d'évaluer le bilan GES de chaque action d'adaptation afin de favoriser, pour un bénéfice équivalent en termes d'adaptation, celles qui limitent les impacts sur le stockage de carbone à court terme. Une action en aval de la filière peut également avoir des conséquences sur l'amont forestier. Le fort développement d'un usage du bois, par exemple, influe sur la gestion forestière (niveau de récolte, pratiques sylvicoles...) et ainsi sur le niveau de séquestration de carbone en forêt; ou sur la répartition de la récolte, entre les différents usages du bois, modifiant ainsi la séquestration *ex situ* et la substitution. L'évaluation de ces conséquences à grande échelle reste cependant complexe. Cette complexité s'accroît lors de la prise en compte des impacts du changement climatique sur les forêts (son intensité varie selon les stratégies de gestion mises en place). Elle est aujourd'hui traitée par des projets de recherche (cf. p. 36).

QUANTI GES

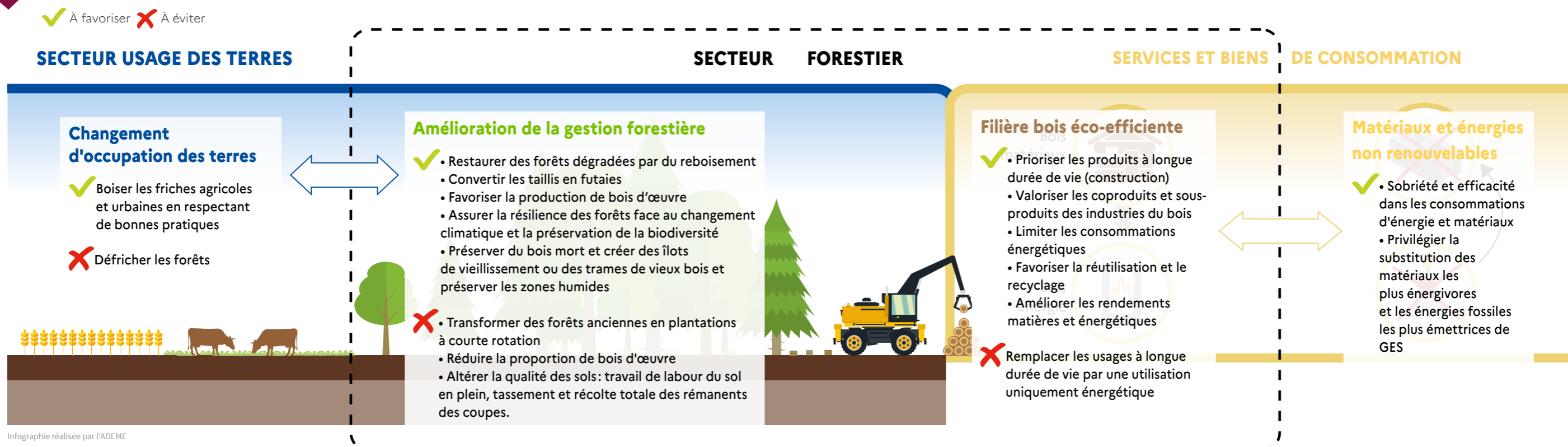
L'ADEME propose la méthode Quanti GES pour estimer l'impact gaz à effet de serre d'une action d'atténuation ou d'adaptation au changement climatique¹, pour connaître son potentiel, communiquer sur son intérêt en termes de réduction des émissions, ou encore rendre compte de son efficacité. Cette méthode s'applique à tout type d'action et à tout type d'activité.
1. (<https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/contenu/index/page/QuantiGES/siGras/0>)

Différents horizons temporels

L'échelle de temps considérée dans l'analyse est un élément important. Pour éclairer les décisions, la contribution des actions à l'atténuation du changement climatique à court terme doit être mise en regard avec leur contribution à moyen et long terme. Les horizons de temps de la forêt – plusieurs décennies voire siècles – s'articulent avec ceux du changement climatique et l'objectif de neutralité carbone en 2050. ○

LES ACTIONS À FAVORISER ET À ÉVITER

Dans le secteur forestier, les questions à se poser pour évaluer le bilan GES d'une action couvrent toute la filière: est-ce que l'action modifie la quantité de carbone séquestrée dans les écosystèmes? Est-ce qu'elle réduit les émissions GES de la filière bois ou d'autres secteurs? Quelle influence a-t-elle sur le niveau de récolte? Quels sont les produits ou énergies fossiles potentiellement substitués par la valorisation de plus ou moins de bois... ?



PRÉSERVER LES SURFACES FORESTIÈRES ET BOISER LES TERRES DÉGRADÉES

LIMITER LE DÉFRICHEMENT ET BOISER POUR FAVORISER L'EXPANSION DE LA FORÊT. VOICI LE PREMIER LEVIER D'ACTION DANS LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE. LES SOLS AGRICOLES ABANDONNÉS ET LES TERRES DÉGRADÉES SONT CANDIDATS AU BOISEMENT ET SOUTENUS PAR LE LABEL BAS-CARBONE.

Avec les zones humides, l'écosystème forestier présente le stock de carbone le plus important à l'hectare (cf. figure ci-dessous). Les changements d'affectation des terres entraînent des flux de séquestration (gain) ou d'émission (perte) de carbone au niveau des sols et de la biomasse. La conversion d'une forêt à d'autres utilisations des terres génère un déstockage rapide: plus l'écart est grand entre les stocks de l'état initial (forêt) et ceux de l'état final (culture, sol artificialisé), plus les pertes seront importantes. Inversement, en remplissant les réservoirs du sol et de la biomasse en carbone, le boisement par plantation ou recolonisation naturelle constitue un des leviers

d'atténuation. Après l'installation d'une forêt, les stocks de carbone s'accroissent progressivement sur plusieurs décennies jusqu'à atteindre un équilibre.

Préserver les surfaces forestières

Les dynamiques de déstockage et de stockage de carbone liées aux changements d'affectation des terres s'effectuent à des vitesses différentes: les écosystèmes déstockent plus rapidement qu'ils ne stockent, tant pour la biomasse que pour le sol. C'est pourquoi la lutte contre le changement climatique privilégie un sens précis dans le changement d'affectation des terres (cf. figure ci-dessous): toujours aller vers une

LE BOISEMENT

Le boisement apporte un avantage dans la lutte contre le changement climatique, tandis que toute perte de surface forestière alourdit l'atmosphère en émissions de carbone. Des points de vigilance s'imposent afin d'éviter la concurrence entre les usages des sols, en particulier avec l'alimentation. Le respect des bonnes pratiques lors d'un boisement par plantation doit être contrôlé.

utilisation dont le stockage est plus important. Le défrichage (cf. encadré ci-contre) et l'artificialisation des sols en général vont à l'opposé de cette stratégie.

1 à 15
tCO₂/ha/an

correspond au gain carbone sur les trente premières années lors du boisement d'une terre arable en déprise agricole (soit la plantation de plus de 1000 arbres) utilisant la méthodologie du Label Bas-Carbone. Pour comparaison, l'empreinte carbone des Français est de 11,5 tCO₂/hab/an.

Favoriser le boisement en respectant des bonnes pratiques

Les terres arables en déprise agricole et les terres dégradées (ex: friches urbaines) représentent les premières surfaces à boiser. En utilisant la méthode du Label Bas-Carbone [40] et selon les essences et conditions pédoclimatiques, le boisement d'une terre cultivée apporte un gain carbone le plus souvent compris entre 50 et 400 tCO₂/ha sur trente ans (hors certaines essences) en tenant compte de la séquestration *in situ*, *ex situ* et des émissions fossiles évitées par substitution. Le potentiel de boisement reste réduit afin de ne

LUTTER CONTRE LA DÉFORESTATION IMPORTÉE

La déforestation, ou défrichage, consiste à affecter une surface forestière à une autre utilisation. Cela diffère d'une coupe, où l'affectation est conservée et la biomasse régénérée dans le cadre d'une gestion forestière durable. Bien que la surface forestière ait fortement augmenté en France et en Europe, elle reste en retrait au niveau mondial: chaque année, près de dix millions d'hectares sont déforestés, soit l'équivalent de la Guyane, pour seulement cinq millions d'hectares de nouvelles surfaces forestières¹. La déforestation a essentiellement lieu en Afrique subsaharienne, en Amérique latine et en Asie du Sud-Est, sous la pression démographique et l'activité économique. L'agriculture, via notamment la production de soja, huile de palme et cacao, ainsi que l'exploitation non durable des forêts représentent la majorité des conversions de terres. Les produits qui en sont issus sont essentiellement exportés, pour beaucoup vers l'Union européenne. L'empreinte carbone de la France ne se limite pas aux émissions de gaz à effet de serre produites sur son territoire. Elle inclut aussi celles produites par les échanges internationaux, les émissions importées, qui représentent 56 % de l'empreinte totale [15]. C'est pourquoi, la lutte contre la déforestation importée fait l'objet d'une stratégie nationale en France depuis 2018. Les importations de bois sont quant à elles soumises au Règlement sur le bois de l'Union européenne (RBUE) [33] depuis 2013, ce qui permet de limiter les risques d'importation de bois illégal.

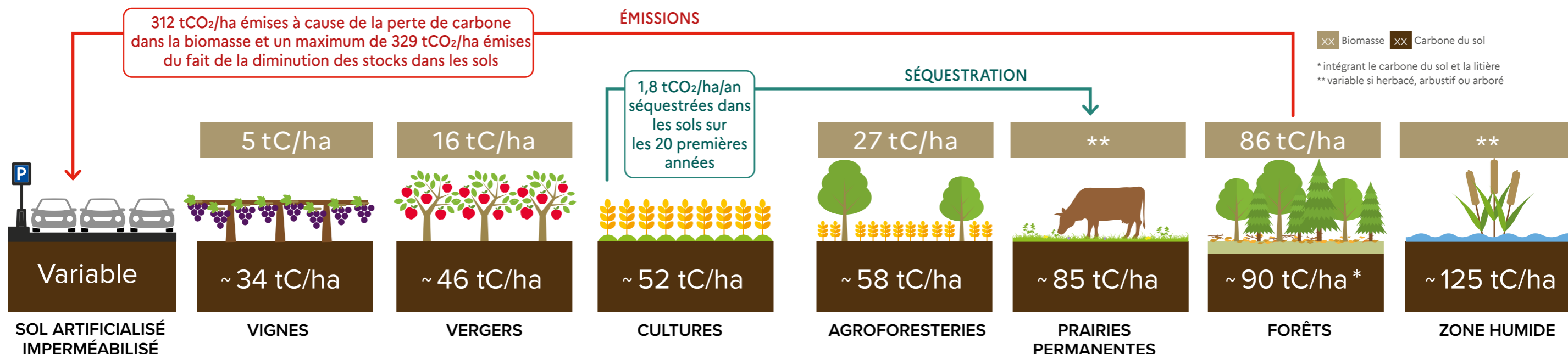
1. Les nouvelles surfaces forestières n'ont pas la même valeur écologique que les surfaces déforestées, en termes de biodiversité, stocks de carbone...

pas diminuer la surface agricole et concurrencer l'usage alimentaire des terres. Pour limiter la concurrence, l'agroforesterie est une solution intermédiaire mixant partiellement les usages à l'échelle d'une parcelle. Dans le cas d'un boisement par plantation, des bonnes pratiques sont à respecter pour maximiser

les bénéfices environnementaux: protection de la biodiversité, de la qualité des sols (stockage de carbone, fertilité...), des cycles de l'eau, des paysages, diversification des essences et adaptation à la station et au climat d'aujourd'hui et de demain. Sans oublier la gestion et le suivi du peuplement dans le temps. ○

L'EFFET DU CHANGEMENT D'AFFECTATION DES TERRES SUR LE CARBONE

⚠ Stocks de carbone et flux moyens, variables selon les conditions pédoclimatiques et les pratiques de gestion (pour le passage des stocks en tC aux flux en tCO₂, voir le coefficient page 5).



PRIVILÉGIER LES PRATIQUES FAVORABLES AU STOCKAGE DE CARBONE ET AU BOIS DE QUALITÉ

LES PRATIQUES SYLVICOLES INFLUENT SUR LE NIVEAU ET LA QUALITÉ DU BOIS PRODUIT, MAIS AUSSI SUR LA DYNAMIQUE DE STOCKAGE DE CARBONE *IN SITU*. RESTAURER DES FORÊTS DÉGRADÉES, CONVERTIR DES TAILLIS EN FUTAIES, RAISONNER LA PRÉPARATION DES SOLS... L'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SE PENSE À TOUTES LES ÉTAPES DE LA GESTION FORESTIÈRE.

Les pratiques sylvicoles influent sur les quantités de carbone stockées, dans le sol et la biomasse. Malgré les difficultés pour qualifier et quantifier ces effets, les efforts de recherche permettent d'identifier, d'un côté, quelques pratiques dont l'intérêt pour le climat fait consensus et, de l'autre, des opérations susceptibles de diminuer la séquestration, voire de déstocker, du carbone.

Raisonner la préparation des sols et leur protection

Le carbone du sol revêt une importance particulière, car il peut être moins vulnérable aux effets du changement climatique que celui stocké dans la biomasse. Lors du renouvellement d'un peuplement, la préparation du sol peut fortement modifier les quantités de carbone, à court et à long terme. Or cette étape peut être essentielle, dans certaines situations de blocage du renouvellement, afin de réussir la régénération après les coupes de bois. Mais son intensité se raisonne entre une préparation inexistante ou superficielle, pour une régénération naturelle, et des travaux plus lourds comme le labour, la formation de billons et l'utilisation d'engins pour la plantation. Des travaux de labour en plein sur un sol mis à nu peuvent réduire la séquestration

dans les sols pendant des années, voire des décennies. Selon les outils et les conditions, l'intérêt d'une préparation plus localisée pour les plantations (ex : potets travaillés à la minipelle, ouverture de potets à la pioche...) en alternative au travail en plein permet d'envisager une réduction de la surface de sol à travailler, tout en restant efficace pour l'installation des plants. Lors des coupes et débardages du bois, la conservation de l'intégrité physique des sols, en évitant le tassement et l'érosion, est essentielle pour garantir des conditions favorables à la croissance des peuplements [27].

Ne pas récolter tous les compartiments de l'arbre

Les coupes conventionnelles, qui laissent les branches de petit diamètre sur la parcelle, n'engendrent pas perte de carbone du sol, ou peu. En revanche, la récolte d'arbres entiers avec les menus bois (branches de diamètre inférieur à 7 cm et feuillage) peut réduire les stocks de carbone et altérer la fertilité des sols, ce qui, à terme, peut avoir un effet sur la croissance des futurs arbres. Alors que la récolte de feuillage est à proscrire dans tous les cas, car elle apporte des éléments nutritifs (azote...) au sol, celle de souches doit être limitée et celle de menus bois modulée au

cas par cas afin de tenir compte de ces enjeux [4]. L'impact de la récolte des souches sur les stocks de carbone de la matière organique des sols est encore mal connu en forêts tempérées. Cependant, des études montrent qu'elle réduirait les stocks de bois mort, générant ainsi des impacts négatifs sur la biodiversité [20].

Restauration de forêts dégradées et balivage

La restauration de forêts dégradées, à la suite d'un événement extrême (tempête, incendie, sécheresse, crise sanitaire) ou du fait de mauvaises pratiques de gestion, représente un levier crucial dans l'atténuation du changement climatique. La reconstitution de ces peuplements favorise la dynamique de

LA RESTAURATION DES FORÊTS DÉGRADÉES ET LE BALIVAGE favorisent la production de bois d'œuvre et la séquestration de carbone.

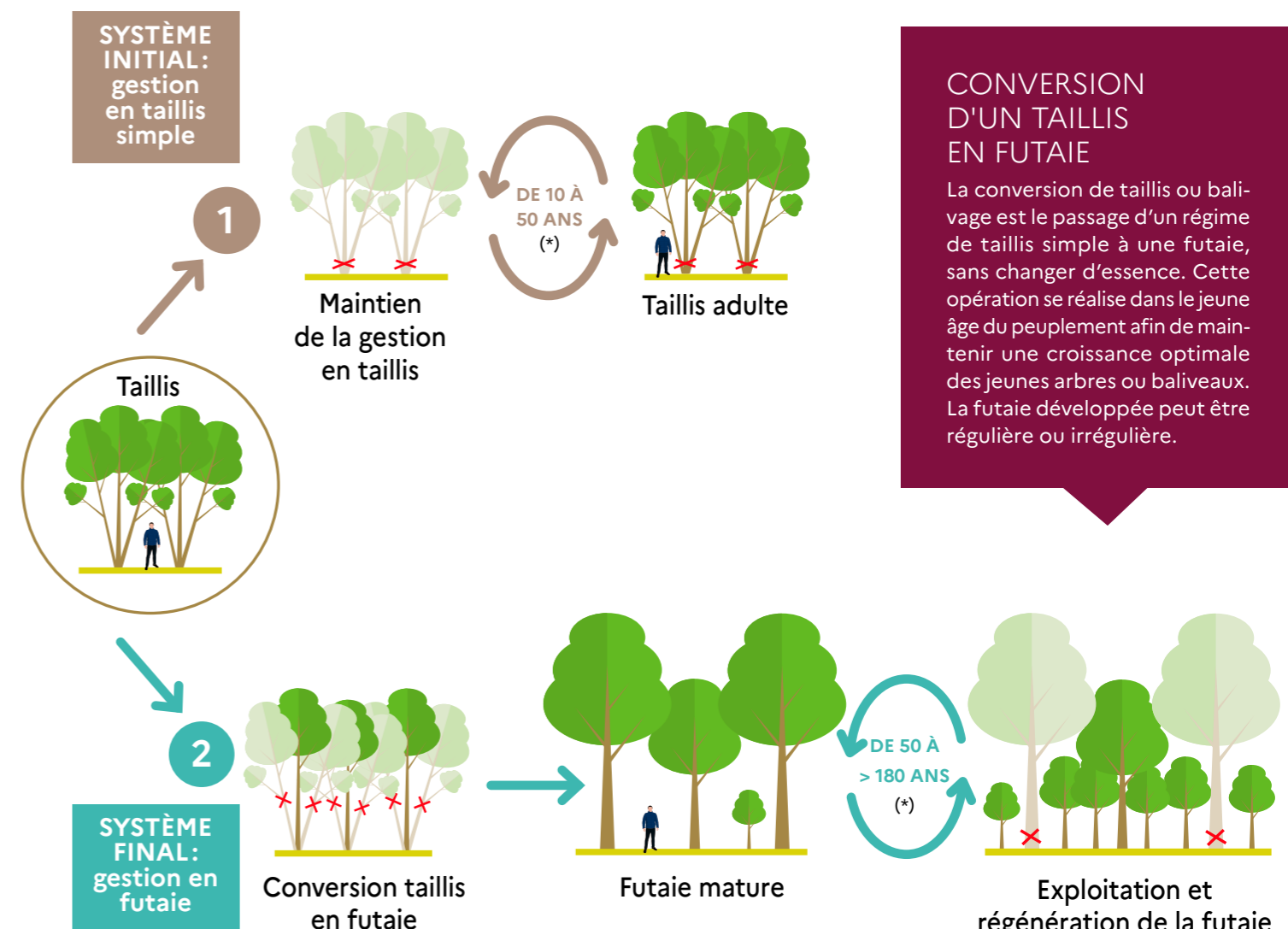
stockage de carbone *in situ* et le potentiel de production de bois (dont le stockage *ex situ* et la substitution). Selon la méthode « reconstitution de peuplements forestiers dégradés » du Label Bas-Carbone [40], le reboisement des parcelles sinistrées peut entraîner un gain de carbone le plus souvent compris entre 50 et 350 tCO₂/ha sur trente ans (hors certaines essences particulières) en tenant compte de la séquestration *in situ*, *ex situ* et des émissions fossiles évitées par substitution. Ce bénéfice est calculé par rapport à une situation où le peuplement déperissant est récolté et une colonisation lente par des accrus a lieu sur la parcelle. La conversion des taillis en futaie peut également générer un gain carbone, compris entre 30 et

70 tCO₂/ha sur trente ans pour les taillis de châtaignier, par rapport au maintien d'une exploitation en taillis (récolte tous les vingt ans par exemple). L'intérêt de la mise en gestion des taillis délaissés dépend de la classe de fertilité des sols, de l'essence et de l'âge. Dans le cas d'une bonne fertilité avec une essence productive, un balivage classique dans le jeune âge (éclaircie de forte intensité) va accroître la production de bois d'œuvre en allongeant la révolution. Un système de futaie est créé, ce qui évite l'épuisement des souches et favorise les stocks de carbone dans les forêts et les produits à forte valeur ajoutée. Si les taillis sont trop âgés ou sur une mauvaise station, le potentiel de production de bois d'œuvre

et le gain carbone ne sont pas avérés. Cependant, leur gestion devra tenir compte des risques de dégâts majeurs issus des tempêtes, attaques de pathogènes ou incendies et limiter la concurrence en eau dans un contexte de changement climatique.

Îlot de vieillissement, trame de vieux bois et conservation des bois morts

La préservation du bois mort et la réalisation d'îlots de vieillissement ou trames de vieux bois, en laissant les gros arbres, présente un intérêt pour la biodiversité comme pour la séquestration *in situ* (cf. p. 28) en allongeant l'âge de coupe des arbres et en favorisant le stockage



(*) la durée de rotation est variable selon l'essence, la productivité et le type de produit que l'on souhaite obtenir.

1. Utilisant la méthodologie du label bas carbone : « méthode conversion de taillis en futaie sur souches ».
2. Les schémas régionaux de gestion sylvicole pour les forêts privées et les directives régionales et schémas régionaux d'aménagement forestiers pour les forêts publiques.

LES EFFETS DES PRATIQUES SUR LE CARBONE ORGANIQUE DU SOL

ACTIONS		EFFET MOYEN SUR LE STOCK DE CARBONE DU SOL	
Récolte de bois	Récolte de la tige en coupe finale ou éclaircie	≈	Les coupes conventionnelles (récolte uniquement du bois fort) n'engendrent pas de perte de carbone du sol, ou peu. Les coupes partielles (éclaircies) n'affectent pas les stocks de carbone du sol.
	Récolte d'arbre entier	↓	Les coupes d'arbres entiers peuvent conduire à des pertes de carbone du sol et altérer la fertilité des sols, de manière plus ou moins intense selon les conditions pédoclimatiques et les pratiques de renouvellement des peuplements.
Renouvellement des peuplements	Coupes progressives de régénération destinées à ensemercer naturellement le sol	≈	Le renouvellement par coupe d'ensemencement (aussi appelée régénération naturelle) ne modifie pas sensiblement le stock de carbone du sol.
	Coupe de tous les arbres, suivie d'un travail du sol avant reboisement (en général par plantation) <i>Pour plus d'information sur les plantations voir [10]</i>	Variable selon travail du sol ≈ ↓	La coupe de tous les arbres (aussi appelée coupe-rase ou coupe à blanc) n'engendre pas systématiquement de pertes de carbone du sol, notamment si la végétation spontanée est maintenue et si le sol est peu perturbé. Le travail du sol entre la coupe rase et la phase de régénération accentue d'autant plus le risque de perte – et de redistribution verticale – du carbone du sol que le travail est profond et concerne une grande proportion de la surface de la parcelle.
Autres choix de gestion	Identité et diversité des essences	🔍	Pas d'effet univoque. Les effets des essences sont en forte interaction avec les conditions locales (sol, climat). Le carbone du sol sous feuillus pourrait être plus stable et résistant à la décomposition. Les conifères accumulent plus de carbone dans les litières que les feuillus. La diversité en essences semble avoir un effet sur le carbone du sol qui est plus dépendant de la composition des peuplements (identité des essences) que du nombre d'essences.
	Densité des peuplements	🔍 ≈	Peu de connaissances sur les effets de la densité du peuplement. Le corpus scientifique est réduit et peu concluant mais suggère un effet limité.
	Durée de révolution des peuplements	🔍	Les peuplements semblent continuer à accumuler du carbone dans les sols jusqu'à environ cent ans après leur installation. Les effets sont toutefois difficiles à mettre en évidence car ils dépendent aussi de l'ancienneté des forêts et de leur histoire.

🔍 Connaissances lacunaires ≈ Effet non significatif ↓ Baisse du stock de carbone du sol

dans le bois mort. Les demi-vies pour le bois mort sont de l'ordre de trente ans pour les gros bois morts feuillus, dix ans pour les gros bois morts résineux et cinq ans pour le bois mort issu des menus bois [29]. Bien que ces pratiques puissent limiter le potentiel de récolte à court terme, elles favorisent à plus long terme la stabilité, le bon fonctionnement et donc le potentiel de production des écosystèmes.

Quelle durée de révolution optimale ?

Dans les forêts gérées selon un objectif de production de bois, l'âge de coupe des peuplements (durée de révolution) est généralement établi pour maximiser la rentabilité économique de la gestion forestière, ce qui peut différer d'une stratégie d'optimisation de l'atténuation du changement climatique. Les documents qui cadrent

la sylviculture au niveau régional donnent des orientations sur les révolutions, selon les essences et les conditions du territoire [44]. Une exploitation réalisée trop tôt réduit les potentiels de stockage *in situ*, *ex situ* et ceux de la substitution car la production de bois d'œuvre est réduite. La rentabilité économique est aussi affectée. À l'inverse, une exploitation trop tardive peut affaiblir le potentiel de production et la qualité du bois récolté, l'adaptation des produits aux outils de transformation ou aux besoins du marché. La rentabilité économique ne sera pas optimisée, bien que les dynamiques de stockage *in situ* puissent être favorisées. De plus, avec le changement climatique, un nouveau paramètre devient primordial : le niveau de risque encouru. L'augmentation de la révolution accroît le temps d'exposition aux aléas et la perte de la valeur économique du bois

1 à 11
tCO₂/ha/an

de gain carbone sur trente ans lors de la reconstitution de peuplements forestiers dégradés utilisant la méthodologie du Label Bas-Carbone.

endommagé ou de ses usages potentiels rente désormais en ligne de compte, avec un capital sur pied plus élevé. L'équilibre est à trouver, au cas par cas, selon les essences et les conditions de la station. En diversifiant les stratégies à l'échelle d'un territoire, les risques se réduisent. Dans tous les cas, il est essentiel de mettre en place des pratiques favorisant la résilience des peuplements, afin de réduire leur vulnérabilité. ○

FACILITER LA RÉSILIENCE ET L'ADAPTATION DES FORÊTS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

POUR JOUER SON RÔLE D'ATTÉNUATION, LA FORÊT DOIT AVANT TOUT ÊTRE RÉSILIENTE FACE AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE. ESSENCES ADAPTÉES À DES CONDITIONS DE STATION QUI ÉVOLUENT, PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ ET DE LA QUALITÉ DES SOLS, AINSI QU'ÉQUILIBRE SYLVO-CYNÉGÉTIQUE DEVIENNENT DES PRÉREQUIS.

Les sécheresses prolongées et les températures extrêmes entraînent des problèmes sanitaires pour plusieurs essences (épicéa, sapin, pin sylvestre, hêtre, chêne pédonculé) avec une surmortalité forte pour certaines. La vitesse et la dynamique des changements dépassent dans certaines situations leur capacité d'adaptation naturelle.

Les stocks de carbone des forêts sont vulnérables (cf. pp. 12-14) : si tout n'est pas mis en œuvre pour les préserver, la forêt ne pourra pas contribuer à l'atténuation du changement climatique. Les mesures d'adaptation présentant le meilleur bilan carbone, et le moins d'impact pour la biodiversité, sont à favoriser car plus intense sera le changement

climatique, plus importants seront les dégâts (cf. pp. 20-21).

Des stratégies adaptées aux peuplements en place

Les diagnostics de vulnérabilité des peuplements deviennent indispensables pour déterminer la stratégie d'adaptation (cf. pp. 32-33). L'en-

RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DE GROUPES D'ESPÈCES DE MÊME AFFINITÉ CLIMATIQUE ET LEUR PROJECTION EN CLIMAT FUTUR

Malgré les incertitudes, tant sur l'évolution du climat que sur la réaction des espèces d'arbres au changement climatique, le découpage des zones bioclimatiques se modifie. En particulier, les climats chauds à forte contrainte hydrique s'étendent depuis la zone méditerranéenne vers l'ouest, en Aquitaine et dans le bassin de la Loire, ainsi que le long de la vallée du Rhône vers le nord. Les plus fortes évolutions sont observées pour le groupe aquitain et le groupe méditerranéen. Tous les autres groupes auraient tendance à régresser, notamment les groupes montagnards. Pour 2100, les prévisions climatiques restent très incertaines.



Trois zones de montagne : groupe 1 étage subalpin (*Pinus cembra*, *Pinus uncinata*, etc.), groupe 2 étage montagnard (*Acer opalus*, *Alnus incana*, etc.) et groupe 3 région montagne et étage collinéen du nord-est (*Abies alba*, *Picea excelsa*, etc.); **une zone nord-est plus continentale** : groupe 4 (*Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*, etc.); **un ensemble atlantique** : groupe 6 (*Castanea sativa*, *Frangula alnus*, etc.); **un ensemble aquitain** : groupe 7a (*Pinus pinaster*, *Quercus pyrenaica*, etc.) et **une zone méditerranéenne** : groupe 8 (*Juniperus oxycedrus*, *Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, etc.).

Source : [6, 26]

gagement des acteurs forestiers dans cette transition est primordial pour, selon les situations, améliorer, enrichir ou transformer (par changement progressif d'essences ou de provenances) les peuplements les plus vulnérables, en premier lieu ceux qui ne sont pas adaptés aux conditions de station (sur les plans du climat, du sol ou du relief). Pour engager des actions de renouvellement des peuplements, l'équilibre forêt-gibier doit être trouvé (cf. encadré ci-contre). La gestion forestière représente une des solutions pour maîtriser une partie des risques, grâce au contrôle de la densité et de l'âge des peuplements, à l'adaptation des essences aux conditions de stations qui évoluent et au suivi de l'état sanitaire. Le maintien d'une gestion assure l'entretien des capacités de réponse en cas de crise majeure. Cependant, laisser certaines surfaces en libre évolution (sans intervention) contribue à diversifier les modes de gestion et à favoriser les mécanismes naturels d'adaptation des forêts. Toutefois, selon les territoires, l'adaptation active pourra tout de même être nécessaire, du fait d'un dépérissement et d'une mortalité importants ou de l'absence de régénération naturelle.

Favoriser la résilience et réduire les risques

La diversification des modes de gestion et des essences diminue les risques dans l'espace et dans le temps. La diversité constitue un élément central pour renforcer la résilience des peuplements : à différentes échelles géographiques, à travers le maintien de la diversité génétique, des peuplements mixtes [19] ou encore des structures superposant plusieurs strates de végétation par la mise en place d'une sylviculture dite « à couvert continu » (pour plus d'information [36]). La préservation de la qualité des sols et de la biodiversité favorise le bon fonctionnement des écosystèmes, et donc leur résilience [7, 13, 23]. Elle repose sur plusieurs points de vigilance : éviter le labour

L'IMPORTANCE DE L'ÉQUILIBRE SYLVO-CYNÉGÉTIQUE
L'équilibre sylvo-cynégétique consiste à rendre compatibles, d'une part, la présence durable d'une faune sauvage riche et variée et, d'autre part, la pérennité de l'état forestier et la rentabilité économique des activités sylvicoles. En effet, lorsque les populations de grands cervidés sont trop importantes, les actions de régénération après les coupes (par plantation ou régénération naturelle) peuvent être mises en péril. De plus, afin d'éviter les dégâts, des protections artificielles coûteuses doivent être mises en place.

en plein, prendre des mesures contre le tassement des sols, préserver les zones humides, conserver une part de petits et gros bois morts sur pied et au sol, ainsi que des arbres creux, créer des trames de vieux bois ou îlots de vieillissement

(cf. p. 33). Le soutien financier des actions de restauration des forêts dégradées, d'adaptation et de résilience des forêts face au changement climatique est indispensable pour assurer la bonne santé des forêts de demain. ○



Marie Lequien,
animatrice de la Charte Forestière du Parc naturel régional du Haut-Languedoc

« Une application pour estimer les risques de dépérissement »

L'adaptation au changement climatique est un enjeu fort pour le Parc naturel régional du Haut-Languedoc, car nous sommes boisés aux deux tiers et le territoire, de 300 000 hectares, se situe au croisement de trois climats : méditerranéen au sud et à l'est, atlantique sur l'ouest et montagnard au nord. Le massif forestier compte une très forte diversité d'essences, et avec le changement climatique, certaines risquent de se retrouver rapidement sous un climat qui ne leur est plus adapté. C'est pourquoi, entre 2016 et 2020, le Parc a coordonné le projet Life Foreccast, mené en partenariat avec le Centre national de la propriété forestière et la coopérative Alliance Forêts Bois. L'objectif était de développer des outils pour aider les gestionnaires et les propriétaires forestiers à adapter les forêts du Haut-Languedoc au changement climatique. Une application mobile a été développée, FORECCAsT by BioClimSol, permettant d'estimer le devenir d'une essence sur une parcelle. Grâce aux données géographiques, climatiques et à des caractéristiques de sol et de peuplement, l'application livre des conseils sur les risques de dépérissement. En cas de replantation, elle conseille les essences les plus adaptées. Ce projet nous a aussi permis de mener des essais sylvicoles pour tester des pratiques, par exemple différentes modalités d'éclaircies, ou la plantation d'essences potentiellement plus adaptées au climat futur. Suite à la sécheresse de 2003, une étude avait révélé que 65 % des peuplements de Douglas, qui représentent 5 % de la forêt du Haut-Languedoc, présentaient des traces de dépérissement. Or, d'après les estimations, ce type de sécheresse deviendrait la norme d'ici à 2070, donc nous devons nous adapter !

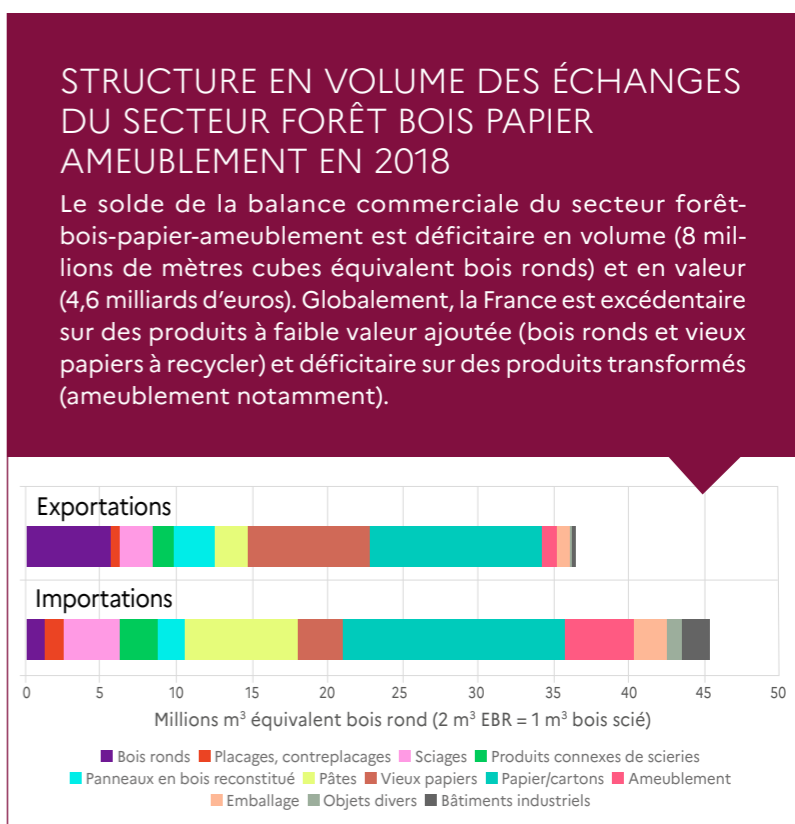
SOUTENIR L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE, UN PILIER DE LA FILIÈRE BOIS

PRIORISER LES PRODUITS À LONGUE DURÉE DE VIE, VALORISER LES CO-PRODUITS, SOUS-PRODUITS ET DÉCHETS DE BOIS, LIMITER LES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES, ETC. LA FILIÈRE BOIS AGIT SUR TOUS LES LEVIERS POUR GARANTIR SA BONNE PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE ET RÉÉQUILIBRER LA BALANCE COMMERCIALE, EN AMÉLIORANT LES USAGES DES RESSOURCES DOMESTIQUES.

Les usages du bois s'optimisent pour conserver le plus longtemps possible le carbone séquestré dans les produits et maximiser les effets de substitution aux énergies fossiles. La priorité est donnée aux usages à longue durée de vie, en particulier le bois d'œuvre, pour développer des usages matériaux, qui correspondent le plus souvent aux débouchés les plus rémunérateurs. Pour les favoriser, les leviers se situent tout au long de la filière : sylviculture orientée vers la production de bois de qualité, tri des grumes selon leurs caractéristiques, élargissement des gammes de dimension ou de qualité admissibles en scieries, valorisation matière des produits connexes, innovation technologique, écoconception des produits, réemploi et recyclage.

Ingénierie et innovation produits

La production de bois d'œuvre constitue un pilier essentiel de la filière bois (cf. pp. 15-17). Les produits d'ingénierie se sont multipliés et perfectionnés, pour des usages de plus en plus variés. Le bois lamellé-collé ou lamellé-croisé, la poutre en bois massif abouté ou reconstitué, le lamibois et la poutre en I sont aujourd'hui utilisés dans la construction et fabriqués à partir de lamelles d'épicéa, de sapin, de pin sylvestre ou douglas, de mélèze... et maintenant aussi de feuillus. Des procédés de fabrication sophistiqués permettent d'obtenir des produits aux caractéristiques mécaniques

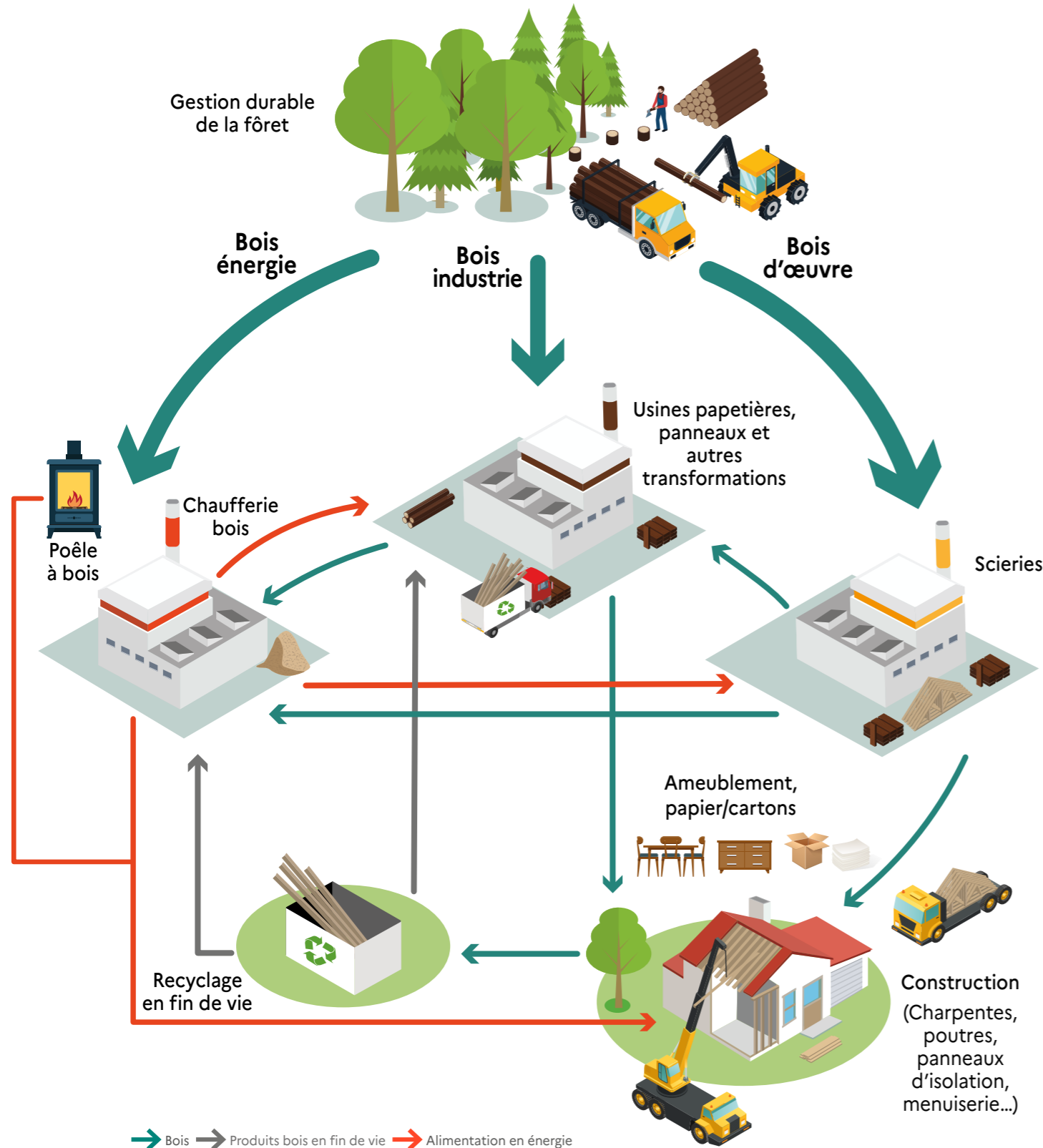


de haut niveau, des formes variées permettant également de valoriser du bois de qualité secondaire en matériaux à longue durée de vie. Les industriels innovent pour développer des produits avec des essences présentes sur le territoire national mais moins commercialisées, comme certains feuillus (châtaignier, charme, merisier...) ou le pin d'Alep. La production de bois d'œuvre génère des co-produits et des sous-produits qui servent aujourd'hui à la fabrication de panneaux, de pâtes à papier ou de bois énergie. Des isolants à base de bois, des innovations dans les

panneaux et les bois composites permettent de valoriser du bois d'industrie dans des matériaux à longue durée de vie. La chimie du bois se développe également. Les bioraffineries sont capables de fabriquer des produits variés, en utilisant des parties de l'arbre difficiles à transformer (ex : nœud ou écorce). Dans le cas de la production de chaleur à partir de bois énergie, les rendements énergétiques des installations ont été nettement améliorés ces dernières années et, ainsi, les émissions de polluants atmosphériques réduites. Pour le marché résidentiel, le label Flamme

AVEC LE BOIS, RIEN NE SE PERD, TOUT SE TRANSFORME

Grâce à une gestion durable de la ressource, du bois est produit pour les trois usages. Le bois d'œuvre, destiné au sciage, sert à la construction et à l'ameublement. Il fournit aussi des connexes utilisés pour les usines de panneaux et de papier ou pour la production d'énergie. Pour ces usages, la matière peut également provenir des bois de faible qualité en forêt et du recyclage des produits en fin de vie. Le bois énergie est utilisé pour chauffer les maisons par des systèmes individuels ou collectifs et générer l'énergie pour l'industrie.



Infographie réalisée par l'ADEME



Jean Piveteau,
président de Piveteaubois

« La valorisation énergétique de l'écorce et des connexes sert notre compétitivité »

Sur les grumes qui entrent dans la scierie, nous valorisons tout ce qui ne sert pas au sciage, c'est-à-dire au produit fini.

La majeure partie des connexes est valorisée en pellets que nous commercialisons. Le reste des connexes et les écorces sont valorisés en cogénération pour produire à la fois de la chaleur, pour le séchage du bois, et de l'électricité. Nous sommes aujourd'hui complètement autonomes en ce qui concerne l'électricité nécessaire au bon fonctionnement de la scierie. En parallèle, nous avons engagé depuis quatre ans un gros plan d'investissement afin de remplacer tout notre matériel de manutention thermique par de l'électrique : nous avons échangé les grosses pelleuses thermiques par des pelleuses électriques et sommes en train de remplacer tous les élévateurs thermiques par des électriques, des convoyeurs, ou des ponts roulants. Qu'il s'agisse de la commercialisation de pellets ou de la recherche d'autonomie, l'optimisation de la matière et de l'énergie est un atout indispensable aujourd'hui pour rester compétitif sur le marché international, en particulier face à nos concurrents autrichiens et allemands.

Verte a permis la commercialisation d'appareils de plus en plus performants et les Fonds Air Bois ont accéléré localement la rénovation du parc ancien et vétuste. Dans le secteur collectif et industriel, déjà à fort rendement et utilisant des technologies de réduction des émissions de polluants, les installations à haute performance énergétique se multiplient grâce, notamment, au Fonds Chaleur. Avant tout financement, les plans d'approvisionnement sont validés pour s'assurer de la cohérence entre le dimensionnement des projets, la disponibilité des ressources et la complémentarité des usages du bois. Ces plans peuvent également

s'appuyer sur différentes certifications afin de garantir la qualité du combustible et la gestion durable des forêts : CBQ+, PEFC, FSC, etc.

Recyclage et réutilisation

Le réemploi et le recyclage matière des produits en fin de vie permettent d'allonger le temps de résidence du carbone dans les produits. L'usage énergétique des coproduits des industries de transformation du bois et des déchets issus des produits bois en fin de vie, non valorisés en matériau, permet de réduire la part de la consommation d'énergies fossiles. Les scieries deviennent multiproduits en internalisant la production de granulés *in situ*. Dans le cadre du comité stratégique de la filière, un Plan déchets [14] de bois en fin de vie a été élaboré afin d'améliorer la collecte et la valorisation des flux actuellement enfouis ou exportés (cf. figure ci-contre). L'objectif est ainsi de valoriser 1,3 Mt supplémentaires de déchets des produits bois

1,3 Mt

supplémentaires de produits bois en fin de vie pourraient être valorisés chaque année, soit une hausse potentielle de près de 40 %.

1. Passant d'un taux moyen actuel de 30 % à un objectif fixé compris entre 37 % et 45 % selon les entreprises.

2. La forêt française est composée en majorité de feuillus mais les consommations de bois concernent majoritairement des résineux.

UN LARGE ÉVENTAIL D'OUTILS POUR UNE GESTION DURABLE INTÉGRANT LES ENJEUX CLIMATIQUES

DE LA PLANIFICATION FORESTIÈRE DES UNITÉS DE GESTION AUX DÉMARCHES TERRITORIALES, EN PASSANT PAR LA PRISE EN COMPTE DE LA RÉPONSE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PAR LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ, DES OUTILS EXISTENT.

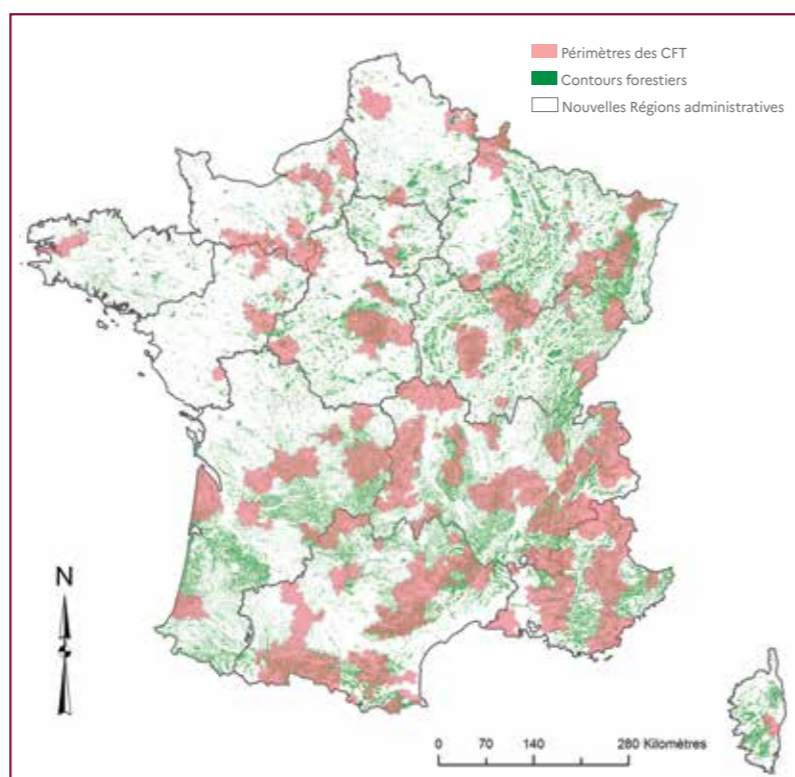
La planification forestière à l'échelle des unités de gestion est incontournable pour garantir leur durabilité. L'élaboration des plans simples de gestion, pour les forêts privées de plus de 25 hectares, et des plans d'aménagements forestiers, pour les forêts publiques, constitue une obligation réglementaire, qui doit être réalisée en tenant compte des documents d'orientation et de gestion forestière régionaux [44].

Planification territoriale

Le territoire est une échelle clef. Le décret n° 2016-849 renforce la prise en compte des enjeux forestiers dans le Plan climat-air-énergie territorial (PCAET) en marquant l'obligation de prendre en compte la séquestration de carbone pour les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) de plus de 20000 habitants. Pour accompagner les collectivités, l'ADEME met à disposition un outil de diagnostic simple d'utilisation et libre d'accès, Aldo¹, qui livre une estimation des stocks et des flux de carbone dans les sols et la biomasse, selon les occupations du sol. Pour les forêts, il s'appuie notamment sur les données de l'Inventaire forestier national, et permet de réaliser un premier diagnostic simplifié : surfaces des forêts de l'EPCI par typologie de peuplement, stocks et flux de séquestration de carbone et des prélèvements de bois à partir de valeurs moyennes à l'hectare, calculées à

l'échelle des régions écologiques appliquées aux surfaces de l'EPCI. Ces données sur les stocks et flux de carbone des forêts sont aussi intégrées dans l'outil ClimAgri² qui permet de réaliser un diagnostic GES/énergie sur le secteur agricole et forestier à l'échelle du territoire.

La création ou le renouvellement de politiques forestières territoriales, telles que les Chartes forestières (CFT) ou les Plans de massifs (PDM), constituent des planifications pertinentes pour assurer la cohérence des actions forestières avec les politiques climatiques et



Source : IGN, Corinne Land Cover, FNCOFOR 2018

LES CHARTES FORESTIÈRES DE TERRITOIRE (CFT)

Les Chartes forestières de territoire (CFT) sont de plus en plus utilisées pour mettre en place les politiques forestières territoriales : 140 CFT ont déjà été signées, couvrant plus d'un tiers de la forêt métropolitaine.

énergétiques locales, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes. Les CFT intègrent la multifonctionnalité de la gestion des forêts et concrétisent, sur la base d'un diagnostic approfondi, les objectifs stratégiques en actions opérationnelles.

L'intégration des questions forestières dans les documents d'aménagement du territoire constitue également un élément essentiel afin d'éviter les changements d'occupation des terres et la fragmentation des espaces boisés (par exemple, à travers l'établissement des zones en Espace boisé classé (EBC), ou du dispositif foncier Obligation réelle environnementale (ORE) ou encore d'autres formes de protection). Cela permet aussi de promouvoir une gestion forestière durable et l'utilisation du bois dans la construction. Un outil d'aide à la décision comme GES Urba², créé par le Cerema et l'ADEME, permet de calculer les impacts en termes de gaz à effet de serre de scénarios d'aménagement proposés dans les documents d'urbanisme.

Intégrer les enjeux environnementaux

De plus en plus d'outils sont disponibles pour mener une gestion forestière qui intègre l'ensemble des enjeux environnementaux et promouvoir une gestion forestière favorable à la lutte contre le changement climatique. Climafor³ par exemple, compare différents itinéraires sylvicoles en quantifiant les stocks et les flux de carbone à l'échelle de la parcelle. Cet outil du CNPF peut ainsi accompagner le développement de projets sous Label Bas-Carbone pour garantir la mise en place d'actions à impact positif pour le climat (cf. pp. 34-35).

L'OUTIL DE DIAGNOSTIC ALDO estime les stocks et flux de carbone dans les sols et la biomasse selon les occupations du sol.



Mathilde Guittet,
animatrice de la Charte forestière de territoire du Pays Pyrénées-Méditerranée

« La charte forestière favorise une dynamique collective et l'accès à des financements »

La Charte forestière de territoire permet d'ancrer une stratégie volontaire pour une gestion durable et multifonctionnelle de la forêt. Elle s'appuie sur une dynamique collective, une volonté partagée de faire de la forêt un axe de développement local. Parmi les quatre enjeux de la charte forestière du Pays Pyrénées-Méditerranée, un axe est entièrement dédié à la préservation et à la gestion adaptée du patrimoine forestier. Il prend en compte les risques naturels et les changements climatiques. Pour répondre à cet enjeu et favoriser la séquestration de carbone en forêt, nous avons par exemple mené un chantier pilote visant la conversion de taillis de châtaignier en futaie irrégulière. Nous travaillons également à la structuration des filières bois d'œuvre et bois énergie, participant ainsi aux objectifs de séquestration dans les produits bois et de substitution carbone. La charte forestière facilite aussi l'accès aux financements, qu'ils soient européens, nationaux ou régionaux. En cinq ans, plus de deux millions d'euros ont ainsi été investis sur le territoire, sans compter les grands projets de coopération et ceux issus de programmes supra territoriaux ! La volonté des élus constitue un prérequis indispensable pour lancer et animer une charte. Pour la faire vivre, il faut une personne dédiée qui coordonne, accompagne et s'assure d'une bonne concertation entre des acteurs qui ne sont pas forcément habitués à travailler ensemble. Collectivités locales, services de l'État, organismes forestiers, associations environnementalistes, acteurs du tourisme, organisations citoyennes... Au Pays Pyrénées-Méditerranée, ce sont près de cinquante porteurs de projets qui avancent ensemble !

Le réseau mixte technologique Aforce³ est quant à lui entièrement voué à l'accompagnement des acteurs forestiers dans l'adaptation des forêts, en vue de renforcer leur capacité d'atténuation. Des outils de diagnostic sylvoclimatique ont été développés dans le cadre de ce réseau. Le site web Climessences⁴, regroupe toute l'information sur le choix des espèces forestières. Des guides de recommandations se développent sur les enjeux de biodiversité ou de protection des sols : le guide *Mieux intégrer la bio-*

*diversité dans la gestion forestière*⁵, *Pratic'sols : Guide sur la praticabilité des parcelles forestières*⁶ ou le guide ADEME *Récolte durable du bois pour la production de plaquettes*⁷, réalisés sur la base du projet Gerboise (Gestion raisonnée de la récolte de bois-énergie). Ce document s'appuie sur des outils de diagnostics opérationnels, comme For-Eval développé par l'ONF et l'INRAE. Pour faire valoir la durabilité de la récolte, les certifications FSC [45] et PEFC [46] restent incontournables afin de garantir le respect d'une gestion durable. ○

LES RÉFÉRENCES

1. <https://www.territoires-climat.ademe.fr/ressource/211-76>
2. <https://www.cerema.fr/fr/mots-cles/ges-urba>
3. <https://www.reseau-aforce.fr/>
4. <https://climessences.fr/>
5. <https://www.quae.com/produit/1441/9782759226726/mieux-integrer-la-biodiversite-dans-la-gestion-forestiere>
6. <https://www.onf.fr/onf/lonf-agit/+192::pratic-sols-guide-sur-praticabilite-des-parcelles-forestieres.html>
7. <https://www.ademe.fr/recolte-durable-bois-production-plaquettes-forestieres>

QUEL SOUTIEN FINANCIER POUR LES PROGRÈS DU SECTEUR FORESTIER ?

DES AIDES EXISTENT POUR AMÉLIORER LES PEUPEMENTS FORESTIERS ET ACCOMPAGNER LA FILIÈRE BOIS DANS SON EFFICACITÉ ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE.

Que ce soit en amont ou en aval, l'accompagnement de la performance environnementale de la filière forêt-bois est indispensable pour répondre aux objectifs d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Pour cela, l'État met en place des dispositifs d'aide et d'accompagnement variés, auxquels s'ajoutent de nouvelles sources de financement privées.

Soutien en faveur de l'amont forestier

Des aides de l'État en faveur de l'amélioration des peuplements et du développement des dessertes forestières sont mises en œuvre dans le cadre du Grand Plan d'investissement, en complément des programmes de développement rural régionaux cofinancés par le Feader. Les propriétaires forestiers peuvent par ailleurs bénéficier du Dispositif d'encouragement fiscal à l'investissement en forêt (DEFI acquisition, assurance, travaux, contrat) permettant de renforcer et de promouvoir la gestion forestière. Enfin, le volet forestier du Plan de relance 2021-2022 [32] vise à aider la forêt à s'adapter au changement climatique afin de mieux l'atténuer, avec 45 000 hectares de forêts reconstituées et adaptées, et 50 millions d'arbres plantés.

Initiatives de contribution carbone volontaire et mécénats

Le Label Bas-Carbone [40], piloté par le ministère de la Transition

écologique et solidaire, répond à la demande de contribution carbone volontaire en labellisant des projets forestiers qui ont un impact positif sur le climat et qui respectent certains critères de qualité (additionnalité, environnement, économie...). Opérationnel depuis avril 2019, il offre la possibilité de financer des projets de bois-



Sylvie Faussurier,
chef de projet Carbone à la direction régionale de l'Office National des Forêts (ONF) du Grand Est

« Récompenser les projets vertueux »

Depuis les cinq dernières années, nous sommes confrontés à des difficultés pour mobiliser des financements destinés à l'investissement en forêt. En raison des risques à long terme, notamment liés aux effets du changement climatique, la valeur « marchande » des peuplements forestiers n'est plus garantie à l'avenir, contrairement à leur capacité à stocker du carbone. C'est ce constat qui a amené l'ONF à quantifier la valeur carbone des forêts, afin de la valoriser sous forme de réductions d'émissions vendues à des financeurs générant de nouvelles sources de financements pour les reboisements. C'est ainsi que naturellement nous nous sommes orientés vers le Label Bas-Carbone, seul outil actuel qui permet de certifier les réductions d'émissions d'un projet forestier. Le besoin d'identifier des personnes spécialisées au sein de l'Office national des forêts s'est rapidement fait sentir. C'est pourquoi nous avons décidé de structurer en 2020 un réseau dédié au carbone, avec un responsable à la direction nationale et des correspondants régionaux. Nous faisons face aujourd'hui à des urgences sanitaires dans le Grand Est et à des risques d'incendie accrus. Des essences vont régresser ou disparaître localement, il faut l'acter. Nous allons assister à un échelonnement dans le temps des dépérissements... C'est pourquoi nous travaillons à mobiliser des projets éligibles au label Bas-Carbone pour nous aider à reconstruire des forêts qui pourront produire les services et aménités environnementales attendues. En implantant des essences diversifiées, le carbone est une valeur d'avenir !

200 M€

pendant deux ans, tel est le montant alloué au volet forestier du plan de relance gouvernemental adopté en mars 2021.

sement de terres agricoles ou de friches embroussaillées, de reboisement des peuplements dégradés – suite à tempête, incendie, ou dépérissement intense – et de balivage (conversion de taillis bien venants en futaies sur souches). L'objectif du Label Bas-Carbone consiste à orienter des financements privés vers des actions d'atténuation du changement climatique en forêt. C'est aujourd'hui le seul dispositif en France qui apporte une garantie de réduction d'émissions de gaz à effet de serre par l'État. D'autres initiatives privées basées sur le mécénat complètent les sources de financement – par exemple, les initiatives Sylv'ACCTES [37], Reforest'action [43], les fonds de dotation Plantons pour l'avenir [42] ou Forêt en vie [41] – ou récompensent les gestionnaires forestiers qui démontrent l'impact positif de leur activité sur les services environnementaux, comme le programme Services écosystémiques de FSC [35].



Dominique Cacot,
ingénieure correspondante Forêt et carbone au Centre régional de la propriété forestière de Nouvelle-Aquitaine

« Le Label Bas-Carbone séduit les entreprises et les collectivités »

Si un propriétaire forestier pense mettre en œuvre un projet qui permet de stocker plus de carbone dans le sol et/ou dans la biomasse que la gestion « classique », il le soumet au ministère de la Transition écologique pour obtenir le Label Bas-Carbone. Les trois actions éligibles pour le moment sont les opérations d'amélioration comme le balivage, le boisement de terrains en friche et le reboisement suite à une tempête, un incendie ou un problème sanitaire. Dans un premier temps, le projet est soumis à une vérification documentaire et administrative. Dans un second temps, un bureau d'études réalise un audit au bout de cinq ans pour certifier le gain carbone des projets de boisement et de reboisement. Le Label Bas-Carbone apporte de la crédibilité et de l'objectivité au projet forestier, ce qui séduit les entreprises et les collectivités désireuses de contribuer volontairement à la réduction des émissions de GES. Petit ou gros projet, ce label parle à tout le monde ! Tour de France, G7, La Poste, écoles de management, banques... De plus en plus d'acteurs s'intéressent à ces contrats locaux d'atténuation climatique, car c'est du concret : lorsque vous emmenez un comité de direction sur le terrain, les personnels voient immédiatement le bénéfice de leur action RSE. Ces projets permettent de générer des aides aux propriétaires allant de 50 à 80 % de l'investissement et, ainsi, de mettre en œuvre des actions qui n'auraient pas vu le jour sans cet appui. Pour soumettre un projet au Label Bas-Carbone, le propriétaire forestier peut se faire accompagner par son Centre régional de la propriété forestière (CRPF) afin de déléguer la gestion administrative et l'évaluation des stocks de carbone, tout en conservant un regard purement forestier, dans la durée.

Le soutien de la BPI et de l'ADEME

En aval, l'accompagnement de la filière bois permet de réduire notre dépendance aux ressources fossiles, de rééquilibrer la balance commerciale et d'améliorer l'efficacité. L'État a mis en place, via BPIFrance, les fonds d'investissement Bois et Bois 2 [39], dédiés aux entreprises de transformation de la filière bois et du meuble, ainsi qu'un prêt filière bois pour les scieries et un prêt participatif de développement pour les scieries et les entreprises de travaux. Le Programme d'investissement d'avenir [38] pour la transition énergétique et environnementale

opéré par l'ADEME intègre aussi un accompagnement de l'innovation dans la filière. Dans le cas des projets de production d'énergies renouvelables à partir du bois, un soutien financier est envisageable grâce au Fonds chaleur géré par l'ADEME [34]. La ressource forestière française

étant aux deux tiers constituée de feuillus, la relance de l'industrie de transformation (cf. pp. 15-17), en adaptant les outils industriels à cette ressource, en ciblant les marchés porteurs et en continuant à innover, revêt un aspect stratégique pour lutter contre le changement climatique. ○

LA RESSOURCE FORESTIÈRE FRANÇAISE ÉTANT
CONSTITUÉE À DEUX TIERS DE FEUILLUS,
l'accompagnement et l'innovation dans cette filière
sont stratégiques.

AMÉLIORATION DE CONNAISSANCES, DIFFUSION ET CONCERTATION

L'ÉVALUATION ET L'IDENTIFICATION DES ACTIONS POUR RENFORCER LE RÔLE DU SECTEUR FORESTIER DANS L'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ONT GAGNÉ EN PRÉCISION CES DERNIÈRES ANNÉES. DES BESOINS DE RECHERCHE ET D'OUTILS OPÉRATIONNELS SUR LE TERRAIN SUBSISTENT.

Des importants efforts de recherche ont permis d'améliorer les connaissances scientifiques, mais des incertitudes restent encore à lever, notamment sur : 1) l'évaluation de la réponse des écosystèmes, selon leur mode de gestion, aux effets du changement climatique; 2) une meilleure intégration dans les analyses des effets de la gestion forestière sur le carbone des sols et sur la biodiversité, ainsi que sur les paramètres biophysiques propres à la forêt (albédo et flux de chaleur) qui ont des effets refroidissants sur le climat local; 3) la quantification des effets de substitution selon les filières concurrentes, les usages du bois et leurs évolutions futures prenant en compte le comportement des consommateurs et les mécanismes de marché; 4) l'implication des sciences sociales pour mieux prendre en compte les citoyens dans la gouvernance forestière. Une meilleure valorisation de la biomasse forestière nécessite de poursuivre les efforts d'innovation pour en optimiser les flux et développer des produits et énergies à hautes performances environnementales: recherche de nouvelles opportunités pour le bois de feuillus ou le gros bois de résineux, poursuite des efforts de normalisation des produits feuillus, limitation des impacts de la transformation matière et usage énergétique du bois, écoconception des produits



Miriam Buitrago,
ingénieure au service Forêt, Alimentation et Bioéconomie de l'Ademe

« Évaluer ensemble l'atténuation, la résilience et la biodiversité »

Quelle est la meilleure stratégie pour optimiser le rôle des forêts et des usages du bois dans la lutte contre le changement climatique? Cette question est au cœur de nombreux débats scientifiques et sociétaux

aujourd'hui au niveau national et international. Bien qu'un accord unanime existe sur la nécessité de lutter contre la déforestation à l'échelle mondiale et de reconstituer des forêts dégradées, des points de débats subsistent sur le rôle que pourrait jouer le développement de la biomasse pour remplacer des combustibles fossiles selon l'origine du bois et le type de pratiques mises en place. En parallèle, les forêts subissent déjà les conséquences du changement climatique et seront de plus en plus touchées dans le futur. Un enjeu majeur est d'identifier des stratégies favorables de manière conjointe à l'atténuation du changement climatique, à la résilience des forêts face aux impacts du changement climatique, à la biodiversité et à la qualité des sols. Il s'agit notamment de mieux connaître et prendre en compte les pratiques sylvicoles dans les stratégies de développement des filières. Dans ce contexte, le renforcement des collaborations entre les organismes de recherche mobilisant des équipes multidisciplinaires et l'ensemble des parties prenantes du terrain, en particulier à l'échelle des territoires, est essentiel. L'ADEME cherche à y contribuer en mettant la forêt et le bois au cœur de ses programmes de recherche [2].

pour une meilleure valorisation en fin de vie, etc.¹

Diffusion et concertation

La définition des actions doit rester multicritère et se raisonner localement en prenant en compte l'ensemble des

acteurs concernés et les spécificités des territoires. Des outils opérationnels se développent (cf. pp. 32-33) mais ils doivent être consolidés afin d'améliorer l'intégration des enjeux climatiques dans la définition des stratégies de gestion forestière et des usages du bois dans les territoires. ○

1. Pour plus d'information voir Plan recherche innovation filière forêt bois 2025 : <https://agriculture.gouv.fr/filiere-foret-bois-le-plan-recherche-innovation-2025>

[1] ADEME, 2015. Forêt et atténuation du changement climatique. Les avis de l'ADEME (<https://www.ademe.fr/foret-attenuation-changement-climatique>)

[2] ADEME, 2019. La forêt et le bois, un enjeu majeur pour atténuer le changement climatique. Ademe & Vous - La lettre Recherche n°28 (<https://presse.ademe.fr/2019/10/ademevous-la-foret-et-le-bois-un-enjeu-majeur-pour-attenuer-le-changement-climatique.html>)

[3] ADEME, 2020. Base carbone®, base de données publiques des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre ([https://data.ademe.fr/datasets/base-carbone\(r\)](https://data.ademe.fr/datasets/base-carbone(r)))

[4] ADEME, 2020. Récolte durable de bois pour la production de plaquettes forestières (disponible sur : <https://www.ademe.fr/recolte-durable-bois-production-plaquettes-forestieres>)

[5] ADEME, 2021. La neutralité carbone. Les avis de l'ADEME (<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avis-ademe-neutralite-carbone-2021.pdf>)

[6] Badeau V., Dupouey J.-L., Cluzeau C., Drapier J. et Le Bas C., 2010. « Climate Change and the Biogeography of French Tree Species: First Results and Perspectives? » in Loustau D. (éd.), Forest, Carbon Cycle and Climate Change, Éditions Quae, Versailles, pp. 231-252

[7] Branquart E., De Keersmaeker L., 2010. Effets du mélange d'essences sur la biodiversité forestière. Forêt Wallonne, n°106 – mai / juin 2010.

[8] CGDD, 2018. EFES : Les écosystèmes forestiers, La Documentation française, coll. Théma Analyses, e-publication. CGDD, 2019. EFES : La séquestration de carbone par les écosystèmes en France, La Documentation française, coll. Théma Analyses, e-publication.

[9] Citepa, 2021. Rapport National d'Inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et du Protocole de Kyoto. CCNUCC (disponible sur : https://cdr.eionet.europa.eu/fr/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envyemsw/)

[10] Collet C. et al., 2020. Dernières innovations sur la plantation forestière : <https://www6.inrae.fr/renfor/content/download/3960/36729/version/1/file/Collet%20et%20al%202020%20FE.pdf>

[11] Denardou-Tisserand A., 2019. Changements du stock de bois sur pied des forêts françaises : description, analyse et simulation sur des horizons temporels pluri-décennal (1975 - 2015) et séculaire à partir des données de l'inventaire forestier national et de statistiques anciennes. Sylviculture, foresterie. Université de Lorraine, 2019. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02130405>

[12] du Bus de Warnaffe G. et Angerand S., 2020. Gestion Forestière et changement climatique, une nouvelle approche de la stratégie nationale d'atténuation. (Rapport d'étude) FERN, Canopée (https://www.canopee-asso.org/wp-content/uploads/2020/02/Rapport-WEBfor%20C3%AAt-climat-Fern-Canop%C3%A9e-AT_Optimizer.pdf)

[13] Dupouey J.L., 2017. Gestion des forêts tempérées, changement climatique et biodiversité, In Lavorel S., Lebreton J.D., Le Maho Y., « Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites ». Rapport de l'Académie des Sciences. Fiche 5.4, pp. 139-142

[14] FCBA, 2019. Plan déchets du CSF Bois -Phase 1. Rapport pour le CSF bois

[15] Haut conseil pour le climat, 2020. Maîtriser l'empreinte carbone de la France (https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/10/hcc_rapport empreinte-carbone.pdf)

[16] IGN, 2019. Le Mémento de l'Inventaire forestier. Édition 2019. <http://www.ign.fr/institut/publications/memento-linventaire-forestier>

[17] IGN, FCBA, 2019. Réévaluation de la ressource et de la disponibilité en bois d'œuvre des essences feuillues et conifères en France. MAA et FBF. (https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/fcba_ign_etude_bo_france_rapport_version_revisee.pdf)

[18] IGN, FCBA, ADEME, 2016. Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035. (<https://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-forestiere/chiffres-cles-observations/biomasse-forestiere>)

[19] Jactel H., Barbaro L., Castagneyrol B., Dulaurant A.M., Giffard B., van Halder I., ... & Vetillard F., 2014. Biodiversité et gestion des risques biotiques en forêt de plantation. Innovations Agronomiques, 41, pp. 57-67.

[20] Landmann G., Nivet, C. (coord.), 2014. Projet Resobio. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité. Angers : ADEME, Paris : MAA - GIP Ecofor. Rapport final, 243 p. <https://www.ademe.fr/projet-resobio-gestion-remanents-forestiers-preservation-sols-biodiversite> - <https://www.ademe.fr/projet-resobio-gestion-remanents-forestiers-preservation-sols-biodiversite>

[21] MAA, Ecofor, 2018. Indicateurs de gestion durable des forêts françaises ultramarines de Guyane, Guadeloupe et Martinique, édition 2015.

[22] MAA, IGN, 2021. Indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines. <https://foret.ign.fr/IGD/>

[23] Monmousseau M., Ducouso A., Teillac-Deschamps P., Moncorps S., 2015. Bois-énergie et biodiversité forestière. Synthèse. Comité français de l'UICN/ADEME. 56 p. http://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/06/Energies_renouvelables_Bois-m6.pdf

[24] MTE, 2020. Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2020, publiés par le ministère de la Transition écologique, disponible à <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-des-energies-renouvelables-edition-2020?rubrique=18>

[25] MTE, MAA, CITEPA, IGN, 2020. « Plan Comptable Forestier National de la France incluant le Niveau de Référence pour les Forêts (FRL) pour les périodes 2021-2025 et 2026-2030 » <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Plan%20Comptable%20Forestier%20France.pdf>

[26] ONERC, 2015. « L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change » - Rapport au Premier ministre et au Parlement de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique. La Documentation française, Paris 2015.

[27] ONF, FNE, 2017. Pratic'sols : Guide sur la praticabilité des parcelles forestières (disponible sur <https://www.onf.fr/onf/lonf-agit/+192::pratic-sols-guide-sur-praticabilite-des-parcelles-forestieres.html>)

[28] Pellerin S. et Bamière L. (pilotes scientifiques), et al., 2020. Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Rapport scientifique de l'étude, INRA (France), 540 p.

[29] Roux A., Colin A., Dhôte J.-F., Schmitt B. (coord.) et al., 2020. Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique : entre séquestration du carbone en forêt et développement de la bioéconomie. Versailles, éditions Quae, 170 p. (<https://www.quae-open.com/produit/150/9782759231218/filiere-foret-bois-et-attenuation-du-changement-climatique>)

[30] Valada T., Cardellini G., Vial E., Levet A.-L., Muys B., Lamoulié J., Hurel C., Privat F., Cornillier C., and Verbist B., 2016. "FORMIT Project - Deliverable 3.2 - LCA and Mitigation Potential from Forest Products." D 3.2. The work leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme under grant agreement n° FP7-311970

[31] Valade A., Bellassen V., Luysaert S., Vallet P., Njakou Djomo S., 2017. Bilan carbone de la ressource forestière française - Projections du puits de carbone de la filière forêt-bois française et incertitude sur ses déterminants. [Rapport de recherche] auto-saisine, p.66. <hal-01629845> (<https://www.ademe.fr/projet-bicaff-bilan-carbone-ressource-forestiere-francaise>)

SITES INTERNET

[32] <https://agriculture.gouv.fr/francerelance-le-renouvellement-forestier-est-lance>

[33] <https://agriculture.gouv.fr/le-reglement-sur-le-bois-de-lunion-europeenne>

[34] <https://fondschaleur.ademe.fr/>

[35] <https://fr.fsc.org/fr-fr/certification/services-cosystemiques>

[36] https://prosilva.fr/files/brochures/PRO-SILVA_6_pages_2020_MD_mono.pdf

[37] <https://sylvacctes.org/>

[38] <https://www.ademe.fr/actualites/manifestations/presentation-appels-a-projets-programme-dinvestissements-davenir>

[39] <https://www.bpifrance.fr/Toutes-nos-solutions/Participation-au-capital/Fonds-d-investissement-thematiques/Bois-2>

[40] <https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone>

[41] <https://www.foretsenvie.org/>

[42] <https://www.plantonspourlavenir.fr/>

[43] <https://www.reforestaction.com/>

[44] <https://agriculture.gouv.fr/la-gestion-durable-des-forets>

[45] <https://fr.fsc.org/fr-fr>

[46] <https://www.pefc-france.org/>

REMERCIEMENTS ET MENTIONS

Membres du Comité de pilotage

Académie d'Agriculture de France:

Jean Luc PEYRON

ADEME :

Miriam BUITRAGO,

Alba DEPARTE,

Thomas EGLIN,

Isabelle FEIX,

Jérémy GLOAGUEN,

Emilie MACHEFAUX,

Jérôme MOUSSET

CIBE : Clarisse FISCHER

CITEPA : Mélanie JUILLARD,

Etienne MATHIAS, Colas ROBERT

CNPF : Simon MARTEL

FCBA : Estelle VIAL

FNCOFOR : Silvère GABET

FNE : Adeline FAVREL

GIP ECOFOR : Nicolas PICARD

I4CE : Julia GRIMAULT

IGN : Antoine COLIN

INRAE : Bertrand SCHMITT

ONF : Christine DELEUZE

Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation :

Pauline FAVREL

Ministère de la Transition

Ecologique:

Michel DUHALDE,

Elisabeth PAGNAC-FARBIAS,

SER : Johanna FLAJOLLET-MILLAN

Autres experts sollicités

Laurent AUGUSTO (INRAE),

Myriam LEGAY (AgroParisTech),

Olivier PICARD (CNPF),

Thierry SARDIN (ONF),

Nicolas DOUZAIN-DIDIER (FNB)

Professionnels sollicités pour les témoignages

Marie LEQUIEN (animatrice de la Charte Forestière du Parc naturel régional du Haut-Languedoc), Jean PIVETEAU (président de Piveteaubois),

Mathilde GUITTET (animatrice de la Charte Forestière de Territoire du Pays Pyrénées-Méditerranée), Sylvie FAUSSURIER (chef de projet Carbone a la direction regionale de l'ONF du Grand Est),

Dominique CACOT (ingénieur au Centre régional de la propriété forestière de Nouvelle-Aquitaine),

GUIDE PRATIQUE RÉALISÉ PAR TERRE-ÉCOS POUR LE COMPTE DE L'ADEME

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME, l'Agence de la transition écologique, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines, énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc. nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

Les collections de l'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur :

Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leurs savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert :

Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent :

Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur :

Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir :

Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



Forêts et usages du bois dans l'atténuation du changement climatique : connaître et agir

En collaboration avec des représentants de la recherche, des pouvoirs publics, des organismes de gestion forestière et des filières bois ainsi que des associations environnementales, ce guide aborde les enjeux des forêts et des usages du bois dans la lutte contre le changement climatique.

Il présente ainsi le cycle du carbone en forêt (dont son captage et son stockage) et les effets induits par les différents usages du bois comme le stockage dans les produits à longue durée de vie et l'évitement d'émissions de carbone d'origine fossile. Il décrit comment ces mécanismes interagissent en s'appuyant sur les derniers résultats des programmes de recherche. Ce guide expose ensuite des leviers d'action et les outils disponibles pour intégrer les enjeux de la lutte contre le changement climatique dans le cadre d'une gestion durable et multifonctionnelle des forêts.

« Destiné aux acteurs concernés par les actions climatiques, la gestion des forêts et le développement des usages du bois, ce guide contribue à la compréhension des mécanismes du cycle du carbone et à la diffusion des leviers d'action pour favoriser l'intégration des enjeux forestiers dans la lutte contre le changement climatique. »

