

Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique

Entre séquestration du carbone en forêt
et développement de la bioéconomie

A. Roux, A. Colin, J.-F. Dhôte, B. Schmitt, coord.



Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique

Entre séquestration du carbone
en forêt et développement
de la bioéconomie

Alice Roux, Antoine Colin, Jean-François Dhôte
et Bertrand Schmitt, coordinateurs

Éditions Quæ

Collection *Matière à débattre et décider*

Quelle politique agricole commune demain ?

C. Détang-Dessendre, H. Guyomard, coord.

2020, 306 p.

Artificialized land and land take

M. Desrousseaux, B. Béchet, Y. Le Bissonnais, A. Ruas, B. Schmitt, eds

2020

Quelles agricultures irriguées demain ?

S. Bouarfa, F. Brelle, C. Coulon, coord.

2020, 212 p.

Le présent document constitue une reprise révisée du rapport de l'étude sollicitée par le ministère en charge de l'Agriculture et menée par INRAE et l'IGN. Le contenu du rapport et de cet ouvrage n'engage que la responsabilité de leurs auteurs.

Le rapport et ses annexes sont disponibles sur le site www.inrae.fr (www.inrae.fr/actualites/quel-role-forets-filiere-foret-bois-francaises-lattenuation-du-changement-climatique).

Pour citer cet ouvrage :

Roux A. (coord.), Colin A. (coord.), Dhôte J.-F. (coord.), Schmitt B. (coord.), Bailly A., Bastien J.-C., Bastick C., Berthelot A. Bréda N., Caurla S., Carnus J.-M., Gardiner B., Jactel H., Leban J.-M., Lobianco A., Loustau D., Marçais B., Meredieu C., Pâques L., Rigolot E., Saint-André L., Guehl J.-M., 2020. *Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique : entre séquestration du carbone en forêt et développement de la bioéconomie*. Versailles, éditions Quæ, 170 p.

Éditions Quæ

RD 10, 78026 Versailles Cedex

www.quae.com

© Éditions Quæ, 2020

ISBN papier : 978-2-7592-3120-1

ISSN : 2115-1229

ISBN PDF : 978-2-7592-3121-8

ISBN ePub : 978-2-7592-3122-5

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6°.

Table des matières

Préface de Daniel Bursaux et Philippe Mauguin	7
Avant-propos	11
Rôle des filières forêt-bois dans l'atténuation du changement climatique	13
Un enjeu mondial	13
La filière forêt-bois française et ses enjeux	17
Les leviers forestiers d'atténuation	19
Une évaluation originale des potentialités d'atténuation de la filière française	20
Partie I	
Le bilan carbone actuel de la filière forêt-bois	
1. Capacité d'atténuation des compartiments de la filière forêt-bois	29
Évaluation du stockage de carbone dans l'écosystème forestier	29
Évaluation du stockage de carbone dans les produits bois ou à base de bois	35
Estimation des émissions de gaz à effet de serre évitées par effet de substitution	36
2. Bilan carbone actuel de l'ensemble de la filière forêt-bois française	41
Un bilan carbone déjà important	41
Facteurs d'évolution du bilan carbone : gestion forestière, climat et risques	43
Conclusion de la partie I	47

Partie II

Bilans carbone et effets économiques de trois scénarios de gestion forestière à l'horizon 2050

3. Trois scénarios de gestion forestière à l'horizon 2050	51
Un scénario d'« Extensification et allégement des prélèvements »	54
Un scénario intermédiaire de « Dynamiques territoriales »	55
Un scénario d'« Intensification et augmentation des prélèvements »	56
Plausibilité des scénarios de gestion et du plan de reboisement	63
Trois visions contrastées du futur	66
4. Bilans carbone des stratégies de gestion forestière à l'horizon 2050	67
Détermination des niveaux de prélèvement	67
Stocks sur pied, prélèvements et stockage de carbone dans l'écosystème forestier	72
Le faible poids du stockage de carbone dans les produits bois	76
L'ampleur des émissions évitées par substitution et des incertitudes associées	79
Des bilans carbone largement positifs, mais sensibles aux hypothèses et aux paramètres retenus	82
5. Freins et leviers économiques à la mise en œuvre des scénarios de gestion forestière	91
Hypothèses de simulation des scénarios « Extensification » et « Intensification »	93
Les freins à la croissance des prélèvements tels qu'attendus dans le scénario « Intensification »	94
Les efforts collectifs nécessaires pour accroître les niveaux de production	96
Évolution de l'équilibre emplois-ressources de la filière à l'horizon 2050	97
Impacts de l'intensification de la gestion sur les résultats économiques de la filière	99
Conclusion de la partie II	101

Partie III**Effets d'une aggravation du changement climatique ou de crises majeures sur les bilans carbone à l'horizon 2050**

6. Effets d'une aggravation du changement climatique	105
Quelles trajectoires climatiques retenir ?	105
Combinaison des modèles GO+ et Margot pour simuler le RCP-8.5	108
Impacts d'une aggravation du changement climatique sur les dynamiques forestières et les bilans carbone	110
7. Estimation des impacts de crises forestières majeures	119
Pourquoi intégrer des crises dans les simulations ?	119
Trois histoires de risques en cascade	121
Implémentation des crises abiotiques et biotiques dans le modèle Margot	131
Conséquences des dégâts causés par les crises majeures sur la filière	133
Effets des crises sur le bilan carbone de la filière forêt-bois	135
Conclusion de la partie III	141
Conclusion générale	143
Originalités de la démarche mise en œuvre	143
Les compensations entre composantes du bilan carbone différencient entre elles les stratégies de gestion forestière	144
Des incertitudes diversement réductibles	146
Des bilans carbone tributaires d'une aggravation du changement climatique ou des crises majeures	147
Des investigations scientifiques et méthodologiques complémentaires à envisager	148
Au-delà du bilan carbone, considérer les multiples services rendus par la filière forêt-bois	150
Annexe	
Détermination des surfaces concernées par le plan de reboisement du scénario « Intensification »	151
Choix des zones à intégrer dans un plan de reboisement	151
Affectation des essences dans les strates	155
Références bibliographiques	159
Liste des auteurs et experts scientifiques de cet ouvrage	167

Préface

DÉJÀ NETTEMENT SENSIBLE SUR TOUTE LA PLANÈTE, le changement climatique est un des bouleversements majeurs auxquels l'humanité doit faire face dès à présent et pour les décennies à venir. L'atténuation de ce changement global nécessite que chaque secteur d'activité, chaque filière de production, chaque ménage, chaque consommateur, chaque citoyen du monde modifie en profondeur ses modes de production, de consommation, de vie, et ses façons d'occuper l'espace afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les dommages environnementaux d'origine anthropique. Face à ces objectifs impérieux, les politiques publiques se doivent de définir, d'orienter, d'impulser, d'inciter (de contraindre, s'il le faut) les évolutions sociétales nécessaires pour répondre à ce défi planétaire.

Les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, le GIEC, montrent clairement que limiter à un niveau inférieur à + 2 °C la hausse de la température moyenne à la surface de la planète impose non seulement une réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines en promouvant notamment une économie décarbonée, mais aussi une augmentation des « puits » de carbone, qui correspondent à des « émissions négatives » (IPCC, 2018). Dans ce contexte, la forêt a un rôle particulier à jouer compte tenu de son étendue, de son fonctionnement biologique et des services qu'elle rend à la société. Elle a, d'une part et grâce à la photosynthèse, la capacité de fixer une partie du CO₂ atmosphérique et de séquestrer le carbone ainsi capté dans les tissus de ses arbres et les écosystèmes forestiers. Elle fournit, d'autre part, une ressource naturelle renouvelable favorable au développement d'une bioéconomie visant à se substituer à une économie basée sur l'usage de ressources non renouvelables et d'énergies fossiles, mais aussi cherchant notamment à réduire, par substitution de produits, nos émissions de gaz à effet de serre.

Si l'enjeu principal consiste, dans les régions intertropicales et boréales, à lutter contre la déforestation et la dégradation des ressources forestières, les forêts et les forestiers des régions tempérées se voient soumis à des objectifs qui peuvent paraître contradictoires : augmenter la captation du carbone atmosphérique pour accroître la séquestration dans la biomasse et dans les sols tout en fournissant une part croissante des ressources nécessaires à la production des biens matériels et de l'énergie dont les sociétés humaines ont besoin, et renouveler progressivement les forêts pour leur permettre de s'adapter aux conditions climatiques de demain. Le positionnement du curseur entre ces enjeux potentiellement antagonistes est, depuis quelques années, l'objet de débats sociétaux et scientifiques suffisamment intenses pour que l'on s'y arrête afin de bien évaluer les tenants et les aboutissants.

C'est dans cette optique qu'INRAE et l'IGN, à la demande du ministère français chargé de l'Agriculture et de la Forêt, ont conjointement engagé une expertise scientifique visant à

éclairer les termes de ce débat en prenant appui sur l'exemple de la forêt et des filières forêt-bois de la France métropolitaine. Ce sont les résultats de cet important travail qui sont rassemblés dans le présent ouvrage.

L'objectif n'est clairement pas de trancher entre des positions présentées sous des formes parfois caricaturales ; il est, en revanche, de permettre aux acteurs (professionnels, publics, associatifs), aux décideurs et aux citoyens se sentant concernés par un tel enjeu de comprendre toute la complexité et les incertitudes qui entourent l'arbitrage entre séquestration du carbone en forêt et développement de la bioéconomie. Les experts de nos deux organismes et de certains de nos partenaires ont, pour cela, analysé les dimensions à prendre en compte pour penser et mettre en œuvre, dans une démarche de gestion durable des ressources forestières et des produits à base de bois, différentes stratégies bas-carbone envisageables.

En circonscrivant leur champ d'analyse à l'ensemble de la filière forêt-bois appréhendée à une échelle nationale, les auteurs explicitent tout d'abord les divers compartiments à explorer pour dresser un bilan carbone complet de la filière. Ce faisant, ils mettent en lumière les zones d'incertitude du bilan actuel, liées aux marges d'erreurs sur les données disponibles et aux difficultés à fixer certains coefficients et paramètres indispensables à l'établissement de tels bilans. Sur ces bases, ils proposent des projections de ce bilan carbone à l'horizon 2050, horizon qui peut socialement paraître assez lointain mais qui, à l'échelle des dynamiques forestières et climatiques, est finalement très proche. Plus précisément, il s'agit, au travers de ces projections, d'examiner les impacts que pourraient avoir trois stratégies de gestion forestière se différenciant principalement par le niveau de prélèvements (et de renouvellement) de la ressource qu'elles envisagent pour alimenter des filières de bioéconomie.

Cet exercice de projection prospective met tout d'abord en évidence que, quelle que soit l'option choisie, le bilan carbone de l'ensemble de la filière forêt-bois française a de fortes chances de continuer à progresser. Cela confirme le rôle majeur de ce secteur dans l'atténuation du changement climatique. Néanmoins, aux incertitudes déjà relevées pour l'établissement du bilan carbone actuel, s'en surajoutent de nouvelles sur le devenir de certains coefficients et paramètres techniques dont les valeurs influent sur les résultats de projection. Ainsi, le rythme de croissance de la forêt française va-t-il se maintenir à mesure du vieillissement des peuplements ? Dans quel sens vont évoluer les émissions de gaz à effet de serre évitées par la mobilisation de produits forestiers en substitution de biens dont la production est aujourd'hui plus émettrice de gaz à effet de serre ? Si ces incertitudes compliquent l'identification de « la » stratégie de gestion dégageant les bilans carbone les plus favorables, elles peuvent, comme on le verra au fil des pages qui suivent, guider la réflexion sur les usages des bois qu'il faudrait favoriser pour améliorer le bilan carbone des stratégies soutenant le développement de la bioéconomie.

À ces analyses de bilan carbone, les experts réunis ici ont souhaité ajouter deux dimensions à la fois originales et indispensables pour éclairer au mieux le rôle futur de la filière dans l'atténuation du changement climatique. En premier lieu, le recours à un modèle

économique englobant l'ensemble de la filière française permet de mettre au jour les freins économiques à lever pour déployer des stratégies d'accroissement plus ou moins prononcé des prélèvements. Ensuite, comme très justement pointé par Verkerk *et al.* (2020), le niveau de réponse des filières forêts-bois et des stratégies de gestion dont elles feront l'objet sera très sensible, d'une part, aux conditions climatiques futures et, d'autre part, aux crises biotiques et abiotiques que la forêt sera probablement amenée à traverser de plus en plus régulièrement au cours des décennies à venir. Bien que particulièrement difficile à concevoir et à simuler, compte tenu notamment de la nature et des occurrences des événements à considérer, l'exploration simultanée de ces deux dimensions complémentaires a été tentée ici : elle permet de proposer une première approche de la résilience de la filière et de son bilan carbone face à de tels évolutions et événements.

*Daniel Bursaux, directeur général de l'IGN
Philippe Mauguin, président-directeur général d'INRAE*

Avant-propos

CET OUVRAGE EST ISSU D'UNE ÉTUDE RÉALISÉE PAR L'INRA (devenu depuis INRAE, Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) et l'IGN (Institut national pour l'information géographique et forestière), à la demande du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et du Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux, et conduite par la Direction à l'expertise scientifique collective, à la prospective et aux études (DEPE) d'INRAE. Comme tous les travaux conduits par la DEPE d'INRAE, cette étude a été menée selon les principes et les règles de conduite des expertises et des études édictées par cette structure (INRAE-DEPE, 2018). La DEPE d'INRAE réalise trois types d'opérations, engagées le plus souvent sur commande des pouvoirs publics ou de partenaires extérieurs :

- les expertises scientifiques collectives (ESCo) consistent à réaliser un état de l'art et un assemblage des connaissances scientifiques existantes pour souligner les acquis, les incertitudes et les lacunes de connaissances, et mettre à jour les controverses scientifiques ;
- lorsque la littérature disponible n'est pas suffisante pour répondre précisément aux questions posées par les pouvoirs publics, une démarche de type étude pluridisciplinaire est mise en place. Les études s'apparentent aux ESCo, dont elles intègrent la démarche et qu'elles complètent avec la création de données nouvelles (collecte, analyses statistiques, calculs, simulations) ;
- les prospectives proposent à la réflexion des visions du futur (ou scénarios) en explorant le plus systématiquement possible des conjectures d'évolution basées sur les connaissances scientifiques disponibles.

L'étude présentée dans cet ouvrage inclut des éléments propres à chacune de ces trois approches. En s'interrogeant sur la façon d'établir les bilans carbone de la filière forêt-bois — entendue ici dans son acception la plus large, à savoir le système formé par les milieux forestiers et les activités liées à la gestion, à l'exploitation forestière et à la valorisation des produits à base de bois — et les incertitudes qui en ressortent, elle a tout d'abord adopté une démarche d'expertise en s'appuyant sur une revue de la littérature scientifique internationale pour préciser et discuter les hypothèses et les paramétrages à retenir pour chacun des compartiments de la filière susceptibles de séquestrer ou libérer du dioxyde de carbone (CO₂). Les résultats détaillés de cette première étape ont fait l'objet d'un premier rapport destiné au ministère en charge de l'Agriculture (Dhôte *et al.*, 2015). Envisageant également des stratégies différenciées de gestion forestière à l'horizon 2050, cette étude emprunte à la démarche prospective en élaborant des scénarios et en cherchant à en quantifier leurs conséquences à terme. Enfin, la quantification des effets des scénarios envisagés relève de la démarche d'étude, dans la mesure où elle mobilise des outils de simulation déjà existants, s'exposant ainsi à leurs limites.

Les résultats détaillés de l'ensemble de l'étude sont disponibles dans le rapport complet et ses nombreuses annexes (voir Roux *et al.*, 2017).

Ce travail a été coordonné par Alice Roux (INRAE-DEPE), en tant que cheffe de projet ; elle a été secondée par Marc-Antoine Caillaud et Kim Girard (INRAE-DEPE), qui ont assuré l'appui logistique et administratif. Le pilotage scientifique a été initialement confié à Jean-François Dhôte (INRAE), sachant qu'Antoine Colin (IGN) et Bertrand Schmitt, alors directeur de la DEPE (INRAE), l'ont relayé et ont assuré la finalisation de l'étude et la coordination du présent ouvrage. Pour mener à bien ce travail, un collectif d'experts, réunissant des chercheurs et ingénieurs d'horizons institutionnels et scientifiques variés, a été constitué en vue de couvrir les différentes thématiques abordées dans l'étude. Il était composé de : Alain Bailly (FCBA¹) ; Claire Bastick (IGN) ; Jean-Charles Bastien (INRAE) ; Alain Berthelot (FCBA) ; Nathalie Bréda (INRAE) ; Sylvain Caurla (INRAE) ; Jean-Michel Carnus (INRAE) ; Antoine Colin (IGN) ; Barry Gardiner (INRAE) ; Hervé Jactel (INRAE) ; Jean-Michel Leban (INRAE) ; Antonello Lobianco (AgroParisTech) ; Denis Loustau (INRAE) ; Benoît Marçais (INRAE) ; Céline Meredieu (INRAE) ; Luc Pâques (INRAE) ; Éric Rigolot (INRAE) ; Laurent Saint-André (INRAE). On trouvera en fin d'ouvrage un récapitulatif des spécialités et des contributions de chacun des experts.

Le suivi de la réalisation du travail a été confié à un comité de pilotage qui a réuni, autour des services compétents du ministère en charge de l'Agriculture, commanditaire de l'étude, un ensemble d'experts administratifs, techniques et professionnels, assurant un échange constructif entre les différents points de vue qui s'expriment au sein de la filière forêt-bois française. Outre les représentants du ministère de l'Agriculture, Pierrick Daniel, Lise Wlérick, Frédéric Branger et Florian Claeys (DGEP) ainsi que Pierre Claquin et Élise Delgoulet (CEP), y ont participé Sylvie Alexandre (MTES-MCT) ; Bernard Roman-Amat, puis Michel Vallance (CGAAER) ; Jean-Luc Peyron (GIP Ecofor) ; Isabelle Feix et Miriam Buitrago (Ademe) ; Pierre Brender, Joseph Lunet et Elisabeth Pagnac-Farbiaz (MTES-DGEC) ; Gérard Deroubaix et Estelle Vial (FCBA) ; Christine Deleuze (ONF) ; Olivier Picard (CNPFF-IDF) ; Jacques Chevalier (CSTB) ; Yves Duclerc (MTES-DHUP) ; Julia Grimault (I4CE).

Une première version de l'ouvrage a grandement bénéficié des relectures critiques et constructives de Erwin Dreyer (INRAE), Jean-Marc Guehl (INRAE), Mériem Fournier (AgroParisTech) et Jean-Luc Peyron (GIP Ecofor), dont les remarques nous ont été précieuses. Jean-Marc Guehl est en outre intervenu directement dans la rédaction en nous aidant à replacer la démarche mise en œuvre parmi les enjeux forestiers globaux face au changement climatique.

Même si ce qui suit relève de la responsabilité stricte des auteurs de cet ouvrage, les apports des membres du comité de pilotage et des relecteurs scientifiques ont été majeurs tant dans l'élaboration de la stratégie de l'étude que dans les interprétations des résultats qui en découlent. Nous tenons à les remercier toutes et tous de leurs apports.

¹ FCBA, l'Institut technologique Forêt cellulose bois-construction ameublement.

Rôle des filières forêt-bois dans l'atténuation du changement climatique

LES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS SONT AU CŒUR D'ENJEUX MAJEURS pour la planète et l'évolution de son climat, en particulier pour leur rôle prépondérant dans le cycle du carbone. Le propos de cet ouvrage se limite au cadre métropolitain des forêts et du secteur forestier français. Afin de bien en saisir la portée, il est toutefois utile de rappeler certains éléments de base concernant les forêts dans leur globalité, et notamment leur sensibilité et leur importance face aux perturbations et aux déséquilibres environnementaux actuels caractérisant l'« anthropocène », que Crutzen et Stoermer (2000) définissent comme une « époque caractérisée par l'impact majeur des activités humaines sur la biosphère et le système terrestre globalement ». Il est également utile de considérer la diversité des contextes entre grandes régions du globe en ce qui concerne l'évolution des bilans carbone et les conséquences sur la teneur en CO₂ de l'atmosphère.

Un enjeu mondial

LES FORÊTS MONDIALES COUVRENT 4 MILLIARDS D'HECTARES, soit 31 % des surfaces terrestres. Elles contiennent 60 à 75 % du carbone de la biomasse végétale continentale et 40 à 53 % du carbone de la biosphère continentale, c'est-à-dire du carbone organique total contenu dans la végétation et les sols. Cela représente près de 860 gigatonnes de carbone (GtC), soit près de 3 150 GtCO₂, un compartiment équivalent à celui du CO₂ actuellement présent dans l'atmosphère.

Elles contribuent fortement au cycle naturel global du carbone à travers des échanges très intenses avec l'atmosphère. La production primaire brute des forêts, c'est-à-dire le flux photosynthétique d'entrée de CO₂ dans les écosystèmes, est évaluée à 220 GtCO₂/an, soit près de 50 % de celle de l'ensemble des couverts végétaux terrestres (Gough, 2011). À l'échelle des écosystèmes, ce flux entrant est en grande partie compensé par un flux en sens inverse de CO₂ lié aux dépenses énergétiques du métabolisme et de la croissance des végétaux, mais également des microorganismes associés aux végétaux ou assurant la transformation et la décomposition de la matière organique morte des litières et du sol. Les prélèvements de bois et les perturbations naturelles (telles que les tempêtes, les attaques biotiques, les extrêmes climatiques ou les incendies) contribuent également à ce flux sortant du fait de la mortalité végétale induite ou de la combustion. La différence

entre flux entrants et sortants de CO_2 reste cependant positive à l'échelle planétaire, ce qui fait des écosystèmes forestiers un puits net de carbone.

Cette double caractéristique des forêts (leur contenu en carbone élevé et leurs flux d'échanges intenses bidirectionnels avec l'atmosphère) implique l'existence de relations fonctionnelles fortes entre les variations du stock de carbone dans les écosystèmes forestiers et la concentration atmosphérique en CO_2 . La compréhension et la modélisation de ces relations nécessitent de les considérer dans le cadre des déséquilibres du cycle du carbone, induits par les perturbations liées aux activités humaines. Deux grands types de facteurs, respectivement de nature extensive et intensive, sont à considérer à cet égard :

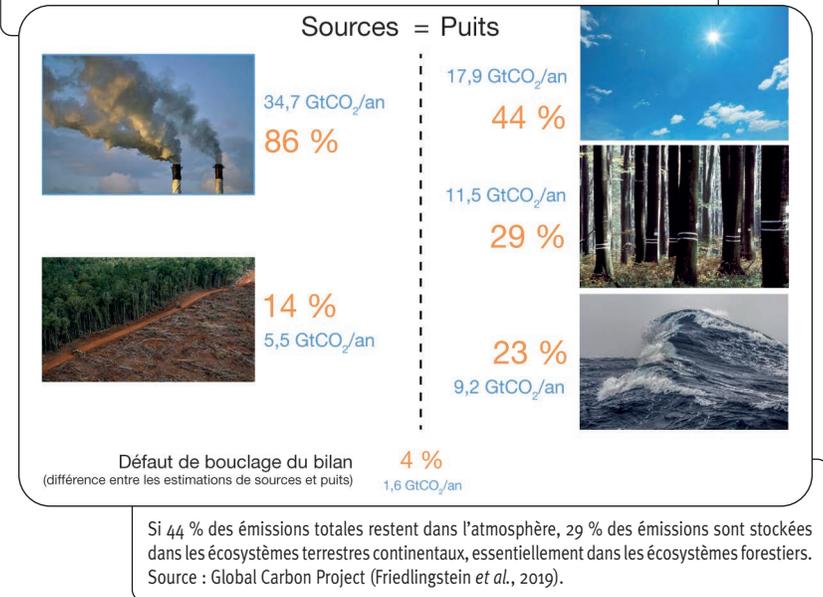
- les changements d'utilisation des terres, transformant le plus souvent des surfaces à forte densité en carbone dans la biomasse et les sols (forêts, savanes, prairies, zones humides, etc.) en cultures ou plantations, parfois en terres dégradées, ont conduit à un transfert de carbone des écosystèmes terrestres vers l'atmosphère, induisant une augmentation lente du CO_2 atmosphérique depuis les années 1850 (Le Quéré *et al.*, 2018). Il s'agit ici d'une source de CO_2 endogène, n'augmentant pas la masse de carbone engagée dans le cycle naturel du carbone. Ces pratiques restent actuellement à l'origine de 14 % des émissions de CO_2 globales (figure 1.1). La déforestation et la dégradation des forêts tropicales y prédominent ;

- les émissions de CO_2 liées à l'utilisation de carbone fossile, source exogène de carbone, représentent actuellement 86 % des émissions totales, qui s'élèvent à $40,2 \text{ GtCO}_2/\text{an}$ en moyenne au cours de la dernière décennie (figure 1.1). Leur rôle est prédominant dans l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO_2 (410 parties par million en 2019, soit une augmentation de 50 % par référence au niveau préindustriel de 275 parties par million), en croissance exponentielle depuis les années 1950. Diverses approches suggèrent que la biosphère terrestre a répondu aux émissions anthropiques de CO_2 au cours du siècle dernier par une augmentation de la production primaire brute proportionnelle à l'augmentation en CO_2 atmosphérique, essentiellement par un effet direct de stimulation de la photosynthèse (Cernusak *et al.*, 2019). En cohérence avec ce constat, les simulations à l'aide de modèles de quantification des flux et bilans carbone à l'échelle des écosystèmes continentaux indiquent que la biosphère terrestre stocke actuellement $11,5 \text{ GtCO}_2\text{eq}/\text{an}$ par accumulation du carbone dans la biomasse et les sols, soit 29 % des émissions annuelles totales de CO_2 , contribuant ainsi, avec les océans (23 %), à atténuer l'accumulation de CO_2 dans l'atmosphère (figure 1.1). Dans les décennies à venir, les impacts adverses du changement climatique global (sécheresses, canicules et interactions avec les attaques biotiques) sur la productivité terrestre et le stockage de carbone pourraient prédominer sur les effets positifs directs de l'augmentation du CO_2 sur l'activité photosynthétique.

Le puits de CO_2 terrestre actuel, résultant de la combinaison des effets de ces deux grands facteurs, est très largement attribué aux forêts (Pan *et al.*, 2011). Les évaluations par la FAO des ressources forestières mondiales permettent d'estimer l'évolution des surfaces et des stocks de carbone à l'échelle des grandes régions forestières (MacDicken, 2015) qui

présentent des dynamiques très contrastées. Les forêts accusent globalement une diminution nette de près de 130 millions d'hectares depuis vingt-cinq ans (- 3 %). La vitesse de déforestation nette diminuait jusqu'en 2015, mais le phénomène reste important, surtout pour les forêts primaires tropicales, réduites de 222 millions d'hectares (- 11 %) au cours de la même période. Le puits terrestre de CO₂ actuel résulte *in fine* du stockage de carbone par les forêts non – ou peu – perturbées, tempérées ou boréales (dont les surfaces s'accroissent), mais aussi tropicales, dont la contribution l'emporte sur les émissions de carbone liées à la déforestation et à la dégradation forestière (Pan *et al.*, 2011).

Figure 1.1. Devenir des émissions (sources) globales de CO₂ liées aux activités humaines (utilisation de combustibles fossiles et changement d'utilisation des terres incluant les déforestations) pour la période 2009-2018 à l'échelle planétaire.

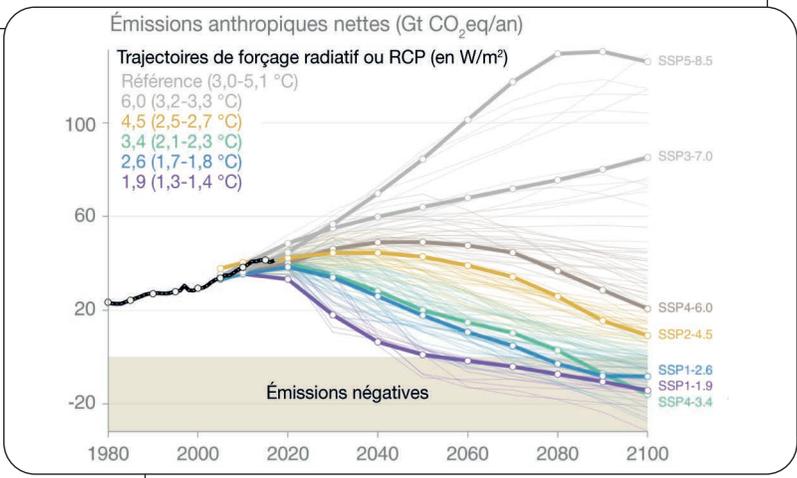


Des pratiques de gestion et d'aménagement forestiers peuvent être mises en œuvre pour favoriser le stockage de carbone en forêt. Le vieillissement des peuplements est une option considérée. Des évaluations récentes ont porté sur le potentiel de stockage additionnel de carbone par des *nature-based solutions* (solutions fondées sur la nature)² de

2. Les solutions fondées sur la nature sont définies par l'UICN comme « les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité ».

reforestation ou d'afforestation à l'aide d'espèces locales. Malgré leurs limites (conflits d'utilisation des territoires, acceptabilité sociale, etc.), ces approches peuvent contribuer aux objectifs de maintien du réchauffement climatique à 1,5 °C ou 2 °C analysés dans le cadre des travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (IPCC, 2019). Atteindre cet objectif nécessite que les émissions nettes de CO₂ deviennent négatives au cours du XXI^e siècle (figure I.2). Le recours aux plantations forestières peut également contribuer à ces objectifs. Ainsi, dans la dynamique d'expansion des plantations notées par la FAO (Payn *et al.*, 2015) (4 % des surfaces forestières totales en 1990, 7 % en 2015), on peut mentionner les programmes très ambitieux mis en œuvre par la Chine et l'Inde. Outre le bénéfice en matière de stockage de carbone, l'objectif est ici également d'accroître la disponibilité en ressources ligneuses pour les secteurs utilisateurs aval, afin de réduire la pression sur la ressource des forêts naturelles ou semi-naturelles.

Figure I.2. Projections à l'horizon 2100 des émissions brutes de CO₂ liées aux activités humaines (utilisation de combustibles fossiles et changements d'usage des sols) selon les trajectoires socio-économiques (Shared Socioeconomic Pathways, SSPs), les trajectoires de forçage radiatif (Representative Concentration Pathways, RCPs) et les modèles d'évaluation intégrée (Integrated Assessment Models, IAMs).



Les traits fins correspondent aux résultats d'un ensemble de modèles de simulation pour chacun des scénarios SSP x RCP (groupes de couleurs) dont le trait épais représente la médiane. La courbe noire représente les valeurs historiques observées. Les évolutions de température globale associées à chaque niveau de forçage radiatif (RCP) correspondent à des niveaux de réchauffement pour 2100 par rapport à la référence préindustrielle (1850-1900). Les scénarios limitant le réchauffement à + 2 °C ou moins (SSP1-2.6, SSP1-1.9 et SSP4-3.4) nécessitent la réalisation d'émissions nettes négatives pour la seconde moitié du XXI^e siècle. Source : Global Carbon Project (Riahi *et al.*, 2017 ; Rogelj *et al.*, 2018)

Les récoltes mondiales de bois sont évaluées à 3,3 milliards de mètres cubes par an – correspondant à près de 3,3 GtCO₂eq/an –, se répartissant de façon équivalente en bois-énergie et en bois d'œuvre et d'industrie (Houghton et Nassikas, 2017). Cette valeur n'est pas négligeable par rapport à celle du stockage dans les écosystèmes (11,5 GtCO₂eq/an dus à la séquestration nette de carbone en forêt) ; notons cependant qu'une telle estimation fait référence à des systèmes gérés selon les préceptes de la gestion durable des forêts, visant à assurer le caractère renouvelable des ressources. Par ailleurs, il importe de prendre en compte également les externalités positives du secteur forestier associées à l'utilisation de produits issus de ressources renouvelables de faible empreinte carbonée, comparativement à d'autres matériaux ou sources d'énergie davantage consommateurs de carbone d'origine fossile pour leur fabrication et leur mise en œuvre. L'emploi de produits à base de bois évite l'émission de carbone d'origine fossile dans l'atmosphère et l'impact de cet effet de substitution est très significatif dans le bilan net des émissions de CO₂ (Geng *et al.*, 2017).

La filière forêt-bois française et ses enjeux

LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS NETTES DE GAZ À EFFET DE SERRE et le stockage de carbone sont, au niveau mondial, des objectifs d'importance majeure que chaque échelon national a vocation à décliner en vue de limiter le changement climatique en cours. Grâce à leur capacité de stockage de carbone et, par conséquent, d'atténuation de l'augmentation du CO₂ atmosphérique, les forêts et, plus largement, la filière forêt-bois constituent un secteur stratégique pour l'atténuation du changement climatique, notamment. Cela s'explique par la combinaison du stockage dynamique et réversible du carbone dans les écosystèmes et dans les produits issus de la filière, et par la substitution cumulative et définitivement acquise résultant de l'usage du bois en remplacement d'énergies ou de matériaux concurrents, non renouvelables et présentant des bilans carbone moins favorables (Eriksson *et al.*, 2012).

La forêt française métropolitaine s'étend sur 16,7 millions d'hectares, dont 15,9 millions d'hectares sont disponibles pour la production de bois, soit 30% du territoire (IGN, 2016). On estime qu'elle a doublé de surface depuis le minimum historique situé vers 1830 (Bontemps, 2017). Cette expansion s'est poursuivie depuis 1975 au rythme très soutenu de 66 000 ha/an en moyenne (Denardou *et al.*, 2018). Simultanément, le volume de bois sur pied a doublé en cinquante ans, ce qui fait de la forêt française la troisième la plus riche d'Europe, après l'Allemagne et la Suède, qu'elle devrait dépasser prochainement si la dynamique actuelle se poursuit. Son stock s'accroît de 27 millions de mètres cubes de bois par an (Hervé *et al.*, 2016). La forêt française est hétérogène, à toutes les échelles, depuis celle des paysages (les sylvo-écorégions extrêmes ont des taux de boisement allant de moins de 10 % à près de 70 %) jusqu'à celle de la parcelle ; les taillis sous futaie sur plateaux calcaires de l'Est constituant, par exemple, des forêts très riches en espèces, alors que les vastes superficies de taillis méditerranéens n'hébergent le plus souvent qu'une seule espèce. Les trois quarts

des forêts sont privées, l'État détenant 9 % des surfaces (forêts domaniales) et les collectivités 17 % (essentiellement des forêts communales). Appartenant à environ 3,3 millions de propriétaires, la forêt privée est constituée pour 36 % de sa surface d'entités de moins de 10 ha et pour 47 % de plus de 25 ha (FCBA, 2016). Plus de 100 espèces ligneuses sont recensées par l'IGN dans les forêts françaises. Les 12 espèces les plus abondantes représentent seulement 40 % du total du volume sur pied : chênes pédonculé, sessile et pubescent, hêtre, châtaignier, charme, frêne chez les feuillus ; sapin pectiné, épicéa commun, pins sylvestre et maritime, douglas chez les résineux. Les arbres feuillus représentent 67 % de la surface, 64 % du volume sur pied et 60 % de son accroissement annuel (IGN, 2016). Les méthodes sylvicoles sont assez variées, du fait de la multitude des propriétaires, de la forte diversité des potentialités des milieux et des contraintes de gestion. Les industries de première transformation (pâte à papier, panneaux de fibres ou particules, contreplaqués, sciages) sont concentrées dans une large bande allant du sud-ouest au nord-est (Aquitaine, Auvergne-Rhône-Alpes, Centre-Val de Loire, Bourgogne-Franche-Comté, Grand Est). L'industrie de transformation des feuillus est en recul continu depuis trente ans, 80 % des sciages produits actuellement étant d'origine résineuse. Qu'ils soient feuillus ou résineux, les gros et très gros bois trouvent plus difficilement preneur, du fait des modes d'exploitation mécanisés et des procédés et technologies industrielles actuelles qui valorisent mieux les bois de grosseur intermédiaire (bois reconstitués, sciage canter, etc.). La valorisation en bois-énergie est en forte croissance, souvent au détriment du bois d'industrie (voire du bois d'œuvre), du fait des limites de l'offre.

La filière forêt-bois française, qui est restée largement artisanale pour un certain nombre d'essences, se trouve maintenant placée, du fait de la crise climatique, à la croisée des chemins. D'abord, la prise de conscience des risques associés au réchauffement inciterait *a priori* les acteurs de tous les secteurs à préférer une attitude proactive d'anticipation, en transformant, en programmant et en diversifiant leurs activités, ce qui suppose un effort d'investissement dans la durée. Ensuite, l'émergence de la bioéconomie³ pousse la filière forêt-bois à devenir une voie essentielle d'approvisionnement de cette nouvelle économie, et donc à changer d'échelle et d'ambition dans ses finalités industrielles (Sedjo et Sohngen, 2013 ; Mathijs *et al.*, 2015). Enfin, les forestiers ont mis en œuvre depuis longtemps, et de manière plus formalisée depuis les grandes conventions internationales découlant du Sommet de Rio et les directives européennes sur la protection de la nature et de la biodiversité, diverses pratiques de gestion multifonctionnelle des forêts qui assurent un équilibre entre la production de bois et les autres services écosystémiques, pour la plupart non marchands, rendus par les forêts (protection de la biodiversité, eau de qualité, aménités, régulation du climat, etc.). Les formes concrètes de cette pratique multifonctionnelle sont aujourd'hui remises en question à la fois par la modification des enjeux, notamment le rôle structurant des risques dans les dynamiques forestières récentes, et par la reformulation de certaines

3. La bioéconomie peut être vue comme un vaste chantier de reconfiguration des procédés et des façons de produire permettant d'aller vers une économie décarbonée : circularité, ressources renouvelables, limites posées par la durabilité des pratiques en amont et le recyclage en aval, sobriété en émissions, pollutions, mais aussi consommation de ressources minérales rares (Bihouix, 2014).