

Fiche Indicateur

CRITERE 1 : Ressources forestières en bois et carbone

1.4. Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (bilan carbone)

Version du 31 mars 2021

Auteur : Antoine COLIN (IGN)

Contexte des IGD 2020

Le MAA a chargé l'IGN de préparer l'édition 2020 des Indicateurs de Gestion Durable des forêts françaises métropolitaine (IGD 2020), pour une publication prévue en fin d'année 2020. Depuis la première édition des IGD en 1995, l'indicateur 1.4 décrit les stocks de carbone dans la biomasse forestière et leur évolution temporelle.

Sous la présidence du MAA, le comité de pilotage de l'édition 2020 des IGD a décidé d'étendre le champ de l'indicateur « carbone » pour lui permettre de représenter, au travers des effets de séquestration dans les écosystèmes (biomasse, bois mort, sol), de séquestration dans les produits bois et d'émissions évitées grâce à la substitution par le bois de matériaux et d'énergies non renouvelables, la contribution globale des écosystèmes forestiers et du secteur forêt-bois français qui s'y adosse à l'atténuation de l'effet de serre.

Afin de construire ce nouvel indicateur, l'IGN a constitué en 2019 un groupe de travail autour d'experts de la DGPE (MAA), de la DGEC (MTES), de l'ADEME, de l'ONF (réseau Renecofor), d'INRAE (UMR infosol), du GIP Ecofor, du CITEPA et de l'IGN. Le groupe s'est réuni le 15 octobre 2019 à Paris autour d'un état de l'art du sujet en France. Les échanges techniques ont concerné le choix des compartiments à intégrer dans le bilan, les données source, les méthodes de calculs, les coefficients, le format des résultats. Les incertitudes des résultats et les perspectives d'amélioration des calculs ont également fait l'objet de nombreuses discussions. Les travaux du groupe se sont finalisés en mai 2020 avec la validation de la méthode de calcul qui fait ici l'objet d'une présentation détaillée.

La méthode retenue pour les IGD 2020 repose sur le suivi dans le temps des stocks de carbone des différents compartiments du système forêt-bois, ce qui permet d'estimer les flux sur une période quinquennale. Les émissions évitées du fait de l'usage du bois en substitution d'autres matériaux et sources d'énergies non renouvelables sont ajoutées afin d'estimer l'ordre de grandeur du bilan carbone global de l'activité forêt-bois française. Les calculs mobilisent les données de référence en la matière, soit l'inventaire forestier national (IFN), l'enquête annuelle de branche, l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre établi chaque année par le CITEPA, etc.

L'indicateur publié dans les IGD est défini au niveau national. **Une régionalisation des résultats est décrite à partir de la page 20.** Les données régionalisées sont disponibles dans un tableur.

Producteurs de l'indicateur

Auteur de la fiche et des calculs : Antoine Colin (IGN)

Les personnes suivantes ont été associées aux échanges autour de la production de l'indicateur : Jean-Luc Peyron (GIP Ecofor), Etienne Mathias et Colas Robert (CITEPA), Manuel Nicolas (ONF), Manuel Martin (INFOSOL), Pauline Favre, Etienne Chapelant et Florian Claeys (MAA), Aude Charrier, Michel Duhalde et Elisabeth Pagnac-Farbiaz (MTES), Miriam Buitrago (ADEME), Claire Bastick (IGN).

Résultats

Indicateur 1.4.a : séquestration de carbone dans la biomasse et le bois mort

Compartiments de l'écosystème	Stock en 2010		Stock en 2015		Séquestration moyenne annuelle nette entre 2010 et 2015		
	MtC	tC/ha	MtC	tC/ha	MtC/an	tC/ha/an	MtCO ₂ /an
biomasse aérienne des arbres vifs	920	59	987	62	13,4	0,5	49,0
biomasse racinaire des arbres vifs	262	17	281	18	3,8	0,2	14,0
total biomasse ligneuse vivante	1 182	76	1 268	79	17,2	0,7	63,0
bois mort	114	7	114	7	- 0,0	- 0,0	0,0
autres biomasses	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
total biomasse ligneuse	1 296	83	1 381	86	17,2	0,6	63,0

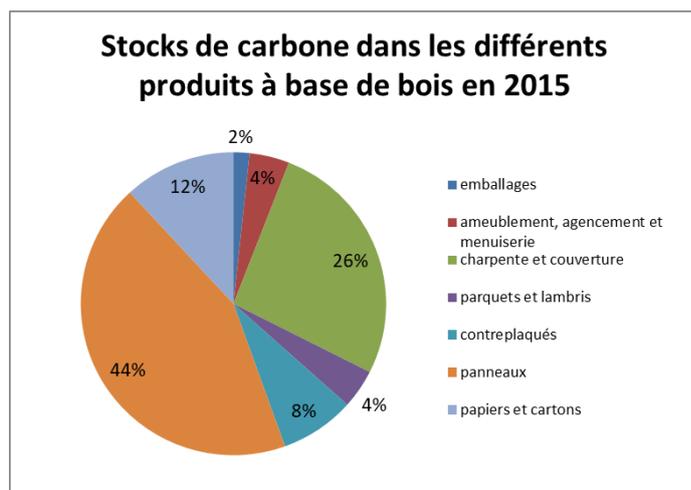
Indicateur 1.4.b : séquestration de carbone dans les sols et la litière

Compartiments de l'écosystème	Stock en 2010		Séquestration moyenne annuelle entre 1995 et 2010		
	MtC	tC/ha	MtC/an	tC/ha/an	MtCO ₂ /an
Sols minéral (0-30 cm)	1 264	81	3,9	0,25	14,3
Litière (dont humus)	140	9	1,6	0,10	5,7
total sol et litière	1 405	90	5,5	0,35	20,0

Indicateur 1.4.c : séquestration dans les produits bois

Familles de produits	Types de produits bois	Stock en 2010	Stock en 2015	Séquestration moyenne annuelle nette entre 2010 et 2015	
		MtC	MtC	MtC/an	MtCO ₂ /an
Produits issus des filières bois d'œuvre	Emballages	1,7	1,6	-0,02	-0,08
	Ameublement, agencement et menuiserie	4,0	3,9	-0,02	-0,07
	Charpente et couverture	23,2	24,2	0,21	0,77
	Parquets et lambris	3,8	3,8	0,00	0,00
	Contreplaqués	7,1	7,2	0,02	0,09
	Total filière BO	39,7	40,7	0,19	0,70
Produits issus des filières du bois d'industrie	Panneaux et BI durables	37,5	39,8	0,47	1,72
	Papiers et cartons	11,0	10,9	-0,03	-0,12
	Total filière BI	48,5	50,7	0,44	1,60
Total filières BO et BI		88,2	91,4	0,63	2,30

BI durables : poteaux, rondins et piquets



Indicateur 1.4.d : émissions évitées par effet de substitution lié à l'utilisation du bois-matériau et énergie

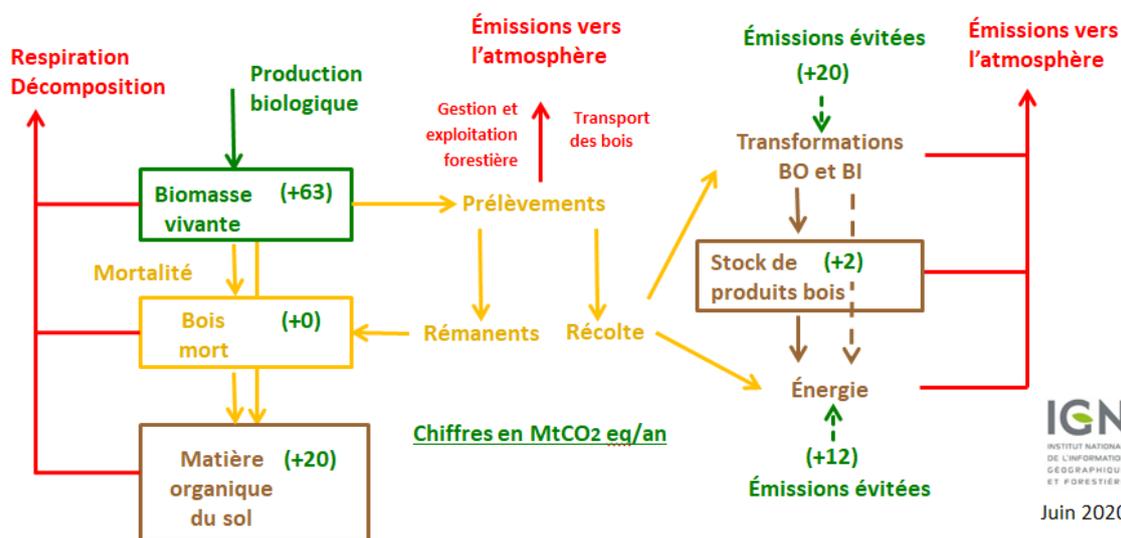
Types d'usages	Volume de produits finis Mm ³ /an	Emissions évitées par effet de substitution en 2015		
		MtC/an	MtCO ₂ /an	Dont issu des filières BO et BI (MtCO ₂ /an)
Produits finis issus du bois d'œuvre	6,8	2,0	7,4	7,4
Panneaux et BI durable	6,2	1,9	6,8	6,8
Papiers et cartons	4,6	0	0	0
Bois énergie et connexes d'industrie	36,2	4,9	18,1	6,2
total des émissions évitées	53,7	8,8	32,3	20,4

BI durable : poteaux, rondins, piquets

Indicateur 1.4.e. Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière bois à l'atténuation de l'effet de serre

Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

France métropolitaine = 118 MtCO₂ eq/an



Synthèse courte

Les écosystèmes forestiers français constituent en 2015 un réservoir estimé à 2,8 milliards de tonnes de carbone, réparties à parts égales entre la biomasse et les sols (jusqu'à 30 cm de profondeur, litière incluse). Sur la période récente, les forêts ont été un puits net, en séquestrant 83 millions de tonnes de CO₂ par an, dont probablement un quart dans les sols.

L'évaluation de la contribution du secteur forestier à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre doit se faire dans une approche intégrée de filière. Dans le cadre d'une gestion durable des forêts, au côté des effets de séquestration dans les écosystèmes et dans les produits à base de bois (2 millions de tonnes de CO₂ par an), l'utilisation des produits en bois (et plus particulièrement le bois d'œuvre) en substitution à d'autres matériaux contribue également à l'atténuation de l'effet de serre en réduisant les émissions de carbone fossile. On évalue ainsi que l'utilisation du bois en substitution de sources d'énergies fossiles et de matériaux dont les processus de fabrication sont plus énergivores que le bois, permet d'éviter l'émission de l'ordre de 32 millions de tonnes de CO₂ additionnelles.

Chiffres clés

Les écosystèmes forestiers et les activités forêt-bois qui s'y adossent contribuent globalement à réduire les émissions de CO₂ de l'ordre de 118 millions de tonnes en 2015, dont plus des 2/3 du fait de l'augmentation des stocks de carbone en forêt.

Synthèse détaillée

La filière forêt-bois contribue de multiples manières à la lutte contre l'effet de serre. Sa contribution revêt en particulier deux aspects : accroissement du stock de carbone biogénique dans les écosystèmes et dans les produits à base de bois, et évitement d'émissions de carbone fossile grâce à l'utilisation de bois en lieu et place d'énergies fossiles et de matériaux plus gourmands en carbone que le bois.

En 2015, les forêts publiques, qu'elles soient domaniales ou communales, stockent en moyenne 87 tonnes de carbone à l'hectare dans la biomasse des arbres, soit 10 tonnes de plus que les forêts privées, en raison de la maturité plus importante des arbres qu'elles hébergent. Qu'elles soient publiques ou privées, toutes les forêts ont séquestré davantage de carbone au cours de la période 2010-2015, avec cependant une dynamique plus marquée dans les propriétés privées et communales. Les arbres morts présents dans nos forêts constituent également un stock de carbone estimé à plus de 110 millions de tonnes. Ce stock est resté stable au cours de la période, la hausse récente de la mortalité étant masquée par les effets toujours visibles de la tempête Klaus de 2009 dans les Landes.

Au niveau national, la séquestration annuelle dans la biomasse et le bois mort des forêts françaises représente 17,2 millions de tonnes de carbone, représentant l'équivalent de **63 millions de tonnes de CO₂/an**, sur la période 2010-2015, soit +2,4 tonnes par ha et par an. Toutes les régions métropolitaines sont concernées, à l'exception des Hauts-de-France où les stocks, qui comptaient parmi les plus élevés en moyenne en 2010 avec 99 tC/ha contre 83 tC/ha en moyenne au niveau national, sont restés stables. Les plus forts taux d'accroissement du puits sont relevés dans les régions du grand ouest, dans les Alpes et en Corse. Cette importante fixation de carbone atmosphérique dans la biomasse des arbres a pour origine un vieillissement des arbres (cf. indicateur 1.3) du fait de la conversion progressive des anciens taillis et taillis sous futaie, l'augmentation des surfaces forestières feuillues en raison des déprises agricoles et rurales (cf. indicateur 1.1), les boisements résineux d'après-guerre et l'absence d'exploitation de la production biologique puisque le taux de prélèvement moyen s'établit à 60 % en 2015 en France (cf. indicateur 3.2).

Les sols forestiers stockent une quantité de carbone équivalente à la biomasse, et en augmentation entre 1995 et 2010. En extrapolant à la totalité des forêts françaises les résultats des mesures réalisées sur le dispositif RENECOFOR pour le suivi à long terme des écosystèmes forestiers, le puits de CO₂ dans les sols pourrait s'élever actuellement à **20 millions de tonnes par an**. Des recherches complémentaires restent nécessaires pour mieux comprendre les processus sous-jacents, et évaluer si les sols forestiers continueront dans le futur à séquestrer du carbone suivant l'évolution du climat.

L'évaluation de la contribution du secteur forestier à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre doit se faire dans une approche de filière. En effet, en complément de la séquestration dans les écosystèmes, l'utilisation des produits à base de bois par le secteur aval de la filière permet, dans le cadre d'une gestion durable des ressources, de prolonger le stockage de carbone après la coupe. Au cours de la période 2010-2015, **2 millions de tonnes de CO₂** ont été stockés chaque année en plus dans les matériaux en bois (construction, panneaux, emballage, ameublement, etc.), pour un stock total de 91 millions de tonnes de carbone en 2015.

Enfin, l'utilisation de produits ligneux en substitution de matériaux et sources d'énergies fossiles dont les processus de fabrication sont plus énergivores que le bois, permet d'éviter l'émission de **32 millions de tonnes de CO₂** additionnelles dans l'atmosphère, hors valorisation en fin de vie des produits. Les filières du bois d'œuvre et du bois d'industrie représentent une place prépondérante avec 63 % du total. En effet, 14 millions de tonnes de CO₂ sont évitées par les usages matériau (charpente, menuiserie, parquets et lambris, panneaux, etc.) et la valorisation énergétique des connexes générés par ces industries permet d'éviter l'émission de 6 millions de tonnes de CO₂ additionnelles.

Les écosystèmes forestiers et les activités forêt-bois qui s'y adossent contribuent globalement à réduire les émissions de CO₂ de l'ordre de 118 millions de tonnes en 2015, dont 70 % du fait de l'augmentation des stocks en forêt. Il s'agit là d'une estimation et des consolidations scientifiques restent nécessaires, notamment pour pouvoir projeter la façon dont elle évoluera en fonction de scénarios climatiques et de développement de l'activité forêt-bois.

Sources des données

1.4.a. Séquestration de carbone dans la biomasse vivante et dans le bois mort :

La biomasse vivante fait référence à la tige, l'écorce, les branches et brindilles vivantes, ainsi que les racines des arbres vivants dont la circonférence à 1,30 m de hauteur est supérieure à 23,5 cm. Les feuilles, les aiguilles, les fleurs, les fruits et les branches et brindilles mortes présentes dans les houppiers, sont exclus. Les arbres de circonférence inférieure à 23,5 cm, les arbustes du sous-étage, la flore herbacée, les plantes annuelles, les fougères, mousses et lichens sont également exclus.

Le bois mort concerne la tige, les branches et les racines des arbres morts sur pied et des chablis de plus de 23,5 cm de circonférence à 1,30 m de hauteur, ainsi que les pièces de bois mort au sol de plus de 2,5 cm de diamètre, les souches et les racines des arbres coupés. En revanche, les feuilles mortes au sol sont incluses dans la litière.

Les données concernant la biomasse vivante et le bois mort proviennent de l'enquête d'inventaire forestier national (IFN) mise en œuvre par l'IGN. Le passage du volume de bois dans la tige mesuré par l'IFN au stock de carbone contenu dans l'ensemble des parties aériennes et racinaires des arbres se fait au travers de l'emploi successif de coefficients. Les tarifs de cubage permettant d'estimer le volume aérien total, les facteurs d'expansion racinaires, les coefficients moyens d'infradensité par essence et le coefficient sur la teneur moyenne en carbone de la biomasse ont été élaborés lors du projet CARBOFOR en 2004.

1.4.b. Séquestration dans les sols et la litière :

Le GIEC subdivise les sols en deux grands types : les sols minéraux et les sols organiques. Les sols minéraux sont très largement majoritaires en France, les sols organiques étant limités aux zones humides.

La litière forestière est constituée des branches mortes au sol de diamètre inférieur à 2,5 cm (au-dessus, elles sont comptabilisées avec le bois mort), des couches humiques et fumiennes et des feuilles mortes.

Les valeurs de stocks moyens de carbone à l'hectare dans le sol minéral (jusqu'à 30 cm de profondeur) et dans la litière en 2010 proviennent du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) déployé dans le cadre du GIS Sol et dont la première campagne de prélèvement en métropole (RMQS1) s'est déroulée de 2000 à 2009.

La séquestration moyenne à l'hectare de carbone dans les sols et la litière provient du réseau REseau National de suivi à long terme des ECosystèmes FORestiers (RENECOFOR), géré par l'Office national des forêts, et qui vise à comprendre l'évolution des écosystèmes forestiers en réaction aux changements environnementaux (pollutions atmosphériques, variations climatiques, évolution de la biodiversité). Il est constitué de 102 placettes permanentes en forêt publique métropolitaine. Le suivi des propriétés physico-chimiques des sols sur ces 102 sites est réalisé selon un protocole comparable dans le temps et comprenant vingt-cinq répétitions de prélèvement regroupées en cinq répétitions d'analyse par site et par couche, jusqu'à 40 cm de profondeur. La première campagne d'échantillonnage a été effectuée en 1993-95 ; la seconde a été réalisée entre 2007 et 2012.

La surface boisée en 2010 est estimée au travers de l'enquête d'inventaire forestier national (IFN).

1.4.c. Séquestration dans les produits bois

Les produits à base de bois concernent les produits issus des industries du sciage (charpente, emballage, traverse, menuiserie, parquet, lambris, ameublement, merranderie, etc.), du déroulage (contreplaqués) et de la trituration (panneaux, pâtes, papiers et cartons). Les piquets et poteaux, les produits issus de la carbonisation et de la chimie, ainsi que le bois énergie (bûches, plaquettes, granulés, sciures) sont également inclus.

Les résultats sont extraits de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre, préparé par le CITEPA. De nombreuses sources des données sont mobilisées pour évaluer la production de biens à base de bois, parmi lesquelles les enquêtes annuelles de branche « exploitation forestière » et « scieries » réalisées par le service de la statistique et de la prospective (SSP) du ministère de l'agriculture et de l'alimentation (MAA), des statistiques EUROSTAT sectorielles et des données émanant d'organismes techniques et d'interprofessions.

Les volumes de bois récoltés sont répartis entre catégories de produits finis (charpente, emballage bois d'œuvre, panneaux, papiers et cartons, bois-énergie, etc.) auxquels sont alloués des durées de demi-vie, sur la base de coefficients collectés par le CITEPA auprès des acteurs de la filière.

Les volumes sont convertis en stocks de carbone à l'aide des coefficients publiés dans le rapport CARBOFOR.

1.4.d. Emissions évitées par effet de substitution lié à l'utilisation du bois comme matériau et énergie

Les volumes de bois récoltés chaque année en France sont collectés et mis en forme par le CITEPA dans le cadre de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre. Les données de récolte sont les mêmes que pour le calcul de la séquestration de carbone dans les produits bois, à savoir

l'enquête annuelle de branches « exploitation forestière » du MAA, et l'enquête sur la consommation de bois-énergie compilée par EUROSTAT.

La ventilation des volumes récoltés selon les types de produits finis est établie à partir de plusieurs sources bibliographiques récentes (Roux et al. 2017, Mémento FCBA 2019, SSP, CITEPA).

Les coefficients de substitution matériau et énergie indiquent la quantité de tonnes de CO₂ dont l'émission est évitée du fait de l'emploi d'un mètre cube de bois. Ils sont issus de Roux *et al.* (2017).

Méthodologie

1.4.a. Séquestration de carbone dans la biomasse vivante et dans le bois mort

Biomasse vivante :

Le calcul des stocks de carbone dans la biomasse vivante et leur évolution au cours du temps repose sur les données mesurées en forêt par l'IGN dans le cadre de l'enquête d'inventaire forestier national. Ces données sont identiques à celles mobilisées pour les indicateurs de volume des IGD (cf. indicateur 1.2 notamment).

A partir des mesures de circonférence et de hauteur réalisées sur chaque arbre, des équations produites par la recherche française fournissent directement le volume total des arbres, en incluant le tronc, les branches et les brindilles. Des facteurs d'expansion variables suivant la nature feuillue ou résineuse de l'arbre permettent ensuite d'estimer le volume de la totalité des racines. Les stocks de carbone correspondants à ces volumes totaux aériens et racinaires sont finalement estimés à l'aide de coefficients permettant de convertir les volumes de bois vert en biomasse sèche (utilisation d'un coefficient d'infradensité du bois moyen par essence) puis d'évaluer la teneur en carbone de la biomasse (soit 47,5 %). Les mêmes facteurs de conversion sont utilisés pour l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre.

La méthode de calcul est détaillée dans le rapport du projet CARBOFOR (Dupouey *et al.*, 2010).

La séquestration de carbone dans la biomasse au cours de la période 2010 à 2015 est calculée par différence entre le stock moyen mesuré en 2010 (moyenne des mesures réalisées les années 2008 à 2012) et le stock moyen mesuré en 2015 (moyenne des mesures réalisées les années 2013 à 2017).

Bois mort :

Le calcul des stocks de carbone dans le bois mort et leur évolution au cours du temps repose sur les données mesurées en forêt par l'IGN dans le cadre de l'enquête d'inventaire forestier national.

Les données IFN donnent une vision exhaustive des quatre compartiments de bois mort qui se rencontrent en forêt (voir https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/IF29_bois-mort.pdf) :

- Arbres morts sur pied : depuis 2008, l'inventaire forestier national mesure tous les arbres morts sur pied de plus de 7,5 cm de diamètre, en distinguant ceux qui sont morts depuis moins de 5 ans. Avant 2008, seuls ces derniers étaient inventoriés. Le volume mesuré par l'IGN concerne la tige (sans les branches) jusqu'à la découpe fin bout de 7 cm. Les facteurs d'expansion permettent d'estimer le volume de racines des arbres morts.
- Chablis : tous les arbres chablis depuis moins de 5 ans sont inventoriés. L'IGN mesure le volume de leur tronc et estime celui de leurs racines par proportionnalité.

- Bois mort au sol : le bois mort au sol est mesuré sur toutes les placettes IFN depuis 2008. Concrètement, toutes les pièces de bois mort (branches, tronc, résidus de coupe) de plus de 2,5 cm de diamètre qui croisent un transect de 12 m de longueur positionné de manière aléatoire sur chaque placette, sont dénombrées, et leur volume est estimé.
- Souches et racines des arbres prélevés : depuis 2010, l'IFN mesure tous les arbres qui ont été prélevés au cours de la période de 5 ans séparant deux passages successifs en inventaire. Si les troncs des arbres ont été sortis des parcelles, leurs racines sont toujours présentes dans le sol sous la forme de bois mort. Ce volume de racines mortes est estimé par proportionnalité à partir du volume aérien qui a été exploité.

Chacun des quatre compartiments de bois mort de l'écosystème fait l'objet d'un traitement spécifique pour le calcul des stocks de carbone. Les objectifs sont d'éviter les doubles-comptes au niveau des branches et de prendre en compte la décomposition progressive du bois mort :

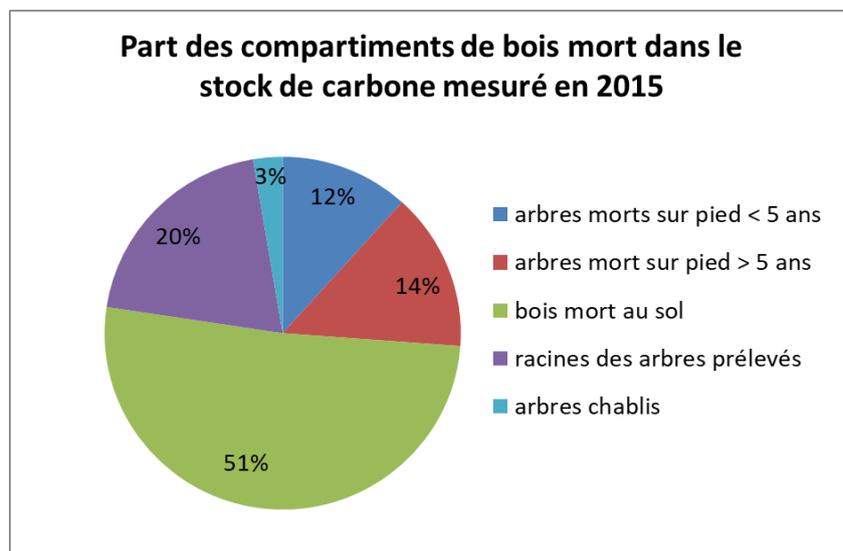
- Arbres morts sur pied depuis moins de 5 ans :
 - tout le volume de la tige est comptabilisé avec le bois mort.
 - pour éviter d'éventuels doubles-comptes, on considère par convention que toutes les branches se trouvent au sol, où elles sont comptabilisées dans le compartiment du bois mort au sol. Cette hypothèse sous-estime certainement la réalité.
 - tout le volume racinaire est comptabilisé avec le bois mort. On fait ainsi l'hypothèse que la minéralisation n'est pas encore engagée, faute d'informations suffisamment robustes sur le processus de décomposition des racines dans le sol. Cette hypothèse est optimiste, et surestime probablement le stock de racines mortes.
- Arbres chablis depuis moins de 5 ans :
 - Les compartiments aériens et racinaires de l'arbre sont comptabilisés de la même manière que les arbres morts sur pied depuis moins de 5 ans.
- Arbres morts sur pied depuis plus de 5 ans :
 - tout le volume de la tige est comptabilisé avec le bois mort.
 - pour éviter d'éventuels doubles-comptes, on considère par convention que toutes les branches se trouvent au sol, où elles sont comptabilisées dans le compartiment du bois mort au sol.
 - La moitié du volume racinaire est comptabilisée avec le bois mort. On fait l'hypothèse que la minéralisation est engagée et qu'une partie du stock de carbone est déjà retourné dans l'atmosphère.
- bois mort au sol :
 - tous les morceaux de bois de diamètre > 2,5 cm sont comptabilisés avec le bois mort au sol. On considère que ce volume inclut la totalité des houppiers des arbres morts sur pied et des chablis, en plus des branches des arbres vivants tombées au sol.
- arbres prélevés au cours des 5 dernières années :
 - l'ensemble de la biomasse racinaire est comptabilisée avec le bois mort.

Le tableau ci-dessous récapitule les hypothèses retenues pour les compartiments de bois mort :

Types de bois mort	Compartiment de l'arbre		
	Tiges	Branches	Racines
arbres morts sur pied < 5 ans	100 %	inclus dans le bois mort au sol	100%
arbres morts sur pied > 5 ans	100 %	inclus dans le bois mort au sol	50%
Arbres chablis	100 %	inclus dans le bois mort au sol	100%
Bois mort au sol	100 %	100 %	sans objet
Arbres prélevés	sans objet	sans objet	100 %

Les volumes de bois mort aériens et racinaires sont finalement convertis en stocks de carbone à l'aide des mêmes coefficients d'infradensité du bois et de teneur en carbone de la biomasse que les volumes de bois vivants, faute d'informations spécifiques sur les arbres morts. L'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre fait la même hypothèse.

Le graphique suivant montre la contribution des 5 compartiments de bois mort de l'écosystème au stock total de carbone dans le bois mort en 2015.



La séquestration de carbone dans le bois mort au cours de la période 2010 à 2015 est calculée par différence entre le stock moyen estimé en 2010 (mesures réalisées les 5 années 2008 à 2012) et le stock moyen estimé en 2015 (mesures réalisées les 5 années 2013 à 2017).

1.4.b Séquestration dans les sols et la litière

Le stock moyen de carbone à l'hectare dans le sol minéral (épaisseur 30 cm) et la litière des forêts métropolitaines est calculé à partir des mesures réalisées sur le Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) entre 2000 et 2009. Les stocks moyens mesurés par type de sol sont pondérés par leur superficie relative. Le stock moyen à l'hectare pondéré France entière est finalement extrapolé à l'ensemble du territoire métropolitain sur la base de l'estimation de la superficie boisée réalisée par l'enquête IFN pour l'année 2010.

En l'absence à ce jour de données remesurées qui soient cohérentes sur le réseau RMQS, les estimations de flux de carbone dans les sols minéraux et la litière sont issues des mesures répétées de manière homogène sur un échantillon de 102 placettes installées en forêt publique (réseau RENECOFOR). Ces mesures révèlent une tendance à l'augmentation du stock de carbone organique dans les sols forestiers au cours de la période comprise entre 1995 et 2010. L'amplitude de cette augmentation est en moyenne de +0,25 tC/ha/an dans les sols minéraux (profondeur 30 cm) et +0,10 tC/ha/an dans la litière (Jonard *et al.*, 2017). Ces valeurs moyennes ont été extrapolées à la totalité de la superficie boisée métropolitaine mesurée par l'enquête IFN en 2010.

1.4.c. Séquestration dans les produits bois

L'évaluation des stocks et des flux de produits bois est issue des travaux menés au niveau national pour l'inventaire de gaz à effet de serre, avec l'aide des lignes directrices du GIEC (Groupe

1.4.d. Emissions évitées par effet de substitution lié à l'utilisation du bois comme matériau et énergie

Introduction :

Les effets de substitution résultent de l'usage de bois ou de produits à base de bois en remplacement d'énergies ou de matériaux concurrents, non renouvelables et présentant des bilans carbone moins favorables. S'agissant d'émissions évitées, elles ne sont par définition pas incluses dans l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre de la France. Elles occupent toutefois un rôle central, qu'il convient d'évaluer pour la compréhension de la contribution globale du système forêt-bois à l'atténuation du changement climatique.

Les deux grands types de substitution permis par le bois sont :

- La substitution-matériau, qui correspond à la quantité d'émissions de CO₂ fossile évitées par le recours à un produit-bois plutôt qu'à un autre produit de référence (béton, acier, plâtre, aluminium...);
- La substitution-énergie, qui correspond à la quantité d'émissions de CO₂ fossile économisée par l'usage de bois-énergie en remplacement d'énergies de référence (fuel, gaz, charbon, mix électrique ou énergétique national...).

Le calcul des effets de substitution est un exercice complexe, dont les résultats sont particulièrement sensibles aux hypothèses et scénarios retenus. En effet, l'ampleur des effets de substitution varie selon les systèmes de production (émissions dans la chaîne de production, rendement et efficacité énergétique du système bois) et l'intensité des émissions de gaz à effet de serre émises par le matériau ou la source d'énergie remplacés. En général, l'effet de substitution matériau est plus important que le seul effet de substitution énergétique. Ces deux effets peuvent se cumuler dans le cas d'une valorisation énergétique du bois ayant été, au préalable, utilisé comme matériau. Les résultats qui découlent de ces calculs sont systématiquement entachés d'une forte incertitude, difficilement quantifiable et réductible, et ils doivent par conséquent toujours être interprétés comme des ordres de grandeur.

L'ADEME décrit les enjeux et les écueils de ce type d'évaluation dans une note technique publiée en janvier 2020 (<https://www.ademe.fr/emissions-evitees-quoi-parle-t>). Elle apporte également des recommandations méthodologiques et sur la communication. La note insiste sur l'importance d'explicitier les scénarios de référence (quels produits sont substitués ?) et les hypothèses de calcul.

Calculs :

Schématiquement, la méthode de calcul consiste d'abord à évaluer les entrées annuelles des différents types de produits finis à base de bois, puis dans un second temps à estimer les quantités d'émissions de CO₂ évitées correspondantes, à l'aide de coefficients issus de la littérature.

La quantification des émissions évitées revêt une certaine complexité méthodologique car elle suppose de définir précisément les scénarios qui sont comparés (quels produits bois substitue quel produit non bois ?) puis de fixer les coefficients de substitution adéquats. Ainsi, les valeurs des coefficients de substitution peuvent être très variables selon les usages du bois et les solutions de référence remplacées.

La contribution brute de la filière bois française à l'atténuation de l'effet de serre est évaluée pour la seule année 2015, en calculant l'effet de substitution généré par la totalité de la récolte réalisée cette même année. Un calcul de l'évolution de l'effet de substitution au fil du temps nécessiterait de formuler des hypothèses explicites en termes de matériaux substitués.

a. Calcul des quantités annuelles de bois produites par la filière :

Les effets de substitution sont comptabilisés selon une approche de production, qui prend en compte les produits bois fabriqués avec la récolte française, qu'ils soient destinés au marché français ou exportés. Les importations ne sont en revanche pas prises en compte. Pour les bois exportés, on retient l'hypothèse d'une valorisation comparable à celle des entreprises qui sont installées en France.

Les volumes de bois actuellement récoltés par types de produits sont issus de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre préparé par le CITEPA, ce qui les rend cohérents avec les estimations de séquestration dans les produits bois. Les volumes de produits bruts sont issus des enquêtes annuelles de branches du ministère de l'agriculture, du questionnaire EUROSTAT pour la consommation de bois-énergie, et d'autres hypothèses notamment sur la part de bois-énergie d'origine française. La méthode est décrite dans le rapport OMINEA établi chaque année par le CITEPA.

Afin de calculer les volumes de produits finis, des rendements en sciage et en transformation industrielle correspondant aux pratiques actuelles sont appliqués aux volumes de récolte de BO, de BI et de BE en forêt. En l'absence d'un tableau de bord officiel décrivant les flux de matière dans la filière, ils ont été compilés à dire d'expert à partir de plusieurs sources directes et indirectes (Ageste, mémento FCBA, interprofessions, CITEPA). Ils doivent être considérés comme un ordre de grandeur. Les coefficients retenus pour les calculs sont présentés dans le tableau suivant. Par exemple 36 % en moyenne de la récolte brute de BO est valorisée en bois massif. Les produits connexes de la première et de la seconde transformation du BO sont valorisés à 10 % en panneaux, 8 % en papiers et cartons et 47 % en énergie.

types de bois récoltés	types de produits finis					total
	bois massif	panneaux	autres BI durables	papiers et cartons	énergie	
BO	36%	10%		8%	47%	100%
BI		33%	7%	30%	30%	100%
BE					100%	100%

b. Calcul de l'effet de substitution bois-matériau :

La méthode de calcul de l'effet de substitution matériau s'appuie sur les travaux de Roux *et al.* (2017), en y apportant quelques adaptations décrites ci-dessous.

Les auteurs proposent la valeur de 1,6 tCO₂eq évitée par m³ de produit pour le coefficient de substitution du bois-matériau. Ce chiffre s'appuie sur la méta-étude de Sathre et O'Connor (2010) auquel ils ont apporté des adaptations. Les valeurs initiales exprimées en tC/tC ont été converties en tCO₂/m³ de produit, en considérant trois niveaux d'infradensité et trois niveaux de teneur en carbone dans les bois, tous issus de la littérature. Comme le secteur de la construction utilise massivement des résineux, la gamme d'infradensité correspondante issue de l'état de l'art international, soit 0,36 à 0,44 t/m³ a été considérée. Exprimé en tCO₂/m³ de produit, le coefficient de substitution-matériau varie donc entre 0,59 et 3,47 avec une valeur centrale à 1,6. La plage de variation du coefficient de substitution bois-matériau est ainsi conséquente, signalant une incertitude marquée quant à la valeur (ou aux valeurs) qui pourrai(en)t lui (leur) être attribuée(s). Cette variabilité peut avoir plusieurs origines : (i) les incertitudes de mesure inhérentes aux méthodes d'analyse retenues dans ce type d'approche, (ii) la diversité des produits bois susceptibles d'être consommés et (iii) les performances différenciées des technologies de production à mettre en œuvre par rapport aux matériaux concurrents. La valeur de 1,6 tCO₂eq évitée par m³ de produit correspondant aux

valorisations matériaux suivies d'une valorisation énergétique en fin de vie, a été appliquée aux volumes de BO et de BI. Les volumes de connexes associés au BO et au BI ont donc été retranchés de cette estimation, sans être comptabilisés avec la biomasse directement issue de la forêt pour le calcul des effets de substitution énergie, pour éviter les doubles comptes.

Ce postulat comptable permet d'imputer les effets de substitution à la destination initiale des bois récoltés, soit bois-matériau ou bois-énergie. Il n'a pas été retenu pour les IGD 2020 où l'effet de substitution des produits en bois est estimé en moyenne à 1,1 tCO₂eq évitée par mètre cube de bois contenu dans les produits finis, hors papier, hors valorisation énergétique des co-produits, hors recyclages successifs et hors valorisation énergétique en fin de vie (FCBA cité dans ADEME, 2015). Cette même valeur a également été adoptée dans l'expertise EFESE sur les écosystèmes forestiers en 2018. A noter que la méthode consistant à appliquer une valeur de 1,6 aux seuls produits finis issus du BO et d'exclure totalement les connexes associés au BO du calcul de la substitution, ou celle consistant à appliquer la valeur de 1,1 aux produits finis hors connexes et 0,5 (coefficients de substitution bois-énergie) aux connexes associés donne des résultats strictement identiques.

c. Calcul de l'effet de substitution bois-énergie :

Pour l'estimation des coefficients de substitution bois-énergie, le scénario retenu consiste à substituer du gaz, du fuel et du charbon (Oliver *et al.*, 2014). Roux *et al.* (2017) ont considéré qu'en France ce sont essentiellement des bois feuillus qui sont consommés dans des maisons individuelles ou des chaufferies collectives déjà pourvues de chaudière, et qu'il remplacerait du fuel à 80 % et du gaz à 20 % (pas d'électricité remplacée). Sous cette hypothèse, ils ont appliqué un mix fuel-gaz à 80-20 % aux 3 niveaux retenus pour l'infradensité des bois feuillus. Exprimé en tCO₂/m³, le coefficient de substitution-énergie varie donc entre 0,37 et 0,64 avec une valeur centrale à 0,5.

La substitution directe de bois à des énergies fossiles renvoie vers l'atmosphère des gaz à effet de serre qui auraient, de toute façon, été émis du fait des processus de décomposition naturelle. L'utilisation énergétique du bois en lieu et place de ressources fossiles évite des émissions supplémentaires de gaz à effet de serre évaluées à 0,5 tCO₂ par mètre cube de bois brûlé par les secteurs industriel et collectif (Oliver *et al.*, 2014).

Encadré : comparaison de l'indicateur 1.4 des IGD avec l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre

Les objectifs des IGD et de l'inventaire d'émissions de GES de la France sont différents. Alors que les IGD cherchent à évaluer la contribution globale des écosystèmes forestiers et de l'activité forêt-bois vis-à-vis de l'atmosphère, l'inventaire GES est un exercice comptable normé et consistant en un suivi annuel des flux directs générés par l'activité forestière, les stocks n'étant pas mesurés.

Dans ce contexte, les émissions de CO₂ évitées du fait de l'utilisation de produits à base de bois en substitution d'autres matériaux et énergies fossiles sont, par définition, absentes du périmètre de l'inventaire GES des forêts, mais incluses sous la forme de moindres émissions dans les secteurs de l'énergie et de l'industrie. L'inventaire des émissions de GES fixe également un certain nombre de conventions comptables. Par exemple en France, les flux de carbone des compartiments bois mort et sol sont supposés nuls, car le GIEC recommande d'appliquer des approches conservatrices (c'est-à-dire qui ne risquent pas de majorer le puits) quand les données disponibles sont supposées fragiles. A contrario les IGD prennent en compte tous les flux vis-à-vis de l'atmosphère, afin d'estimer l'ordre de grandeur du bilan carbone total des forêts.

Les calculs de flux dans la biomasse reposent, pour les IGD, sur une méthode de variation des stocks totaux mesurés en continu par le dispositif d'inventaire forestier national. Cette approche évite

d'annualiser les flux entrants et sortants, plus difficiles à mesurer et plus incertains. Elle est en revanche moins sensible pour détecter des changements conjoncturels ou récents, comme une hausse de la mortalité liée à des crises ou des effets climatiques dépressifs sur la croissance. Les résultats qui en découlent peuvent, par conséquent, être différents de ceux de l'inventaire d'émissions de GES.

La valeur du bilan de CO₂ dans la biomasse forestière est en outre sensible à la méthode de calcul. Pour des raisons comptables, l'inventaire GES compare, pour une année donnée, la production biologique, la mortalité et les prélèvements de bois. Or sur un pas de temps annuel ces trois termes de flux ne sont pas pilotés par les mêmes dynamiques ; le bilan qui en résulte peut être entaché d'une incertitude relativement importante, et même s'écarter temporairement de la variation globale observée sur une période cumulée de 5 ans. C'est ainsi que la variabilité interannuelle du bilan de CO₂ de la biomasse observée dans l'inventaire GES est comprise entre 5 et 15 %.

Limites et perspectives

1.4.a. Séquestration de carbone dans la biomasse vivante et le bois mort

Biomasse vivante :

Les calculs de stocks dans la biomasse ligneuses concernent les arbres recensables, c'est-à-dire dont la circonférence est supérieure à 23,5 cm. Bien que les jeunes arbres, les arbustes, les arbrisseaux, les lianes, les végétaux non ligneux (plantes herbacées, fougères, mousses, etc.) mais aussi les feuilles, les fruits, les fleurs et les graines stockent également du carbone, ils ne sont pas comptabilisables en l'absence de mesures fiables les concernant au niveau national. Ces « autres biomasses » représentent toutefois des quantités de carbone limitées à l'échelle agrégée de la forêt française, et leurs variations au cours du temps sont certainement minimales s'agissant de compartiments à courtes durées de vie.

La conversion des volumes en biomasse puis en carbone nécessite l'emploi de coefficients d'infradensité du bois. Les valeurs utilisées actuellement pour l'inventaire national d'émission de gaz à effet de serre sont issues d'une méta-analyse bibliographique réalisée en 2002 par Dupouey. Des travaux en cours à l'INRAE et à l'IGN visent à actualiser ces valeurs d'infradensité moyenne du bois, à partir de mesures réalisées directement sur les arbres inventoriés par l'IFN sur tout le territoire métropolitain. Ces nouvelles données permettront de traiter la diversité et des milieux forestiers français. Le projet XyloDensMap publiera ses premiers résultats en 2021.

Les données de stock et de flux dans la biomasse vivante concernent les forêts disponibles pour la production de bois. L'IGN n'inventorie pas les autres forêts, qui représentent environ 5 % de la superficie boisée nationale.

Bois mort :

L'IGN mesure depuis 2010 tous les compartiments de bois mort de l'écosystème. L'estimation des stocks totaux de carbone dans le bois mort reste cependant délicate, et certaines règles comptables suivantes ont dû être prises.

D'une part, l'application des valeurs d'infradensité du bois vivant aux bois morts conduit inévitablement à surestimer les stocks réels de carbone en forêt. Cette hypothèse a dû cependant être retenue par convention, en l'absence de données permettant de modéliser la décomposition de la biomasse morte au sol et dans le sol (racines et souches mortes), laquelle varie en fonction des conditions pédoclimatiques et des essences.

D'autre part, il existe des risques de doubles-comptes entre certains compartiments de bois mort de l'écosystème. La méthode de calcul vise à les réduire, sans qu'il soit toutefois possible de les éliminer complètement. Par exemple, on fait l'hypothèse que toutes les branches des arbres morts sur pied sont déjà comptabilisées dans le bois mort au sol, alors que certaines peuvent encore être accrochées à la tige. A contrario, le volume de la tige des arbres morts sur pied est parfois surestimé si leur cime est déjà tombée au sol. En effet la hauteur des arbres morts n'est pas mesurée par l'IFN, or elle peut être inférieure à celle d'un arbre vivant de même circonférence.

La partie aérienne des souches des arbres coupés n'est pas inventoriée par l'IGN, et n'est donc pas comptabilisée ici. Il y a donc une faible sous-estimation de ce compartiment. A contrario, l'inventaire des chablis inclut les chablis morts et des chablis qui demeurent vivants, sans qu'il soit possible de les distinguer. Il existe donc un risque de surestimation de ce compartiment. Les chablis vivants sont cependant moins fréquents que les chablis morts, et on peut supposer que la majorité d'entre eux mourra d'ici 5 ans et le calcul du prochain état en 2025. Une part des chablis sera également récoltée, sans qu'il soit possible de la quantifier *a priori*. A défaut, nous avons comptabilisé tous les chablis dans le bois mort. L'impact de cette surestimation reste limité, les arbres chablis ne représentant que 3 % du stock total de bois mort en 2015.

L'estimation des flux de carbone dans le bois mort par la méthode de comparaison de deux stocks séparés de 5 ans est robuste dans la mesure où elle s'appuie sur deux échantillons IFN complètement renouvelés et indépendants. Cela permet de compenser en partie la non prise en compte de la vitesse de décomposition du bois mort. En effet, un bois mort au sol à décomposition rapide ne sera inventorié qu'à une seule date, alors que les pièces de bois mort à décomposition lente seront inventoriées aux deux dates. Ce mode de calcul de l'indicateur lui confère une certaine inertie, le rendant partiellement inadapté au suivi fin de la mortalité interannuelle. Par exemple, la stabilité du stock total de bois mort entre 2010 et 2015 est impactée par les chablis de la tempête Klaus de 2009, lesquels masquent la hausse récente de la mortalité constatée par ailleurs grâce à d'autres sources de données IFN plus directes pour évaluer la mortalité. Le suivi de la mortalité concernerait un autre indicateur.

Les données de stock et de flux dans la biomasse morte concernent les forêts disponibles pour la production de bois. L'IGN n'inventorie pas les autres forêts, qui représentent environ 5 % de la superficie boisée nationale.

1.4.b Séquestration dans les sols et la litière

Les quantités de carbone organique stockées dans les sols (jusqu'à 30 cm de profondeur) et la litière sont équivalentes à la biomasse. Elles seraient même supérieures à la biomasse si l'on intégrait les stocks des couches plus profondes. En effet, même si la concentration en carbone organique décroît avec la profondeur, les mesures réalisées sur le réseau RENECOFOR ont montré que les couches comprises entre 40 cm et 100 cm de profondeur du sol minéral représentent environ un tiers du stock de carbone contenu dans les couches de sol et de litière sous-jacentes (de 0 à 40 cm). En outre, les stocks de carbone des sols et de la litière sont en augmentation entre 1995 et 2010. Il existe donc un fort enjeu à évaluer et à comprendre la dynamique de ce réservoir.

Pour autant, la mesure des caractéristiques des sols forestiers et de leurs évolutions, sur un dispositif représentatif de la forêt française, est une tâche lourde et complexe. En effet, les quantités de carbone organique stockées dans les sols forestiers sont très variables, notamment en fonction du pédoclimat (matériau parental du sol, type de sol, température et précipitations moyennes annuelles ou grande région climatique). Deux sources de données complémentaires sont ici mobilisées pour estimer simultanément les stocks et les flux de carbone du sol.

Les mesures réalisées sur le réseau RMQS entre 2000 et 2009 ont permis de décrire les stocks (jusqu'à 30 cm de profondeur) à partir d'un réseau de 500 placettes réparties systématiquement au niveau national.

Les mesures répétées de manière homogène sur l'échantillon de 102 placettes installées en forêt publique (réseau RENECOFOR) révèlent quant à elles une tendance à l'augmentation du stock de carbone organique au cours de la période comprise entre 1995 et 2010. Ces 102 placettes de suivi intensif n'ont pas été créées pour représenter de manière quantitative la forêt française, mais elles couvrent néanmoins une large gamme de conditions écologiques. De plus, les nombreux autres paramètres mesurés sur ces mêmes écosystèmes offrent un support de recherche inédit pour mieux comprendre et modéliser la dynamique des stocks de carbone des sols (Jonard *et al.*, 2017). D'une part, les variations entre placettes révèlent un effet statistique limité mais significatif de certains facteurs. La séquestration de carbone s'avère ainsi plus élevée en moyenne pour les 8 placettes en gestion irrégulière que pour les autres. Elle est également plus élevée sous les peuplements les plus jeunes, mais qui correspondent aussi souvent à des essences résineuses et à une ancienneté de boisement plus récent, ce qui ne permet pas de distinguer l'effet respectif de ces trois facteurs. D'autre part, l'approche par bilan de masse montre que l'augmentation du stock de carbone des sols n'est pas attribuable à un flux d'apport de matière organique accru, car les retombées de litière au sol sont restées stables sur la période. Elle pourrait être due à un ralentissement de la décomposition des matières organiques du fait d'une dégradation de leur qualité (hausse du rapport carbone / azote), mais en partie seulement. Pour expliquer une telle augmentation des stocks de carbone, on peut se demander par exemple si le reboisement massif des terres depuis le début du XIXe siècle pourrait résulter encore aujourd'hui en un stockage croissant de matières organiques par rapport à des usages agricoles précédents. Il est en effet bien établi que les forêts implantées sur d'anciennes terres cultivées stockent du carbone de manière soutenue. L'évolution des stocks de carbone des forêts "anciennes" (plus de 150 ans) et exploitées est moins bien connue que celle des surfaces boisées plus récemment, mais il apparaît néanmoins que des forêts domaniales, et donc "anciennes", continuent à accumuler du carbone dans leur sol minéral. Certaines forêts "anciennes" qui ont été plus ou moins surexploitées et perturbées au cours du 20^{ième} siècle pourraient présenter aujourd'hui une capacité non nulle de stockage de carbone du fait de ces perturbations passées. Au contraire, les forêts anciennes exploitées de manière peu intensive auraient actuellement un stock de carbone probablement proche de l'équilibre ; il s'agit toutefois d'une hypothèse fondée sur un nombre réduit d'études.

D'autres mesures seront nécessaires pour pouvoir quantifier un flux moyen représentatif de l'ensemble de la forêt française. La seconde campagne d'échantillonnage RMQS (en cours, après un premier inventaire réalisé au début des années 2000), contribuera à combler cette lacune.

Les recherches demandent aussi à être approfondies sur les processus sous-jacents, pour pouvoir notamment évaluer si les sols forestiers continueront à se comporter comme un puits de carbone suivant l'évolution du climat. La poursuite des séries de mesures du réseau RENECOFOR renforcera encore la valeur de ce dispositif pour mieux comprendre et modéliser le devenir du carbone des sols.

Dans cette attente, les valeurs de stockage moyen à l'hectare mesurées dans les peuplements du réseau RENECOFOR ont été extrapolées à l'ensemble de la forêt française. Ces résultats doivent être interprétés comme un ordre de grandeur de la situation récente, sans préjuger de l'évolution future encore très incertaine de ce flux de stockage de carbone dans les sols forestiers. Les estimations de flux de carbone réalisées ici concernent uniquement les forêts qui sont restées des forêts au cours de la période, et n'intègrent ni les terres défrichées ni les terres nouvellement boisées. Bien que ces deux dernières catégories restent marginales en surface, leurs contributions au flux de carbone du sol mériteraient d'être intégrées dans des versions futures de l'indicateur.

Les données de stock et de flux dans la litière et les sols concernent les forêts disponibles pour la production de bois. Les autres forêts représentent environ 5 % de la superficie boisée nationale.

1.4.c. Séquestration dans les produits bois

Le calcul de la séquestration de carbone dans les produits bois repose sur la connaissance des flux de bois qui entrent dans la filière et sur leur allocation entre les différents types de produits finis, pour lesquels des durées de stockage variables sont appliquées.

Les statistiques sur la récolte de bois énergie restent fragiles dans la mesure où la majeure partie des volumes concernés échappent aux circuits de commercialisation. Des méthodes parfois indirectes, notamment via l'estimation de la consommation d'énergie des ménages, sont alors nécessaires. Or, les résultats sont sensibles à certaines hypothèses de calcul, comme la détermination de l'origine forestière des volumes consommés. Par exemple, le SSP a dû procéder fin 2019 à une correction à la baisse de la récolte de bois de feu autoconsommé en France, de l'ordre de 20 % (Agreste n°360, décembre 2019).

La répartition des volumes de grumes et de billons en produits finis constitue également un facteur d'incertitude des résultats. Cette répartition repose sur des coefficients, dont les rendements moyens de transformation de la première et de la seconde transformation. Or des chiffres consolidés restent difficilement accessibles, compte tenu de la diversité des produits finis et de la variabilité des unités de compte (tonnes, m³ sur écorce, m³ bois rond, etc.). Les travaux réalisés dans le projet AF-Filières, et les actions entreprises par les observatoires nationaux et régionaux de l'énergie notamment, cherchent à améliorer la robustesse de ces estimations. Quoi qu'il en soit, les valeurs qui ont été fixées pour l'année 2020 reflètent l'état du marché cette année, et elles devront être mises à jour pour les éditions ultérieures des IGD afin de tenir compte de l'évolution des marchés et des capacités de l'outil industriel national.

1.4.d. Emissions évitées par effet de substitution lié à l'utilisation du bois comme matériau et énergie

Le calcul des émissions de CO₂ évitées est entaché des mêmes incertitudes que celui de la séquestration de carbone dans les produits bois, à savoir la fragilité des statistiques sur la récolte de bois-énergie et les incertitudes sur l'allocation entre les types de produits finis.

La détermination des coefficients de substitution est également délicate. La première difficulté provient de la multiplicité des produits bois concernés et de la multiplicité des produits substituables à chacun des produits bois. Toute approche synthétique aura tendance à réduire, le plus souvent à sa plus simple expression, le nombre de produits bois et substitués réellement considérés et utilisera des coefficients de substitution identiques pour tout produit appartenant à quelques grandes catégories de produits (par exemple, bois énergie, bois d'industrie et bois d'œuvre), perdant ainsi toute la finesse des évaluations produit par produit. En complément, le calcul de l'effet de substitution suppose de comparer des filières complètes de production, au périmètre strictement identique qui, selon les principes de l'Analyse de cycle de vie (ACV), vont jusqu'à la fin de vie du produit ou du service rendu : les coefficients de substitution dépendent ainsi du contexte industriel national et des options d'usage des bois pratiquées. Ils sont en outre susceptibles d'évoluer dans le temps selon la stratégie des entreprises (amélioration des procédés et des bassins d'approvisionnement), les habitudes de consommation et les modifications qui pourraient intervenir dans les usages finaux des produits bois.

Les coefficients fixés en 2015 reflètent la situation actuelle, laquelle peut être assimilée à un scénario de référence. Le calcul de l'évolution de l'effet substitution au cours du temps suppose la scénarisation explicite de scénarios alternatifs en termes d'usages des produits bois et de matériaux et énergies substitués (y compris bois), mais aussi en termes de gestion forestière car le stockage dans la biomasse forestière et la récolte de produits bois sont en interaction.

Le calcul de l'effet substitution comporte une forte part d'incertitude liée à des facteurs scientifiques mais aussi techniques et industriels. En ce sens, ces calculs se rapprochent davantage d'un travail d'expertise que d'une production scientifique. Les résultats qui en découlent doivent être interprétés comme un ordre de grandeur.

1.4.e. Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre

L'évaluation de la contribution des forêts au bilan carbone doit se faire dans une approche globale de filière, c'est-à-dire qui inclut les effets positifs de l'utilisation des produits bois. La mise en œuvre de bois dans les bâtiments ou dans l'ameublement permet en effet de prolonger le stockage du CO₂ atmosphérique, retardant ainsi son retour vers l'atmosphère. Mais surtout, l'utilisation de bois en lieu et place d'autres matériaux ou énergies permet d'éviter des émissions de CO₂ d'origine fossile. Cet effet de substitution reste néanmoins difficile à quantifier avec précision, principalement par manque de données consolidées et suffisamment fiables à ce jour.

Bien que les émissions évitées ne représentent pas des flux physiquement mesurables, la somme des quatre composantes de flux de carbone du système forestier, à savoir le stockage dans la biomasse, le stockage dans les sols, le stockage dans les produits bois, et les effets de substitution, fournit un ordre de grandeur de la contribution brute de l'activité forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre, qui s'établit autour de 118 millions de tonnes de CO₂ en 2015.

Cette évaluation n'inclut pas les émissions de gaz à effet de serre qui sont inévitablement générées par l'activité forêt-bois, comme lors des opérations de gestion et d'exploitation forestière, ou encore de transport des bois. Des travaux complémentaires restent nécessaires pour évaluer précisément ces émissions, certainement faibles en comparaison aux autres secteurs, et ainsi permettre d'évaluer la contribution positive nette du secteur forêt-bois.

Evolutions de l'indicateur par rapport aux IGD 2015

L'indicateur 1.4 des IGD 2015 détaillait uniquement les stocks et les flux de carbone dans la biomasse vivante. La synthèse de l'enjeu de lutte contre l'effet de serre donnait toutefois une vision complète de la contribution des forêts et de l'activité forêt-bois à l'atténuation des émissions de GES.

En 2020, le PNFB et la SNBC intègrent les trois types de contributions de la forêt et de la filière bois à l'atténuation de l'effet de serre, et ils les ont déjà intégrés dans leurs indicateurs de suivi. Il est apparu indispensable de mettre les IGD en cohérence avec ces approches ministérielles, et d'intégrer une part d'expertise lorsque certaines données n'étaient pas disponibles ou lorsque les méthodes restaient perfectibles (sol, effet de substitution). Les hypothèses de calcul sont détaillées et les limites explicitées.

L'indicateur 1.4 proposé dans les IGD 2020 intègre les 4 compartiments de carbone du système forêt-bois. Les stocks et flux de carbone dans les bois mort ont été ajoutés dans le compartiment de la biomasse.

Bibliographie

ADEME. 2015. Forêts et atténuation du changement climatique. Les avis de l'ADEME. Juin 2015. 12 pages.

ADEME. 2020. Les émissions évitées, de quoi parle-t-on ? Fiche technique. 11 pages. <https://www.ademe.fr/emissions-evitees-quoi-parle-t>

Citepa, 2019. OMINEA - Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France. 16^{ème} édition. Mai 2019. <https://www.citepa.org/fr/ominea/>

Citepa, 2020. Rapport AFOLU+. 22 pages.

Commissariat général au développement durable (2019). EFESE – La séquestration du carbone par les écosystèmes français. La Documentation Française (ed.). Collection Théma Analyse, e-publication. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/evaluation-francaise-des-ecosystemes-et-des-services-ecosystemiques>

Commissariat général au développement durable (2018). EFESE – Les écosystèmes forestiers. La Documentation Française (ed.). Collection Théma Analyse, e-publication. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/evaluation-francaise-des-ecosystemes-et-des-services-ecosystemiques>

Dhôte, J.-F.; Leban, J.-M.; Saint-André, L.; Derrien, D.; Zhun, M.; Loustau, D.; Achat, D.; Roux, A.; Schmitt, B., 2016. Leviers forestiers en termes d'atténuation pour lutter contre le changement climatique. Rapport d'étude pour le Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. Paris: INRA - DEPE, 95 p. <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/81462?token=bf2ba7d7cd5b6eb224bf207d39442d38>

Dupouey, J.-L.; Pignard, G.; Badeau, V.; Thimonier, A.; Dhôte, J.-F.; Nepveu, G.; Bergès, L.; Augusto, L.; Belkacem, S.; Nys, C., (2000). Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. Revue forestière française, 52: 139-154. <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/5399>

Dupouey J.-L., Pignard G., Hamza N., Dhote J.-F. (2010). Chapter 5. Estimating carbon stocks and fluxes in forest biomass: 2. Application to the French case based upon national forest inventory data. In: Loustau D. (ed) Forests, carbon cycle and climate change. Editions Quae, pp79-100. <https://www.quae-open.com/produit/13/9782759209897/forests-carbon-cycle-and-climate-change>

IGN. 2019. Pour bien comprendre les résultats publiés. Méthodologie 2014 – 2018. 39 pages. <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique233>

Jonard M., Nicolas M., Coomes D.-A., Caignet I., Saenger A., Ponette Q. (2017). Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon. Science of the Total Environment 574. pp. 616–628. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.028>

RMQS Réseau de mesures de la qualité des sols : <https://www.gissol.fr/donnees/tableaux-de-donnees/stock-de-C-par-region-et-par-occupation-du-sol-3045>

Roux A. (Coord.); Dhôte J. -F. (Coord.); Achat, D.; Bastick, C.; Colin, A.; Bailly, A.; Bastien, J.-C.; Berthelot, A.; Bréda, N.; Cauria, S.; Carnus, J.-M.; Gardiner, B.; Jactel, H.; Leban, J.-M.; Lobianco, A.; Loustau, D.; Meredieu, C.; Marçais, B.; Martel, S.; Moisy, C.; Pâques, L.; Picart-Deshors, D.; Rigolot, E.; Saint-André, L.; Schmitt, B., 2017. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique? Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050. Rapport d'étude. Paris: INRA - IGN, 101 p. + 230 p. (annexes). <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20800.12805>

Roux A. (Coord.), Colin A. (Coord.), Dhôte J.-F. (Coord.), 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. DOI : [10.35690/978-2-7592-3121-8](https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3121-8)

Régionalisation de l'indicateur

Les IGD 2020 délivrent des informations produites selon une méthode nationale. Cette note présente un exercice de régionalisation de l'indicateur. Les traitements spécifiquement réalisés au niveau de chaque compartiment pour régionaliser les résultats sont décrits dans les paragraphes suivants. Le cas échéant, les limites de la méthode retenue pour la régionalisation sont présentées, et des pistes visant à les réduire sont proposées. Ainsi les régions qui le souhaitent peuvent corriger les chiffres qui les concernent.

a. indicateur 1.4.a : séquestration de carbone dans la biomasse et le bois mort

Les stocks de carbone dans les compartiments de la biomasse vivante (parties aériennes et racinaires) et dans le bois mort sont connus au travers de l'enquête d'inventaire forestier national (IFN) qui produit des résultats directement opérationnels à l'échelle régionale pour les années 2010 et 2015 (années moyennes). La séquestration de carbone dans ces deux compartiments de l'écosystème est déduite de l'évolution des stocks entre les deux dates.

Code	Région	stock biomasse vivante et morte en 2010	stock biomasse vivante et morte en 2015		séquestration moyenne annuelle nette entre 2010 et 2015	
		MtC	MtC	tC/ha	MtC/an	MtCO ₂ /an
11	Île-de-France	24	25	93	0,1	0,4
24	Centre-Val de Loire	82	91	93	1,7	6,3
27	Bourgogne-Franche-Comté	177	187	109	2,0	7,4
28	Normandie	38	43	101	0,9	3,5
32	Hauts-de-France	42	41	94	-0,1	-0,2
44	Grand Est	189	203	107	2,9	10,6
52	Pays de la Loire	28	31	80	0,6	2,0
53	Bretagne	32	37	91	0,8	3,0
75	Nouvelle-Aquitaine	202	210	74	1,6	5,9
76	Occitanie	169	174	73	0,9	3,3
84	Auvergne-Rhône-Alpes	219	239	99	4,1	15,0
93	Provence-Alpes-Côte d'Azur	62	68	47	1,1	4,0
94	Corse	31	33	80	0,5	1,8
	France	1 296	1 381	86	17,2	63,0

b. indicateur 1.4.b : séquestration de carbone dans les sols (0-30 cm) et la litière

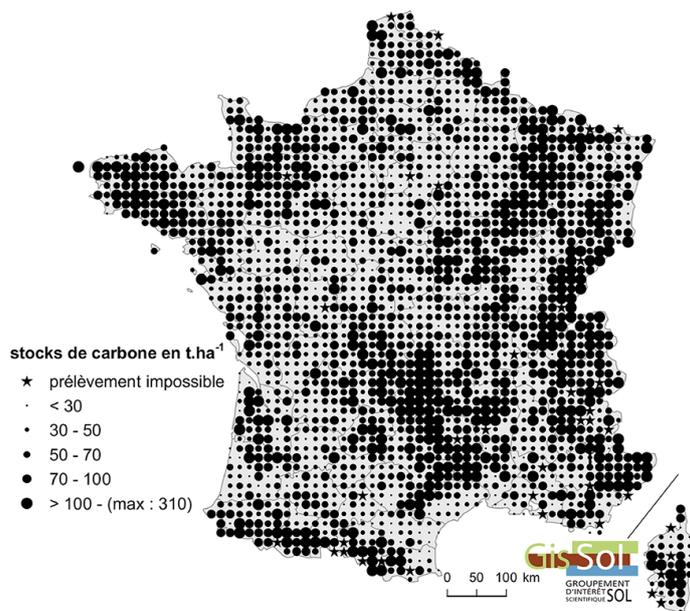
Les valeurs de stocks moyens de carbone à l'hectare dans le sol minéral (jusqu'à 30 cm de profondeur) et dans la litière en 2010 proviennent du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) déployé dans le cadre du GIS Sol et dont la première campagne de prélèvement en métropole (RMQS1) s'est déroulée de 2000 à 2009. En ce qui concerne les espaces boisés, l'enquête RMQS vise principalement la fourniture de résultats à l'échelle nationale, et les estimations régionales sont accompagnées d'une incertitude relativement importante. Les stocks moyens à l'hectare pondérés par type de sol sont disponibles pour les 22 anciennes régions administratives. Les stocks moyens des 13 régions présentés dans le tableau ci-dessous ont été calculés au prorata de

Indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines Edition 2020

la surface boisée estimée par l'IFN en 2010. Pour les régions issues de la fusion de plusieurs régions, ils n'ont pas été repondérés par la fréquence des différents types de sol. Le réseau RMQS repose sur 500 placettes réparties de manière systématique sur le territoire national (voir carte ci-dessous) et vise à produire des estimations au niveau national. Toutes les placettes ne sont pas forestières et les valeurs régionales des sols sous forêt peuvent donc être empruntes d'une forte incertitude.

Code	Région	Stock de carbone dans le sol et la litière en 2010		
		Stock à l'ha (tC/ha)	Surface boisée (1000 ha)	Stock total (MtC)
11	Île-de-France	58	250	14
24	Centre-Val de Loire	66	949	71
27	Bourgogne-Franche-Comté	91	1718	172
28	Normandie	86	406	39
32	Hauts-de-France	81	421	38
44	Grand Est	79	1873	164
52	Pays de la Loire	66	346	26
53	Bretagne	73	382	31
75	Nouvelle-Aquitaine	70	2791	222
76	Occitanie	94	2456	252
84	Auvergne-Rhône-Alpes	89	2297	225
93	Provence-Alpes-Côte d'Azur	90	1315	130
94	Corse	82	401	36

Le stock de carbone organique dans les 30 premiers centimètres des sols de France métropolitaine



Source : Gis Sol, RMQS, 2010 ; IGN, Geofia®, 2006.

Au niveau national la séquestration moyenne à l’hectare de carbone dans les sols et la litière provient du réseau REseau National de suivi à long terme des ECOsystemes FORestiers (RENECOFOR). Il est constitué de 102 placettes permanentes installées en forêt publique qui ont fait l’objet d’une première campagne de mesures en 1993-95 suivie d’une seconde entre 2007 et 2012. La petite taille de l’enquête RENECOFOR et l’absence de répartition homogène des placettes d’observation sur le territoire métropolitain interdit toute régionalisation des tendances mesurées à l’échelle nationale.

c. indicateur 1.4.c : séquestration dans les produits bois

Les stocks nationaux de carbone dans les différents types de produits finis à base de bois (produits finis du bois d’œuvre, panneaux et BI durables, papiers et cartons, bois-énergie) ont été régionalisés proportionnellement à la contribution de chaque région dans le total national des flux entrants (récolte) estimés par le CITEPA pour les années 2010 et 2015.

Les flux de produits finis entrants par région ont été calculés à partir des chiffres régionaux de récolte de BO, de BI, de BE commercialisé et de BE auto-consommé en 2010 et en 2015 - ces derniers étant directement estimés par le CITEPA dans le cadre de l’inventaire national des émissions de gaz à effet de serre - auxquels des rendements en sciage et en transformation industrielle correspondant aux pratiques actuelles ont été appliqués. Les coefficients définis à l’échelle nationale (voir page 12) ont été appliqués en l’état aux données régionales. Ils pourraient être régionalisés afin de tenir compte des essences et des capacités industrielles locales.

Les résultats ainsi régionalisés sont présentés dans le tableau suivant.

Code	Région	Stocks en 2010 (MtC)	Stocks en 2015 (MtC)	Séquestration moyenne nette entre 2010 et 2015	
				MtC/an	MtCO ₂ /an
11	Île-de-France	0,5	0,4	0,0	0,0
24	Centre-Val de Loire	4,1	4,4	0,0	0,2
27	Bourgogne-Franche-Comté	10,0	12,0	0,4	1,4
28	Normandie	2,4	2,4	0,0	0,0
32	Hauts-de-France	3,1	2,3	-0,2	-0,6
44	Grand Est	14,1	16,7	0,5	1,9
52	Pays de la Loire	1,6	2,1	0,1	0,4
53	Bretagne	1,3	2,4	0,2	0,8
75	Nouvelle-Aquitaine	34,6	28,3	-1,3	-4,6
76	Occitanie	5,3	6,8	0,3	1,1
84	Auvergne-Rhône-Alpes	9,7	12,1	0,5	1,7
93	Provence-Alpes-Côte d'Azur	1,4	1,5	0,0	0,1
94	Corse	0,1	0,1	0,0	0,0
	France	88,2	91,4	0,6	2,3

La méthode de calcul basée sur la production impute tous les stocks de produits à la région d'origine des bois. Un autre indicateur pourrait consister à régionaliser les stocks en fonction de la consommation finale de produits bois. La première approche favorise donc les régions forestières productrices de bois et la seconde les régions consommatrices de produits ligneux. Les deux approches apportent des informations intéressantes et complémentaires, mais si elles sont calculées toutes les deux alors il convient de veiller à ne pas réaliser de double-comptage. Cela nécessite notamment de pouvoir identifier les bois produits dans la région et consommés dans la région.

d. indicateur 1.4.d : émissions évitées par effet de substitution lié à l'utilisation du bois comme matériau et énergie

Les effets de substitution résultent de l'usage de bois ou de produits à base de bois en remplacement d'énergies ou de matériaux concurrents, non renouvelables et présentant des bilans carbone moins favorables. S'agissant d'émissions évitées, elles ne sont par définition pas incluses dans l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre de la France. Elles occupent toutefois un rôle central, qu'il convient d'évaluer pour la compréhension de la contribution globale du système forêt-bois à l'atténuation du changement climatique.

Le calcul des effets de substitution est un exercice complexe, dont les résultats sont particulièrement sensibles aux hypothèses et scénarios retenus, notamment en ce qui concerne les produits bois et leurs concurrents substitués.

Schématiquement, la méthode de calcul consiste à évaluer les entrées annuelles des différents types de produits finis à base de bois, puis à estimer les quantités d'émissions de CO₂ évitées correspondantes.

Les effets de substitution sont comptabilisés selon une approche de production, qui prend en compte les produits bois fabriqués avec la récolte française, qu'ils soient destinés au marché français ou exportés. Les importations ne sont en revanche pas prises en compte.

Les volumes de chaque type de produits récoltés annuellement dans chaque région sont compilés par le CITEPA pour la préparation de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre. Les volumes de produits bruts sont issus des enquêtes annuelles de branches du ministère de l'agriculture, du questionnaire EUROSTAT pour la consommation de bois-énergie, et d'autres hypothèses.

Afin de calculer les volumes de produits finis, il convient d'appliquer aux volumes de récolte de BO, de BI et de BE des rendements en sciage et en transformation industrielle correspondant aux pratiques actuelles. Les coefficients définis à l'échelle nationale (voir page 13) ont été appliqués en l'état aux données régionales. Ils pourraient être régionalisés afin de tenir compte des essences et des capacités industrielles locales.

Finalement des coefficients de substitution issus de la littérature sont appliqués aux volumes de produits finis, soit 1,1 pour les usages durables (bois matériau, panneaux, poteaux et piquets) et 0,5 pour les usages énergétiques, tel que précisé dans l'annexe 1.

Indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines
Edition 2020

Les résultats régionaux présentés ci-dessous sont ventilés selon l'origine des bois récoltés, ce qui revient à imputer à la récolte des grumes les émissions évitées du fait de la valorisation énergétique des connexes de scierie.

Code	Région	Emissions évitées par effet de substitution		
		liées à la récolte de grumes et de billons industriels (MtCO ₂ /an)	liées à la récolte de bois pour l'énergie (MtCO ₂ /an)	Total (MtCO ₂ /an)
11	Île-de-France	0,1	0,0	0,1
24	Centre-Val de Loire	0,9	0,9	1,8
27	Bourgogne-Franche-Comté	2,8	0,9	3,6
28	Normandie	0,6	0,8	1,4
32	Hauts-de-France	0,5	1,0	1,5
44	Grand Est	3,5	2,0	5,6
52	Pays de la Loire	0,5	0,3	0,8
53	Bretagne	0,6	0,6	1,2
75	Nouvelle-Aquitaine	6,0	1,7	7,7
76	Occitanie	1,5	0,9	2,3
84	Auvergne-Rhône-Alpes	3,0	1,8	4,8
93	Provence-Alpes-Côte d'Azur	0,3	0,5	0,8
94	Corse	0,0	0,6	0,6
	France	20,3	12,0	32,3

Comme pour la séquestration dans les produits bois, cette méthode de calcul basée sur la production impute tous les effets de substitution à la région d'origine des bois. Un indicateur de consommation régionale de produits à base de bois dans la région pourrait également être calculé, mais dans ce cas il faudrait veiller à ne pas faire de double-compte, c'est-à-dire être capable de bien tracer l'origine des bois consommés.

e. indicateur 1.4.e. Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre

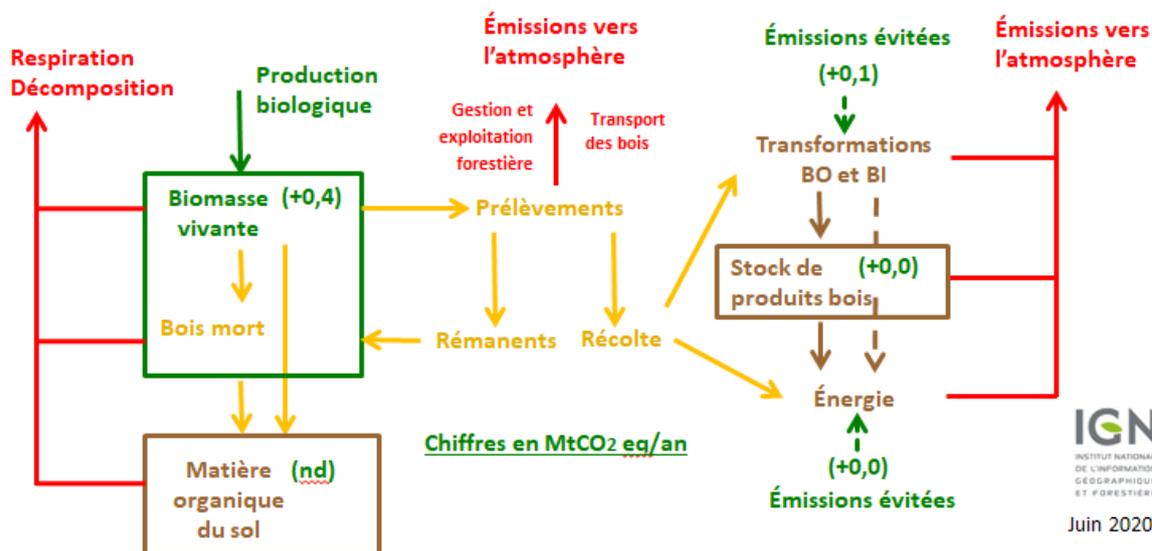
Les chiffres régionalisés de séquestration de carbone dans les écosystèmes, dans les produits bois ainsi que les émissions évitées par effet de substitution sont consolidés dans le tableau suivant.

en MtCO ₂ /an		Séquestration nette			Emissions évitées
		Dans les écosystèmes forestiers		Hors forêt	
Code	Région	Dans la biomasse et le bois mort	Dans les sols et la litière	Dans les produits bois	Par effet de substitution
11	Île-de-France	0,4	<i>nd</i>	0,0	0,1
24	Centre-Val de Loire	6,3	<i>nd</i>	0,2	1,8
27	Bourgogne-Franche-Comté	7,4	<i>nd</i>	1,4	3,6
28	Normandie	3,5	<i>nd</i>	0,0	1,4
32	Hauts-de-France	-0,2	<i>nd</i>	-0,6	1,5
44	Grand Est	10,6	<i>nd</i>	1,9	5,6
52	Pays de la Loire	2,0	<i>nd</i>	0,4	0,8
53	Bretagne	3,0	<i>nd</i>	0,8	1,2
75	Nouvelle-Aquitaine	5,9	<i>nd</i>	-4,6	7,7
76	Occitanie	3,3	<i>nd</i>	1,1	2,3
84	Auvergne-Rhône-Alpes	15,0	<i>nd</i>	1,7	4,8
93	Provence-Alpes-Côte d'Azur	4,0	<i>nd</i>	0,1	0,8
94	Corse	1,8	<i>nd</i>	0,0	0,6
France		63,0	20	2,3	32,3

Les résultats détaillés des 13 régions sont présentés dans les schémas suivants. Les chiffres sont fournis dans un tableur.

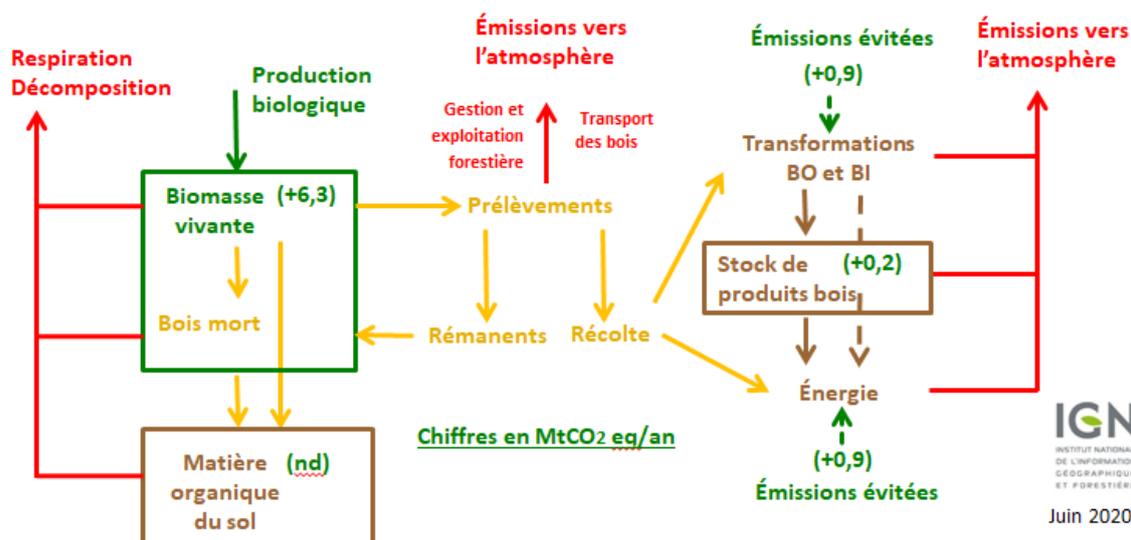
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Ile-de-France = 0,5 MtCO₂ eq/an



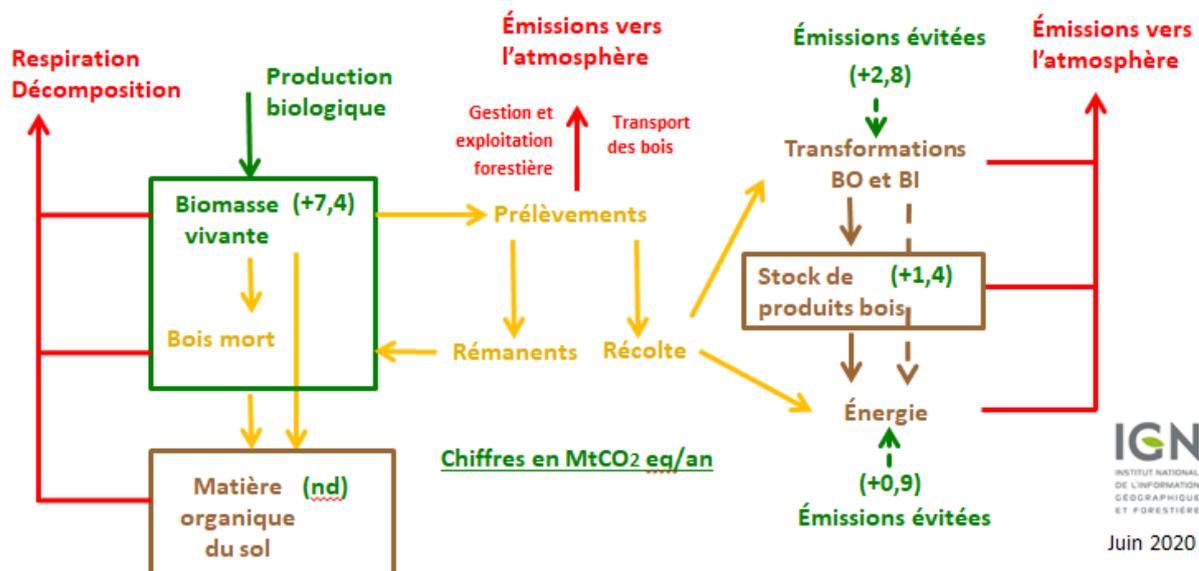
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Centre-Val-de-Loire = 8,3 MtCO₂ eq/an



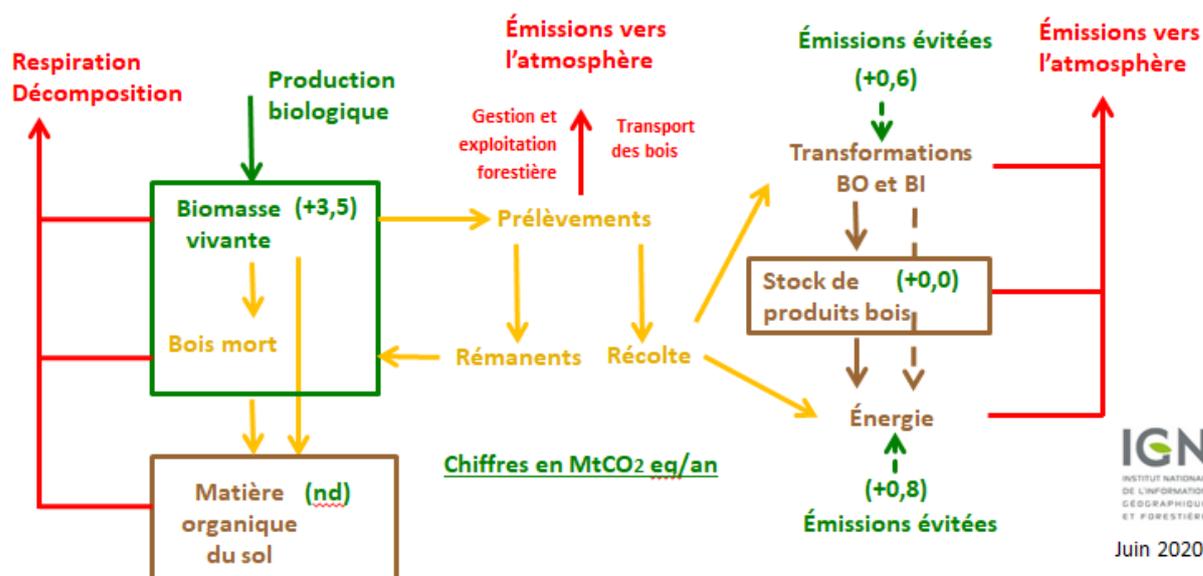
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Bourgogne-Franche-Comté = 12,4 MtCO₂ eq/an



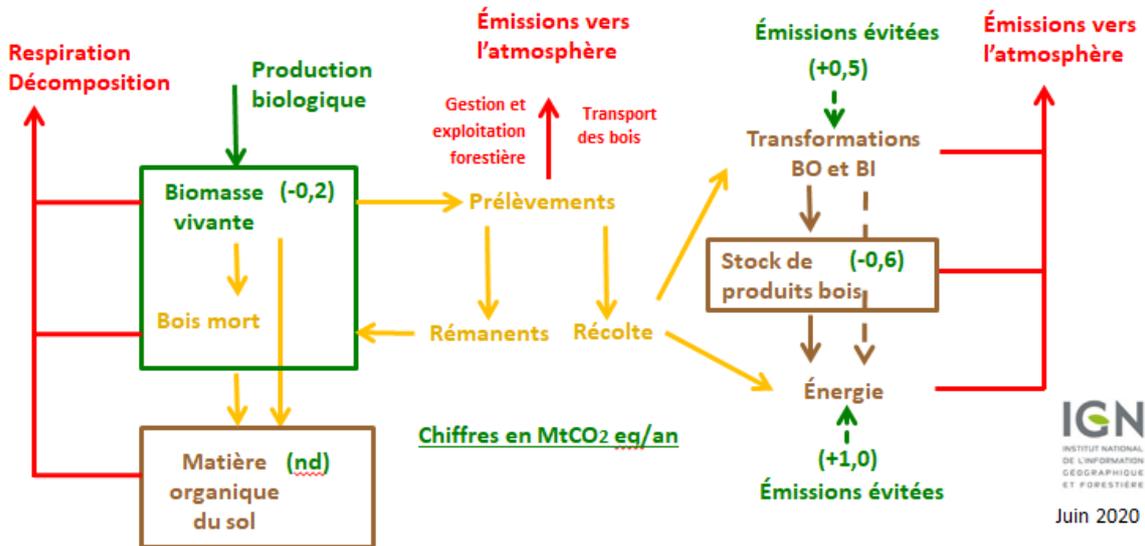
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Normandie = 4,9 MtCO₂ eq/an



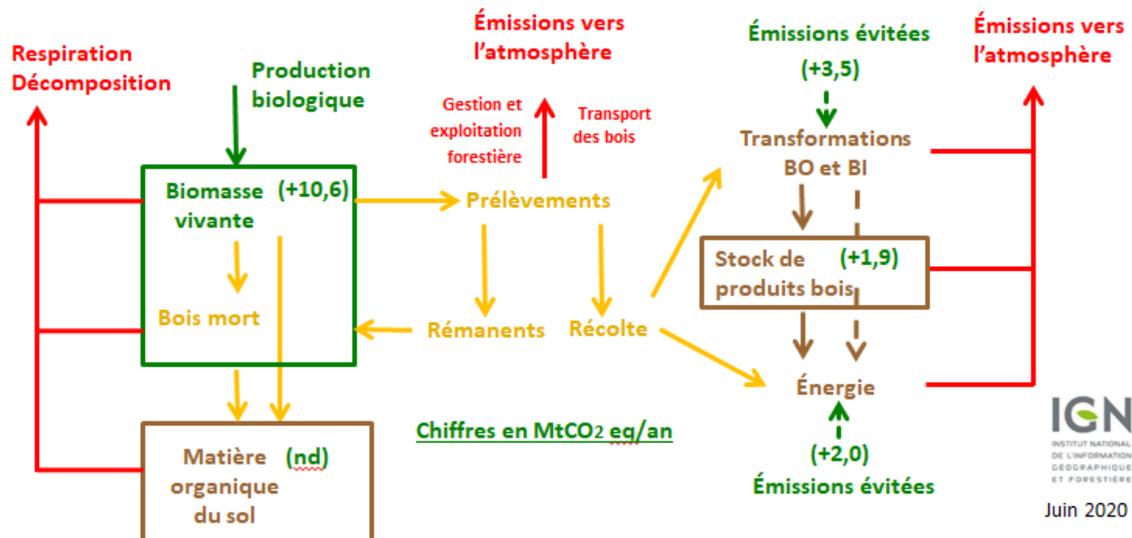
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Hauts-de-France = 0,7 MtCO₂ eq/an



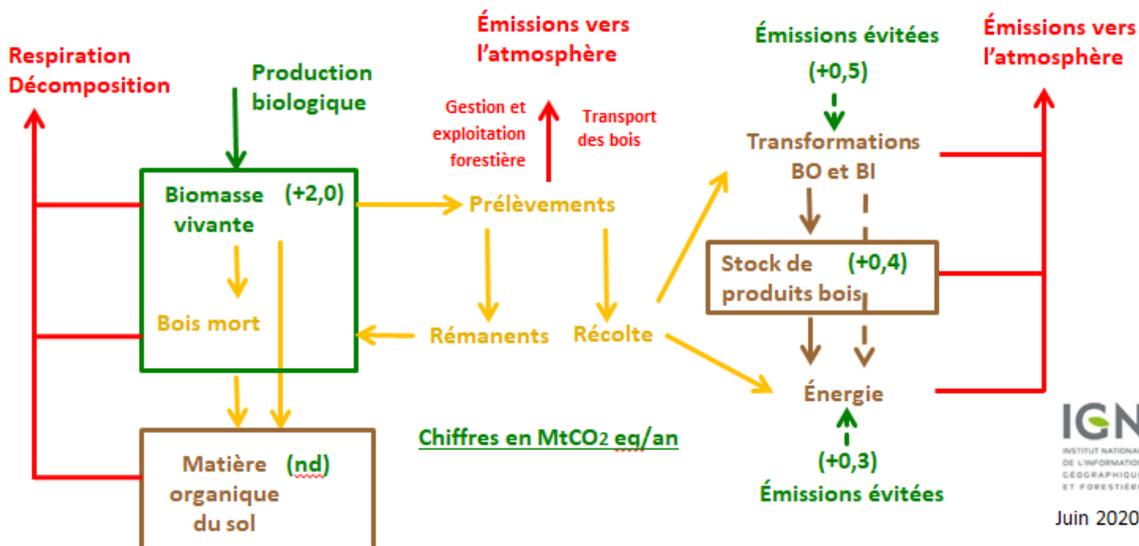
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Grand Est = 18,1 MtCO₂ eq/an



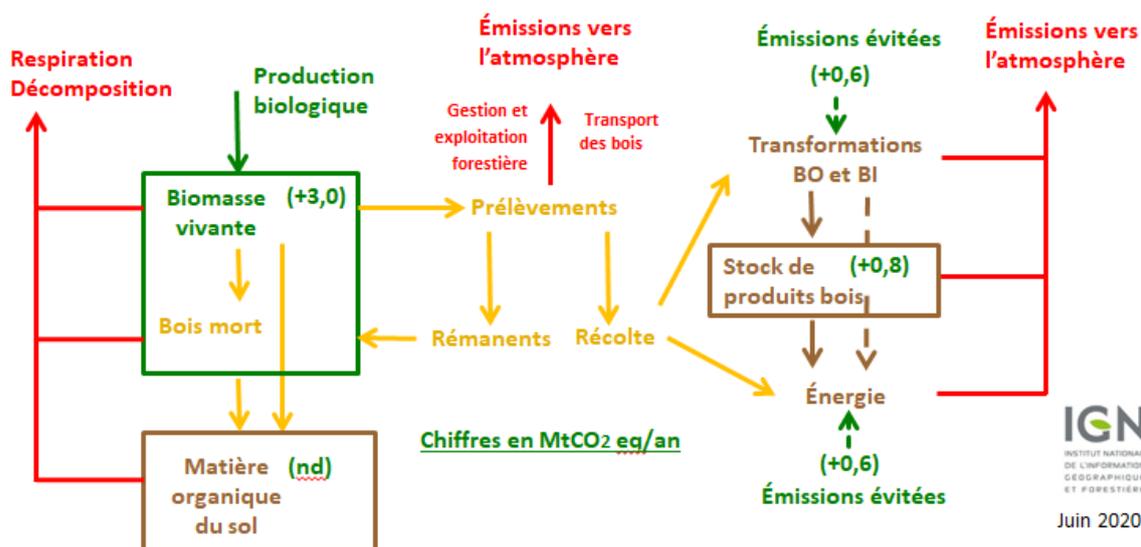
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Pays de la Loire = 3,2 MtCO₂ eq/an



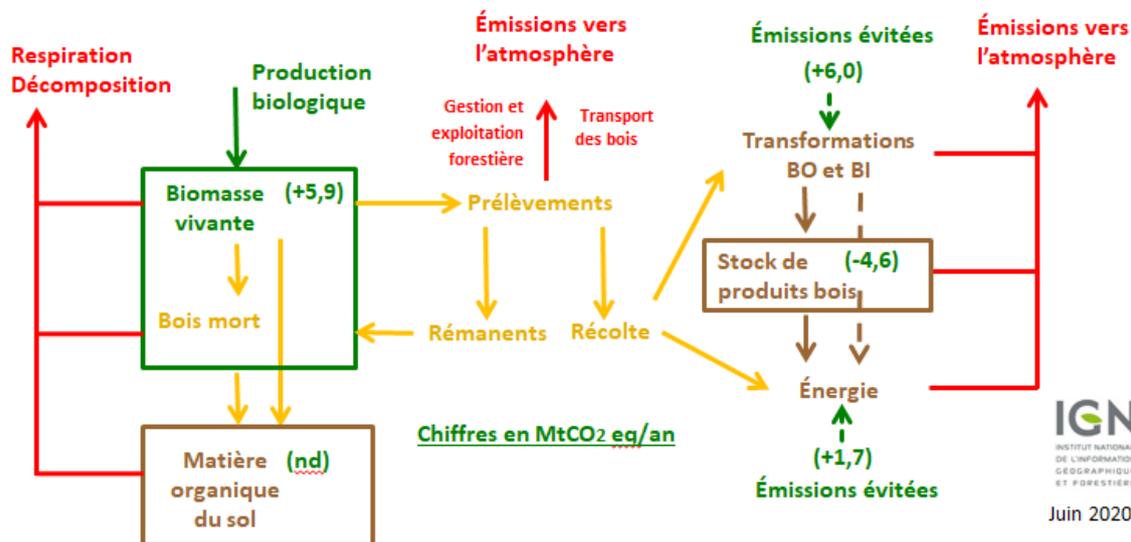
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Bretagne = 5,0 MtCO₂ eq/an



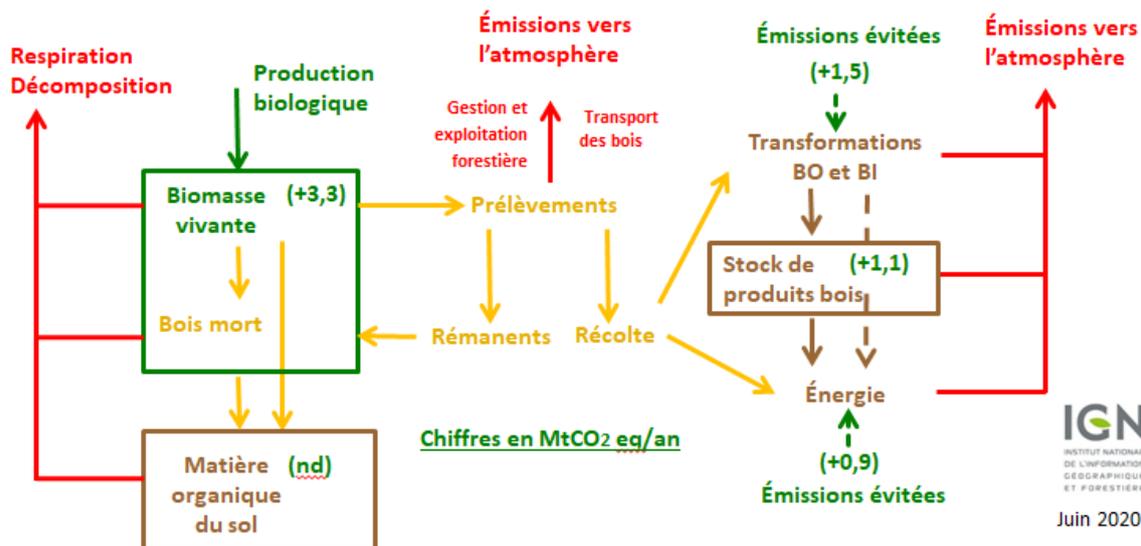
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Nouvelle-Aquitaine = 9,1 MtCO₂ eq/an



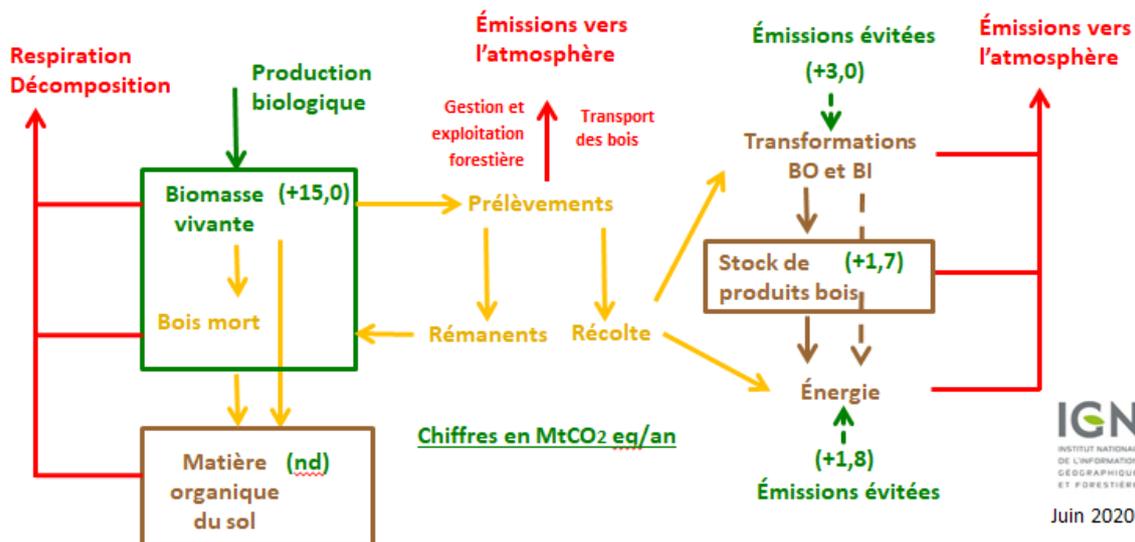
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Occitanie = 6,7 MtCO₂ eq/an



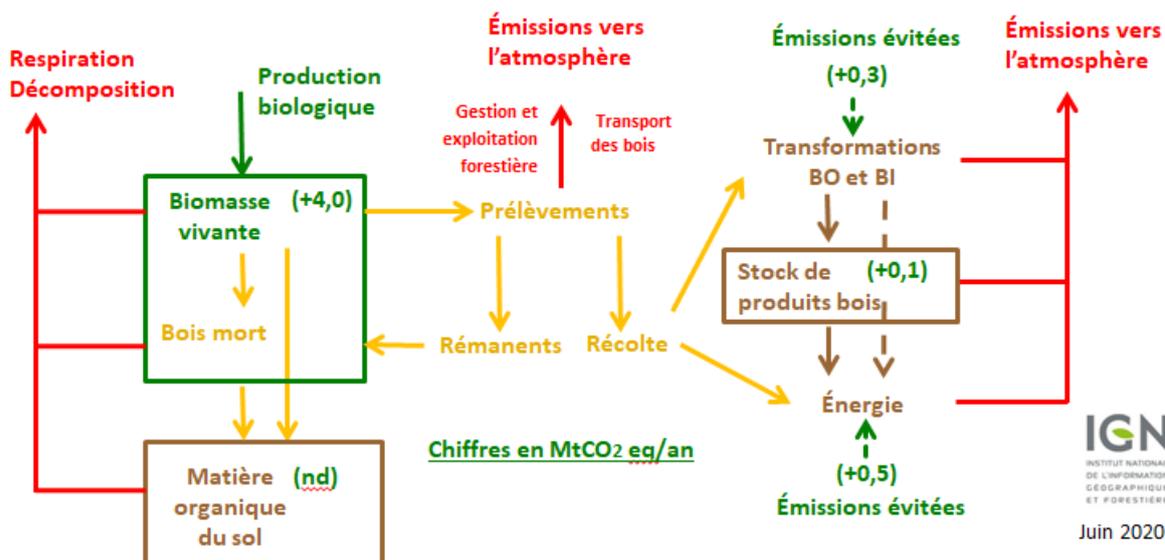
Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Auvergne-Rhône-Alpes = 21,5 MtCO₂ eq/an



Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Provence-Alpes-Côte d'Azur = 4,8 MtCO₂ eq/an



Contribution des écosystèmes forestiers et de la filière forêt-bois à l'atténuation de l'effet de serre (indicateur 1.4 des IGD 2020)

Corse = 2,4 MtCO₂ eq/an

