



Avril
2019

Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des territoires (PCAET)

Rapport d'étude



En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Auteurs de l'étude à l'IGN : Antoine COLIN, Marion SIMON, Eliane ROOS et Yann SCHWARZ

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, IGN, 2019. Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des territoires (PCAET). 30 pages.

Ce rapport est issu de la fusion de deux rapports contractuels :

ADEME, IGN, 2018. Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des EPCI concernés par un PCAET, volet dendrométrique. 20 pages.

ADEME, IGN, 2019. Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des EPCI concernés par un PCAET, volet surfacique. 15 pages.

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

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de Marchés : **17MAR001305** et **n°18MAR001246**

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par :

IGN/Département ressources forestières et carbone

Coordination technique - ADEME : BUITRAGO Miriam

Direction/Service : Forêt Alimentation Bioéconomie

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs de l'étude	6
1.1 Contexte.....	6
1.2 Objectifs.....	6
2. Données sources	8
2.1 Enquête d'inventaire forestier national (IFN).....	8
2.1.1 Méthode d'inventaire.....	8
2.1.2 Forêts disponibles pour la production de bois.....	9
2.1.3 Résolution spatiale des données IFN.....	9
2.1.4 Données dendrométriques.....	10
2.1.5 Conversion des volumes en stock de carbone dans la biomasse ligneuse.....	11
2.1.6 Superficie boisée statistique.....	11
2.2 Base de données géographiques des types de peuplements forestiers (BD Forêt v2)	12
2.3 Sylvo-écorégions (SER)	12
2.4 Contours administratifs des communes	14
3. Volet 0 : actualisation de la valeur du guide ADEME 2016	14
3.1 Données IFN mobilisées.....	14
3.1.1 Périmètre de l'étude.....	14
3.1.2 Données de ventilation	14
3.2 Présentation des livrables et exemple d'utilisation	14
3.3 Principaux résultats.....	15
3.3.1 Puits de carbone moyen à l'hectare dans la biomasse ligneuse.....	15
3.3.2 Coefficient de passage du m ³ IFN au stock de carbone sur pied	16
4. Volet 1 : superficie boisée cartographiée par commune	17
4.1 Méthode.....	17
4.2 Présentation des livrables du volet 1.	17
5. Volet 2 : stocks et flux de bois et carbone	18
5.1 Données IFN mobilisées dans le volet 2.	18
5.2 Présentation des livrables du volet 2.	19
5.3 Exploitation des données.....	19
6. Volet 3 : clé de correspondance entre les types de la BD Forêt v2 et les types IFN.....	21
6.1 Problématique	21
6.1 Méthode et résultats	21
6.3 Présentation des livrables du volet 3	22
7. Utilisation des données et précautions d'usage	23
7.1 Utilisation conjointe des données surfaciques et des données de stocks et de flux de bois.....	23
7.2 Précautions d'usage des données.....	23
7.2.1 Ecart entre les surfaces forestières IFN et BD Forêt v2.....	23



7.2.2 Types de peuplements forestiers différents entre BD Forêt et IFN	24
7.2.3 Des résultats statistiques assortis d'un intervalle de confiance	24
7.2.4 Les moyennes calculées sur un grand territoire peuvent être localement fausses	24
7.2.5 Le niveau de séquestration in-situ régional peut masquer des dynamiques locales très différentes	25
8. Perspectives pour affiner les diagnostics forêt-carbone des territoires	26
Bibliographie	27
Index des figures	28
Sigles et acronymes	28
Annexes	29

RÉSUMÉ

Les Plans Climat-Air-Energie Territoriaux (PCAET) sont des outils de planification dont le but est d'atténuer le changement climatique et de s'adapter à ces effets, de développer les énergies renouvelables, de maîtriser la consommation d'énergie et d'améliorer la qualité de l'air. Le décret n°2016-849 du 28/06/2016 PCAET introduit l'obligation de la prise en compte de la séquestration de carbone, ce qui donne plus d'importance à l'intégration du secteur forêt bois. Pour les écosystèmes forestiers, les programmes d'actions des collectivités territoriales doivent s'appuyer sur des diagnostics quantitatifs.

Dans le cadre de sa mission d'accompagnement des EPCI dans l'élaboration de leurs PCAET, l'ADEME a commandé en 2018 à l'IGN la production de données de référence sur les stocks et les flux de carbone forestier.

A partir des résultats de l'enquête d'inventaire forestier national (IFN), l'IGN a produit des données sur les volumes de bois et les flux de carbone des principaux types de peuplements forestiers à l'échelle des régions administratives, des Grandes Régions Écologiques (GRECO) et des Sylvoécorégions (SER).

Au niveau des EPCI, l'IGN produit la cartographie des types de peuplements forestiers (BD Forêt v2 disponible sur tout le territoire métropolitain depuis la fin de l'année 2018). Les surfaces des différents types de peuplements forestiers cartographiées dans chaque commune ont été calculées.

Afin de faciliter le rapprochement entre les données de surface et les valeurs moyennes sur les stocks et flux de carbone, une clé de correspondance entre les types de peuplements cartographiés (BD Forêt v2) et les types de peuplements observés sur le terrain (IFN) a été produite à dire d'experts.

Ces informations originales sont mises librement à la disposition des territoires pour les aider dans la réalisation de leurs diagnostics sur le carbone des écosystèmes forestiers. Elles peuvent susciter des échanges entre les experts forestiers du territoire, et le cas échéant, être adaptées aux caractéristiques locales.

Le présent rapport présente les données source, les méthodes de calculs, les différentes données livrées en 2018 et 2019, les précautions entourant leurs usages et les perspectives pour améliorer la précision des diagnostics forestiers à l'échelle locale.

Pour faciliter la lecture de ces données à l'échelle des EPCI et les combiner avec des données concernant le carbone des sols, l'ADEME a développé l'outil ALDO (<https://www.territoires-climat.ademe.fr/ressource/211-76>). Les données présentées dans ce document ont été intégrées ou sont en cours d'intégration dans l'outil « ALDO ».

1. Contexte et objectifs de l'étude

1.1. Contexte

Au titre de l'article 1^{er} du décret n° 2016-849 du 28/06/2016 relatif aux Plans Climat Air Energie Territorial (PCAET), tous les EPCI de plus de 20 000 habitants ont l'obligation, avant la fin de l'année 2018, d'intégrer un diagnostic comprenant l'estimation de la séquestration nette de CO₂ : « *Le diagnostic comprend : une estimation de la séquestration nette de dioxyde de carbone et de ses possibilités de développement, identifiant au moins les sols agricoles et la forêt, en tenant compte des changements d'affectation des terres ; les potentiels de production et d'utilisation additionnelles de biomasse à usages autres qu'alimentaires sont également estimés, afin que puissent être valorisés les bénéfices potentiels en termes d'émissions de gaz à effet de serre, ceci en tenant compte des effets de séquestration et de substitution à des produits dont le cycle de vie est plus émetteur de tels gaz* ».

Dans son rôle de soutien aux collectivités territoriales, l'ADEME a publié un guide (ADEME, MEEM, 2016) offrant aux collectivités concernées un cadre méthodologique pour intégrer la séquestration de carbone. La méthode développée par le MEEM et proposée dans le guide intègre la séquestration directe dans la biomasse, pour laquelle le guide précise :

« **Diagnostic à réaliser à minima** : une première approximation consiste à estimer la séquestration forestière directe liée aux forêts non défrichées (sachant que cette « séquestration » sera souvent positive : on parle alors de « puits de carbone » forestier ; si elle est négative, cela signifie qu'en réalité la forêt émet plus de carbone qu'elle n'en capte : elle est alors émettrice nette).

Il s'agit de multiplier la surface de la forêt sur le territoire de l'EPCI par la séquestration forestière nette moyenne par hectare de forêt (hors Outre-Mer, où on considère que cette séquestration est nulle), soit **-4,8 teqCO₂/ha/an***.

* Cette valeur de 4,8 teqCO₂/ha/an est obtenue en divisant la séquestration forestière totale hors Outre-Mer, soit 70 MteqCO₂, par la surface de forêts, de l'ordre de 14,7 millions d'hectares.

NB : il s'agit de l'équivalent en CO₂ du carbone atmosphérique net absorbé par la forêt (correspondant au bilan entre la photosynthèse et la respiration des arbres), auquel sont retranchées les émissions associées à la mortalité des arbres et aux prélèvements de bois (le carbone correspondant aux volumes de bois morts ou prélevés étant considéré comme immédiatement réémis vers l'atmosphère sous forme de CO₂). ».

La séquestration dans les forêts des territoires est très dépendante des contextes biogéographiques (sol, climat, essences, gestion,...), la valeur moyenne nationale peut donc ne pas être représentative des contextes locaux.

1.2. Objectifs de l'étude confiée à l'IGN

L'ADEME a constitué un groupe national d'experts pour analyser la méthode décrite dans le guide et l'actualiser le cas échéant. Plus spécifiquement, l'ADEME a commandé à l'IGN la production de jeux de données sur la séquestration de carbone dans la biomasse forestière, adaptés aux grands types forestiers rencontrés sur le territoire métropolitain (les DOM ne sont pas concernés).

Un premier objectif (volet 0 de l'étude) est de mettre à jour le chiffre moyen de -4,8 teqCO₂ séquestré par ha et par an (cf. chiffre moyen national publié dans le guide ADEME, MEEM, 2016) et de l'étoffer en distinguant les contextes géographiques et les principaux groupes d'essences. Ces données ont alimenté l'outil ALDO développé par l'ADEME (<https://www.territoires-climat.ademe.fr/ressource/211-76>).

Un second objectif est de produire des données sur les stocks et les flux de bois et de carbone des principaux écosystèmes forestiers métropolitains à différentes échelles spatiales, et au plus près des EPCI. Ces données seront intégrées dans l'outil ALDO en 2019 et pourront également être utilisées par les acteurs qui souhaitent réaliser une démarche territoriale ClimAgri® (<https://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-agricole/passer-a-l'action/dossier/evaluation-environnementale-agriculture/loutil-climagri>).

Un kit de données de l'IGN a donc été établi pour accompagner les collectivités territoriales dans la réalisation de leurs bilans carbone forestiers. Il comprend quatre volets. Les trois premiers ont été réalisés en 2018 et complétés en 2019. Le dernier volet a été livré à l'ADEME en mars 2019.

- **Volet 0 : Actualisation de la valeur moyenne de séquestration nette par hectare dans la biomasse, publiée dans le guide de 2016.**
- **Volet 1 :** La surface cartographiée des principales essences forestières (source BD Forêt v2, ou v1 quand la BD Forêt v2 n'était pas encore disponible) a été fournie pour chaque EPCI métropolitain en avril 2018. En mars 2019 les livrables de ce volet ont été complétés grâce à la disponibilité depuis fin 2018 de la BD Forêt v2 dans chaque département. La surface, au sein de chaque commune de France métropolitaine, des 32 types de peuplements forestiers cartographiés dans la BD Forêt v2 a été fournie.
- **Volet 2 :** Des valeurs sur les stocks et les flux de bois et de carbone moyens ont été fournies pour différents domaines géographiques (régions, GRECO, groupes de SER), essences principales et classes de densité des peuplements.
- **Volet 3 :** Une clé de correspondance a été construite, à dire d'experts, entre les types de peuplements photo-interprétés dans la BD Forêt V2 (volet 1) et les compositions spécifiques relevées sur le terrain par l'IFN (volet 2).

Les données du volet 0 de l'étude (surface, stock et flux de carbone par GRECO en distinguant feuillus, résineux et mixte) ont été déjà intégrées dans l'outil ALDO. Il est prévu que les données par SER et essences soient intégrées dans l'outil courant 2019.



2. Données sources

2.1. Enquête d'inventaire forestier national (IFN)

Les forêts métropolitaines couvrent un tiers du territoire national métropolitain avec 16,7 millions d'hectares (Mha) et s'accroissent de 1 million d'ha par décennie, ce qui en fait la deuxième occupation des sols après l'agriculture, et atteste de son rôle structurant sur les territoires. Le volume de bois qu'elles contiennent est le troisième plus important d'Europe après celui de l'Allemagne et la Suède. Il a doublé en 50 ans, traduisant l'opportunité stratégique et économique de l'existence de cette ressource en bois pour la France. Le puits de carbone de la forêt française est le premier en Europe. Les forêts françaises sont également les plus diversifiées d'Europe en espèces. Elles forment le premier stock de bois feuillu. Par l'approvisionnement en matériaux, énergies et molécules vertueuses, la filière forêt-bois constitue un fondement de la croissance verte, à l'origine de la stratégie européenne pour la bioéconomie. Parce que ces ressources sont renouvelables, et doivent être gérées, la filière forêt-bois est une source d'emploi dans de nombreux territoires.

Dans ce contexte non-stationnaire et porteur d'enjeux sans précédents, une information systématique et renouvelée des territoires forestiers est cruciale pour appuyer les politiques publiques visant la valorisation des forêts. En France comme dans tous les pays européens, l'inventaire forestier statistique garantit indépendance et objectivité. Créé en 1958 par Ordonnance du Général de Gaulle, et intégré au Code Forestier (obligation d'inventaire permanent des forêts), l'inventaire a été reconnu enquête statistique publique par le CNIS en 2017.

L'information produite par cet inventaire est valorisée par un appui ciblé et prospectif aux acteurs politiques et économiques, privés et publics, sur des territoires locaux à nationaux. C'est le rôle de la mission d'expertise forestière, placée à l'IGN aux côtés de l'inventaire.

Depuis 2005, l'IGN réalise l'inventaire permanent (annuel) et national des ressources forestières françaises métropolitaines. Cette enquête statistique s'appelle « inventaire forestier national » ou IFN. Il en existe dans tous les pays du monde. L'enquête IFN produit à la fois une estimation de la superficie boisée et du volume des arbres qu'elle contient. Toutes les propriétés, publiques et privées, sont inventoriées. En 2017 le Conseil national de l'information statistique (CNIS) a labellisé l'IFN « enquête statistique d'intérêt public ».

2.1.1. Méthode d'inventaire

L'échantillon statistique IFN est réparti de manière systématique dans l'espace et dans le temps. Il est réalisé en 10 campagnes annuelles successives. Avec près de 7 000 nouvelles placettes d'observation visitées chaque année sur l'ensemble du territoire national, de nombreuses informations contribuent directement à la caractérisation et l'évaluation de la ressource forestière et du bilan carbone de la biomasse ligneuse.

La méthode d'inventaire comprend deux phases statistiques successives :

La première phase de l'inventaire consiste en une photo-interprétation ponctuelle. À partir de l'ortho-photographie départementale de référence (BD Ortho), des informations relatives à la couverture du sol et à son utilisation sont notées sur des placettes de 25 mètres de rayon entourant les points d'inventaire. L'interprétation porte chaque année sur un échantillon d'environ 80 000 points. Ces informations contribuent à une première estimation de la surface du territoire selon la couverture et l'utilisation du sol.

La deuxième phase de l'inventaire consiste à collecter en forêt des informations détaillées sur une sous-population des points photo-interprétés « forêt » lors de la première phase d'inventaire. Les mesures en forêt s'exécutent de novembre à octobre de l'année suivante. Les points d'inventaire sont matérialisés sur le terrain par un piquet, centre de quatre placettes circulaires et concentriques de 6, 9, 15 et 25 m de rayon. Les descriptions et mesures concernent le milieu, le sol, la végétation arborée et la flore. Plusieurs dizaines de données qualitatives et quantitatives sont ainsi collectées selon un protocole national rigoureux.

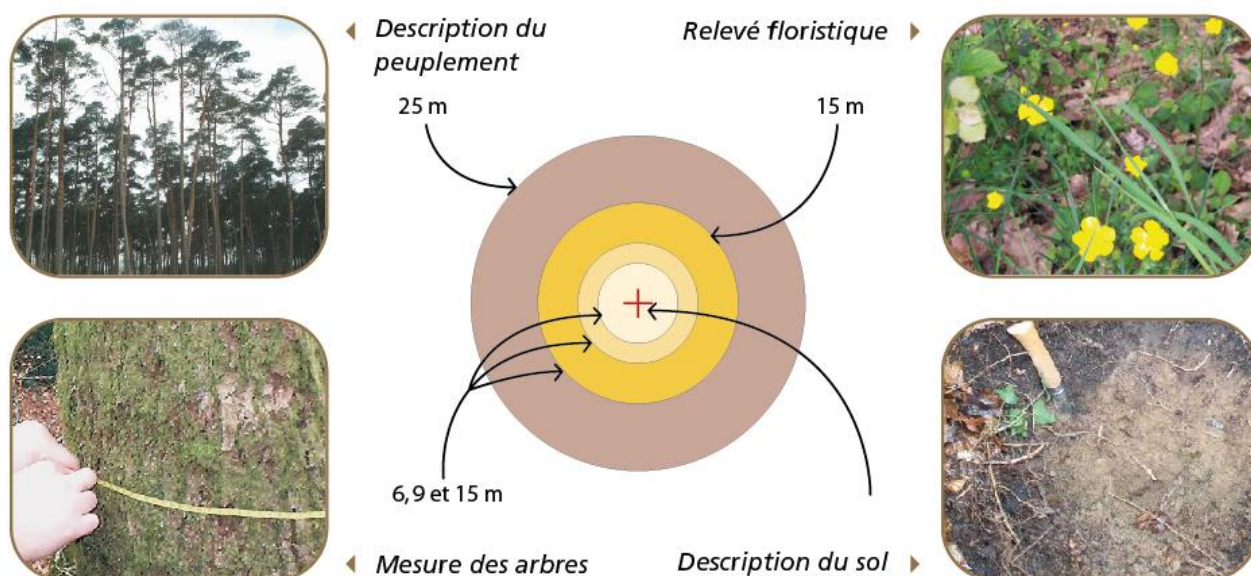


Figure 1: Placettes d'observation de l'inventaire forestier national

Depuis 2010, l'IFN ré-inventorie les points mesurés 5 ans auparavant afin de mesurer les arbres qui ont été prélevés au cours de la période. Les levers de terrain ont porté par exemple sur 7 479 points durant la campagne 2014 auxquels il faut ajouter la visite de 5 700 points déjà inventoriés il y a 5 ans.

En règle générale, les résultats publiés par l'IGN correspondent à une année moyenne calculée à partir de cinq fractions annuelles (appelées « campagnes ») de l'échantillon. L'utilisation de cette période de temps permet de baser les calculs sur un nombre plus important de données. Cela permet d'améliorer la précision statistique des résultats ou, à précision identique, de les ventiler selon davantage de critères. La précision temporelle s'en trouve quant à elle dégradée (puisque'il s'agit d'une moyenne sur 5 ans), mais il est considéré qu'elle reste acceptable en raison des pas de temps longs d'évolution des peuplements forestiers.

2.1.2. Forêts disponibles pour la production de bois

L'IGN détermine pour chaque point de l'échantillon IFN la nature de la couverture du sol (forêt, lande, terrains artificialisés, etc...). Depuis 2005, l'IGN a adopté la définition de la forêt (Food and Agriculture Organisation of the United Nations, FAO) : « La forêt est un territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares avec des arbres pouvant atteindre une hauteur supérieure à 5 m à maturité in situ, un couvert boisé de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres. Elle n'inclut pas les terrains dont l'utilisation du sol prédominante est agricole ou urbaine. »

Les couvertures boisées avec une utilisation agricole ou urbaine prédominante ne sont pas considérées comme de la forêt.

L'IGN distingue les forêts « disponibles pour la production de bois » des « autres forêts ». Les forêts disponibles pour la production de bois sont celles pour lesquelles la production n'est pas rendue impossible par des contraintes physiques (falaise, ravin non accessible, marécage inaccessible, accès à plus de deux heures de marche, accès à pied avec un dénivelé positif de plus de 600 m ...), des contraintes d'usage (certains terrains militaires) ou réglementaires (réserve biologique intégrale, protection contre l'érosion...). Les données dendrométriques de l'IFN ne sont relevées que sur les points situés en forêt de production.

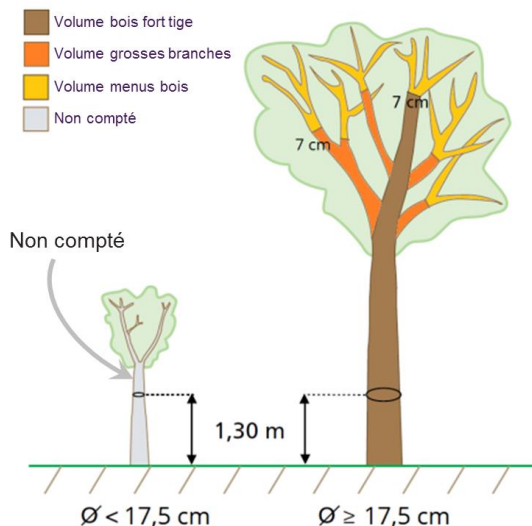
2.1.3. Résolution spatiale des données IFN

L'IFN produit les informations nécessaires au développement des politiques publiques et des stratégies privées aux échelles nationales, régionales et des grands bassins de production. Schématiquement les données IFN sont utilisables à partir de massifs de 20 000 ha boisés. En deçà la précision statistique de l'outil est insuffisante.

2.1.4. Données dendrométriques

Stock de bois sur pied

Sur chaque point IFN, les arbres sont mesurés sur un cercle de 6 m de rayon pour les petits bois (diamètre à 1,30 m des arbres compris entre 7,5 et 27,5 cm exclu), de 9 m pour les bois moyens (diamètre compris entre 27,5 et 37,5 cm exclu) et de 15 m pour les gros et très gros bois. Les mesures sur les arbres concernent la circonférence à 1,30 m de hauteur, la hauteur, l'épaisseur des cernes des 5 dernières années, etc. L'essence de chaque arbre est notée.



La ressource en bois est évaluée à partir des mesures de circonférence à 1m30, de hauteur totale, de hauteur à la découpe bois fort ou à la hauteur du premier défaut (hauteur de décrochement), etc... Les résultats dendrométriques (volume, production biologique, mortalité, prélèvements) sont calculés sur les arbres dont la circonférence à 1,30 m est supérieure à 23,5 cm (soit 7,5 cm en diamètre), à l'aide de modèle statistique appelés « tarifs de cubage ». Par défaut, tous les volumes calculés par l'IGN concernent le tronc, écorce incluse, entre le sol et la découpe fin bout de 7 cm en haut de l'arbre, en n'incluant qu'une seule branche maîtresse.

D'autres tarifs de cubage permettent de calculer le volume aérien total (Carbofor et Loustau, 2010), c'est-à-dire incluant les grosses et les petites branches.

Production biologique

La production biologique est calculée à partir de la mesure de l'accroissement radial sur 5 ans obtenu par carottage des arbres. Le volume produit au cours des 5 dernières années peut être calculé au niveau de chaque arbre et on en déduit la production annuelle moyenne.

La production biologique de la forêt est la somme de quatre composantes :

- la production des arbres vivants et non chablis à l'année n, qui sont recensables (plus de 7,5 cm de diamètre) ;
- la production des arbres qui ont été coupés entre l'année n-5 et l'année n (constatés sur les points « deuxième visite »). On considère que ces arbres ont été coupés à mi-période et on ajoute $\frac{1}{2}$ production sur 5 ans ;
- la production des chablis ordinaires de moins de 5 ans (pour la moitié de la période) ;
- la production des arbres morts, considérée comme nulle.

Le recrutement, qui correspond au volume des arbres qui sont devenus recensables (qui ont atteint les 7,5 cm de diamètre sur la même période de 5 ans), est comptabilisé dans la production des arbres vifs. La mesure faite lors de la campagne n correspond à l'accroissement des années de croissance et donc des campagnes n-1, n-2, n-3, n-4 et n-5.

La production biologique des arbres vifs fournie est calculée à partir des mesures réalisées entre 2011 et 2015. Il s'agit donc d'une production calculée **à partir des cernes de croissance des années 2006 à 2014** (cerne le plus ancien remontant à 2006 pour les mesures faites en 2011 et cerne le plus récent datant de 2014 pour les mesures faites en 2015).

Prélèvements de bois

Grâce aux revisites des points inventoriés 5 ans plus tôt, il est possible de connaître les prélèvements réalisés entre la mesure initiale (année n-5) et le retour (année n). Sur les points où au moins un prélèvement de moins de 5 ans est signalé, chaque arbre qui était vivant et inventorié au passage précédent est noté comme coupé ou non. Un arbre est noté coupé que la grume soit vidangée ou non et que la souche soit déracinée ou non.

Lorsqu'un arbre est constaté coupé à l'année n (alors qu'il était vivant à l'année n-5), on estime le volume qu'il représentait au moment de l'évènement (considérée à mi-période, soit à l'année n-2,5) à partir des informations

(de volume et de production) relevées à l'année n-5. Le volume calculé à l'année n-5 est actualisé avec l'ajout de la production sur la mi-période de 5 ans. Le « prélèvement » ayant été effectué pendant la période de 5 ans (entre n et n-5), la somme des « prélèvements » est ensuite annualisée en divisant le volume total prélevé par 5, et correspond donc à un « prélèvement » annuel moyen.

Mortalité et chablis

Les arbres morts sur pied sont les arbres qui ne présentent aucun signe de vie au-dessus de 1,30 m, et qui sont toujours sur pied, cassés ou non au niveau de la tige ou du houppier. Ils sont relevés selon la même méthode que les bois vivants (placettes). Les chablis sont des arbres morts ou vivants qui ne sont plus sur pied ou avec une forte inclinaison (> 30 grades) du fait d'un accident.

Bilan annuel des flux et taux de prélèvement sur une période

Le bilan des flux permet d'apprécier l'évolution du capital de bois en forêt (et du stock de carbone dans l'écosystème) sur une période de temps.

Les flux annuels concernent les trois composantes suivantes qui font référence à une même période :

- La production biologique ;
- Les prélèvements ;
- La mortalité naturelle et les chablis.

Le bilan est calculé selon la formule : production biologique - prélèvements - mortalité. Il peut être négatif (décapitalisation ou source de carbone) ou positif (capitalisation ou puits de carbone).

Par extension, on calcule l'indicateur de taux de prélèvement comme le ratio entre les prélèvements et la production biologique diminuée de la mortalité.

2.1.5. Conversion des volumes en stock de carbone dans la biomasse ligneuse

Les volumes de bois mesurés par l'IGN sont exprimés en volume aérien total, puis en biomasse aérienne et racinaire et enfin en stock de carbone et son équivalent CO₂. Par convention les flux exprimés en CO₂ équivalent font référence à l'atmosphère : leur signe est donc négatif quand la biomasse séquestre du carbone car cela revient à retrancher du CO₂ du stock de l'atmosphère.

Les conversions sont effectuées par essence, en fonction de la circonférence et de la hauteur de chaque arbre, en utilisant des tarifs de cubage du volume aérien total, des facteurs d'expansion pour estimer le volume des racines, des valeurs d'infradensité moyenne du bois pour calculer la biomasse, et un taux de carbone moyen dans la biomasse. Ces équations et coefficients moyens sont issus d'une synthèse bibliographique réalisée dans le cadre du projet CARBOFOR en 2004 (Vallet 2006 et Loustau 2010).

Il s'agit de la même méthode de calcul que celle qui est utilisée pour renseigner l'inventaire GES de la France, coordonné par le CITEPA. Cette méthode est également identique à celle de l'expertise INRA-IGN de 2017 sur le puits de carbone de la filière forêt-bois française à l'horizon 2050.

2.1.6. Superficie boisée statistique

Avec l'IFN, la superficie forestière est estimée suivant une approche statistique à partir des observations collectées lors de la première et de la seconde phase d'inventaire. Cette dernière permet de confirmer ou infirmer la couverture du sol qui a été identifiée sur les photographies aériennes.

Le calcul de surface par l'inventaire forestier s'appuie donc sur la grille systématique de points qui couvre l'ensemble du territoire, ce dernier ayant une surface connue. Schématiquement, la surface forestière est estimée comme étant la proportion de points classés en forêt. L'estimateur de la surface est en fait plus complexe car les calculs sont effectués en deux étapes et selon des strates. La surface étant estimée de manière statistique, elle est assortie d'un intervalle de confiance.

L'enquête IFN mesurant à la fois la superficie et les volumes, tous les résultats exprimés en volume et stock de carbone à l'hectare font référence à cette superficie statistique.

La comparaison des superficies issues de l'IFN et de la BD Forêt peut présenter des écarts parfois importants, en faveur de la superficie cartographiée. Les raisons sont détaillées dans le chapitre 7.2.1.

2.2. Base de données géographique des types de peuplements forestiers (BD Forêt v2)

L'IGN réalise la cartographie des essences des forêts françaises. Cette carte est intitulée BD Forêt®. Elle est réalisée par photo-interprétation à partir de photographies aériennes départementales en infrarouge couleur et par département.

Une première version de la BD Forêt a été produite à partir de 1987 et finalisée en 2004. Elle est désormais remplacée pour tous les départements par une version plus récente : la BD Forêt version 2.

La production de la version 2 de la BD Forêt a été initiée en 2005 et elle est disponible pour plus l'ensemble des départements métropolitains depuis décembre 2018. Les dates des prises de vue, et donc l'ancienneté de la BD Forêt V2, varient selon les départements. Les dates des BD Forêt V2 de chaque département sont disponibles en annexe. Chaque plage cartographiée de **plus de 0,5 ha** de la BD Forêt v2 se voit attribuer par un photo-interprète forestier de l'IGN un type de formation végétale dans une nomenclature à 32 modalités (exemple : chênaie pure, hêtraie pure, sapinière pure, mélanges de feuillus, etc.).

La BD Forêt V2 apporte, par rapport à la BD TOPO® Végétation, un complément thématique enrichi sur les forêts au moyen d'une nomenclature nationale de composition principale en essences selon **32 modalités**.

La production de la BD Forêt v2 comporte deux étapes successives. Tout d'abord une première phase de segmentation semi-automatique de la BD Ortho® de l'IGN est réalisée, afin de cartographier le masque (l'emprise géographique) de tous les espaces forestiers et semi-naturels selon les critères de la définition internationale de la forêt (FAO 2004). Les peuplements forestiers sont caractérisés par un taux de couvert de la végétation supérieur ou égal à 10 % et une largeur d'au moins 20 mètres. Les surfaces, dont l'utilisation du sol est exclusivement agricole, sont exclues. Un contrôle visuel est effectué par un photo-interprète forestier de l'IGN. Les contours géographiques sont corrigés le cas échéant.

Dans une seconde étape, un enrichissement sémantique de tous les masques correspondant aux couvertures forestières et aux landes est effectué. Ce travail est réalisé par des photo-interprètes forestiers de l'IGN. Les situations douteuses sur photo sont visitées sur le terrain.

La précision sémantique s'appuie principalement sur l'estimation par le photo-interprète forestier des seuils de densité de couvert des arbres sur le support photographique. Le photo-interprète constitue des ensembles homogènes, selon la densité de couvert et selon un protocole détaillé qui l'aide à fixer des limites.

La nomenclature des 32 postes cartographiés dans la BD Forêt Vv2 est hiérarchique, avec un niveau de détails croissant. Le niveau de détails des essences dépend du type de couverture et de la superficie des polygones.

- Les jeunes peuplements de forêt ouverte et de forêt fermée, les coupes rases et les peupleraies sont cartographiés à partir de 0,5 ha, sans plus de précision sur les essences qui les composent.
- Pour les forêts ouvertes (taux de couvert compris entre 10 et 40 %), la composition purement feuillue, purement résineuse ou mixte feuillue / résineux est identifiée pour tous les polygones de plus de 0,5 ha. Les essences ne sont pas distinguées.
- Les forêts fermées (taux de couvert > 40 %) dont la superficie est comprise entre 0,5 et 2 ha (on parle d'ilots) sont classées entre des peuplements purement feuillus, purement résineux ou à prédominance feuillus ou résineuses pour les peuplements mixtes. Les essences ne sont pas distinguées.
- Les forêts fermées de superficie supérieure à 2 ha sont distinguées selon la pureté des essences qui les composent. Si une essence ou un groupe d'essence représente plus de 75 % du couvert, on détermine l'essence pure : chênes décidus purs, hêtre pur, pin sylvestre pur, sapin-épicéa purs, etc.
- Les forêts fermées de superficie supérieure à 2 ha composés de plusieurs essences feuillues ou de plusieurs essences résineuses sont classés en « mélange de feuillus », respectivement « mélange de résineux ». Les essences ne sont pas distinguées.
- Les forêts fermées mixtes (feuillus et résineux en mélange) de plus de 2 ha sont décrites selon la prépondérance des essences feuillues ou résineuses. Les essences ne sont pas distinguées.

Le descriptif de contenu de la BD Forêt V2 est consultable dans le PDF suivant : professionnels.ign.fr/doc/DC-BDForêt-2-0.pdf.

2.3. Sylvo-écorégions (SER)

Les 11 grandes régions écologiques (GRECO) métropolitaines sont constituées à partir du regroupement des 86 sylvo-éco-régions (SER). Les conditions stationnelles (sol, climat, types de peuplements forestiers) au sein d'une SER sont suffisamment différentes des autres SER.

L'IFN a réalisé un découpage du territoire prenant en compte les facteurs biogéographiques déterminant la production forestière et la répartition des grands types d'habitats forestiers.

Les objectifs principaux de la conception et de l'élaboration des SER ont été :

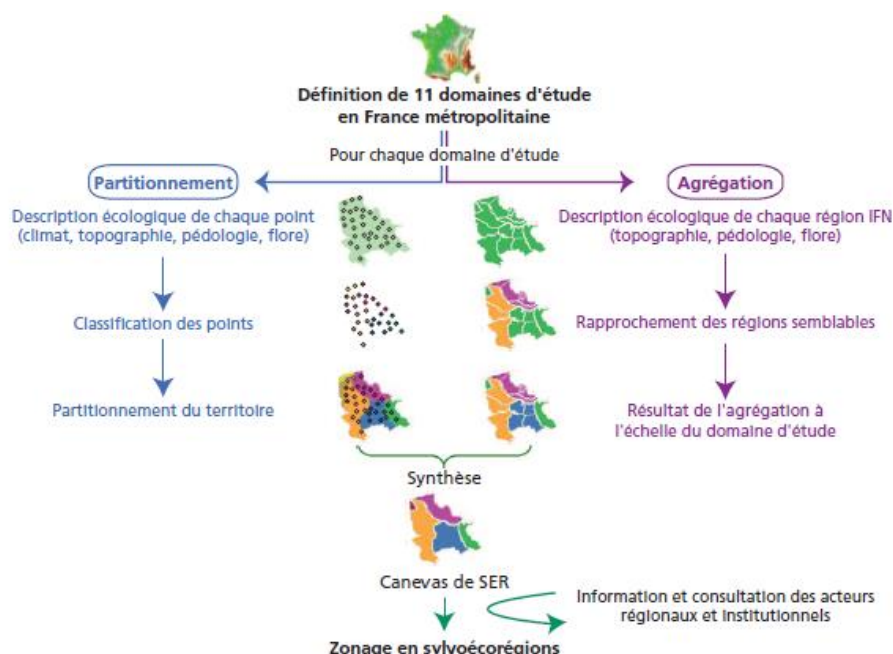
- proposer un cadre géographique optimisé pour la réalisation des guides pour le choix des essences favorisant leur utilisation réelle par les gestionnaires forestiers ;
- constituer une division géographique du territoire à fondement écologique qui puisse servir de référence nationale aux documents cadres de la gestion forestière ;
- permettre la publication par l'IFN de résultats d'inventaire avec une précision statistique satisfaisante ;
- fournir un cadre bioclimatique et écologique de référence permettant de suivre avec plus d'efficacité l'impact du changement climatique global sur les écosystèmes forestiers métropolitains.



Figure 2 : Limites de GRECO à l'échelle France entière

Les 86 sylvoécorégions françaises regroupent les 309 régions forestières initiales avec un redécoupage le cas échéant pour retrouver des limites climatiques ou pédologiques qui n'étaient pas encore ou insuffisamment prises en compte initialement. Ces 86 SER sont rassemblées dans onze grandes régions écologiques (GRECO).

Les SER sont établies en fonction de critères bioclimatiques. Elles couvrent l'ensemble du territoire national métropolitain en s'affranchissant de toute délimitation administrative et du statut public ou privé de la propriété forestière. Elles assurent donc une continuité et une homogénéité permettant de mieux évaluer les sylvicultures et, à ce titre, peuvent servir de référence pour l'élaboration de documents cadres de gestion.



Plus d'informations sur les SER : https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/IF_SER_web.pdf

2.4. Contours administratifs des communes

Les contours administratifs des communes sont issus de la base de données Admin Express établie par l'IGN. Cette base de données de référence pour les délimitations administratives est mise à jour en continue. Les données mises à jour suite à l'étude d'avril 2018 ont été extraites en décembre 2018 :

<http://professionnels.ign.fr/adminexpress>



3. Volet 0 : actualisation de la valeur du guide ADEME 2016

3.1. Données IFN mobilisées

3.1.1. Périmètre de l'étude

Les stocks actuels (surfaces, volume et stock de carbone) totaux et par hectare sont estimés à partir des 5 campagnes annuelles de mesures réalisées de 2011 à 2015. Ainsi les stocks actuels font référence à l'année moyenne 2013.

La production biologique et la mortalité naturelle sont estimées à partir des 5 campagnes annuelles de mesure réalisées de 2011 à 2015, soit des flux concernant la période 2006-2015. Les prélèvements de bois sont mesurés sur les points des 5 campagnes annuelles d'inventaire 2006 à 2010. Ces points ont fait l'objet de remesures entre 2011 et 2015, pour mesurer les prélèvements sur la période 2006-2015. Ainsi, les flux de bois font référence à une période 2006-2015.

3.1.2. Données de ventilation

Les forêts françaises sont très diverses en termes d'essences, de conditions de croissance et de niveau de prélèvement en lien avec la variabilité des climats, des conditions topographiques, de l'altitude, etc. Certaines régions françaises ont une longue histoire forestière alors que pour d'autres (Limousin, PACA, etc.) les boisements sont récents en lien avec les déprises agricoles et rurales. Il n'existe pas donc « une forêt française », mais une diversité de situation particulière. Afin de tenir compte au mieux de cette diversité, les valeurs moyennes d'inventaire sont décrites selon différents attributs :

Localisation géographique

Les coordonnées géographiques de chaque point d'inventaire étant précisément connues, les résultats d'inventaire sont disponibles selon différentes **localisations géographiques** (22 anciennes régions administratives, 13 régions administratives, grandes régions écologiques ou GRECO, domaines biogéographiques constitués par le regroupement des GRECO, bassins popuicoles à partir du regroupement de régions administratives). Les 11 grandes régions écologiques (GRECO) métropolitaines sont constituées à partir du regroupement des 86 sylvo-éco-régions (SER).

Couverture du sol

La **couverture du sol** est déterminée à partir du couvert total des arbres. S'il dépasse 40 % (où est susceptible de le dépasser quand les arbres seront à maturité) les peuplements sont des « forêts fermées ». Les peuplements dont le taux de couvert est compris entre 10 et 40 % sont des « forêts ouvertes ». Enfin, les peuplements momentanément déboisés (coupes rases), et ceux où le couvert des arbres représente moins de 10 % du couvert total de la placette sont classés dans une catégorie de composition indéterminée.

Composition en essences

La **composition du peuplement** est définie sur la placette de 20 ares (25 m de rayon). Un peuplement forestier est considéré comme étant majoritairement feuillu (ou inversement résineux) quand le couvert libre (surface représentée par les houppiers qui accède à la lumière) de toutes les essences feuillues (ou inversement résineuse) dépassent 75 % du couvert total de la placette. Dans les autres cas le peuplement est mixte. Les peupleraies sont des peuplements où les peupliers cultivés sont majoritaires dans le couvert.

3.2. Présentation des livrables et exemple d'utilisation

Les résultats sont fournis dans le tableur : «carbone_EPCI_IGN_2019_volet0_guide_ADEME.xlsx ». Ils concernent, pour différentes combinaisons de localisations géographiques, types de couverture du sol et compositions en essences :

- Bilan moyen annuel des flux de CO₂ dans la biomasse ligneuse des forêts sur la période 2006-2015, exprimé en tonnes de CO₂ par hectare et par an.
- Stock de carbone dans la biomasse en tonnes de carbone.
- Chaque terme de flux (production biologique, prélèvement, mortalité) sur la période 2006-2015, exprimés en m³ de bois fort tige par an.
- Surface statistique en hectares.

Le tableur des surfaces cartographiées (source BD Forêt) permet à chaque commune et EPCI d'identifier les SER puis les GRECO où elles se situent, et de connaître la part de chaque type de peuplements issus de la BD Forêt V2 qui les composent.

Les EPCI peuvent ensuite entrer dans le tableur des valeurs moyennes de flux de carbone à l'hectare, en sélectionnant les localisations géographiques, les types de couvertures boisées et les compositions en essences qui les concernent directement.

Les EPCI peuvent aussi utiliser l'outil ALDO de l'ADEME facilitant la lecture de ces données. L'outil ALDO combine les données surfaciques des EPCI avec les données dendrométriques moyennes par GRECO fournies dans ce rapport pour réaliser une première estimation des stocks et flux de carbone des EPCI.

Pour un type de forêt donnée (couverture et composition) les résultats de plusieurs localisations géographiques sont disponibles. Il est recommandé de retenir les localisations les plus fines car les chiffres sont a priori plus adaptés au contexte local du territoire. Toutefois cette sélection mérite d'être expertisée au cas par cas, pour voir si les caractéristiques des forêts de l'EPCI concernée ne sont pas plus proches de celles d'une région voisine (voir chapitre 7.2.5 sur la validité des données globales à l'échelle locale).

Les données de composition BD Forêt et IFN ne sont pas rigoureusement identiques du fait des différences de mode d'acquisition des données (différence d'échelle et de support d'acquisition de la donnée). Les deux informations sont toutefois compatibles et elles donnent un ordre de grandeur raisonnable de la fréquence de chaque type de peuplement dans les EPCI (voir chapitre 7.2.1).

3.3. Principaux résultats

3.3.1. Puits de carbone moyen à l'hectare dans la biomasse ligneuse

Au niveau national (France métropolitaine) et pour l'ensemble des couvertures boisées de production (forêts et peupleraies, quel que soit le taux de couvert) soit 15,874 millions d'ha, le puits de CO₂ dans la biomasse ligneuse s'est élevé à **-3,99 tCO₂/ha/an** au cours de la période 2006-2015. Ce chiffre atteint -4,16 tCO₂/ha/an si on ne considère que les forêts de production dont le couvert est supérieur à 10 %, soit 15,032 millions d'ha de forêts. Les peupleraies françaises (201 000 ha) sont un puits de -4,61 tCO₂/ha/an. Ces chiffres correspondent à un taux de prélèvement de 54 % de la production biologique nette.

Le puits des forêts majoritairement résineuses est de -2,38 tCO₂/ha/an (3,216 millions d'ha) ; celui des forêts feuillues hors peupleraie est de -4,60 tCO₂/ha/an (10,044 millions d'ha) et enfin celui des peuplements mixtes feuillus / résineux est de -4,88 tCO₂/ha/an (1,772 millions d'ha). Les taux de prélèvements sont respectivement de 75, 43 et 44 %.

Le stock de carbone dans la biomasse des forêts françaises est de **1 237 millions de tonnes de carbone**, correspondant à un stock de 2 646 millions de m³ (bois fort tige).

Ces chiffres varient fortement selon les domaines biogéographiques, en lien avec les dynamiques de croissance (fertilité) et de prélèvement propre à chaque zone :

Localisation géographique	SURFACE (ha)	VOLUME (m3)	STOCK_ CARBONE (tC)	PRODUCTION (m3/an)	PRELEVEMENT (m3/an)	MORTALITE (m3/an)	TAUX PRELEV	BILAN_CO2 (tCO2/an)	BILAN_CO2_HA (tCO2/ha/an)
Domaine atlantique	8 728 169	1 463 712 037	687 930 262	54 063 737	27 581 579	6 295 548	58%	35 397 642	-4,06
Domaine continental	3 229 611	687 385 224	311 057 546	23 123 265	12 547 663	1 395 774	58%	14 648 297	-4,54
Domaine des hautes montagnes	1 955 699	336 107 498	147 226 808	8 259 510	1 953 259	1 680 731	30%	7 447 942	-3,81
Domaine méditerranéen	1 760 098	125 418 049	80 043 421	3 366 835	498 869	603 750	18%	4 991 572	-2,84
France	15 673 577	2 612 622 808	1 226 258 038	88 813 348	42 581 371	9 975 804	54%	62 485 453	-3,99



3.3.2. Coefficient de passage du m³ IFN au stock de carbone sur pied

Il est finalement possible de calculer le coefficient moyen pour passer du volume bois fort tige mesuré par l'IGN au stock de carbone aérien et racinaire dans la biomasse ligneuse.

Ce coefficient s'établit à 0,47 tC/m³ en moyenne pour les forêts françaises, peupleraies incluses. Il est en moyenne de 0,54 tC/m³ dans les peuplements majoritairement feuillus, 0,34 tC/m³ dans les peuplements majoritairement résineux et 0,41 tC/m³ dans les peuplements mixtes de feuillus et de résineux.

Ces chiffres moyens sont contingents de l'état actuel de la ressource française. Ils sont donc amenés à évoluer d'année en année en lien avec l'évolution de la répartition des essences feuillues et résineuses, et de leurs diamètres, au sein de la ressource nationale. En outre la valeur de ces coefficients n'est vraie en moyenne que pour les volumes calculés selon la définition IFN, et il convient donc de vérifier quels volumes sont utilisés en entrée.

L'IGN recommande donc d'utiliser ces informations avec beaucoup de précautions.

4. Volet 1 : superficie boisée cartographiée par commune

4.1. Méthode

La surface des types de peuplements forestiers de la BD Forêt v2 présents dans chaque commune a été calculée en croisant, département par département, la BD Forêt v2 avec la couche des communes.

Certaines communes étant concernées par plusieurs SER, les traitements géomatiques ont été appliqués à chaque combinaison individuelle de commune et de SER.

4.2. Présentation des livrables du volet 1

En 2018, l'IGN a calculé la surface cartographiée des cinq principaux types de peuplements forestiers français :

- majoritairement feuillus,
- majoritairement résineux,
- mixtes,
- peupleraie
- jeunes peuplements et forêts momentanément déboisées.

Pour chacun de ces 5 groupes, la surface forestière a été calculée par EPCI (liste disponible en février 2018), par sylvo-éco-région (SER) et par département. A cette date, la BD Forêt v2 n'était disponible que pour environ 90 % des départements métropolitains. Pour les départements manquants, la BD Forêt v1, qui cartographie les peuplements de plus de 2,25 ha, a été utilisée. Un tableur avec la surface des 5 regroupements de types BD Forêt par EPCI a été livré à l'ADEME en avril 2018.

Avec l'achèvement de la production de la BD Forêt v2 à la fin de l'année 2018, l'IGN a complété et enrichi le tableur élaboré précédemment. La surface forestière des nouveaux départements concernés par la BD Forêt v2 a été calculée. En outre, il a été décidé de fournir le détail des 32 types de peuplements disponibles dans la BD Forêt v2, et de recalculer toutes les surfaces au niveau des 36 000 communes métropolitaines.

Tableur avec la surface des 32 types BD Forêt v2 par commune, EPCI et SER :
« carbone_EPCI_IGN_2019_volet 1_surface.xlsx ».

5. Volet 2 : stocks et flux de bois et carbone

5.1. Données IFN mobilisées dans le volet 2

Pour le second volet de cette étude, les 5 campagnes IFN annuelles 2012 à 2016 ont été mobilisées, soit 28 387 points IFN :

- Les données de stock font référence à l'année moyenne 2014 : surface boisée, volume total sur pied, volume à l'hectare, stock de carbone et stock à l'hectare ;
- Les données de flux font référence à la période 2012-2016 : (production et mortalité en volume et en carbone, totales et à l'hectare).

Les données décrivent les forêts fermées disponibles pour la production de bois, hors peupleraie, dans lesquelles au moins un arbre est présent. Les forêts temporairement déboisées et sans arbre sont exclues.

Les résultats sont décrits pour la combinaison de trois facteurs : régions écologiques, essences et densité du peuplement.

Régions écologiques :

Les résultats sont présentés selon 11 GRECO puis selon 40 groupes de sylvo-éco-régions (SER).

Les groupes de sylvo-éco-régions sont définis en regroupant les SER les moins hétérogènes au sein d'une même GRECO. Lors de la définition des SER en 2010 deux niveaux de regroupement avaient été formulés, les GRECO et les « super-SER ». Le code de chaque SER illustre ces trois niveaux hiérarchiques ; la SER F13 correspond par exemple à la SER n°3 de la supra-SER 1 de la GRECO F.

Certaines supra-SER (comme par exemple la A3) sont trop peu étendues pour fournir des résultats suffisamment précis, ou trop homogènes pour mériter d'y distinguer les essences (exemple de la GRECO J). Des regroupements par GRECO ont été réalisés le cas échéant, pour finalement obtenir 40 groupes de SER.

Essences :

Les données sont décrites en fonction de l'essence principale du peuplement, qui est l'essence de plus fort couvert libre mesuré sur la placette d'observation de 20 ares.

Des groupes d'essences principales ont été constitués pour identifier les types de peuplements les plus représentatifs de chaque GRECO. Ainsi les essences pour lesquelles le nombre de points IFN est suffisant sont distinguées de manière individuelle (exemple les frênaies dans la GRECO C). Les essences qui ne peuvent pas être distinguées sont regroupées avec des essences au comportement proche. Ainsi les sapins et les épicéas ont parfois été regroupés dans un groupe des résineux blancs d'une part, et les pins dans un groupe des résineux rouges d'autre part. Les peuplements feuillus et résineux sont systématiquement distingués car les dynamiques forestières y sont différentes (pour plus de détail voir le rapport de l'étude commandée par l'ADEME en 2018).

La typologie IFN est décrite dans l'onglet « corresp_GRECO_région_admin » du tableur « carbone_EPCI_IGN_2019_volet 2_dendro.xlsx ».

Classe de densité du peuplement :

Les forêts sont des écosystèmes où les caractéristiques dendrométriques (volume, production, etc.) varient en fonction du stade de développement du peuplement et du niveau de capital sur pied ; les diagnostics forestiers doivent en tenir compte.

La surface terrière à l'hectare donne le niveau de capital et informe sur la densité du peuplement. La surface terrière du peuplement est une variable liée à la gestion. Elle évolue de manière positive au début de la vie du peuplement. Puis, selon les régimes sylvicoles, elle peut soit continuer de croître au fil du temps (exemple : futaie équienne de douglas), soit être maintenue constante (ex : gestion irrégulière) ou décroître lors des coupes de régénération (exemple : futaie régulière de chêne).

Les données sont décrites selon 6 classes de surface terrière à l'hectare des peuplements : 0 (absence d'arbre recensable), < 15 m²/ha, entre 15 et 25 m²/ha, entre 25 et 35 m²/ha, entre 35 et 45 m²/ha, > 45 m²/ha.

Le choix de l'amplitude des classes vise à fournir des résultats statistiquement significatifs. Pour les essences qui sont naturellement peu capitalisées (ex : chêne vert) les dernières classes peuvent être regroupées.

Quatre niveaux de regroupements sont systématiquement fournis pour chaque région écologique et essence :

- 6 classes avec une dernière classe > 45 m²/ha ;
- 5 classes avec une dernière classe > 35 m²/ha ;
- 4 classes avec une dernière classe > 25 m²/ha ;
- Total, sans distinction de la surface terrière.

5.2. Présentation des livrables du volet 2

Les résultats concernent, pour toutes les combinaisons de régions écologiques, essences et classes de surface terrière à l'hectare :

- Surface statistique en hectares ;
- Stock de bois sur pied et stock de carbone dans la biomasse aérienne et racinaire, en total et par ha ;
- Production biologique en volume et en carbone, en total et par hectare ;
- Prélèvements de bois en volume et en carbone par GRECO et essence principale ;
- Mortalité en volume et en carbone, en total et par hectare.

Les résultats sont fournis dans un tableur avec un onglet par variable dans chaque type de région écologique : « carbone_EPCI_IGN_2019_volet 2_dendro.xlsx ».

5.3. Exploitation des données

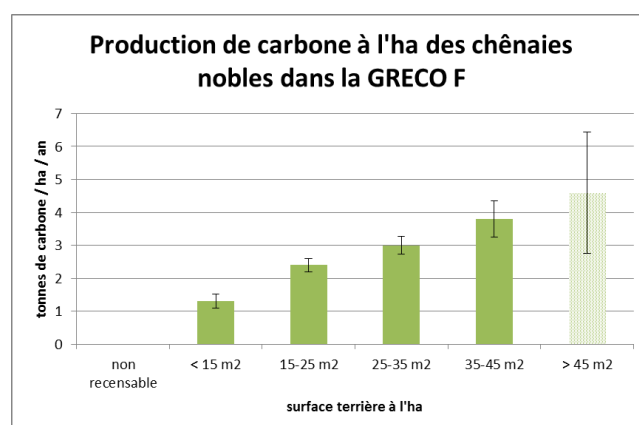
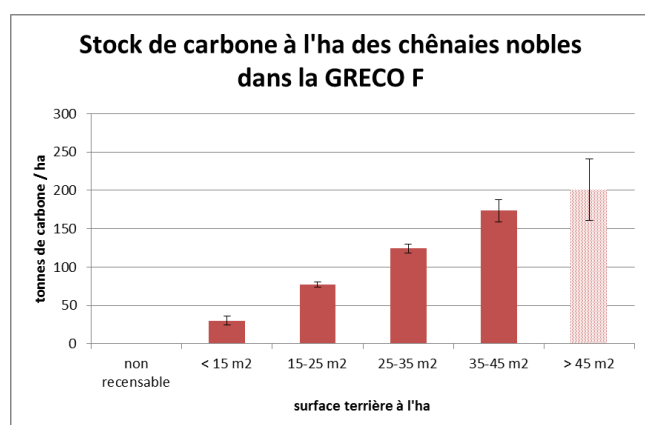
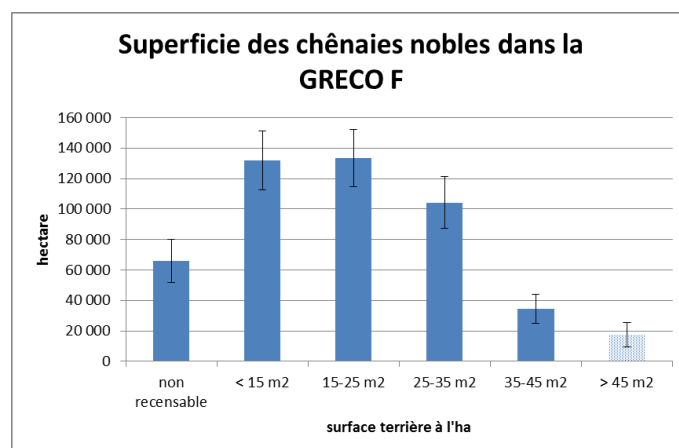
Il est prévu que ces données soient intégrées dans l'outil ALDO de l'ADEME courant 2019. Les données peuvent également alimenter les démarches territoriales sur la forêt, dont Climagri. Elles constituent des données de référence qui peuvent être utilisées par défaut, ou susciter des échanges entre acteurs locaux pour les adapter aux caractéristiques locales.

Toutes les données sont fournies avec leur intervalle de confiance. Les valeurs non significatives sont identifiées par la valeur "ns" en gris et en italique. L'IGN ne garantit pas leur validité. En cas de résultat non significatifs, l'IGN recommande d'utiliser une donnée plus agrégée, comme passer aux GRECO ou aux classes de surface terrière plus larges.

Une estimation des résultats par région administrative est possible via l'onglet « corresp_GRECO_région_admin » du tableur « carbone_EPCI_IGN_2019_volet 2_dendro.xlsx » qui donne la part de la surface des essences entre les régions.

Exemple de lecture des données : cas des chênaies pédonculées et sessiles de la GRECO F (cf. ligne 40 des onglets commençant par « GRECO_ »).

Les chênaies nobles occupent 487 100 ha (+/- 7 %), dont près de 200 000 ha de jeunes peuplements de surface terrière inférieure à 15 m². Elles hébergent un stock de 36,7 millions de tonnes carbone dans la biomasse aérienne et racinaire des arbres, soit un stock moyen de 75 tC/ha. Leur production annuelle est de 1 million de tonne de carbone par an, soit 2,1 tC/ha/an en moyenne.



La donnée de surface terrière à l'hectare illustre l'importance de tenir compte du capital des peuplements forestiers dans les diagnostics sur le carbone forestier. Le choix de la surface terrière à l'hectare s'explique par son utilisation courante de la part des gestionnaires forestiers. Il s'agit en effet d'une variable pertinente pour la gestion et relativement facile à mesurer. Les forestiers impliqués dans les démarches territoriales comme Climagri peuvent estimer la répartition de leurs peuplements entre les différentes classes de surface terrière.

6. Volet 3 : clé de correspondance entre les types de la BD Forêt V2 et les types IFN

6.1. Problématique

Si la BD Forêt v2 et l'IFN identifient tous deux la composition des peuplements, les spécifications sont indépendantes et les rapprochements ne sont pas automatiques.

La typologie de la BD Forêt v2 repose exclusivement sur une analyse photographique et concerne les peuplements dont la superficie est supérieure à 0,5 ha. Le détail des essences est disponible dans les forêts fermées de plus de 2 ha, quand la composition est pure. Dans les peuplements mélangés et mixtes, qui sont très fréquents en France, les photo-interprètes ne peuvent distinguer les essences.

A contrario, la typologie IFN est calculée à partir de la mesure sur le terrain du taux de couvert de chaque essence présente sur une placette concentrique de 0,2 ha pour les peuplements recensables, ou de 0,07 ha pour les peuplements non recensables. L'essence principale est l'essence de plus fort couvert libre sur la placette.

La superficie d'analyse et le mode de détermination des essences étant largement différent, il n'est pas anormal de relever des écarts entre les types BD Forêt v2 et les essences principales IFN. Par exemple si une placette IFN tombe dans une clairière où les frênes dominent au sein d'une hêtraie mature, la BD Forêt v2 pourra classer le peuplement en « hêtre pur » alors que l'IFN indiquera que le frêne est l'essence principale.

Les chapitres 7.2.1 et 7.2.2 détaillent la nature des écarts entre BD Forêt v2 et IFN.


6.2. Méthode et résultats

Afin de qualifier la possibilité de rapprocher les données issues de la BD Forêt v2 (surface forestière) et celles issues de l'IFN (volumes et stocks de carbone), une clé de correspondance des types de peuplements a été établie par GRECO en croisant, à l'aide d'un SIG, la BD forêt v2 et les coordonnées géographiques des points IFN. On a ainsi pu déterminer le type BD Forêt v2 de chaque point IFN. On obtient, pour chaque GRECO, une matrice de correspondance des surfaces entre les deux typologies (voir tableaux ci-dessous), dont l'analyse a permis de fixer des rapprochements à dire d'expert, et de préciser son niveau de confiance.

Le tableau 1 donne l'exemple, pour la GRECO A, de la surface du type BD Forêt v2 « châtaignier pur » qui se répartit pour 80 % dans le type IFN « châtaignier », 10 % dans les types IFN « chênes pédonculés et sessiles », 7 % dans le type IFN « autres feuillus » et 4 % dans le type IFN « pins ».

Tableau 1 : Répartition de la surface forestière des types BD Forêt V2 dans les types IFN

GRECO A					
Types IFN \ Types BD Forêt V2	Autres feuillus	Châtaignier	Chênes pédonculés et sessiles	Epicéa, Sapin, Douglas, Mélèze	Pins
Douglas pur	3 %	1 %	1 %	92 %	3 %
Mélange de conifères	4 %	3 %	7 %	57 %	30 %
Chênes décidus purs	11 %	2 %	86 %	1 %	0 %
Châtaignier pur	7 %	80 %	10 %	0 %	4 %
Mélange de feuillus	31 %	12 %	51 %	3 %	3 %

 Plus de 75 % de correspondance entre les deux types

Les auteurs de l'étude ont considéré comme satisfaisants toutes les situations où le taux de correspondance entre un type BD Forêt v2 et un type IFN est supérieur à 75 %.

A contrario, lorsque la surface correspondante à un type BD Forêt v2 se retrouve pour moins de 75 % dans le même type IFN, les auteurs de l'étude ont considéré que les deux types ne sont pas suffisamment équivalents.

Cette situation concerne tout particulièrement les peuplements mélangés (plusieurs feuillus ou plusieurs résineux) et mixtes (feuillus et résineux en mélanges). Dans ce cas, la part en surface des trois premiers types IFN est donnée. Le cas échéant, la somme des % des types restants est regroupée dans un type ad hoc "Autres peuplements".

Par exemple dans la GRECO A, la surface du type BD Forêt v2 « mélange de conifères » se répartie pour 57 % dans le type IFN « épicéa-sapin-douglas-mélèze », 30 % dans le type IFN « tous pins » et 7 % dans le type IFN « chênaies ». Le reste de la superficie, soit 6 % du total est classé dans un type « autres peuplements ».

Le tableau 2 présente la clé de correspondance entre les types BD Forêt v2 et les types IFN avec la méthodologie énoncée précédemment.

Tableau 2 : Clé de correspondance, dans la GRECO A, entre certains types BD Forêt V2 et types IFN

GRECO A						
Types IFN \ Types BD Forêt V2	Autres feuillus	Châtaignier	Chênes pédonculés et sessiles	Epicéa, Sapin, Douglas, Mélèze	Pins	Autres peuplements
Douglas pur				100 %		
Mélanges de conifères			7 %	57 %	30 %	6 %
Chênes décidus purs			100 %			
Châtaignier pur		100 %				
Mélange de feuillus	31 %	12 %	51 %			6 %

6.3. Présentation des livrables du volet 3

Le tableur Excel « carbone_EPCI_IGN_2019_volet3_cle.xlsx » présente, pour chaque GRECO, la clé de correspondance entre les types de peuplements BD Forêt v2 et les compositions spécifiques mesurées sur le terrain.

7. Utilisation des données et précautions d'usages

7.1. Utilisation conjointe des données surfaciques et des données de stocks et de flux de bois

Les données dendrométriques produites dans le volet 2 sont ventilées par essence principale du peuplement (selon le classement terrain de l'IFN).

A partir de la clé de correspondance entre les surfaces forestières par type BD Forêt v2 et type IFN, il devient possible, dans des démarches réalisées à l'échelle des EPCI, d'imputer les données de stock et de flux à l'hectare sur les surfaces cartographiées par type BD Forêt v2.

Si l'IGN a considéré que la correspondance entre les deux types est satisfaisante, les données dendrométriques par hectare du type IFN peuvent être directement associées aux surfaces cartographiées.

Si l'IGN a considéré que la correspondance entre les deux types n'est pas satisfaisante, le volume à l'hectare du type BD Forêt v2 peut être approché comme la moyenne pondérée des types IFN qui le compose. Par exemple si le type BD Forêt v2 « chênaie pure » d'une GRECO se répartit pour 70 % de la surface dans le type terrain « chênaie » (160 m³/ha), 15 % dans le type terrain « hêtraie » (140 m³/ha), 5 % dans le type terrain « frênaie » (130 m³/ha) et 10 % dans des types terrain « autres feuillus » (115 m³/ha), la moyenne pondérée est de 151 m³/ha.

Connaissant la surface du type BD Forêt v2 « chênes » dans la GRECO et l'EPCI, il est possible d'estimer le volume total des chênaies (type BD Forêt v2) de la GRECO en multipliant la surface par le volume moyen à l'hectare calculé comme ci-dessus.

Il est important à ce stade de retenir que les hypothèses de calcul sont très fortes, et que les chiffres qui en résultent sont clairement des approximations.

Entre autres, la surface cartographiée dans la BD Forêt v2 n'est pas la surface de référence de l'IFN, si bien que les données dendrométriques ne sont pas calculées strictement sur la même emprise géographique. Toutes les précautions d'usages de ces informations sont détaillées dans le chapitre suivant.

Malgré cela, ces informations peuvent aider les acteurs locaux à réaliser leurs diagnostics forestiers, via une utilisation directe dans les diagnostics (après vérification toutefois de leur plausibilité), ou en suscitant des échanges entre les experts du territoire pour qu'ils les adaptent aux caractéristiques locales.

7.2. Précautions d'usages

7.2.1. Ecart entre les surfaces forestières IFN et BD Forêt V2

La comparaison des superficies issues de l'IFN et de la BD Forêt peut présenter des écarts parfois importants, en faveur de la superficie cartographiée.

Cela est lié au fait que les deux sources de données répondent à des cahiers des charges différents (photo-interprétation pour la BD Forêt, inventaire de terrain pour l'IFN) et elles sont indépendantes. Concrètement, la principale raison de l'écart entre les sources de données est que la BD Forêt correspond à une cartographie de la couverture du sol. L'utilisation du sol n'est pas connue, sauf si celle-ci est clairement visible du ciel. Ainsi les parcs et jardins sont cartographiés dans la BD Forêt. A contrario, dans l'enquête IFN, une couverture boisée ayant un usage prédominant agricole ou urbain n'est pas inventoriée.

D'autres facteurs génèrent des écarts entre les deux sources de données :

- La BD Forêt est réalisée par photo-interprétation, elle prend donc en compte comme limite de la forêt la bordure des houppiers. La limite réelle de la forêt levée sur le terrain dans le cadre de l'inventaire peut être différente de quelques mètres (houppier au-dessus d'un pré, houppiers couvrant une route forestière, etc.). Ce phénomène a donc tendance à amplifier la superficie forestière cartographiée. Ceci est d'autant plus vrai que les forêts sont de petite taille avec un périmètre /superficie élevé. Par exemple, si les houppiers d'une forêt rectangulaire de 2 ha (200 m * 100 m) isolée au milieu des prés débordent de 2 m sur le pré, la superficie cartographiée sera supérieure de 1 216 m² (0,6 %) à la superficie inventoriée sur le terrain par l'IFN.
- Dans la BD Forêt chaque peuplement de plus de 0,5 ha est photo-interprété selon un type de peuplements (feuillus, résineux, mixtes). Pour l'IFN le type de peuplement est déterminé en forêt sur la placette de 25 m de rayon (20 ares) à partir du couvert de chaque essence.

- La production de la BD Forêt s'appuie sur des prises de vues aériennes millésimées qui ne correspondent pas forcément aux mêmes années que les relevés de terrain. L'ancienneté de la BD Forêt peut atteindre 10 ans dans certains départements. La superficie statistique IFN est plus correcte que la superficie cartographiée car elle a fait l'objet d'une confirmation de l'état boisé l'année de l'inventaire de terrain. Dans l'IFN la mesure des volumes et des superficies est synchrone.

Enfin, on rappelle que l'IFN fournit des résultats statistiques avec un intervalle de confiance. Si la superficie de la carte forestière est comprise dans cet intervalle, alors les résultats sont à considérer comme étant équivalents.

7.2.2. Types de peuplements forestiers différents entre BD Forêt et IFN

Comme cela a été décrit précédemment, les typologies BD Forêt et IFN ne sont pas définies selon les mêmes critères.

32 types forestiers sont associés aux polygones forestiers de la BD Forêt v2 à partir d'une analyse d'ortho-photos infra-rouges. Les peuplements de chênaies, charmaies, hêtraies, douglasaies... sont identifiés à partir de la forme des houppiers, de la couleur du feuillage, etc. Par exemple, pour un polygone donné, si les chênes représentent plus de 75 % du couvert, alors le type « chênaies pures » est attribué à ce polygone.

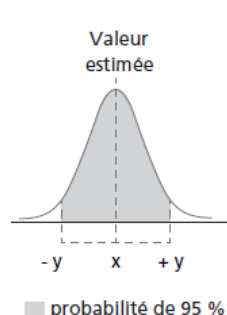
Concernant la typologie IFN, le choix a été fait d'utiliser la donnée « essence principale » relevée sur le terrain. L'essence principale est l'essence de plus fort taux de couvert libre relatif sur le point d'inventaire de 25 mètres de rayon si le peuplement est recensable (sinon 15 mètres de rayon). Ce taux peut-être très élevé (100 % par exemple dans une plantation de douglas) ou relativement faible (20 % par exemple dans un peuplement comportant plusieurs essences en mélange). L'importance absolue de l'essence principale sur une placette peut être très variable, forte s'il y a peu d'essences, faible si elles sont nombreuses. Dans les peupleraies l'essence principale est toujours le peuplier cultivé.

Ainsi, le classement d'un peuplement en chênaies n'est pas construit de la même manière selon que l'on se base sur la typologie IFN ou sur la typologie BD Forêt.

La clé de correspondance a été définie à dire d'experts, pour les besoins spécifiques de cette étude. Elle est optimisée pour une utilisation à l'échelle des GRECO. Cette clé facilite l'usage croisé des données de surfaces (au niveau des EPCI) et des données de volumes et de carbone (au niveau des GRECO). Elle reste toutefois conditionnée à des hypothèses telles que la résolution géographique (des clés par GRECO et par SER seront parfois différentes) et à la manière de définir le type de peuplement sur le terrain. Cette clé de correspondance n'a donc pas de valeur universelle, et sa pertinence locale mérite d'être analysée par les experts du territoire avant chaque utilisation.

7.2.3. Des résultats statistiques assortis d'un intervalle de confiance

Les résultats issus de l'enquête IFN sont des statistiques. Ils sont assortis d'un intervalle de confiance sous la forme : $x \pm y$. Cela signifie que la valeur x estimée est comprise dans l'intervalle $[x - y ; x + y]$ avec une probabilité de 95 %, comme indiqué sur la figure suivante.



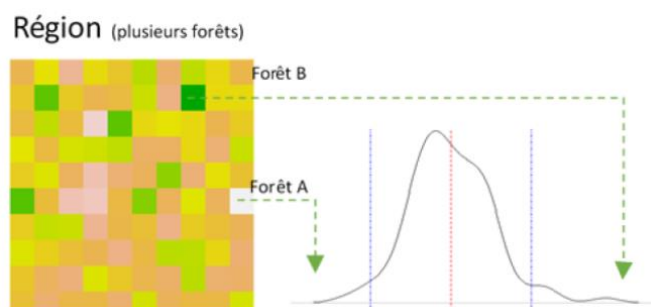
Lorsque le ratio $\frac{y}{x}$ est supérieur à 80 % (ou 30 % si x est la surface) ou que la surface du domaine associé au calcul est elle-même non significative, le résultat est alors jugé non significatif.

Dans le volet 2, les résultats de certaines compositions dans certaines anciennes régions administratives n'étaient pas significatifs (ex : forêts mixtes en Picardie). Les valeurs de bilan de CO₂ à l'hectare ont été corrigées avec la valeur de la même composition dans la GRECO. Seuls les résultats significatifs sont publiés. Les groupes de régions écologiques et d'essences ont été fixés pour donner un maximum de résultats significatifs. Tous les résultats sont publiés mais les chiffres non significatifs sont grisés et l'IGN déconseille absolument leur utilisation.

7.2.4. Les moyennes calculées sur un grand territoire peuvent être localement fausses

Plus généralement, on rappelle que si une moyenne est significative et statistiquement valide au niveau de l'ensemble d'une GRECO, cette moyenne peut masquer des situations locales hétérogènes. Cela est évidemment inhérent à la notion de moyenne. Cette situation est illustrée dans la figure suivante (extrait de Berles Klein et al. 2017) :

Par exemple la moyenne calculée à l'échelle des forêts résineuses de Bretagne combine en réalité des peuplements de pins sur le littoral et dans les landes (productivité faible à moyenne) et les plantations industrielles de douglas et d'épicéa de Sitka dans l'intérieur de la Bretagne (forte productivité). Concrètement cela signifie que l'application à une échelle infra-régionale de valeurs moyennes à l'hectare calculées à l'échelle régionale doit toujours faire l'objet d'une expertise préalable, pour vérifier sa pertinence.



La figure illustre les valeurs d'accroissement sur une échelle de couleurs. La distribution des valeurs d'accroissement est donnée à droite, avec le lien entre la moyenne régionale (barre rouge) et la valeur locale d'une « forêt ». Les barres bleues illustrent l'intervalle de confiance à 95% de la distribution des valeurs.

7.2.5. Le niveau de séquestration in situ régional peut masquer des dynamiques locales très différentes

Le présent chapitre est une illustration du précédent. La variation de stock de carbone d'un territoire indique si la biomasse de son écosystème forestier, entendu ici comme la somme de tous les peuplements présents dans le territoire, s'est comporté comme un puits ou une source au cours de la période 2006-2015.

Dans le cadre conceptuel de la gestion durable, une forêt équilibrée en âge et gérée aurait un taux de prélèvement de 100 %, ce qui équivaut à une séquestration nette nulle en forêt (la biomasse forestière ne représente ni un puits ni une source de carbone, elle est dans un état d'équilibre). Concrètement, cela signifie que la production biologique des peuplements en croissance compense les prélèvements qui surviennent dans les peuplements arrivés à matures. Le suivi à l'échelle d'un territoire donné des flux (production biologique, prélèvements de bois, mortalité naturelle) et de leur bilan (ou leur rapport, i.e. le taux de prélèvement) sont des éléments essentiels d'appréciation de la durabilité de la gestion d'une ressource naturelle. Ces informations participent d'ailleurs aux bouquets d'indicateurs de la gestion durable des forêts et ils font à ce titre l'objet d'un suivi périodique de la part des décideurs aux échelles mondiales (FAO), européennes (Forest Europe) et nationales (PNFB, IGD). Dans ce cadre d'analyse conceptuel, si le taux de prélèvement d'un territoire est supérieur à 100 % sur une longue période (i.e. si le bilan de CO₂ est positif, soit une émission nette) alors la capacité de production forestière est obérée et la gestion n'est pas durable. Inversement le puits de carbone des forêts non exploitées ne peut pas se maintenir indéfiniment non plus; la production nette tend à s'annuler à partir d'un certain âge (la production biologique et la mortalité s'équilibrent), les niveaux de stocks sur pied plafonnent (état de saturation).

La situation théorique d'une forêt à l'équilibre ne se rencontre jamais à l'échelle d'un territoire régional et plus encore d'un pays, car la variabilité des conditions du milieu, la survenue d'aléas naturels comme des tempêtes ou des maladies, et le régime foncier de la forêt, entraînent une grande diversité d'essences (qui ont des productivités différentes) et de niveaux d'exploitation.

Les indicateurs de séquestration carbone et de taux de prélèvement doivent donc être manipulés et interprétés avec précaution car ils ne traduisent pas la productivité intrinsèque des écosystèmes. Leurs valeurs sont en effet conjoncturelles (datées) puisqu'elles sont largement contingentes des contextes forestiers des territoires analysés, et notamment de l'état d'équilibre ou de déséquilibre en âge et en diamètre des peuplements.

Compte tenu de la situation non stationnaire sans précédent de la forêt française (marquée par une expansion forestière séculaire et une évolution de la structure des peuplements conduisant à une capitalisation du stock sur pied), le puits de CO₂ in-situ est actuellement de -3,99 tCO₂/ha/an, et le taux de prélèvement n'est que de 55 %.

À terme le puits de CO₂ conjoncturel de la France s'annulera du fait d'un équilibre entre la production des forêts et les exports (mortalité/prélèvements), notamment induite par le vieillissement des peuplements. Il faut cependant remarquer que les forêts permettront toujours de maintenir des stocks de carbone hors de l'atmosphère (réservoirs de carbone), et de maintenir une production soutenue de bois pour la construction, l'industrie, l'énergie ou encore la chimie verte, permettant de maintenir également un réservoir de carbone ex situ (stocks de carbone dans les produits bois) et de produire des matériaux/énergie renouvelables à faible empreinte de carbone fossile.

8. Perspectives pour affiner les diagnostics forêt-carbone des territoires

L'IGN accompagne les services déconcentrés de l'Etat (DRAAF, DREAL, DDT), les délégations régionales de l'ADEME, les Collectivités territoriales (Régions, PNR, EPCI), les interprofessions et les industries dans la définition et le suivi des politiques et stratégies régionales et territoriales de développement des activités autour de la forêt, du bois matériau, du bois-énergie, du carbone, de la biodiversité et de la gestion durable des territoires.

Au niveau local, l'IGN réalise depuis quelques années des prestations **d'inventaires forestiers particuliers**. Basés sur le protocole de mesure en forêt de l'IFN et reposant sur l'infrastructure de gestion de données mise en place par l'IGN, ces inventaires *ad hoc* permettent aux collectivités qui les commandent d'acquérir des connaissances inédites et spécifiquement adaptées aux forêts et aux enjeux de leurs territoires. Cela leur permet d'asseoir leurs stratégies de développement local.

Ce type d'inventaire concerne des territoires allant de quelques milliers à environ 100 000 ha boisé (exemples : inventaire des forêts de la communauté de communes du Fumélois-Montflanquinois en 2015, du PNR des Boucles de la Seine en Normandie en 2016, des massifs résineux de Bretagne en 2016).

Les inventaires particuliers sont entièrement paramétrables selon les contextes forestiers locaux et les enjeux de connaissance définis par les acteurs des territoires. Le nombre de points à inventorier (toujours supérieur à celui de l'IFN, pour permettre d'améliorer la précision statistique au niveau du territoire d'étude) et leur localisation géographique est défini spécifiquement pour répondre à la demande du commanditaire. La densification de l'information levée sur le terrain permet de réduire les intervalles de confiance des variables estimées (surface, volume, ventilées par classes de diamètres, par essence,...) par rapport à ce que permettent les données de l'inventaire forestier national, et donc d'asseoir des diagnostics territoriaux fiables.

L'échantillonnage statistique de ces inventaires est défini spécifiquement pour produire une information valide à l'échelle du territoire concerné. La pression d'échantillonnage varie en fonction de l'intérêt que portent les acteurs du territoire sur les types de peuplement (par exemple si un EPCI souhaite mieux connaître ses forêts de pins, le nombre de points d'inventaire qui sera installé dans ce type de peuplements sera proportionnellement plus élevé que ce qu'il aurait dû être en moyenne). Les données collectées sur le terrain dans le cadre de la réalisation de cet inventaire peuvent comporter, outre des informations dendrométriques, des informations sur l'écologie des stations (végétation, sol, etc.) et sur les habitats forestiers.

Ce type d'inventaire fournit une information précise sur le stock actuel de bois (par essences, par catégories de dimension, par qualités des bois...), sa dynamique récente (accroissement, mortalité, prélèvement), le stock de carbone et l'effet atténuation via la séquestration de carbone dans les forêts.

Ces informations permettent une planification des activités forêt-bois, avec notamment une composante économique comme l'évaluation de l'opportunité de développer une nouvelle usine ou de densifier le réseau des pistes forestières. Ces données peuvent alimenter des outils de simulation des flux de carbone forestiers en fonction de différents scénarios de développement économique. Toutes ces informations peuvent également alimenter des observatoires territoriaux des écosystèmes forestiers.

L'exemple de l'inventaire particulier réalisé en 2016 sur le territoire du PNR des Boucles de la Seine Normande (partenariat IGN-FNCOFOR pour un Plan d'Approvisionnement Territorial) est décrit dans la revue L'IF n°44 de l'IGN : https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/181004_lif_pnr-2.pdf

Bibliographie

ADEME, MEEM, 2016. Plan Climat-Air-Energie Territorial (PCAET), comprendre, construire et mettre en œuvre. Document édité par l'ADEME dans la série « Clés pour agir ». 87 pages.

ADEME, IGN, 2018. Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des EPCI concernés par un PCAET, volet dendrométrique. 20 pages.

ADEME, IGN, 2019. Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des EPCI concernés par un PCAET, volet surfacique. 15 pages.

Colin A. 2014. Emissions et absorptions de gaz à effet de serre liées au secteur forestier dans le contexte d'un accroissement possible de la récolte aux horizons 2020 et 2030. Contribution de l'IGN aux projections du puits de CO₂ dans la biomasse des forêts gérées de France métropolitaine en 2020 et 2030, selon différents scénarios d'offre de bois. Rapport final, mars 2014. Convention MEDDE.DGEC / IGN n°2200682886 (IGN n°10998). 58 p.

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.

Dupouey J.-L. 2002. Estimation de la densité du bois pour les espèces ligneuses de la flore de France à partir d'une synthèse bibliographique. Rapport d'étude. Novembre 2002. 11 pages.

Hervé J.-C., Wurpillot S., Vidal C., Roman-Amat B. 2014. L'inventaire des ressources forestières en France : un nouveau regard sur des nouvelles forêts. Rev. For. Fr. LXVI - 3-2014 - © AgroParisTech, 2014. pp. 247-260

IGN, 2016. La forêt en chiffres et en cartes (memento 2016). 17 p.

Loustau D. editor 2010. Forests, carbon cycle and climate change. Ouvrage collectif issu du projet CARBOFOR, Editions 615 QUAE, Versailles, collection Update Sciences and Technologies. ISBN: 9782759203840. 348 p.

Peyron J.-L., Hervé J.-C. 2013. Comment évaluer le niveau d'exploitation des ressources forestières françaises ? Revue Forestière Française LXIV – 5-2012 – pp. 599-611.

Roux A., Dhôte J.-F. (Coordinateurs), Achat D., Bastick C., Colin A., Bailly A., Bastien J.-C., Berthelot A., Bréda N., Caurila 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 pour le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, INRA et IGN, 101 p. + 230 p. (annexes).

Vallet P. et al. 2006. Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. Forest Ecology and Management vol. 229, no1-3, pp. 98-110.



INDEX DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Figures

Figure 1: Placettes d'observation de l'inventaire forestier national	9
Figure 2 : Limites de GRECO à l'échelle France entière	13

Tableaux

Tableau 1 : Répartition de la surface forestière des types BD Forêt V2 dans les types IFN	21
Tableau 2 : Clé de correspondance, dans la GRECO A, entre certains types BD Forêt V2 et types IFN	22

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
BD	Base de Données
CNIS	Conseil national de l'information statistique
EPCI	Établissements Publics de Coopération Intercommunale
GES	Gaz à Effet de Serre
GRECO	Grande Région Ecologique
IFN	Inventaire Forestier National
IGN	Institut National de l'Information Géographique et Forestière
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
PCAET	Plan Climat Air-Energie Territorial
SER	Sylvo-écorégion



Annexe 1 : date de référence des BD Forêt V2 départementales

Département	année de la photo-aérienne	Département	année de la photo-aérienne
01	2005	46	2012
02	2013	47	2009
03	2008	48	2012
04	2009	49	2009
05	2009	50	2010
06	2004	51	2004
07	2007	52	2006
08	2005	53	2006
09	2011	54	2009
10	2005	55	2011
11	2015	56	2004
12	2008	57	2009
13	2008	58	2007
14	2009	59	2009
15	2010	60	2010
16	2014	61	2010
17	2014	62	2009
18	2005	63	2009
19	2012	64	2008
2A	2011	65	2006
2B	2011	66	2015
21	2011	67	2007
22	2011	68	2007
23	2014	69	2008
24	2012	70	2011
25	2010	71	2014
26	2006	72	2005
27	2009	73	2006
28	2012	74	2008
29	2005	75	2014
30	2015	76	2012
31	2013	77	2014
32	2011	78	2014
33	2009	79	2007
34	2015	80	2011
35	2010	81	2006
36	2004	82	2013
37	2011	83	2008
38	2009	84	2005
39	2010	85	2006
40	2009	86	2007
41	2011	87	2010
42	2006	88	2010
43	2010	89	2007
44	2009	90	2013
45	2010	91	2014
		92	2014
		93	2014
		94	2014
		95	2011



Annexe 2 : stock et flux de carbone forestier par GRECO et composition

Composition	GRECO	SURFACE (ha)	VOLUME (m3)	STOCK_CARBONE (tC)	PRODUCTION (m3/an)	PRELEVEMENT (m3/an)	MORTALITE (m3/an)	TX_PRELEV	BILAN_M3 (m3/an)	BILAN_CARB (tC/an)	BILAN_CO2_HA (tCO2/ha/an)
Conifère	Alpes	571 713	112 329 590	39 001 058	2 525 367	880 040	575 601	45%	1 069 725	371 183	-2,4
	Centre Nord semi-océanique	259 086	56 857 188	20 045 407	2 661 664	1 504 288	119 524	59%	1 037 852	377 907	-5,3
	Corse	47 592	14 510 738	6 090 709	285 445	69 568	20 359	26%	195 519	78 489	-6,0
	Grand Est semi-continental	108 122	30 348 395	9 323 672	1 451 898	1 142 202	64 355	82%	245 341	73 527	-2,5
	Grand Ouest cristallin et océanique	110 452	25 803 129	8 772 202	1 326 871	862 388	84 868	69%	379 615	130 346	-4,3
	Jura	95 265	36 330 743	10 862 126	1 394 278	1 072 863	68 720	81%	252 695	57 960	-2,2
	Massif central	742 059	220 002 899	69 770 601	9 225 372	6 052 392	880 887	73%	2 292 093	690 397	-3,4
	Méditerranée	260 281	20 695 465	9 012 147	699 011	78 462	73 718	13%	546 832	231 486	-3,3
	Pyrénées	129 827	28 588 126	9 969 665	742 441	99 489	96 078	15%	546 874	183 086	-5,2
	Sud-Ouest océanique	689 794	81 159 149	31 159 627	5 389 486	6 055 342	535 654	125%	- 1 201 511	- 391 581	2,1
	Vosges	202 049	72 567 431	22 150 019	2 760 236	1 626 718	125 706	62%	1 007 812	287 778	-5,2
	France	3 216 241	699 638 852	236 157 233	28 462 068	19 443 752	2 645 470	75%	6 372 846	2 090 577	-2,4
Feuille	Alpes	353 140	48 507 690	26 404 964	1 198 283	99 294	264 594	11%	834 395	435 601	-4,5
	Centre Nord semi-océanique	2 358 864	431 216 819	223 964 865	13 617 286	6 146 211	1 220 869	50%	6 250 206	3 167 562	-4,9
	Corse	280 108	26 161 663	22 488 660	570 556	42 340	139 674	10%	388 542	323 230	-4,2
	Grand Est semi-continental	1 845 553	331 292 861	174 344 504	10 240 471	5 228 928	667 439	55%	4 344 104	2 207 104	-4,4
	Grand Ouest cristallin et océanique	456 104	69 966 859	37 528 867	2 539 278	742 938	312 082	33%	1 484 258	774 916	-6,2
	Jura	256 401	45 914 440	23 623 808	1 347 747	431 318	133 846	36%	782 584	386 905	-5,5
	Massif central	1 621 002	257 711 222	139 526 074	7 722 404	2 192 671	1 240 544	34%	4 289 190	2 216 301	-5,0
	Méditerranée	816 120	43 250 989	30 773 169	1 271 228	202 141	282 668	20%	786 419	546 093	-2,5
	Pyrénées	478 099	77 335 672	43 818 089	1 955 567	242 119	391 921	15%	1 321 527	682 874	-5,2
	Sud-Ouest océanique	1 336 034	176 943 161	97 526 831	5 970 006	1 951 650	1 061 060	40%	2 957 296	1 603 389	-4,4
	Vosges	242 346	53 251 906	26 401 430	1 751 603	1 084 648	83 621	65%	583 334	255 763	-3,9
	France	10 043 772	1 561 553 281	846 401 260	48 184 431	18 364 258	5 798 317	43%	24 021 855	12 599 738	-4,6
Mixte	Alpes	295 184	58 164 837	23 120 143	1 502 538	512 426	275 013	42%	715 100	297 926	-3,7
	Centre Nord semi-océanique	152 956	29 000 795	12 112 763	1 108 494	467 660	136 408	48%	504 426	205 564	-4,9
	Corse	33 613	6 880 648	3 787 414	136 464	1 594	25 288	1%	109 582	53 134	-5,8
	Grand Est semi-continental	147 045	35 441 085	13 968 271	1 287 908	494 245	84 553	41%	709 110	273 037	-6,8
	Grand Ouest cristallin et océanique	67 052	13 450 382	5 583 398	586 946	90 227	53 072	17%	443 648	172 729	-9,4
	Jura	148 951	43 367 823	15 714 046	1 508 781	677 196	90 293	48%	741 293	263 413	-6,5
	Massif central	381 570	78 971 530	31 755 488	3 037 347	908 746	353 115	34%	1 775 486	675 478	-6,5
	Méditerranée	212 875	13 624 209	7 659 752	387 838	104 763	61 137	32%	221 937	118 669	-2,0
	Pyrénées	54 566	10 771 438	4 671 567	316 780	119 891	55 489	46%	141 400	58 925	-4,0
	Sud-Ouest océanique	151 848	19 876 346	8 933 511	741 036	424 613	222 811	82%	93 612	63 707	-1,5
	Vosges	126 390	38 314 358	14 383 319	1 349 295	787 301	77 242	62%	484 752	174 473	-5,1
	France	1 772 051	347 863 450	141 689 670	11 963 428	4 588 661	1 434 421	44%	5 940 346	2 357 056	-4,9



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous un regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

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



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous un regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

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



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des territoires (PCAET)

Le décret n°2016-849 du 28/06/2016 PCAET introduit l'obligation de la prise en compte de la séquestration de carbone dans le Plans Climat-Air-Energie Territoriaux (PCAET). Dans le cadre de sa mission d'accompagnement des EPCI dans l'élaboration de leurs PCAET, l'ADEME a commandé en 2018 à l'IGN la production de données de référence sur les stocks et les flux de séquestration de carbone forestier.

A partir des résultats de l'enquête d'inventaire forestier national (IFN), l'IGN a produit des **données** sur les **volumes de bois** et les **flux de carbone** des principaux types de peuplements forestiers à l'échelle :

- des régions administratives, des Grandes Régions Écologiques (GRECO)
- des Sylvoécorégions (SER)

Au niveau des EPCI, l'IGN produit la **cartographie des types de peuplements forestiers** (BD Forêt v2 disponible sur tout le territoire métropolitain depuis la fin de l'année 2018). Les **surfaces** des différents types de peuplements forestiers cartographiées dans chaque commune ont été calculées

Afin de faciliter le rapprochement entre les données de surface et les valeurs moyennes sur les stocks et flux de carbone, une **clé de correspondance entre les types de peuplements cartographiés** (BD Forêt v2) **et les types de peuplements observés** sur le terrain (IFN) a été produite à dire d'experts.

Essentiel à retenir ou exergue ou discours marketing

Ce rapport présente les données source, les méthodes de calculs, les différentes données livrées en 2018 et 2019, les précautions entourant leurs usages et les perspectives pour améliorer la précision des diagnostics forestiers à l'échelle locale.

Pour faciliter la lecture de ces données à l'échelle des EPCI et les combiner avec des données concernant le carbone des sols, l'ADEME a développé l'outil ALDO. Les données présentées dans ce document ont été intégrées ou sont en cours d'intégration dans l'outil « ALDO ».



www.ademe.fr

