



Rapport **OMINEA** | UTCATF

Ed. 2025

Organisation et méthodes des
inventaires nationaux des émissions
atmosphériques en France

Rapport **OMINEA** | UTCATF Ed. 2025

Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France

Avril 2025

Rédaction	
Contributeurs	Mélanie JUILLARD, Quentin BEDRUNE, Etienne DELORT, Etienne MATHIAS

Coordination, Vérification et Approbation finale		
Coordination et Vérification	Mélanie JUILLARD, Responsable de l'unité UTCATF	03/03/2025
Approbation finale	Etienne MATHIAS, Responsable de département AFOLU	04/03/2025

Pour citer ce document :

Citepa, 2025. Rapport OMINEA | UTCATF – 22ème édition

© Citepa 2025

Ce Rapport a été réalisé avec la participation financière du Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche (MTBFMT).

Cette édition annule et remplace toutes les éditions antérieures relatives au même format d'inventaire.

Rapport n°2590omi/ 2025 | OMINEA_Edition2025.docm

Ce rapport national d'inventaire est disponible sur le site Internet du Citepa, à la page suivante :

<https://www.citepa.org/methodologie-de-linventaire-omine/>

@ Citepa

42, rue de Paradis – 75010 PARIS – Tel. 01 44 83 68 83 – Fax 01 40 22 04 83

www.citepa.org | contact@citepa.org



Sommaire

Table des illustrations.....	3
Table des tableaux.....	4
Préambule	7
Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) Introduction	8
Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) Général	9
Terres Forestières (Forestland)	49
Terres Cultivées (Cropland)	86
Prairies (Grassland)	98
Zones humides (Wetlands)	108
Zones artificialisées ou établissements (settlements).....	115
Autres terres (Other land)	122
Produits ligneux récoltés (harvested wood products)	127
Barrage de Petit-Saut (Guyane)	134
Crédit des illustrations	136

Table des illustrations

Figure 1: Principe général du suivi des terres et du modèle de calcul carbone associé (modèle de variation de stock à la maille).....	17
Figure 2 : Aperçu de la grille (mailles de 50m*50m soit 0.25ha).	18
Figure 3: Schéma récapitulatif du protocole de création d'une série temporelle d'utilisation des terres (module général)	21
Figure 4 : Part des produits utilisés pour déterminer l'usage de référence des centroïdes après intersection et application de la hiérarchie des produits.....	22
Figure 5 : Identification des zones avec un fort taux d'artificialisation à partir du modèle de suivi des terres par maille	26
Figure 6 : Représentation des 3 strates d'échantillonnage pour le suivi des terres en Guyane française	28
Figure 7 : Présentation schématisée des différents compartiments carbone considérés pour le calcul.....	34
Figure 8 : Stocks de carbone (tC/ha) en biomasse vivante aérienne de type forêt pour les principaux types de peuplements par sylvoécocorégion (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594]).....	37
Figure 9 : Résultats méthode Citepa haies, flux moyens pour la période inventaire (1990-2022).....	40
Figure 10: Stocks bois mort (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécocorégion (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594]).....	41
Figure 11 : Stocks litière (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécocorégion (Source : stocks par essence Renecofor [1275] et surfaces par type d'essence IGN campagne 2018-2022 [594]).....	42
Figure 12 : Cartographie des zones pédologiques (basée sur la texture des sols) complétée [719]	44
Figure 13 : Cartographie des zones climatiques [722]	44
Figure 14 : Cartographie des zones pédoclimatiques	45
Figure 15 : Schéma récapitulatif des flux et stocks de carbone pour la forêt.....	52
Figure 16 : Carte des interrégions IGN	55
Figure 17 : Evolution des trois composantes principales du puits forestiers : accroissement, mortalité et prélèvements en forêt totale (métropole) (Source : voir détail parties précédentes)	60

Figure 18 : Représentation schématique de la méthode (dite « modèle ») d'estimation des émissions liées aux récoltes de bois).....	68
Figure 19 : Conversion de volumes de bois commercialisés en carbone	69
Figure 20 : Représentation de l'ajustement sur la base des données de prélèvement direct issues de l'IFN (en ktC aérien et racinaire)	70
Figure 21 : Explications recalage Récoltes Citepa sur les prélèvements IGN	70
Figure 22 : Représentation de l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête	72
Figure 23 : Méthodologie utilisée pour la reconstitution des surfaces incendiées en forêt depuis 1990.	74
Figure 24 : Synthèse des compartiments carbone estimés dans le calcul feux de forêt	76
Figure 25 : Exemple de conversion d'un maquis en forêt et flux de carbone estimés par le modèle de variation de stock à la maille pour l'ensemble des compartiments.....	80
Figure 26 : Exemple d'évolution du stock de référence liés aux pratiques culturales pour les cultures de blé tendre	94
Figure 27 : Evolution du stock de référence liés aux pratiques culturales pour les prairies	104
Figure 28 : Vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode	133
Figure 29 : Emissions de CH ₄ et de CO ₂ dues au barrage de Petit-Saut en Guyane	135

Table des tableaux

Tableau 1 : Détails relatifs au suivi des terres (land representation)	12
Tableau 2: Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour le CO ₂ (France métropolitaine).....	12
Tableau 3 : Lien entre le niveau de détail du modèle et les exigences de tier	13
Tableau 4 : Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour l'Outre-Mer (inclus dans l'UE).....	14
Tableau 5 : Catégories du secteur UTCATF estimées (O = Oui / N = Non) dans l'inventaire français	14
Tableau 6 : Sources d'information utilisées pour le suivi des terres en fonction du territoire	16
Tableau 7 : Caractéristiques des différents produits cartographiques utilisés pour le modèle multisource	18
Tableau 8 : Nomenclature détaillée utilisée dans l'inventaire UTCATF de la France	19
Tableau 9 : Exemple de matrice de transition pour la création de rotation agricoles.	25
Tableau 10 : Illustration du protocole d'estimation des surfaces à partir des surfaces de l'année 2007	27
Tableau 11 : Représentativité d'un point d'enquête dans chaque strate [673]	29
Tableau 12 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha)	30
Tableau 13 : Matrice 2008-2012 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha)	30
Tableau 14 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guadeloupe (ha)	30
Tableau 15 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Martinique (ha).....	30
Tableau 16 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation pour La Réunion (ha)	30
Tableau 17 : Matrice 1989-2009 produite en combinant plusieurs sources d'information pour Mayotte (ha)	31
Tableau 18 : Matrice 1989-2009 produite sur la base de données ESA CCI-LC pour Saint Martin (ha)	31
Tableau 19 : Catégories d'utilisation des terres pour la Nouvelle-Calédonie	32
Tableau 20 : Catégories d'utilisation des terres pour Wallis et Futuna	32
Tableau 21 : Catégories d'utilisation des terres pour la Polynésie française.....	32
Tableau 22 : Informations sur les changements d'usage des terres pour les territoires d'Outre-Mer hors UE.....	32
Tableau 23 : Compartiments carbone pris en compte	33
Tableau 24 : Illustration de la routine de calcul du modèle de variation de stock par maille.	35
Tableau 25 : Rappel des types de biomasse pris en compte pour le calcul.....	35
Tableau 26: Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne (peuplements forestiers)	36
Tableau 27 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante racinaire (peuplements forestiers)	36
Tableau 28 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne hors forêt (Outre-Mer).....	37
Tableau 29 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type forêt (métropole)	38
Tableau 30 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type cultures pérennes (métropole) ...	38
Tableau 31 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante herbacée (type cultures annuelles et type herbe) (métropole)	39
Tableau 32 : Stocks de carbone (tC/ha) dans le bois mort des terres forestières	41

Tableau 33 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment bois mort (métropole).....	41
Tableau 34: Stocks de carbone dans les couches hologaniques (réseau de mesure Renecofor)	42
Tableau 35 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la litière des terres forestières	43
Tableau 36 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment litière (métropole)	43
Tableau 37 : Flux appliqués aux différentes catégories d'usage dans le modèle de variation par maille	45
Tableau 38 - Stocks de carbone de référence pour les sols par région ou zone pédoclimatique	46
Tableau 39 : Facteurs d'ajustement liés à l'utilisation des terres par type d'usage et zone climatique (Giec 2019)	46
Tableau 40: Facteurs d'ajustement liés au régime de gestion et aux apports par zone climatique (Giec 2019)	47
Tableau 41 : Paramètres de calcul pour les sols organiques (histosols) drainés.	48
Tableau 42 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Forestières	51
Tableau 43 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole).....	53
Tableau 44 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)	53
Tableau 45 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)	54
Tableau 46 : Campagnes de l'inventaire forestier national fournies par l'IGN utilisées dans l'inventaire UTCATF (métropole)	56
Tableau 47 : Mortalité annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN (exemple pour l'année 2007)	58
Tableau 48 : Paramètres et bilan pour la biomasse forestière totale en métropole (ktC/an)	58
Tableau 49 : Récoltes de bois matériau et bois énergie en Métropole depuis 1990 fournies par le SSP [200] et le bilan de l'énergie [1]	66
Tableau 50 : Facteurs d'expansion utilisés pour les prélèvements de bois matériau.....	68
Tableau 51 : Infradensité utilisées pour les principales essences [598]	69
Tableau 52 : Données forestières pour les départements d'Outre-mer	71
Tableau 53 : Surfaces incendiées en France depuis 1990	74
Tableau 54: Stocks par compartiment et type de surface brûlée utilisés pour le calcul des émissions liées aux feux de forêts	75
Tableau 55 : Facteurs de combustion par compartiment carbone en fonction des surfaces incendiées	76
Tableau 56 : Stocks de bois mort issus utilisés pour le calcul des flux en forêt restant forêt – transmission spécifique de l'IGN à partir de la méthodologie IGD 4.5 [1350].....	78
Tableau 57 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Cultivées	87
Tableau 58 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille	89
Tableau 59 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille.....	90
Tableau 60 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille.....	90
Tableau 61 : Part du régime de gestion (%R _{Gi,x}) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485]	92
Tableau 62 : Protocole d'allocation entre les catégories GIEC	93
Tableau 63 : Part du régime d'apport (%A _{i,x}) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485]	93
Tableau 64: Extrait de la nomenclature pour la catégorie Prairies.....	99
Tableau 65 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille.....	100
Tableau 66 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille	101
Tableau 67 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille	101
Tableau 68 : Protocole d'allocation entre les catégories GIEC	103
Tableau 69 : Part du régime de gestion et d'apport issu des pratiques culturales pour les prairies [485]	103
Tableau 70 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Zones humides	109
Tableau 71 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille	110
Tableau 72 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille	111
Tableau 73 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille.....	111

Tableau 74 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Etablissements	116
Tableau 75 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole).....	117
Tableau 76 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille	118
Tableau 77 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille	118
Tableau 78 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Autres Terres	123
Tableau 79 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole).....	123
Tableau 80 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille	124
Tableau 81 : Principales sources de données pour les Produits Ligneux Récoltés	129
Tableau 82 : Durées de demi-vie des produits bois.....	130
Tableau 83 : Production de produits bois issus des prélèvements intérieurs	130
Tableau 84 : Fin de vie des produits bois issus des prélèvements intérieurs	131

Préambule

Le rapport OMINEA comprend une description détaillée, par secteur émetteur, des méthodologies utilisées pour estimer les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques (approche utilisée, données sources, hypothèses, facteurs d'émissions, etc.).

Le présent document s'attache à décrire les méthodologies utilisées pour estimer les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques du secteur Autres sources naturelles.

En parallèle, les méthodologies détaillées des autres secteurs sont disponibles sur le site internet du Citepa. Les volumes sont structurés commeme suit :

- OMINEA. Parties générales
- OMINEA. Énergie. Éléments généraux
- OMINEA. Industrie de l'énergie
- OMINEA. Industrie manufacturière
- OMINEA. Transports
- OMINEA. Autres secteurs
- OMINEA. Non spécifiés
- OMINEA. Émissions fugitives des combustibles
- OMINEA. Produits minéraux
- OMINEA. Chimie
- OMINEA. Métallurgie
- OMINEA. Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants
- OMINEA. Industrie électronique
- OMINEA. Consommation d'halocarbures et SF6
- OMINEA. Autres usages et fabrication de produits
- OMINEA. Autres procédés
- OMINEA. Agriculture
- OMINEA. Déchets
- OMINEA. Autres
- OMINEA. Références & Annexes

Toutes les références et annexes citées dans le présent document font références au document OMINEA. Références & Annexes évoqué ci-dessus. **Il est conseillé de télécharger ce document en parallèle dans le cadre d'une consultation du présent guide méthodologique.**



Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) | Introduction

Cette section concerne les activités relatives à l'utilisation des terres, aux changements d'affectation des terres et à la foresterie. Elle concerne les variations de stock de carbone liées à ces changements d'usage ou aux changements de pratiques de gestion de ces terres, ainsi que les autres flux de gaz à effet de serre associés. Elle inclut l'estimation des émissions et absorptions des forêts, se traduisant par le puits de carbone forestier.

Une première partie décrit le mode de suivi des changements d'affectation des terres à haute résolution cartographique (maille de 0,25 ha) et le calculateur de variation de stock à la maille associé.

Puis, au sein d'une section par type d'usage des terres (forêts, cultures, prairies, zones humides, zones artificielles et autres terres), sont décrites les spécificités des calculs d'émissions et absorptions de chaque catégorie. Enfin, les méthodes relatives aux estimations de puits dans les produits bois, et les émissions liées au barrage de Petit-Saut en Guyane sont détaillées.

Rédaction : **Mélanie JUILLARD, Quentin BEDRUNE, Etienne DELORT, Etienne MATHIAS**

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
16/01/2022	MJ	04/03/2025	EM

Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) | Général

Cette section concerne les émissions et absorptions liées à l'utilisation des terres, aux changements d'affectation des terres et à la forêt. Dans les lignes directrices 2006 du GIEC, ce secteur est inclus dans une grande catégorie nommée AFOLU (Agriculture, forêt et autres utilisations des terres) mais la Convention Climat a préféré scinder le rapportage en deux secteurs pour des raisons historiques et de comptabilité différenciée. Les inventaires d'émission rapportent donc toujours deux secteurs distincts : le secteur UTCATF et le secteur Agriculture. Les méthodes spécifiques liées à chaque type de terre sont présentées dans des parties séparées.

Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	4
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.11.04 à 11.12.15, 11.31.01 à 11.31.16, 11.03.01 et 11.03.02
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

Niveau de méthode :

Variable selon les sous-catégories, voir plus bas (paragraphe Définition du secteur)

Références utilisées :

- [1] MEDDTL / CGDD / SoeS et anciennement Observatoire de l'Énergie – Les bilans de l'Énergie (données non corrigées du climat). Communication annuelle
- [197] MAP/SCEES – Publications Agreste. « L'utilisation du territoire ».
- [202] IGN/IFN – Données spéciales d'après l'inventaire terrain
- [204] GICC 2001 – Gestion des impacts du changement climatique, rapport CARBOFOR, juin 2004
- [206] Compte rendu de l'Académie d'Agriculture de France – Vol. 85, n°6, 1999

- [327] IFN- Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol en Guyane par télédétection satellitaire – Rapport final, janvier 2008
- [328] ONF/CIRAD/CNRS- Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour la forêt guyanaise –Rapport final, juin 2006
- [382] IFN – Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol en Guyane par télédétection satellitaire – Premiers résultats transmis le 16/11/2009
- [383] IFN – Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 1 – Guadeloupe – Rapport final août 2009
- [384] IFN – Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 2 – Martinique – Rapport final août 2009
- [385] IFN – Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 3 – Réunion – Rapport final août 2009
- [386] ONF – Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour les forêts de la Guadeloupe, de la Martinique et de la Réunion – Rapport final novembre 2008
- [410] SSP – AGRESTE. Données téléchargeables sur : <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>.
- [424] INRA INFOSOL – Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009
- [493] IFN/FCBA/SOLAGRO – Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020, Novembre 2009
- [594] IGN - <http://inventaire-forestier.ign.fr/>
- [610] INSEE (www.insee.fr)
- [672] GIEC 2006 – Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.
- [673] IGN – ONF Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol entre 1990 et 2012, Novembre 2014.
- [719] INRA, Unité Infosol, Base de données géographique des sols de France, 1999.
- [721] Robert C. 2016, Comprendre les changements d'utilisation des terres en France pour mieux estimer leurs impacts sur les émissions de gaz à effet de serre. De l'observation à la modélisation. Thèse de doctorat en Géographie, Université Paris-Diderot, ADEME-CITEPA-LADYSS, 530p.
- [722] JRC, Cartes des zones climatiques, d'après le GIEC.
- [789] Agreste, L'essentiel du recensement agricole 2010 – Mayotte.
- [790] Schéma directeur de l'aménagement agricole et rural de Mayotte, 2009.
- [791] FAO, Evaluation des ressources forestières mondiales 2010 – Mayotte.
- [923] Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC
- [976] ONFi Luc Durrieu de Madron Évaluation de la biomasse à St Pierre et Miquelon en Nouvelle Calédonie, à Wallis et Futuna Paris, 14 mai 2009].
- [977] Bélanger et al. 2008. Rapport de mission sur l'état des bois de l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon.
- [978] Marianne Rubio (ONF), Inventaire national des GES du secteur UTCF pour les territoires d'outre-mer – Polynésie française. Mai 2009]

- [979] Cartes relatives à l'occupation du sol à Wallis et Futuna, Service territorial des affaires rurales et de la pêche (STARP), 2008, <http://orioai.univ-nc.nc/search-gred/notice/view/univ-nc.nc-ori-15466>
- [988] Sampère, J. 2017. Mise en place d'un protocole d'estimation des changements d'occupation des sols sur le territoire de France métropolitaine. Mémoire de Master 2 Environnement : Dynamiques des territoires et des sociétés, sous la direction de M. Cohen et C. Robert. 94p.
- [993] Canaveira, P., Manso, S., Pellis, G., Perugini, L., De Angelis, P., Neves, R., Papale, D., Paulino, J., Pereira, T., Pina, A., Pita, G., Santos, E., Scarascia-Mugnozza, G., Domingos, T., and Chiti, T. (2018). Biomass Data on Cropland and Grassland in the Mediterranean Region. Final Report for Action A4 of Project MediNet.
- [994] Roux, A., Dhôte, J. F., Achat, D., Bastick, C., Colin, A., Bailly, A., & 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, 101.
- [996] Pignard, G. et J. L. Dupouey (2000). "Carbon stocks estimates for french forests." Biology Agronomy Society and Environment 4(4): 285-289
- [997] PUIG H., J.P. DELOBELLE (1988). Production de litière, nécromasse, apports minéraux au sol par la litière en forêt guyanaise, Revue écologie (Terre Vie). 43 : 3-22 p.
- [998] Meersmans, Manuel Martin, Lacarce, De Baets, Jolivet, et al.. A high resolution map of French soil organic carbon. Agronomy for Sustainable Development, bdSpringer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2012, 32 (4), pp.841-851.
- [1024] Agreste (2015), L'utilisation du territoire en 2014 – Teruti-Lucas ; Chiffres & Données 229.
- [1025] Ballet B. (2018). Rénovation de l'enquête Teruti. 13e Journées de méthodologie statistique de l'Insee (JMS). 12-14 juin 2018.
- [1026] Amorich S., Mary A.n, Michel P., Mirouse B. L'enquête Teruti-Lucas. Présentation, 2012.
- [1054] ESA CCI-LC Climate Change Initiative land cover version 2.0.7
- [1201] Vancutsem, C., Achard, F., Pekel, J. F., Vieilledent, G., Carboni, S., Simonetti, D., ... & Nasi, R. (2021). Long-term (1990–2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. Science Advances, 7(10), eabe1603.
- [1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use
- [1275] M. Jonard, I. Caignet, Q. Ponette, M. Nicolas. Evolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine – Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR. Rapport final. Juillet 2013

Caractéristiques de la catégorie (uniquement pour le NID) :

Plan du chapitre

Ce document méthodologique présente une section commune détaillée sur la représentation des terres, les réservoirs de carbone et les méthodes communes à l'ensemble des terres. Les méthodes spécifiques aux types de terres sont présentées dans les autres parties à la suite.

UTCATF - Général

Définition du secteur

Vue d'ensemble de la méthodologie

Méthode pour le suivi des surfaces d'utilisation des terres

Méthodes d'estimation des réservoirs de carbone

Forêts (4A)

Terres cultivées (4B),
Prairies (4C),
Terres humides (4D),
Zones urbanisées (4E),
Autres terres (4F),
Produits ligneux récoltés (4G),
Autres (4H).

Définition du secteur

L'UTCATF traite toutes les questions relatives au carbone, depuis la biomasse vivante jusqu'à la matière organique des sols, et quelques sources d'émissions associées (émissions du brûlage sur site non agricole, etc.). Ce secteur intègre aussi une catégorie à part : les produits ligneux récoltés (produits bois), pour lesquels des flux de carbone et donc de CO₂ sont rapportés.

De son côté, le secteur Agriculture conserve les émissions des sols liées à la fertilisation et à l'élevage ainsi que les émissions de particules liées au travail du sol. Avec l'application des lignes directrices du GIEC 2006, le secteur agricole intègre aussi les émissions de CO₂ liées à la décarbonatation des amendements agricoles autrefois rapportés en UTCATF.

Ces deux secteurs excluent les émissions liées à l'utilisation énergétique aussi bien en sylviculture et en agriculture, ces dernières étant prises en compte dans la catégorie CRT 1A4c du secteur Energie.

Le secteur UTCATF a la particularité de pouvoir constituer des puits de carbone, et de compenser ainsi une partie des émissions de CO₂. Il se distingue également des autres secteurs de l'inventaire par le fait qu'il n'est pas centré sur des processus d'émission¹ mais sur des unités géographiques telles que les forêts, les cultures, les prairies, les zones humides, etc. Cette approche géographique permet de considérer de nombreux paramètres comme l'occupation, l'utilisation, l'historique des terres ou encore le climat dans le calcul des émissions et absorptions.

Les substances visées sont les gaz à effet de serre direct (CO₂, CH₄, N₂O) et les polluants ayant un effet indirect (NO_x, CO en particulier) car cette section est essentiellement concernée par l'impact de ces activités sur les changements climatiques. Toutefois, les émissions de COVNM biotiques sont également considérées.

Tableau 1 : Détails relatifs au suivi des terres (land representation)

Suivi des terres (land representation)		
Zone	France métropolitaine	Outre-mer inclus dans l'UE
Approche	Approche 3 - spatialement explicite	Approche 3 (sauf Mayotte)
Unité minimale de suivi	0,25 ha	voir description par territoire
Surface minimale de définition de la forêt	0,5 ha	0,5 ha
% du territoire géré	100%	100%

Tableau 2: Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour le CO₂ (France métropolitaine)

Catégorie de terres	Biomasse vivante			Bois mort			Litière			Sols			
	spat.	temp.	source	spat.	temp.	source	spat.	temp.	source	Sols minéraux			sols organiques
										spat.	temp.	source	
Forest Land remaining	O	N	CS	O	N	CS	N	N	CS	O	N	CS	NO
Forest Land	+ Flux additionnels			+ Flux additionnels									
Land converted to Forest Land	O	N	CS	O	N	CS	N	N	CS	O	N	CS	NO
	+ Flux additionnels												
	N	N	CS	N*	N	H*	N	N	H*	O	O	CS	T2

¹ Il est à noter que ce mode de comptabilisation date du guide des bonnes pratiques UTCATF 2003, il existait un autre mode de comptabilisation auparavant qui s'appuyait sur des processus (gestion forestière, conversion des terres, abandon de terres cultivées, etc.).

Catégorie de terres	Biomasse vivante			Bois mort			Litière			Sols			
	spat.	temp.	source	spat.	temp.	source	spat.	temp.	source	Sols minéraux			sols organiques
										spat.	temp.	source	
Cropland remaining Cropland	+ Flux additionnels												
Land converted to Cropland	N	N	CS	N	N	H	N	N	H	O	O	CS	NO
Grassland remaining Grassland	N	N	CS	N*	N	H*	N	N	H*	O	O	CS	T2
	+ Flux additionnels												
Land converted to Grassland	N	N	CS	N	N	H	N	N	H	O	O	CS	NO
Wetlands remaining Wetlands	N	N	H	N	N	H	N	N	H	N	N	CS	T2
Land converted to Wetlands	N	N	H	N	N	H	N	N	H	N	N	CS	NO
Settlements remaining Settlements	N	N	H*	N	N	H*	N	N	H*	N	N	CS	NO
Land converted to Settlements	N	N	H*	N	N	H*	N	N	H*	N	N	CS	NO
Other Land remaining Other Land	NA			NA			NA			NA			
Land converted to Other Land	N	N	H	N	N	H	N	N	H	N	N	H	NO

- ☐ Estimé via le modèle de variation de stock à la maille
 Détail calibration modèle :
 spat. Stock de référence spatialisé (par région, par sylvoécocorégion...) ? O : Oui, N : Non
 temp. Stock de référence avec variation temporelle ? O : Oui, N : Non
 source CS : Country specific, H : considéré nul par hypothèse
 *certaines sous-catégories sont assimilées à "Forêt mixte", se référer à la ligne forêt
☐ Flux additionnel : récoltes, accroissement IFN, tempêtes...

Ci-après un exemple de lecture du tableau relatif à la méthode appliquée en France métropolitaine : dans la catégorie Forêt restant Forêt (Forest Land remaining Forest Land), les émissions et absorptions liées au réservoir Bois mort sont estimées via le modèle de variation de stock par maille. Le stock de référence varie spatialement, mais il ne varie pas dans le temps. La source d'estimation des stocks provient d'une donnée nationale. Des flux additionnels sont calculés et s'ajoutent aux résultats du modèle de variation de stock à la maille.

Les cellules en bleu dans le tableau ci-dessus sont toutes estimées via un modèle de variation de stock par maille, ce qui les rend a priori compatibles avec des méthodes de niveau 3 (tier 3). Selon l'interprétation des méthodologies des lignes directrices du Giec 2006 [672], une traduction en termes de niveau de méthode (tiers) est présentée dans le tableau ci-dessous, en fonction du type de stock de référence utilisé. Un stock spatialisé n'influence a priori pas le niveau de tier, mais c'est l'évolution de ce stock au sein d'une sous-catégorie au cours du temps qui est déterminant. Des subtilités d'interprétation existent, c'est pourquoi le descriptif du premier tableau a été retenu.

Tableau 3 : Lien entre le niveau de détail du modèle et les exigences de tier

Caractéristiques du stock de référence du modèle :	Compatible avec un tier...		
	T1	T2	T3
spat = N	✓	✓	
spat = O	✓	✓	✓
temp = N	✓		
temp = O	✓	✓	✓
source = CS	✓	✓	✓

Caractéristiques du stock de référence du modèle :
source = H

Compatible avec un tier...		
T1	T2	T3
✓	✓	

Pour les territoires d’Outre-Mer inclus dans l’UE, les niveaux de méthodes appliqués sont décrits ci-dessous.

Tableau 4: Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour l’Outre-Mer (inclus dans l’UE)

Niveaux méthodologiques (tiers)					
Catégorie de terres	Biomasse vivante	Bois mort	Litière	Sols	
				Sols minéraux	Sols organiques
Forest land remaining forest land	T2	NA	NA	NA	NO
Land converted to forest land	T2	T2	T2	T2	NO
Cropland remaining cropland	NA	NA	NA	NA	T2
Land converted to cropland	T2	T2	T2	T2	NO
Grassland remaining grassland	NA	NA	NA	NA	T2
Land converted to grassland	T2	T2	T2	T2	NO
Wetlands remaining wetlands	NA	NA	NA	NA	NO
Land converted to wetlands	T2	T2	T2	T2	NO
Settlements remaining settlements	NA	NA	NA	NA	NO
Land converted to settlements	T2	T2	T2	T2	NO
Other land remaining other land	NA	NA	NA	NA	NA
Land converted to other land	T2	T2	T2	T2	NO

NA : not applicable, or tier 1 equilibrium, T2 : tier 2, NO : not occurring

Tableau 5 : Catégories du secteur UTCATF estimées (O = Oui / N = Non) dans l’inventaire français

	Forêt	Cultures	Prairies	Zones humides	Artificiel	Autres terres	Produits ligneux récoltés	Autres
	4A	4B	4C	4D	4E	4F	4G	4H
(I) Variation des stocks de différents réservoirs de carbone	O	O	O	O	O	N		
(II) Emissions directes de N ₂ O liées à la fertilisation	N	O*	O*	N	N	N		
(III) Emissions de CH ₄ et N ₂ O liées au drainage ou à la remise en eau	N	O	O	N	N	N		
(IV) Emissions de N ₂ O liées à la minéralisation des sols	O	O**	O**	N	O	N		
(V) Emissions indirectes de N ₂ O	O	O**	O**	N	N	N		
(VI) Emissions de CO ₂ , CH ₄ et N ₂ O liées au brûlage sur site	O	O**	O**	O	O	N		
Produits ligneux récoltés							O	
Autres								O

O* : Emissions intégralement rapportées dans le secteur agriculture

O** : Emissions partiellement rapportées dans le secteur agriculture

Méthode générale d’estimation des émissions (uniquement pour le NID)

Vue d’ensemble de la méthodologie

La méthode utilisée pour estimer les émissions et absorptions de GES du secteur UTCATF se base sur les lignes directrices du Giec (2006, 2019). Les méthodes de calculs et les données utilisées sont différentes entre la France métropolitaine, les

territoires d’Outre-mer inclus dans l’UE et les autres territoires d’Outre-mer, mais les principes méthodologiques de base restent les mêmes. On peut résumer la méthode de calcul de ce secteur en quatre grands volets : l’estimation des surfaces d’utilisation des terres et de changement d’utilisation des terres ; l’estimation des flux de carbone liés aux changements d’utilisation des terres ; l’estimation des flux de carbone sur les terres sans changement d’utilisation, liés à la gestion de la biomasse et des sols ; et les autres flux, y compris les flux des autres GES que le CO₂.

Pour la France métropolitaine, le suivi des surfaces d’utilisation des terres est réalisé selon une approche spatialement explicite (dite approche 3). Un modèle multi source, basé sur un maillage régulier du territoire (grille de 50m sur 50m) vient intégrer des données cartographiques d’occupation des sols et d’utilisation des terres pour reconstituer une série temporelle cohérente d’évolution annuelle de l’utilisation des terres. Un modèle d’estimation de la variation des stocks de carbone par maille et par année permet d’estimer les gains et pertes de carbone pour chaque compartiment, reflétant les effets des changements d’utilisation ou les changements de gestion. Des données sur la variation de la biomasse forestière, issues d’observations fines du terrain par l’IGN, sont intégrées afin d’estimer, en forêt, la croissance, mortalité et les récoltes. Ces estimations sont complétées par l’estimation d’autres sources (feux de forêt, produits ligneux récoltés, drainage des sols organiques, etc.)

Pour les territoires d’Outre-mer inclus dans l’UE, le suivi des surfaces d’utilisation des terres est réalisé selon une approche statistique (dite approche 2). Les flux de carbone liés aux changements d’utilisation des terres sont estimés par variation de stock. Pour les terres sans changement, une hypothèse de neutralité est généralement appliquée (sauf, par exemple, pour les flux liés à l’exploitation forestière en Guyane).

Pour les territoires d’Outre-mer hors UE, le suivi des surfaces d’utilisation des terres est réalisé selon une approche statistique (dite approche 2) ou bien une approche par défaut sans estimation des changements (approche 1). Sur ces territoires, les estimations se limitent généralement aux flux liés aux changements d’usages des terres et aux feux de forêt.

Méthode pour le suivi des surfaces d’utilisation des terres

Suivi des terres : généralités

Territoire géré et non géré

Dans le cadre du secteur UTCATF, actuellement, tout le territoire est considéré géré (managed land), en France métropolitaine et en outre-mer inclus dans l’UE. Cette considération répond à la définition du Giec : « les terres gérées sont les terres subissant interventions et pratiques humaines à des fins productives, écologiques ou sociales » (Giec 2006, vol 4 ; 3.2). Certaines zones sont peu habitées, elles demeurent gérées à des fins écologiques notamment, sous les régimes des parcs nationaux (exemple : Parc Amazonien de Guyane ; Parc National de la Vanoise...). A noter cependant qu’une partie des autres territoires d’Outre-mer (hors UE), en particulier au sein des Terres Australes et Antarctiques Françaises, est considérée non-gérée.

Approche pour la représentation des terres

Pour la France métropolitaine, la France applique une approche 3, spatialement explicite, pour la représentation des terres et le suivi des surfaces d’utilisation des terres et de changement d’utilisation des terres, telle que définie par le Giec (2006, vol.4, chap.2). Plusieurs données cartographiques sont mobilisées au sein d’un modèle d’intégration, sur la base d’un maillage régulier du territoire.

Pour l’Outre-mer, l’approche dépend des territoires. Pour les territoires d’outre-mer inclus dans l’UE une approche 3, spatialement explicite (avec une résolution moindre qu’en métropole), est aussi utilisée avec des points d’échantillonnages permanents sauf pour Mayotte pour laquelle ces données n’existent pas et qui correspond plutôt à une approche 2. Pour les territoires d’outre-mer hors UE, une approche 1 est appliquée.

Critères de transparence, exactitude, exhaustivité, comparabilité, cohérence (TACCC)

L’approche multi-source et spatialement explicite respecte les principes de transparence, exactitude, exhaustivité, comparabilité, cohérence définis par la CCNUCC :

- Transparence : la méthodologie est décrite dans ce document (voir Annexe pour une description détaillée). Les données géographiques sont consultables lors d’une revue, et un outil de visualisation cartographique permet de

repérer l'historique de l'usage de chaque maille du modèle. Par ailleurs, l'intégralité des matrices 1 an et 20 ans utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans le fichier LULUCF_background.xlsx

- Exactitude : cette approche vise à s'approcher le plus possible de la réalité, en se basant sur des cartographies les plus pertinentes et précises possibles, et détectant des changements d'usage avérés, en évitant la détection d'artefacts.
- Exhaustivité : l'ensemble du territoire métropolitain est couvert par la méthodologie, et toutes les catégories d'usage des terres sont considérées.
- Comparabilité : Les résultats finaux sont disponibles avec un détail fin par compartiment carbone, région, catégorie d'usage, permettant une comparabilité avec d'autres estimations. Les résultats intermédiaires cartographiques facilitent encore plus cette comparabilité.
- Cohérence :
 - cohérence spatiale : l'approche utilisée est cohérente sur l'ensemble du territoire métropolitain. En revanche, faute de jeux de données homogènes pour les territoires d'Outre-mer, ces derniers sont estimés avec des approches et données sources différentes, mais en respectant les mêmes principes.
 - cohérence temporelle : une attention particulière est portée à la cohérence temporelle des résultats, malgré des données sources ne couvrant pas la totalité de la période de calcul.

Unité minimale de suivi

Pour la métropole, l'approche spatialement explicite pour le suivi des terres permet un suivi dans le temps d'une unité minimale de 0,25ha, correspondant à la surface d'une maille de la grille utilisée. Les calculs des flux de carbone sont effectués, en partie à l'échelle de la maille, en partie à échelle régionale (22 anciennes régions administratives).

Pour l'Outre-mer, le suivi des surfaces d'utilisation des terres et le calcul des flux de carbone se fait à l'échelle de chaque territoire (6 territoires d'Outre-Mer inclus dans l'UE et 7 territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE).

Vue d'ensemble

Tableau 6 : Sources d'information utilisées pour le suivi des terres en fonction du territoire

Périmètre	Territoire	Superficie (ha)	Approche	Données source
Métropole	France métropolitaine	54 920 010	3	Combinaisons de plusieurs données cartographiques (voir ci-après).
Outre-mer inclus dans l'UE	Guyane	8 553 400	3	ONF-IGN [327, 382, 673]
	Guadeloupe	162 800	3	ONF-IGN [383]
	Martinique	112 800	3	ONF-IGN [384]
	Réunion	250 400	3	ONF-IGN [385]
	Mayotte	37 400	2	RGA [389], SDGAGE [390], FRA [391]
	Saint-Martin	5 320	3	ESA CCI-LC [1054]
Autres territoires d'Outre-mer	St Barthélemy	2 400	3	ONF-IGN [383]
	Saint-Pierre-et-Miquelon	24 200	1	ONFi [976] et [977]
	Wallis et Futuna	12 420	1	STARP [979] et ONFi [976]
	Polynésie française	416 700	1	ONFi [976]
	Nouvelle-Calédonie	1 857 550	1	ONFi [976]
	TAAF* (dont Terre-Adélie)	43 967 200	1	Hypothèses
	Île de Clipperton	1 700	1	Hypothèses

*TAAF : Terres australes et antarctiques françaises.

Suivi des terres en France métropolitaine

Pour la France métropolitaine une approche spatialement explicite est appliquée. Plusieurs données cartographiques sont mobilisées et intégrées dans un modèle et une grille régulière pour reconstituer l'historique de l'utilisation des terres, pour chaque année, et chaque maille. Un résumé de la méthode est présenté ci-dessous.

Principe général

Le schéma ci-dessous présente les grandes étapes du modèle.

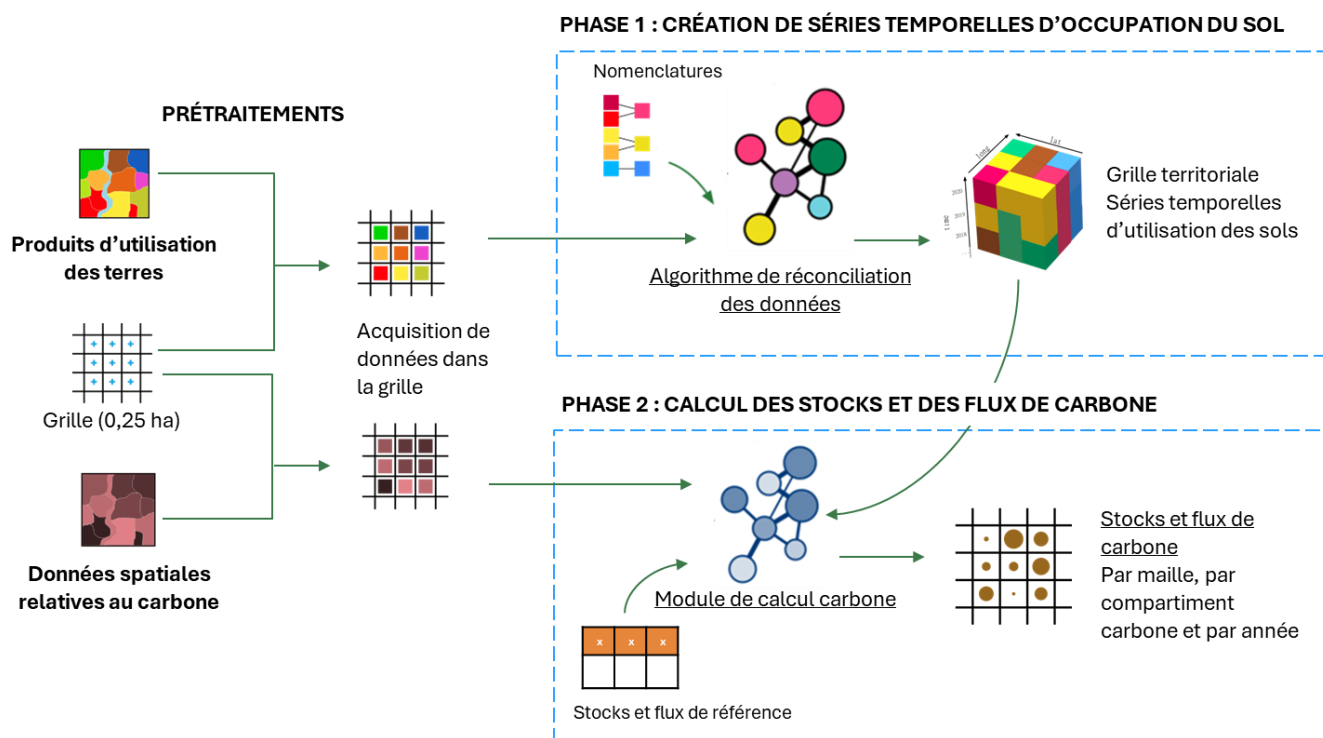


Figure 1: Principe général du suivi des terres et du modèle de calcul carbone associé (modèle de variation de stock à la maille)

Une grille régulière, couvrant tout le territoire, a été créée. Elle est composée de mailles de 50m de côté. Les données cartographiques sur l'utilisation des terres et les changements d'utilisation des terres ont été intersectées avec les centroïdes de ces mailles. Les classes d'utilisation des terres issues des nomenclatures d'origine de chaque donnée sont mis en correspondance avec une nomenclature de catégories d'utilisation des terres adaptée aux besoins de l'inventaire. Un algorithme sélectionne, parmi les données sources disponibles pour chaque centroïde, les données les plus fiables pour fixer la catégorie d'utilisation des terres d'une année récente, et les éventuels changements d'utilisation sur différentes périodes, en conservant la cohérence temporelle. Cette première estimation des changements d'utilisation, basée sur les produits renseignant spécifiquement des polygones de changements, sous-estime certaines dynamiques. Des modules supplémentaires du modèle viennent compléter ces surfaces de changements, à l'aide de données spécifiques, pour trois dynamiques : les boisements et déboisements, l'artificialisation, et les rotations culturales des terres agricoles. Enfin, ces estimations de surfaces annuelles sont extrapolées et complétées pour produire des matrices d'utilisation des terres complètes, cohérentes et répondant aux besoins de rapportage.

Grille

Une grille régulière a été créée sous SIG pour couvrir le territoire de la France métropolitaine dans son ensemble (Corse et autres îles incluses). Cette grille a été construite sur la base de [la grille européenne de référence de l'EEA](#). A partir de ce référentiel de mailles de 1 km × 1 km, un maillage densifié de 50 m × 50 m a été construit, en décalant horizontalement et verticalement la grille de 25 m pour que les centroïdes des mailles de 50 m coïncident avec les intersections des mailles EEA.

La grille est constituée de mailles régulières carrées de 50 m de côté, soit d'une surface de 0,25 ha chacune. Cette surface a été choisie pour deux raisons principales. La première est qu'elle est compatible avec le seuil de surface minimale de définition officielle de la forêt en France (0,5 ha). La seconde est qu'elle correspond généralement à l'échelle spatiale des grands ensembles d'utilisation du sol (aires urbaines et lotissements, parcelles agricoles, surfaces boisées), et est raisonnable compte tenu de la résolution spatiale des produits cartographiques disponibles et des contraintes de calcul.

Le point central de chaque maille, ou « centroïde », sert de base à l'ensemble des opérations d'intersection entre les données cartographique et la grille. Dans les cas où une maille se trouve à cheval entre plusieurs polygones d'utilisation des terres pour une donnée source, cela permet de ne récupérer qu'une seule information par maille, et de privilégier la représentativité statistique des centroïdes plutôt que de favoriser les surfaces majoritaires au sein de chaque maille. Toutes les catégories, mêmes celles représentées par des petits polygones, ont la même chance d'être retenues.

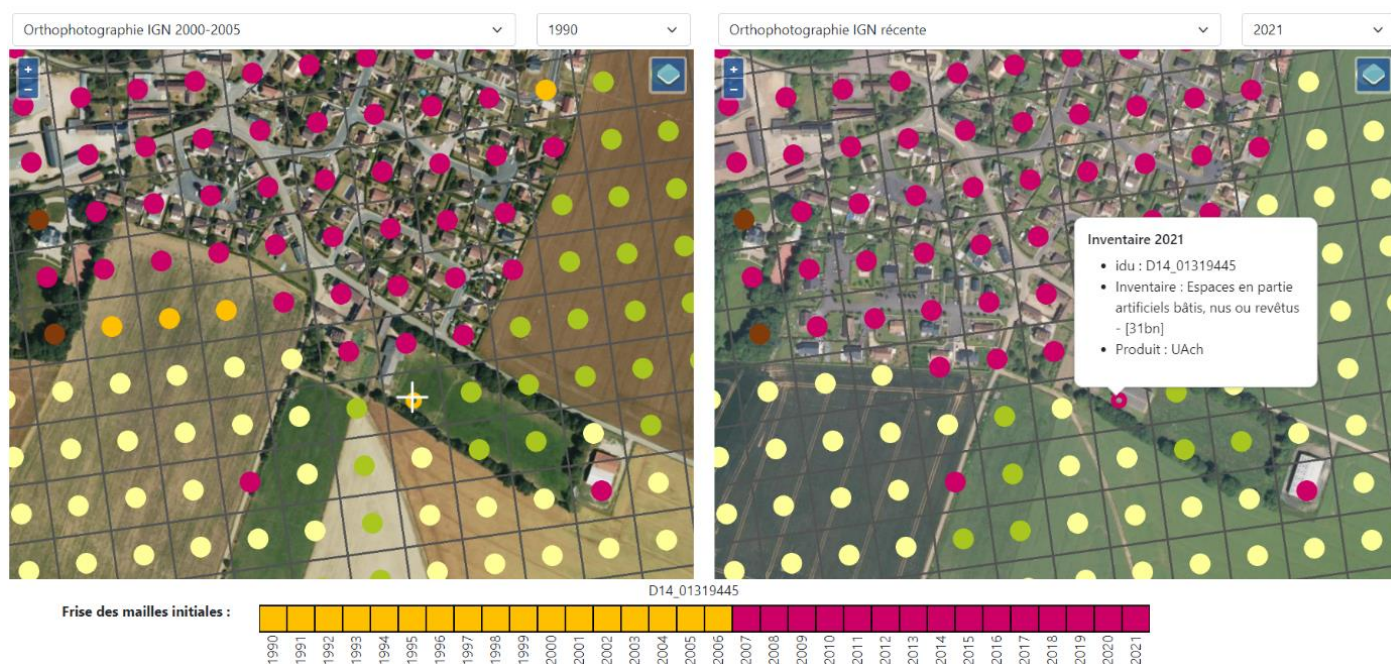


Figure 2 : Aperçu de la grille (mailles de 50m*50m soit 0.25ha).

Chaque maille est identifiable grâce à un identifiant unique et conserve l'information de la catégorie d'usage du sol pour chaque année (voir frise chronologique sous la figure ci-dessus), ainsi que le produit qui a été retenu pour en définir l'usage.

Données et prétraitement

Les données cartographiques suivantes ont été sélectionnées pour être intégrées au modèle de reconstitution de l'historique de l'utilisation des terres et des changements d'utilisation des terres. Ces données ont été sélectionnées parmi un ensemble de données disponibles avec les critères suivants :

- les données doivent être de type vectorielles (type « wall-to-wall ») ou raster (les données statistiques comme LUCAS ou TerUti ont donc été écartées);
- les données peuvent couvrir toutes les catégories d'usage ou non ;
- les données doivent couvrir tout le territoire afin d'avoir une approche comparable entre régions (les données régionales ont été écartées) ;
- les données couvrant plusieurs années et détectant de manière pertinente les changements d'usage sont privilégiés (les données produites avec une approche plus automatisée comme par exemple les High Resolution Layers ou OSO sont, pour le moment, écartées).

Tableau 7 : Caractéristiques des différents produits cartographiques utilisés pour le modèle multisource

Nom	Producteur	Millésimes	Site Web
Urban Atlas (changements) (UAch)	EEA/Copernicus	2012-2018, 2006-2012 *	https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/
Urban Atlas (UA)		2018, 2012	
Corine Land Cover (CLCch) (changements)		2012-2018, 2006-2012, 2000-2006, 1990-2000	
Natura 2000 (changements) (N2Kch)		2012-2018, 2006-2012 *	
Natura 2000 (N2K)		2018, 2012	
Base de données forêt (BDF)	IGN	*	https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdforet

Nom	Producteur	Millésimes	Site Web
Registre parcellaire graphique (RPG)		2010 à 2022	https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/rpg
BDcarto		2018	https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdcarto
BDtopo (couche bâti et transport)		2021	https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdtopo
BDtopage	IGN-OFB	2022	https://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/82752235-2ddf-4b62-a82f-6ea276671f18

Ces données cartographiques ont été intersectées avec les centroïdes de ces mailles, avec leur classe initiale, dans leur système.

Catégories/nomenclature

Les classes d'utilisation des terres issues des nomenclatures d'origine de chaque donnée sont mises en correspondance avec une nomenclature commune de catégories d'utilisation des terres adaptée aux besoins de l'inventaire. Une nomenclature détaillée en plusieurs niveaux a ainsi été construite de manière à faciliter les calculs des flux de carbone en tirant parti de la précision disponible dans les données sources, et à être compatible avec les catégories finales définies par les lignes directrices du Giec (2006). A noter que ces données ont pour la plupart une approche « occupation du sol » ou une approche mixte « occupation du sol - usage du sol ».

Tableau 8 : Nomenclature détaillée utilisée dans l'inventaire UTCATF de la France

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul		Correspondance catégorie Giec
1	Agricole	10	Agricole à définir	100	Agricole indéfini	Terres cultivées
		11	Cultures annuelles, légumes et fleurs	110	Cultures annuelles, légumes et fleurs indéfinies	
				11bh	Blé tendre d'hiver	
				11bp	Blé tendre de printemps	
				11dh	Blé dur d'hiver	
				11dp	Blé dur de printemps	
				11cz	Colza	
				11ah	Avoine d'hiver	
				11ap	Avoine de printemps	
				11lf	Légumes ou fleurs	
				11be	Betterave industrielle	
				11cf	Choux, racines et tubercules fourragers	
				11ci	Autres cultures industrielles	
				11ls	Légumes secs	
				11mf	Maïs fourrage	
				11mg	Maïs grain	
				11oh	Orge d'hiver	
				11op	Orge de printemps	
				11xc	Autres céréales	
				11pf	Plantes à fibres	
				11pg	Pois protéagineux	
				11pm	Pomme de terre	
				11sh	Seigle d'hiver	
				11so	Sorgho	
				11sp	Seigle de printemps	
				11th	Triticale d'hiver	
				11to	Tournesol	

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul		Correspondance catégorie Giec
1				11tp	Triticale de printemps	
				11xf	Autres fourrages annuels	
				11xo	Autres oléagineux	
				11xp	Autres protéagineux	
		12	Cultures permanentes	120	Cultures permanentes indéfinies	
				12vi	Vignes	
				12ol	Oliveraies	
				12cq	Fruits à coque	
				12af	Autres arbres fruitiers	
				12cp	Autres cultures permanentes	
		13	Prairies temporales et jachères	130	Prairies temporaires et jachères indéfinies	
				13pa	Prairies artificielles	
				13pt	Prairies temporaires	
				13jh	Jachères	
		14	Prairies permanentes	14pp	Prairies permanentes	Prairies
2	Végétation naturelle et semi-naturelle	20	Végétation naturelle et semi-naturelle à définir	200	Végétation naturelle et semi-naturelle indéfinie	Terres forestières
		21	Forêt	210	Forêt indéfinie	
				21ff	Forêt feuillus	
				21fc	Forêt conifères	
				21fm	Forêt mixte	
				21fp	Peupleraies	
				21mg	Mangroves	
		22	Végétation naturelle hors forêt	220	Végétation naturelle hors forêt indéfinie	Prairies
				22bq	Bosquet	
				22la	Landes, clairières, broussailles	
				22mq	Maquis, garrigues	
3	Artificiel	30	Artificiel à définir	300	Artificiel indéfini	Zones artificialisées
		31	Artificiel principalement bâti/revêtu	310	Artificiel principalement bâti/revêtu indéfini	
				31ba	Espaces entièrement artificiels (bâti, nus ou revêtus)	
				31bn	Espaces en partie artificiels bâtis, nus ou revêtus -	
		32	Artificiel principalement végétalisé	320	Artificiel principalement végétalisé indéfini	
				32vh	Espaces végétalisés artificiels - herbe et buissonnant	
4	Autres	40	Autres à définir	400	Autres indéfini	Autres terres
				410	Zones humides et en eau indéfinies	Terres humides
		41	Zones humides et en eau	41ea	Zone en eau naturelle (mer, océan, lac, rivière...)	
				41in	Zone inondée (artificiellement) - bassins, aquaculture, étang de pisciculture, zones de stockage de l'eau	
				41tb	Tourbières	
				41ms	Marais salants	
				41zh	Autres zones humides (roselières...)	
		42	Sols nus, et minéraux	420	Sols nus, minéraux indéfinis	Autres terres
				42sn	Sols nus, sables, rochers	
				42gl	Glaciers et neiges	

Modèle d'intégration – module général

Concept

Le **module général** se base sur les données cartographiques (UA, N2K, CLC, RPG, BD Forêt, BD Carto...) et visent à identifier, pour chaque centroïde (centre d'une maille), l'usage de référence ; qui sera soit statique (même usage retenu pour toute la série temporelle) soit dynamique (si l'usage de référence provient d'un produit de changement, les changements sont appliqués). En cas de multiples changements détectés par plusieurs produits de changements ; des tests de cohérence temporelle sont appliqués. Cette première estimation des changements d'utilisation, basée sur les produits renseignant spécifiquement des polygones de changements, sous-estime certaines dynamiques.

Le concept général du protocole est d'intégrer, au sein d'un maillage des données hétérogènes d'utilisation des terres. L'objectif est de reconstituer de manière cohérente une série temporelle de l'évolution des terres, tout en évitant au maximum de présenter des faux changements, ou faux positifs, et en essayant autant que possible de limiter les faux négatifs, c'est-à-dire les conversions manquées. Cela est possible grâce à l'utilisation de produits cartographiques de changements. Les produits cartographiques de changements communiquent directement une information spatialisée sur un changement pour une période donnée (un polygone, avec un usage de départ et un usage d'arrivée). Leur utilisation limite le risque d'intégrer de faux changements.

Le module général vise à identifier pour chaque centroïde un usage de référence à partir de l'ensemble des données disponibles pour ce point. L'usage de référence est alors soit étendu à toute la période temporelle (centroïde statique, cas n°2 de la figure ci-dessous) soit modifié par des signaux indiqués par les produits de changement (cas n°1). Si de multiples changements sont détectés, des tests de cohérence temporelle sont appliqués.

Etapas du modèle général appliquées à chaque centroïde

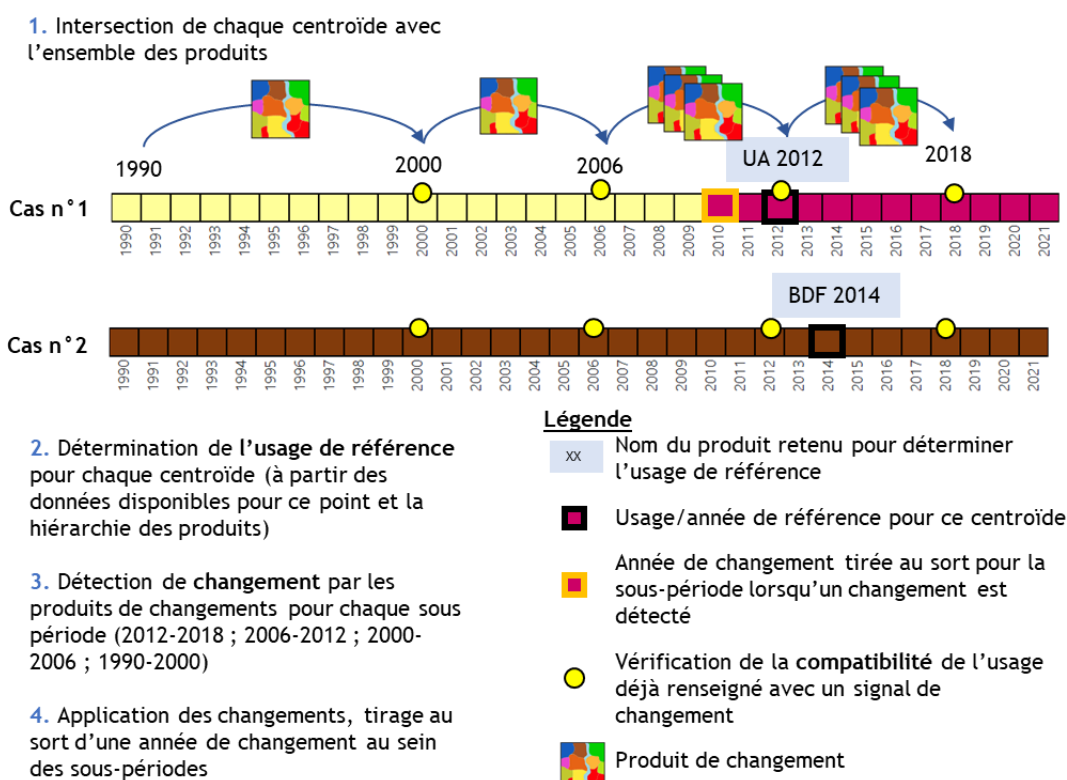


Figure 3: Schéma récapitulatif du protocole de création d'une série temporelle d'utilisation des terres (module général)

Etape initiale : Choix de l'usage de référence parmi différents produits

Le protocole agrège différents produits jugés pertinents pour déterminer l'usage de référence (BDF, RPG, UA, N2K, BDcarto). L'objectif est d'utiliser le produit thématique le plus efficace pour chaque situation (l'usage de référence est donné par le RPG quand l'usage est agricole, par la BD forêt quand l'usage est forestier, etc.). Comme tous ces produits ne donnent pas d'information pour la même année, les centroïdes peuvent avoir des années de référence différentes au sein du territoire (un centroïde peut avoir pour référence le RPG de 2016, et un autre la BDF de 2015). Pour attribuer l'usage de référence, une hiérarchie des produits a été établie afin de choisir l'usage jugé le plus fiable pour chaque centroïde. La

hiérarchie ordonne les produits par ordre de préférence, sachant que pour chaque produit si plusieurs années sont disponibles l'année la plus récente est préférée.

Hiérarchie des produits utilisée : UACh* > N2Kch* > CLCch* > BDF > RPG > UA > N2K > BDcarto

**lorsqu'ils donnent un signal de changement*

Les produits de changements sont placés en priorité dans la hiérarchie pour limiter les incompatibilités entre usage de référence et usages finaux et initiaux des signaux de changements.

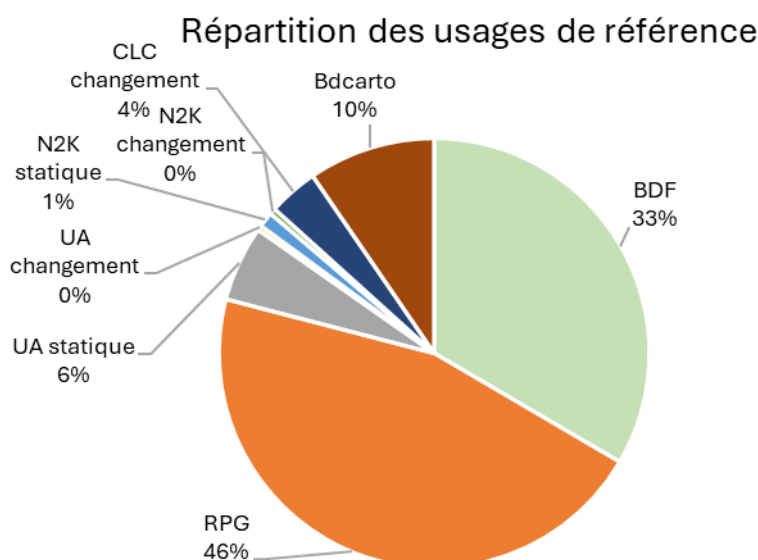


Figure 4 : Part des produits utilisés pour déterminer l'usage de référence des centroïdes après intersection et application de la hiérarchie des produits

Etape 2 : Détection et application des changements d'usage

Le protocole se base également sur un système de vérification de la compatibilité des occupations du sol, afin de maximiser la cohérence et la vraisemblance des séries temporelles construites par l'outil. Lorsqu'un produit de changement donne un signal pour un centroïde en 2006-2012 (c'est-à-dire quand un centroïde intersecte un polygone de changement pour la période), le changement est appliqué s'il est compatible avec l'usage déjà renseigné en 2012. Cela signifie que l'utilisation finale donnée par le polygone de changement doit être dans la même catégorie GIEC que l'usage déjà renseigné. Lorsque le changement est jugé compatible, l'usage de 2006 est alors rempli dans la série temporelle avec l'usage d'origine du polygone de changement. Puis, une année de changement est choisie au hasard entre 2006 et 2012, et les années intermédiaires sont remplies en conséquence. Le même processus est répété pour chaque période de changement. Avec cette méthodologie, seules les zones avec une probabilité forte d'avoir subi un changement d'usage réel sont comptabilisées en tant que changement.

Il arrive que plusieurs produits de changement donnent simultanément un signal, alors un arbre de décision est créé pour adopter ou non les changements et choisir lequel appliquer, suivant une hiérarchie générale des produits de changement (Urban atlas prévaut sur Natura2000 qui prévaut sur Corine Land Cover). Ces différentes hiérarchies ont été construites à partir de l'étude des résolutions spatiales et thématiques des différents produits. Le produit Urban Atlas étant en haut de la hiérarchie, s'il est disponible et qu'il détecte un changement, celui-ci sera directement appliqué. Pour les autres cas, des règles additionnelles ont été créées. Si Urban Atlas est disponible, mais ne détecte pas de changement, il a été décidé, plutôt que de classer directement le centroïde dans la catégorie « aucun changement », d'appliquer les changements de Natura 2000 s'il est disponible, ou en dernier recours ceux de Corine Land Cover. En effet, si Urban Atlas est très performant pour détecter les changements d'usage des terres concernant la catégorie terres artificialisées, il pourrait omettre des changements concernant d'autres catégories, couvertes par les autres produits. Après avoir vérifié que le potentiel changement N2K ou CLC ne concernait pas la catégorie Terres artificialisées, il peut donc être pris en compte. En revanche, si Urban Atlas n'est pas disponible, cette règle ne tient plus et on s'autorise l'utilisation de N2K ou CLC pour détecter des flux d'artificialisation. Seule une vérification de compatibilité est réalisée.

Cette première estimation des changements d'utilisation, basée sur les produits renseignant spécifiquement des polygones de changements, sous-estime certaines dynamiques. Des modules complémentaires ont été ajoutés.

Modèle d'intégration – module d'ajout de dynamiques

Des modules supplémentaires du modèle viennent compléter ces surfaces de changements, à l'aide de données spécifiques, pour plusieurs dynamiques : les boisements et déboisements, l'apparition de zones humides artificielles, l'artificialisation, et l'évolution des terres agricoles.

Articulation des modules :

1. Le **modèle général** renseigne un usage de référence pour tous les centroïdes, puis propose des changements d'usage pour certains centroïdes couverts par les produits de changement européens Copernicus.
2. Le module basé sur la **BDtopage** permet de requalifier des centroïdes en zones en eau, pour toute leur série temporelle ou en créant une dynamique de changement d'usage, seulement si le modèle général ne détecte pas de changement.
3. Le **module forêt** propose de nouveaux changements forestiers parmi les centroïdes stables dans le module général.
4. Le **module artificialisation** propose de nouveaux changements artificialisation parmi les centroïdes stables dans le module général, et dont les usages de référence ne sont pas renseignés par la BDF ou le RPG. Il requalifie également des mailles sur toute la série temporelle.
5. Le **module rotation agricole** propose pour tous les centroïdes dont l'usage est au moins une fois agricole une requalification des usages agricoles pour ajouter des rotations.

Module Boisement et déboisement

Un **module sur les boisements et déboisements** a été développé en complément au module général. Il part du constat que les résultats issus du module général donnaient des taux de boisement et déboisement, et notamment un taux de boisement net, inférieurs aux niveaux attendus lorsqu'on considère les résultats de TerUti (ancienne méthode statistique [1024]), mais aussi de l'IGN. Ce module se base sur la comparaison des deux éditions de la BD Forêt. Le code du module boisements-déboisements fonctionne de la manière suivante :

- Ce module compare les polygones forestiers des 2 éditions de la BDF disponibles pour chaque département, et produit des signaux de potentiels boisements (lorsqu'une zone est boisée dans la V2 et non boisée dans la V1) et de potentiels déboisements (lorsqu'une zone est non boisée dans la V1 et boisée dans la V1).
- Il s'accompagne ensuite d'une série de traitement pour filtrer ces signaux potentiels et conserver les plus vraisemblables, car une partie de ces signaux ne reflètent pas de véritables changements dans le paysage mais plutôt les différences de qualité entre V1 et V2. Pour les boisements, un premier traitement est effectué pour empêcher la détection de faux boisements de faible surface qui sont dus à la différence de résolution spatiale entre les deux éditions. En effet, la BDFv2 détecte des plus petits polygones forestiers (inférieurs à 2.5 ha), qui ne doivent donc pas apparaître comme un réel boisement, car ils étaient certainement déjà existants mais non détectés par la version 1. Un autre traitement corrige les effets de bords dus aux différences de tracés des polygones. Pour ce qui est des déboisements, les faux déboisements liés à la meilleure détection des chemins et routes au sein des zones forestières par la V2 sont corrigés, ainsi que des effets de bord comme décrits plus tôt.

Module Artificialisation

Un **module sur l'artificialisation** a été développé en complément au module général. Il part du constat, lui aussi, que les résultats issus du module général donnaient des taux d'artificialisation inférieurs à l'ancienne méthode et ceux de TerUti mais aussi à ceux d'autres données de référence tels que l'observatoire de l'artificialisation du Cerema (qui repart des fichiers fonciers). Ce module se base sur la cartographie des bâtiments et des infrastructures de transport et de leur date d'apparition dans la BD Topo de l'IGN (voir plus bas). Le module artificialisation fonctionne de la manière suivante :

- A partir de la couche bâtiment de la BD topo de l'IGN, des aires urbaines (ou « tâches urbaines ») sont créées. Elles permettent de mieux détecter les petites zones construites qui n'étaient pas détectées par le modèle général, par exemple des zones rurales qui étaient principalement couvertes par la BD Carto. Des corrections sont alors effectuées dans les séries temporelles en remplaçant l'usage par un usage bâti. La création des aires urbaines s'effectue grâce à l'application de buffers (ou tampons spatiaux) autour des bâtiments puis d'érosion (tampons négatifs).
- De plus, à partir du champ « date d'apparition » de la couche bâtiment utilisée, les polygones reconstitués par le protocole se voient attribuer une date d'artificialisation potentielle. Cela permet d'affecter un usage dynamique à un centroïde, en lui appliquant avant cette date l'usage du modèle général s'il n'est pas artificiel (l'usage Corine Land Cover 1990 sinon), et d'appliquer un usage artificiel après cette date.

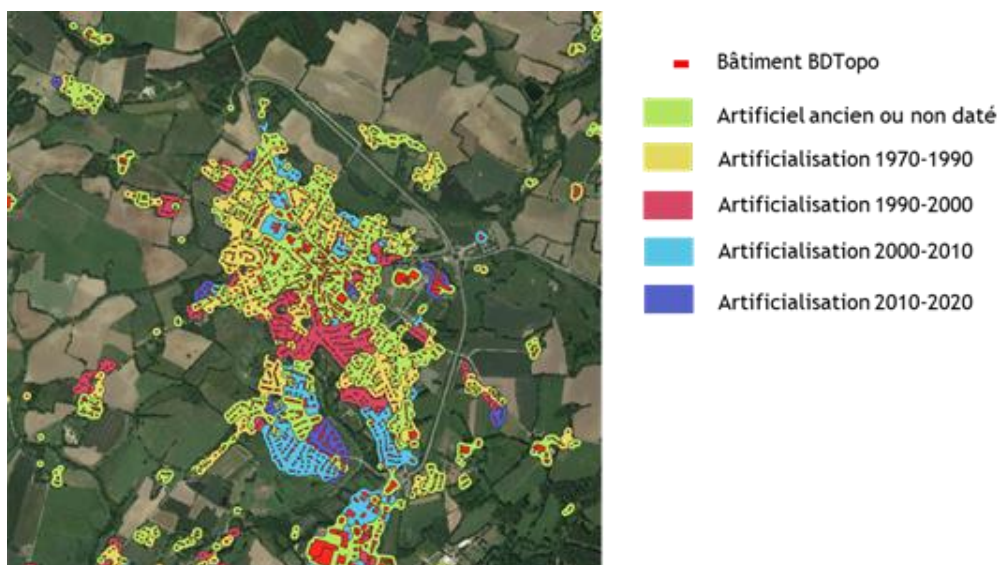


Figure 6 : Exemple de zone urbaine créée par le module artificialisation, et divisée en polygones par date d'artificialisation

Un process similaire est appliqué pour les infrastructures de transports. Les éléments linéaires de la BDtopo sont convertis en polygones avec l'utilisation de buffer dont la largeur dépend du type d'infrastructure. Puis, les centroïdes qui intersectent ces zones tampons sont reconvertis en usage artificiel sur toute leur série temporelle, ou à partir de leur date de construction.

Module Zones humides

Un module similaire au module artificialisation est créé pour requalifier des zones en eau ou zones humides non détectées par le modèle général, sur la base du produit BDtopage. Les centroïdes qui intersectent les polygones BDtopage supérieurs à 500 m², et qui sont indiqués en eau de façon permanente, sont reconvertis en usage zone humide sur toute leur série temporelle, ou à partir de leur date de construction.

Afin de corriger certains signaux interprétés comme des artefacts liés à la méthode de mise à jour du produit BDtopage et non à la réalité observée sur le terrain, certains traitements sont appliqués. Les changements antérieurs à 2008 notamment ne sont pas pris en compte car on ne peut distinguer les signaux de changement des mises à jour de la base de données. Pour les mêmes raisons, certains types de zones en eau ne sont pas conservés pour la détection des signaux de changements (« Écoulement naturel », « PE – glaciers, névés », « Plan d'eau – estuaire » ou « Plan d'eau – lagune »), ainsi que « Plan d'eau – Lac » en 2021.

Module Dynamiques agricoles

Un **module sur les terres agricoles** a été développé en complément au module général. Il se justifie par la difficulté de distinguer prairies (temporaires, permanentes) et cultures – difficulté rencontrée avec TerUti dans l'inventaire pré 2022, ainsi qu'avec l'approche spatialement explicite basée sur des données mêlant utilisation et occupation du sol. L'idée est d'abord de considérer les terres agricoles comme un grand ensemble, afin de venir en deuxième temps estimer les cycles cultureux et notamment les alternances, la présence plus ou moins temporaires des prairies, plutôt que de distinguer

d'emblée cultures et prairies comme deux usages différents, et ainsi détecter de trop nombreuses surfaces variant de l'un à l'autre. Ce module se base sur les données du RPG. Le code du module des terres agricoles fonctionne de la manière suivante :

- De 2015 à 2022, les usages RPG annuels sont réaffectés à chaque centroïde agricole quand ils sont disponibles. Pour rappel, avec le modèle général, lorsqu'aucun produit de changement ne donnait de signal et que le point était couvert par le RPG, l'usage RPG le plus récent détecté était conservé et appliqué sur toute la période. A présent, on réalloue les usages annuels de 2015 à 2022. Le RPG était disponible spatialement également pour les années 2010 à 2015 mais le produit n'étant pas exactement de même nature (nomenclature, etc.), il a été choisi de conserver les informations géographiques seulement pour ces années récentes.
- Pour les années plus anciennes, un travail statistique est réalisé pour proposer des usages historiques à chaque centroïde agricole, selon les rotations constatées à cette localisation entre 2015 et 2020, ainsi que sur la base des surfaces statistiques historiques (SAA) par type de culture. La calibration se fait par petite région agricole (PRA), afin de proposer des comportements cohérents pour les rotations.
- Les rotations sont modélisées à partir de chaînes de Markov, qui étudient les rotations 2015-2020 et proposent pour chaque PRA une probabilité de conversion d'un usage agricole à un autre (matrices de transition). Ces matrices sont calculées sous la contrainte des surfaces statistiques historique par type de culture.

Tableau 9 : Exemple de matrice de transition pour la création de rotation agricoles.

➔	Céréales et oléagineux	Protéagineux	Prairie temporaire	Culture industrielle	Prairie permanente	Maraîchage, fleurs	Cultures permanentes	Autres usages
Céréales et oléagineux	85%	2%	5%	2%	3%	1%	0%	2%
Protéagineux	84%	4%	4%	0%	5%	0%	0%	2%
Prairie temporaire	3%	0%	96%	0%	0%	0%	0%	1%
Culture industrielle	84%	0%	2%	9%	0%	3%	0%	1%
Prairie permanente	15%	0%	9%	0%	74%	0%	0%	1%
Maraîchage, fleurs	24%	0%	2%	4%	0%	66%	1%	3%
Cultures permanentes	0%	0%	1%	0%	0%	0%	98%	1%
Autres usages	5%	0%	4%	0%	0%	0%	1%	90%

Par exemple, une parcelle en céréales et oléagineux a ici 85% de probabilité de conserver la même occupation et 5% de probabilité de devenir une prairie temporaire.

Outil de visualisation cartographique

Un outil en ligne permet de visualiser, pour chaque maille et son centroïde, la catégorie d'usage retenue pour chaque année, et la donnée source ayant permis de faire ce choix. Il permet d'afficher côte à côte la même zone à deux dates différentes, ainsi que de faire des sélections de mailles par type de dynamique. Cet outil n'est pour l'instant pas diffusé.

L'information sur les usages et changements d'usage à la maille de 0,25 ha permet de cartographier facilement les dynamiques de conversion en les agrégeant à l'échelle souhaitée. Par exemple la carte ci-dessous met en évidence les zones artificialisées entre 1990 et 2020 par maille de 10*10 km.

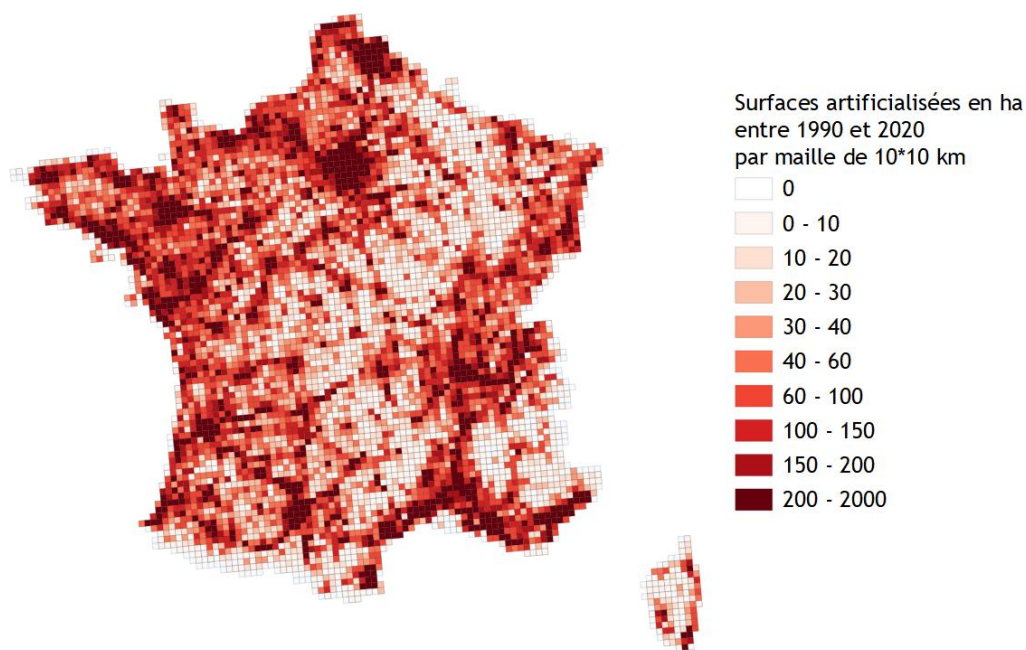


Figure 5 : Identification des zones avec un fort taux d'artificialisation à partir du modèle de suivi des terres par maille

Extrapolation et construction des matrices

Enfin, ces estimations de surfaces annuelles sont extrapolées et complétées pour produire des matrices d'utilisation des terres complètes, cohérentes et répondant aux besoins de rapportage. Pour extrapoler et compléter les surfaces de changement d'usage, le calcul prend en compte, pour chaque département, les années non couvertes par les données de changement utilisées dans les modules d'intégration de données d'usage des terres, de manière à reconstituer les surfaces de changement manquées. Les surfaces sans changement sont estimées en cohérence avec ces surfaces de changement extrapolées et complétées. Cette étape est réalisée à un niveau agrégé, non spatialement explicite, de manière à couvrir toute la série temporelle en remontant à 1990 et aux changements entre 1970 et 1990. En effet, pour les périodes passées, les données cartographiques sont insuffisantes et il est nécessaire de recourir à une approche statistique pour reconstituer une série historique cohérente et éviter les effets de marche liés à une prise en compte différenciée des changements selon la période couverte.

Les matrices 20 ans, nécessaires au rapportage, sont construites à partir de ces séries temporelles annuelles. L'intégralité des matrices 1 an et 20 ans utilisées dans l'inventaire sont disponibles par région et par année dans l'annexe LULUCF_Background.xlsx

Les données retraitées permettent d'élaborer des matrices 1 an et 20 ans, depuis 1970 jusqu'à l'année d'inventaire.

Règles du Giec : « matrices »

Deux types de matrices de changements sont nécessaires pour le calcul et le rapportage des émissions/absorptions du secteur UTCATF :

des matrices annuelles de changements pour évaluer les variations de surfaces mettant en jeu des phénomènes à cinétique rapide (déforestation),

des matrices couvrant une période de 20 ans pour les phénomènes dont la cinétique est plus lente (par ex : constitution des stocks de carbone du sol, des litières). Cette période de 20 ans correspond à la valeur par défaut du GIEC. Bien qu'elle ne soit pas idéalement adaptée aux cinétiques en milieu tempéré pour lesquelles la période serait plus proche de 50 ans, d'évidentes limites sur la disponibilité des données conduisent à retenir cette valeur.

Les années de 1970 à 1982 sont reportées ou interpolées sur la base des années les plus proches de manière à avoir une série complète depuis 1970 jusqu'à l'année d'inventaire.

Les matrices nécessaires au calcul des émissions/absorptions du secteur UTCATF peuvent être élaborées en appliquant de manière itérative les taux annuels de changement d'utilisation à une année de référence (l'année 2007 a été choisie). Les matrices complètes de changement d'utilisation des terres sont ainsi conçues à partir des surfaces de l'année 2007 grâce aux équations suivantes :

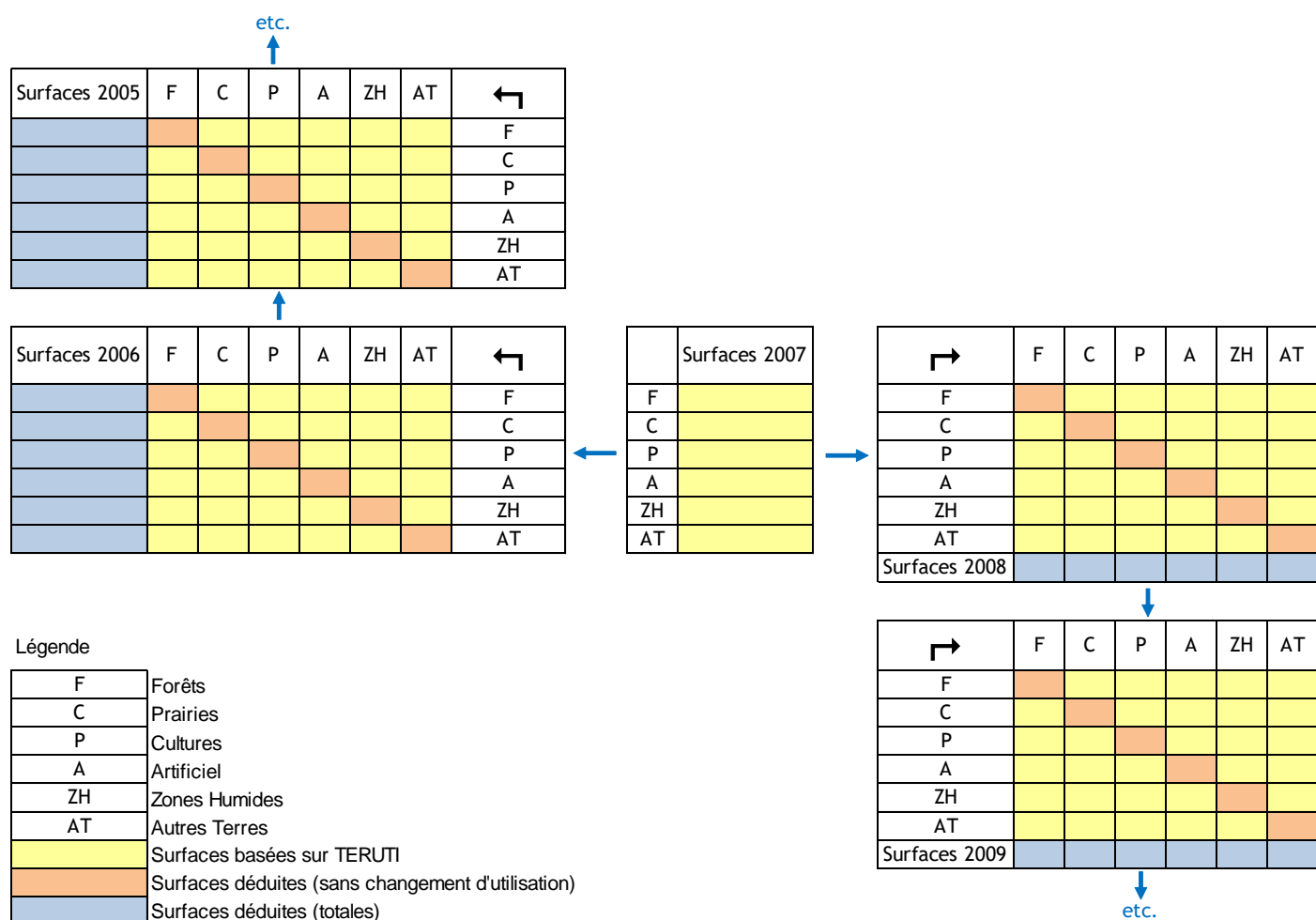
Équation 1 (UTCATF)

$$\begin{aligned} \text{Avant 2007 : } A_{i,a} &= A_{i,a+1} - \sum_j [A_Gains_{i,j,a}] + \sum_j [A_Pertes_{i,j,a}] \\ \text{Après 2007 : } A_{i,a} &= A_{i,a-1} + \sum_j [A_Gains_{i,j,a}] - \sum_j [A_Pertes_{i,j,a}] \end{aligned}$$

Avec :

- $A_{i,a}$ = Surfaces pour l'occupation i, à la fin de l'année a
- $A_{i,a-1}$ = Surfaces pour l'occupation i, à la fin de l'année a-1
- $A_{i,a+1}$ = Surfaces pour l'occupation i, à la fin de l'année a+1
- $A_Gains_{i,j,a}$ = Surfaces gagnées par l'occupation i, au dépend de l'occupation j, durant l'année a
- $A_Pertes_{i,j,a}$ = Surfaces perdues par l'occupation i, au profit de l'occupation j, durant l'année a

Tableau 10 : Illustration du protocole d'estimation des surfaces à partir des surfaces de l'année 2007



L'intégralité des matrices 1 an et 20 ans utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Suivi des terres en Outre-Mer (inclus dans l'UE et le Protocole de Kyoto)

En Outre-mer, les systèmes de collecte de données diffèrent de la métropole : des travaux spécifiques sont donc réalisés pour chacun des territoires couverts. Le suivi des territoires d'Outre-mer périmètre Kyoto est réalisé à partir de travaux de télédétection.

Données

Guyane

Des travaux spécifiquement menés pour les besoins de l'inventaire [327, 382, 673] sont utilisés comme données sources. Ils permettent de quantifier les changements d'utilisation des terres entre 1989 et 2008, en particulier les défrichements liés aux abattis (culture itinérante sur brûlis) et à l'orpaillage. Ces travaux se basent sur la classification de points d'échantillonnage par interprétation visuelle d'images satellitaires datées de 1989, 2008 et 2012, avec une stratification conforme aux recommandations du Giec. La nomenclature du Giec, en 6 catégories, est utilisée.

Le travail d'échantillonnage n'ayant pas été mis à jour après 2012, une nouvelle méthode est mise en place pour actualiser la donnée de déforestation sur la période récente. Cette dernière se base sur un produit satellite (Vancutsem et al. 2021 [1201]). Ce produit fournit des informations uniquement pour les surfaces forestières, grâce au renseignement de l'évolution nette du couvert forestier par sous-périodes de 5 ans entre 2000 et 2020. L'analyse de ce produit permet de déduire des taux de déforestation annuels moyens pour les différentes sous-périodes. Le taux de boisement considéré est une extrapolation du taux historique, puis la valeur de déboisement du produit satellite est estimée en comparant la valeur d'évolution nette du couvert forestier avec cette donnée de boisements. Le taux de déboisement obtenu est recalé sur le taux historique des précédents travaux pour les années communes aux deux données (2010-2012). Le nouveau taux post 2012 est ensuite déduit.

Méthode de construction des données d'occupation du sol de la Guyane avant 2012

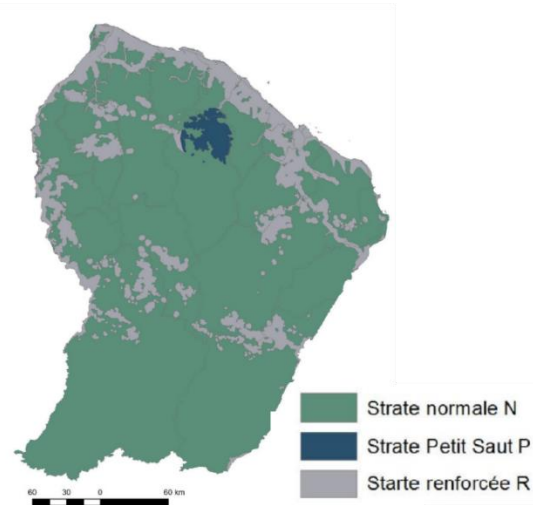
Ces études sont basées sur la photo-interprétation d'images LANDSAT et SPOT qui ont donc préalablement été acquises puis traitées (spatio-triangulation, orthorectification, dénuagement, mosaïquage). En raison de la petite taille des surfaces à observer (entre 0,5 et 1,5 ha) au vu de la surface forestière guyanaise et de la définition des images satellites, une **stratification** a également été réalisée. Trois strates ont ainsi été créées [673] :

- Une strate dite « renforcée » (R) qui réunit l'ensemble des zones où la pression anthropique est forte et où la probabilité d'une modification de l'occupation du sol est la plus élevée. Les mangroves sont incluses dans cette strate qui possède un taux de sondage élevé.
- Une strate dite « normale » (N) dans laquelle les changements d'occupation du sol sont très rares, voire absents. Cette strate possède un taux de sondage faible mais néanmoins suffisant pour détecter avec plus de neuf chances sur dix des changements de surface supérieurs à 10 000 hectares.
- Une strate P dite « de Petit Saut » afin de traiter le cas particulier du barrage de Petit Saut. Ce barrage a été mis en eau en 1995, ce qui a eu pour conséquence une surface déboisée exceptionnelle. Ainsi, afin d'individualiser les changements d'affectation des terres consécutifs à cette mise en eau, une strate spécifique a été constituée, avec un taux de sondage équivalent à celui de la strate renforcée.

Le schéma d'échantillonnage mis en place est ainsi conforme aux recommandations du GIEC sur trois points : i. échantillonnage systématique ; ii. placettes d'observation permanentes (le même échantillon est observé et interprété en 1990, 2006 et 2008) ; iii. stratification de l'échantillonnage à l'aide de données auxiliaires.

Le suivi d'occupation des sols et de changement d'occupation des sols est réalisé par interprétation visuelle (photo-interprétation) des images satellitaires de 1989, 2008 et 2012 (soit 16 786 points interprétés). Ainsi, pour chaque point du plan d'échantillonnage, une classe d'occupation du sol parmi les 6 classes définies par le GIEC, est attribuée, pour chacune des années (1990 en utilisant l'imagerie Landsat et 2006 et 2008 en utilisant les données SPOT). La surface prise en compte pour l'appréciation de l'utilisation du sol autour d'un point est une placette circulaire de 0,5 ha centrée autour du point échantillon.

Figure 6 : Représentation des 3 strates d'échantillonnage pour le suivi des terres en Guyane française



En complément des classes d'occupation des terres classiques définies par les lignes directrices les cas suivants particuliers à la Guyane ont été pris en compte : i. la mangrove a été incluse dans la catégorie « Forêt » puisqu'elle en a les caractéristiques (taux de couvert et dimension des arbres la constituant) ; ii. les zones d'orpaillage, ont été affectées à la classe « Infrastructure » qui inclut toutes les terres affectées par des aménagements humains quelles que soient leurs dimensions ; iii. la ligne de côte de la Guyane est soumise à des fluctuations temporaires très importantes de plusieurs centaines de mètres du fait des dépôts de sédiments et des phénomènes d'érosion. Aussi, une partie du territoire peut passer, dans le temps, des terres émergées à la mer et inversement. Afin de comptabiliser une surface constante du territoire entre 1989 et 2008, l'inventaire a porté sur les limites administratives de la Guyane selon la BD CARTO © IGN. Il en résulte que certains points de l'échantillon ont pu se situer dans la mer à une des deux dates. Les points tombant en mer ont été affectés à la catégorie d'utilisation du sol « Autres terres ».

Tableau 11 : Représentativité d'un point d'enquête dans chaque strate [673]

	Strate		
	N	P	R
Surface (ha)	6 794 498	125 109	1 486 820
Dimension de la maille (m)	8 388 x 4 194	932 x 932	932 x 932
Effectif échantillon	1 926	1 443	17 130
Surface d'extension réelle d'un point	3 527,8	86,7	86,7

Guadeloupe, Martinique et La Réunion

Pour la Guadeloupe [383] et la Réunion [385], des images issues du satellite SPOT, sont utilisées pour déterminer visuellement l'occupation du sol en 1990 sur l'emplacement des points d'échantillonnage de l'enquête TerUti-LUCAS, disponible à partir de 2005. Pour la Martinique, le fort ennuagement des images disponibles en 1990 rendait la photo-interprétation impossible. A la place, les images issues de la mission de Prises de Vue Aérienne (PVA) de 1988, (date disponible la plus proche), ont été interprétées visuellement. La nomenclature du Giec est utilisée, en incluant la mangrove dans la catégorie Forêt car elle en a les caractéristiques (taux de couvert et dimension des arbres).

L'occupation de l'année 2008 est déterminée directement à partir des résultats de l'enquête TerUti-Lucas, en réaffectant les catégories de la nomenclature initiale vers les six catégories Giec, en cohérence avec la table de correspondances utilisée pour la Métropole.

Mayotte

Il n'existe pas de travaux de suivi d'occupation des terres par télédétection et photo interprétation à Mayotte. Les matrices d'occupation des terres de Mayotte ont donc été construites en combinant plusieurs sources d'information [789, 790 et 791].

Saint-Martin

Les surfaces de Saint Martin (partie française) sont estimées d'après les données de l'ESA CCI-LC (Climate Change Initiative land cover version 2.0.7 1955-2015) [1054]. Aucun changement d'utilisation n'est compatible.

Traitements

Les données décrites ci-dessus fournissent des résultats sous forme de matrices de changement, pour les 6 catégories d'utilisation du Giec. Les traitements consistent à générer des matrices sur l'ensemble de la période couverte par les inventaires (1970 à l'année d'inventaire). Entre deux dates d'observation, les changements sont supposés constants et sont donc annualisés en divisant les surfaces de changement par le nombre d'années de la période.

Guyane

En Guyane, les changements d'utilisation entre 1987 et 1989 sont extrapolés en appliquant les taux de changement observés entre 1989 et 2008. Les changements d'utilisation entre 1970 et 1987 ont été négligés. Après 2012, les changements d'utilisation des terres ont également été estimés en reportant les taux de changements observés entre 2008 et 2012, hormis pour les déboisements dont la valeur est mise à jour à partir d'un produit satellite.

Guadeloupe, Martinique et La Réunion

Pour la Guadeloupe [383], Martinique [384] et la Réunion [385], les matrices sont basées sur une étude par télédétection et photo interprétation [383] suivant le modèle de ce qui a été fait sur la Guyane permettant de déterminer les changements d'utilisation des terres entre 1989 et 2008 (période de 19 ans). Pour ces trois territoires, une seule période de suivi est disponible (1989 - 2008), les taux de changements annuels moyens de cette période sont appliqués à la série temporelle complète depuis 1970.

Mayotte

Plusieurs sources d'information [789, 790 et 791] permettent de reconstituer l'évolution des surfaces depuis 1970. Le taux de changements estimés ne sont donc pas constants au cours du temps, La matrice 20 ans 1989-2009 est présentée ci-après à titre d'exemple.

Résultats

Les travaux de photo-interprétation en Outre-Mer ont mené aux résultats présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 12 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha)


		2008						TOTAL 1989
		Forêt	Artificiel	Culture	Prairie	Zone humide	Autre	
1989	Forêt	7 989 172	25 073	28 311	3 823	37 650	10 651	8 094 679
	Artificiel	910	16 009	637	273	0	0	17 829
	Culture	3 004	273	18 844	364	0	0	22 485
	Prairie	182	182	91	5 735	91	0	6 281
	Zone humide	4 734	546	1 365	273	234 082	3 368	244 369
	Autre	8 830	0	0	0	91	11 864	20 785
TOTAL 2008		8 006 832	42 083	49 248	10 469	271 914	25 882	8 406 427

Tableau 13 : Matrice 2008-2012 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha)


		2012						TOTAL 2008
		Forêt	Artificiel	Culture	Prairie	Zone humide	Autre	
2008	Forêt	7 992 006	4 630	6 918	1 092	1 001	1 183	8 006 832
	Artificiel	1 634	40 084	91	273	0	0	42 083
	Culture	1 912	91	45 425	1 548	0	273	49 248
	Prairie	182	91	273	9 922	0	0	10 469
	Zone humide	2 458	273	91	182	268 728	182	271 914
	Autre	3 186	0	0	182	0	22 514	25 882
TOTAL 2012		8 001 378	45 169	52 798	13 200	269 729	24 153	8 406 427

Tableau 14 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guadeloupe (ha)


		2008						TOTAL 1989
		Forêt	Artificiel	Culture	Prairie	Zone humide	Autre	
1989	Forêt	58 457	2 007	2 389	5 161	430	48	68 492
	Artificiel	0	12 588	573	239	0	143	13 543
	Culture	96	1 673	22 261	7 025	48	0	31 103
	Prairie	48	3 536	3 966	39 510	96	191	47 347
	Zone humide	287	0	96	239	816	0	1 438
	Autre	0	0	48	48	96	908	860
TOTAL 2008		58 888	19 804	29 333	52 222	1 486	1 050	162 783

Tableau 15 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Martinique (ha)


		2008						TOTAL 1989
		Forêt	Artificiel	Culture	Prairie	Zone humide	Autre	
1989	Forêt	33 608	1 145	1 461	10 466	79	592	47 351
	Artificiel	79	10 782	0	237	0	158	11 256
	Culture	79	474	9 636	2 291	39	0	12 519
	Prairie	1 619	4 621	5 687	22 629	158	869	35 583
	Zone humide	553	79	39	79	711	0	1 461
	Autre	0	39	0	0	39	750	828
TOTAL 2008		35 938	17 140	16 823	35 702	1 026	2 369	108 998

Tableau 16 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation pour La Réunion (ha)


		2008						TOTAL 1989
		Forêt	Artificiel	Culture	Prairie	Zone humide	Autre	
1989	Forêt	95 463	1 218	1 948	5 033	0	568	104 230
	Artificiel	0	16 722	325	893	81	122	18 143
	Culture	325	4 749	32 795	2 354	81	81	40 385
	Prairie	1 502	5 520	3 085	58 569	0	4 221	72 897
	Zone humide	0	41	203	81	1 664	0	1 989
	Autre	284	325	0	1 258	203	11 486	13 556
TOTAL 2008		97 574	28 575	38 356	68 188	2 029	16 478	251 200

Tableau 17 : Matrice 1989-2009 produite en combinant plusieurs sources d'information pour Mayotte (ha)

	↗	2009						TOTAL 1989
		Forêt	Artificiel	Culture	Prairie	Zone humide	Autre	
1989	Forêt	14 009	0	3 878	0	0	0	17 887
	Artificiel	0	1 650	0	0	0	0	1 650
	Culture	0	1 469	12 179	94	0	0	13 742
	Prairie	0	0	384	636	0	0	1 020
	Zone humide	0	0	0	0	22	0	22
	Autre	0	0	0	514	0	2 566	3 080
TOTAL 2009		14 009	3 119	16 440	1 244	22	2 566	37 400

Tableau 18 : Matrice 1989-2009 produite sur la base de données ESA CCI-LC pour Saint Martin (ha)

	↗	2009						TOTAL 1989
		Forêt	Artificiel	Culture	Prairie	Zone humide	Autre	
1989	Forêt	2 396						2 396
	Artificiel		453					453
	Culture			151				151
	Prairie				1 511			1 511
	Zone humide					809		809
	Autre						0	0
TOTAL 2009		2 396	453	151	1 511	809	0	5 320

Les matrices annuelles, présentant les résultats détaillés par année et par territoire, sont fournies dans l'Annexe LULUCF_Background.xlsx.

Suivi des terres dans les autres territoires d'Outre-mer (hors périmètre Kyoto)

Données

Nouvelle-Calédonie

En Nouvelle-Calédonie, une estimation par l'ONFi en 2009 des surfaces des différentes formations végétales est utilisée [976]. Le reste du territoire est réparti entre les autres catégories d'après des hypothèses.

Saint-Barthélemy

La surface de Saint-Barthélemy est donnée par l'INSEE [610], la répartition entre types de terres est estimée à partir de photos aériennes. Aucun changement d'utilisation n'est compatibilisé.

Saint Pierre et Miquelon

Les surfaces de Saint-Pierre-et-Miquelon sont estimées en partie d'après un rapport de 2008 sur les bois de ce territoire [977] et le reste du territoire est réparti entre les autres catégories d'après des hypothèses.

Polynésie Française

En Nouvelle-Calédonie, une estimation de l'ONF de 2009 des surfaces des différentes forêts et plantations est utilisée [978]. Le reste du territoire est réparti entre les autres catégories d'après des hypothèses.

Wallis et Futuna

Un travail de cartographie de l'occupation du sol à Wallis-et-Futuna réalisé en 2008 [979]. Ces cartes sont issues de l'interprétation de photographies aériennes de 2004 et permettent l'estimation de différentes catégories (forêt dense, forêt claire, cocotiers, zones habitées et autres, cultures vivrières, toafa, tarodièr...).

Clipperton

Pour Clipperton, aucune donnée précise n'a été identifiée. Seule des hypothèses générales sont utilisées pour répartir l'îlot entre « autres terres » et « zones humides ».

Terres Australes et Antarctiques

Pour les Terres Australes et Antarctiques françaises (TAAF), aucune donnée précise n'a été identifiée. L'hypothèse est faite que la totalité du territoire est en « autres terres ».

Traitements

Pour le moment, les surfaces des autres territoires d'Outre-Mer sont considérées sans changement. Ainsi, les surfaces estimées sont les mêmes pour toutes les années de la période de rapportage.

Les données disponibles, complétées ci-besoin d'hypothèses, sont utilisées pour estimer les surfaces annuelles (sans évolution). Les catégories initiales sont converties dans le système des catégories Giec, en précisant le type de forêt, d'après les tables de correspondance suivantes :

Tableau 19 : Catégories d'utilisation des terres pour la Nouvelle-Calédonie

Catégorie initiale	Catégorie finale
Forêt dense sempervirente	Forêt feuillue
Formation à Niaoulis	Forêt feuillue
Formations forestières diverses	Forêt mixte
Maquis	Prairies
Fourrés	Prairies
Savane	Prairies
Autres	Réparti dans les autres catégories (Artificiel, Cultures, Zones humides, Autres terres) selon des hypothèses distinguant Grande Terres et autres îles.

Tableau 20 : Catégories d'utilisation des terres pour Wallis et Futuna

Catégorie initiale	Catégorie finale
Forêt dense, Vao	Forêt feuillue
Cocotiers	Forêt feuillue
Forêt claire	Forêt feuillue
Toafa (« désert » et landes)	Autres Terres
Pinus (dont plantations)	Forêt résineux
Vivrier	Cultures
Tarodière	Cultures
Autres (Zones habitées...)	Artificiel
Sols nus	Autres Terres
Lacs	Zones Humides
Mangroves	Zones Humides

Tableau 21 : Catégories d'utilisation des terres pour la Polynésie française

Catégorie initiale	Catégorie finale
Plantation coco	Forêt feuillue
Plantation Pin	Forêt résineux
Plantation protection	Forêt mixte
Plantation f. précieux	Forêt feuillue
Forêts I et II	Forêt mixte
Solde	Réparti dans les autres catégories (Artificiel, Cultures, Zones humides, Autres terres)

Résultats

Les surfaces annuelles (sans changement) de 1970 à l'année inventoriée, pour chaque territoire d'Outre-Mer hors UE, sont les suivantes :

Tableau 22 : Informations sur les changements d'usage des terres pour les territoires d'Outre-Mer hors UE

(en ha)	Nouvelle-Calédonie	Wallis et Futuna	Polynésie	St-Pierre et Miquelon	Clipperton	TAAF	St-Barth.	Total
Forêt feuillue	602 595	10 190	50 391	0	0	0	600	663 776
Forêt résineux	0	452	6 096	3 000	0	0	0	9 548
Forêt mixte	114 000	0	195 276	0	0	0	0	309 276
Cultures	33 925	570	25 084	0	0	0	0	59 579
Prairies	999 150	0	0	3 630	0	0	600	1 003 380
Zones humides	6 613	61	0	7 260	7 200	0	0	21 134
Artificiel	23 863	1 321	25 084	1 210	0	0	960	52 438
Autres Terres	67 850	1 702	50 169	9 100	1 700	439 677	240	570 438
Total	1 847 995	14 296	352 100	24 200	8 900	439 677	2 400	2 689 568

L'intégralité des surfaces d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Méthodes d'estimation des réservoirs de carbone

L'inventaire UTCATF de la France estime les flux de gaz à effet de serre entre tous les réservoirs de carbone définis par les lignes directrices du Giec.

Contexte : lignes directrices du Giec

Pour l'inventaire UTCATF il est demandé d'estimer l'ensemble des flux de carbone intervenant entre différents réservoirs de carbone afin d'estimer les flux de CO₂ qui ont lieu entre les terres et l'atmosphère. Ces réservoirs sont :

- la biomasse vivante aérienne,
- la biomasse vivante souterraine,
- le bois mort,
- la litière,
- le carbone organique du sol
- les produits ligneux récoltés

Pour appréhender ce système, le GIEC présente deux méthodes :

- **la méthode des flux.** Elle nécessite d'estimer directement les flux bruts entrant et sortant d'un réservoir, ce qui revient par exemple à estimer les accroissements forestiers (flux entrant du réservoir biomasse vivante) et les récoltes (flux sortant du réservoir biomasse vivante). Cette méthode permet de connaître également l'évolution du réservoir en question, la biomasse vivante dans cet exemple.

Équation 2 (UTCATF)

(inspirée de l'équation 2.7 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta C = \sum_{ijk} [A_{ijk} \times (CI - CL)_{ijk}]$$

Avec :

- ΔC = Variation de stock de carbone du réservoir, t C/an
 A = Surface de la terre, ha
 ijk = Indices correspondant aux climat i , type de forêt j , type de gestion k , etc.
 CI = Gain en carbone, t C/ha/an
 CL = Perte de carbone, t C/ha/an

- **La méthode des variations de stocks.** A partir de valeurs de stocks connues à deux moments différents pour un réservoir de carbone, il est possible de déterminer le flux net de carbone pour ce réservoir. Cette méthode permet de manière indirecte de connaître les flux bruts mais nécessite de faire des hypothèses complémentaires.

Équation 3 (UTCATF)

(inspirée de l'équation 2.8 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta C = \sum_{ijk} (Ct_2 - Ct_1) / (t_2 - t_1)_{ijk}$$

Avec :

- Ct_1 = Stock de carbone à l'instant t_1 , t C
 Ct_2 = Stock de carbone à l'instant t_2 , t C











Dans l'inventaire français, l'une et l'autre des méthodes sont utilisées en fonction de la disponibilité des données et de l'importance des flux en question.

Méthode appliquée en Métropole

Les calculs des flux de carbone sont effectués, en partie à l'échelle de la maille, en partie à échelle régionale (22 anciennes régions administratives).

Les calculs réalisés à l'échelle de la maille de 0,25ha se basent sur l'évolution des stocks de carbone (modèle de variation de stock à la maille) pour les 10 compartiments suivants :

Tableau 23 : Compartiments carbone pris en compte

Grand compartiment	Statut	Catégorie	Type	Strate	Code	
Biomasse	Vivante	Ligneuse	Forêt	aérien	lb_f_a	
				racinaire	lb_f_r	
		Culture pérenne		aérien	lb_cp_a	
				racinaire	lb_cp_r	
		Herbacée	Culture annuelle	aérien & racinaire	lb_ca	
			Herbe	aérien & racinaire	lb_hh	
	Morte (DOM)	Bois mort			dw	
		Litière			lt	
Sol			Minéraux		s_min	
			Organiques		s_org	

DOM : Dead Organic Matter (matière organique morte)

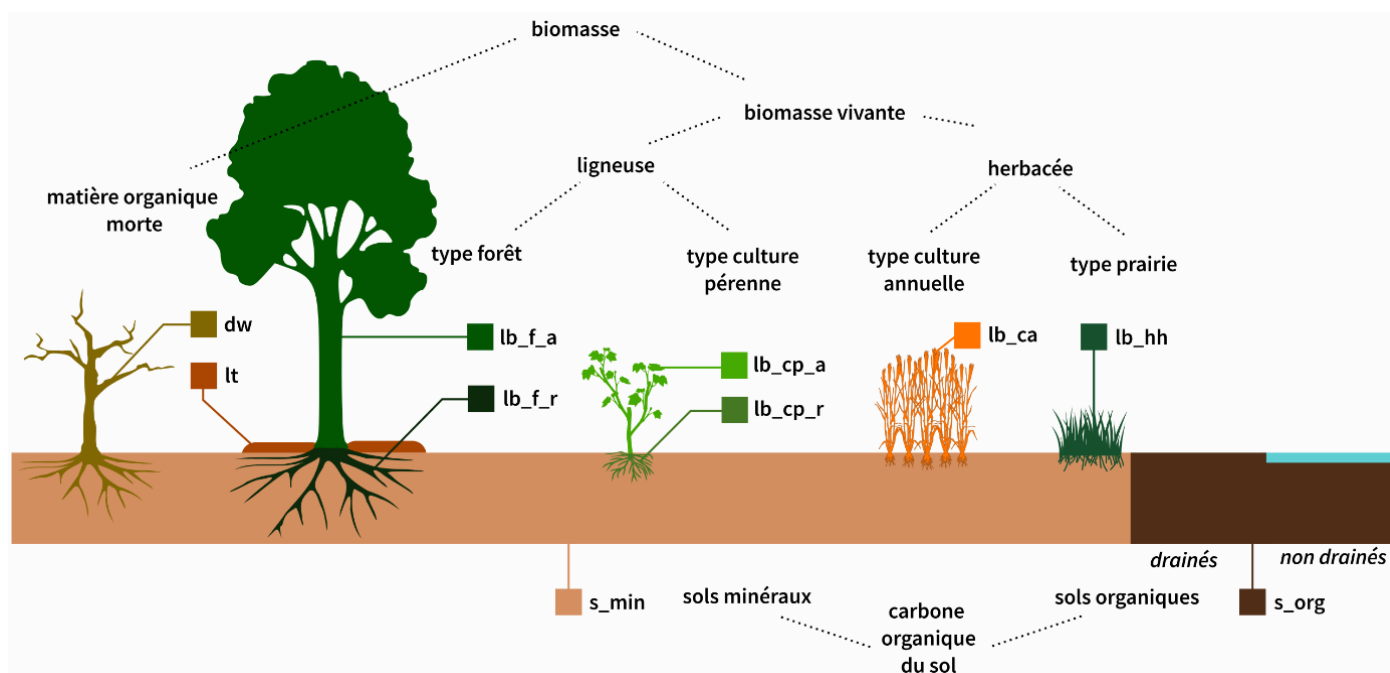


Figure 7 : Présentation schématique des différents compartiments carbone considérés pour le calcul

Des stocks de carbone de référence sont renseignés pour toutes les catégories d'utilisation des terres de la nomenclature pour tous les compartiments listés ci-dessus. Ils dépendent des zones pédoclimatiques pour les sols, des sylvoécocorégions pour la biomasse type forêt et le bois mort, des grandes régions écologiques (GRECO) pour la litière, ou sont des stocks nationaux pour les autres compartiments. Pour les sols ils dépendent également des pratiques culturales et sont donc redéfinis annuellement.

Les stocks de chaque centroïde pour chaque compartiment sont initialisés en 1990. Puis, pour chaque année de leur série temporelle, leur stock hérité (stock de l'année précédente) est comparé à leur nouveau stock de référence. Si celui-ci diffère, par exemple si l'utilisation du sol a été modifiée, les stocks de carbone de chaque compartiment tendent vers leur nouveau stock de référence et les flux associés sont retenus pour l'année en question. La vitesse d'atteinte du nouveau stock de référence est bornée : les flux de pertes ou de gains maximum sont définis pour chaque utilisation du sol. Ils sont calibrés pour que la conversion se réalise si le centroïde reste effectivement 20 ans dans la catégorie finale d'utilisation des terres de la conversion dans la majorité des cas, ou pour perdre le stock rapidement (en 1 an ou 5 ans) pour des défrichements ou de l'artificialisation par exemple. Les vitesses de constitution des stocks en forêt pour la biomasse vivante de type forêt et pour le bois mort sont fixés à 40 ans (par hypothèse).

Equation 4 (UTCATF) : Routine de calcul du modèle de variation de stock par maille :

Initialisation en 1990 : $stock_{1990} = stock_{ref_{1990}}$

Puis pour chaque année :

Si $stock_{ref_n} = stock_{herite_n}$ alors $stock_n = stock_{herite_n}$

Si $stock_{ref_n} < stock_{herite_n}$ alors $stock_n = \max(stock_{ref_n}, stock_{herite_n} - pertes_n)$

Si $stock_{ref_n} > stock_{herite_n}$ alors $stock_n = \min(stock_{ref_n}, stock_{herite_n} + gains_n)$

Et $flux_n = stock_n - stock_{n-1}$

Tableau 24 : Illustration de la routine de calcul du modèle de variation de stock par maille.

Présentation de stock et flux relatifs au compartiment litière pour une maille agricole en 1990 devenant forêt en 1992, puis artificialisée en 2013 (cas fictif). Les valeurs sont données pour une maille et non à l'hectare.

Année	Catégorie d'usage	Gains max (tC/an)	Pertes max (tC/an)	Stock référence (stock_ref tC)	Stock hérité (tC)	Stock (tC)	Flux (tC/an)
1990	11bh	0	2.50	0		0	0
1991	11bh	0	2.50	0	0	0	
1992	21ff	0.11	0	2.25 tC	0	$\text{Min}(2.25 ; 0 + 0.11) = 0.11$	0.11
1993	21ff	0.11	0	2.25 tC	0.11	$\text{Min}(2.25 ; 0.11 + 0.11) = 0.22$	0.11
(...)							
2011	21ff	0.11	0	2.25 tC	2.14	$\text{Min}(2.25 ; 2.14 + 0.11) = 2.25$	0.11
2012	21ff	0.11	0	2.25 tC	2.25	2.25	0
2013	31bn	0	2.50	0	2.25	$\text{Max}(0 ; 2.25 - 2.50) = 0$	- 2.25

Les gains et les pertes ont été calibrés pour chaque catégorie d'usage pour refléter les dynamiques de conversion. Ils sont décrits pour chaque compartiment dans les parties suivantes. La plupart du temps ils sont calculés pour qu'une conversion entre deux stocks de référence prenne 20 années. C'est le cas par exemple pour la litière (exemple du tableau, le stock de litière en forêt est atteint au bout de 20 ans). En revanche, pour les défrichements (compartiment biomasse, bois mort, litière) par exemple, les durées sont calibrées plus courtes et les flux de pertes sont très élevés, afin de faire perdre la totalité du stock en une année.

Cette méthode permet pour une maille qui changerait d'usage plusieurs fois de ne pas forcément atteindre le premier stock cible. Par exemple, une culture convertie en forêt puis artificialisée au bout de 5 ans ne perdra pas la totalité d'un stock forestier, mais bien seulement le stock qui aura été constitué pendant ces 5 ans.

Méthode appliquée pour les Outre-Mer

Le modèle à la maille n'existe pas hors métropole faute de données relatives au suivi géographique des surfaces de changement d'utilisation de terres. Une méthode de calcul plus classique est appliquée pour les conversions (type équation 3 présentée dans l'encadré en début de partie). Les données utilisées pour les stocks relatifs aux différents compartiments

Biomasse vivante aérienne et souterraine

Définitions

Afin de ne pas négliger les pertes de biomasse lors des changements d'usages des terres, par exemple la perte de la biomasse des vergers convertis en forêts, différents types de biomasse sont pris en compte dans le modèle de variation de stock de carbone à la maille :

Tableau 25 : Rappel des types de biomasse pris en compte pour le calcul

Compartiment	Statut	Catégorie	Type	Strate	Code
Biomasse	Vivante	Ligneuse	Forêt	aérien	lb_f_a
				racinaire	lb_f_r
			Culture pérenne	aérien	lb_cp_a
				racinaire	lb_cp_r
		Herbacée	Culture annuelle	aérien & racinaire	lb_ca
			Herbe	aérien & racinaire	lb_hh

La biomasse vivante aérienne que l'on appelle de type « forêt » se compose des parties aériennes des essences arborées recensables (diamètre > 7,5 cm à la hauteur de 1,3 m). Cela exclut les essences ligneuses du sous-bois et les arbres sous

le seuil de recensabilité. La biomasse vivante aérienne de type forêt est l'un des réservoirs clé du secteur UTCATF. Elle peut constituer des stocks très importants et peut fluctuer de manière rapide en fonction de la gestion associée.

La biomasse aérienne des prairies arbustives et des zones arborées hors forêt (zones artificielles arborées) est également classée de « type forêt ». Les successions possibles entre prairies arbustives et forêt (enfrichement), ainsi que la proximité possible entre les classes de nomenclature ont justifié ce choix. Si un changement d'usage est réalisé au sein de ces classes de nomenclature, le modèle de variation à la maille considèrera seulement le gain ou la perte de stock lors de la transition, mais sans passer par une perte de toute la biomasse.

En revanche, lors de la conversion d'une classe « vignes » à une classe « forêt », il faut tenir compte de la perte de toute la biomasse des vignes lors de l'arrachage, puis de la repousse d'un autre type de biomasse. C'est pourquoi la biomasse vivante, dite de « type cultures permanentes » est considérée à part.

Pour la biomasse ligneuse type forêt et type culture pérennes, la biomasse vivante aérienne est distinguée de la biomasse vivante souterraine. La biomasse vivante souterraine inclut l'ensemble des racines à l'exception des racines fines déjà prises en compte dans la litière et le carbone organique du sol.

Hors métropole, il n'y a pas de distinction entre les différents types de biomasse, car le modèle de variation de stock à la maille n'est pas utilisé.

Données

Biomasse vivante en Outre-Mer (sans distinction entre types de biomasse)

Pour estimer les émissions liées aux défrichements des valeurs de stocks forestiers moyens perdus lors de défrichements sont utilisées en Outre-Mer. Il ne s'agit pas des stocks moyens en forêt mais des stocks perdus lors d'un défrichement.

Tableau 26: Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne (peuplements forestiers)

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (5 régions)	Guyane	166	n.d	n.d	n.d	ONF-CIRAD [328]
	Guadeloupe	49	n.d	n.d	n.d	ONF [386]
	Martinique	48	n.d	n.d	n.d	ONF [386]
	Réunion	5	n.d	n.d	n.d	ONF [386]
	Mayotte	75	n.d	n.d	n.d	ONF [386]
Autres territoires		n.d	n.d	n.d	n.d	

n.d : non déterminé

Aucune donnée spécifique à la biomasse racinaire n'est utilisée. La fraction souterraine de la biomasse vivante est estimée indirectement à partir de la fraction aérienne, à l'aide de facteurs d'expansion racinaire de l'ONF [386].

Les valeurs obtenues avec les facteurs d'expansion sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 27 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante racinaire (peuplements forestiers)

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (5 régions)	Guyane	26	n.d	n.d	n.d	ONF-CIRAD [328]
	Guadeloupe	11	n.d	n.d	n.d	ONF [386]
	Martinique	10	n.d	n.d	n.d	ONF [386]
	Réunion	1	n.d	n.d	n.d	ONF [386]
	Mayotte	17	n.d	n.d	n.d	ONF [386]
Autres territoires		n.d	n.d	n.d	n.d	

n.d : non déterminé

En Outre-mer, le stock de biomasse vivante pour les zones non forestières est estimé à partir du Giec (2006) :

- En culture : 10 tC/ha (Giec, 2006, Table 5.9)

- En prairie : 16,1 tMS/ha (2006, Table 6.4) * 0.5 (tC/tMS) = 7.6 tC/ha

Ces valeurs sont utilisées pour les territoires d'Outre-Mer sauf pour la Réunion, où la valeur de stock de biomasse forestière est tellement basse (5 tC/ha, tableau 63) que les stocks hors forêt sont estimés à 0. Pour rappel, il n'y a pas de distinction entre type de biomasse pour l'Outre-Mer, les données ci-dessous correspondent donc à la fois à de la biomasse ligneuse et herbacée.

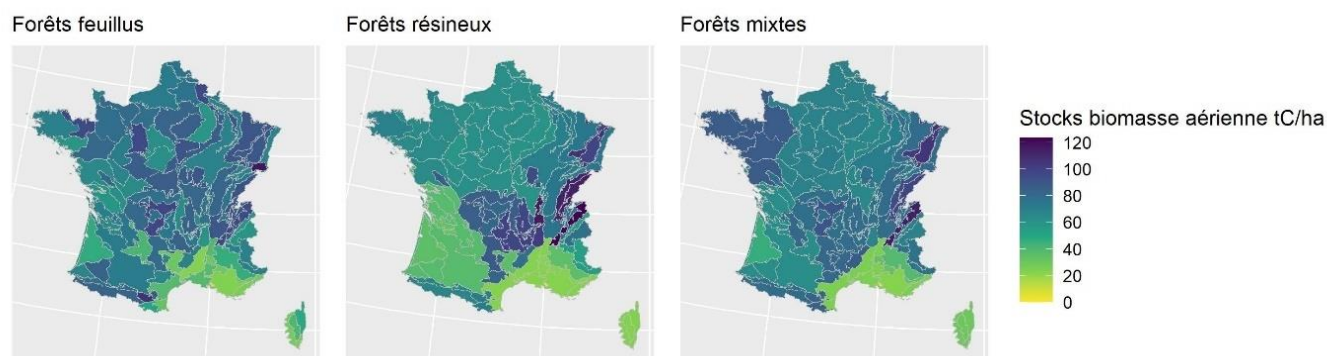
Tableau 28 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne hors forêt (Outre-Mer)

Territoire	Culture	Prairie boisée	Prairie non boisée	Zone urbanisée	Zone humide	Source de données
Guyane	10	7,6	7,6	0	0	Giec 2006
Guadeloupe	10	7,6	7,6	0	0	Giec 2006
Martinique	10	7,6	7,6	0	0	Giec 2006
Réunion	0	0	0	0	0	hypothèse
Mayotte	10	7,6	7,6	0	0	Giec 2006

Les flux de carbone (croissance, mortalité, prélèvements) en biomasse hors forêt pour les terres sans changement sont estimés à l'équilibre en Outre-mer (voir section 2.1.1.1).

Biomasse vivante ligneuse « type forêt » (métropole)

Dans l'inventaire français, la majorité des informations relatives à la biomasse vivante aérienne de type forêt, en zone forestière, provient de l'inventaire forestier national réalisé par l'IGN. Les stocks de biomasse vivante aérienne par sylvoécotérritoires en forêt fournis par l'IGN pour la campagne 2016-2020 sont utilisés [594], par type de peuplement (résineux, feuillus, mixte). Lorsque le stock moyen par hectare n'est pas significatif, le stock de la grande région écologique (GRECO) est retenu.



Lorsque le stock par sylvoécotérritoire n'est pas significatif, le stock est égal au stock de la GRECO.

Figure 8 : Stocks de carbone (tC/ha) en biomasse vivante aérienne de type forêt pour les principaux types de peuplements par sylvoécotérritoire (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594])

Aucune donnée spécifique à la biomasse racinaire de type forêt n'est utilisée. La fraction souterraine de la biomasse vivante est estimée indirectement à partir de la fraction aérienne, à l'aide de facteurs d'expansion racinaire provenant de l'étude Carbofor [204] pour la métropole (voir détails dans la partie 4A_Forestland).

Des stocks de biomasse de type forêt peuvent également être non nuls dans des terres non forestières. Ce sont les catégories d'utilisation des terres 12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32va. Par défaut il est considéré que les stocks pour ces terres sont égaux aux stocks des forêts mixtes de la même sylvoécotérritoire. Les stocks des maquis sont issus de l'étude Medinet [993], soit 7,8 tC/ha. Pour la catégorie landes, intermédiaire par définition entre une prairie et une zone arbustive, les stocks sont fixés à la moitié du stock de maquis.

L'ensemble des stocks à l'hectare aériens et racinaires, ainsi que les flux de gains (accroissement) et pertes de chaque catégorie d'usage pour la métropole sont résumés dans le tableau suivant. Ils permettent d'alimenter le modèle de calcul de variation de stock à la maille décrit plus haut.

Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité de la biomasse en 1 an lors d'une conversion (défrichement). Pour les peuplements forestiers ou les catégories assimilées à la catégorie forêt mixtes, les gains sont fixés pour atteindre le stock de référence en 40 ans. Pour les catégories d'usage non forestières (maquis, landes), la valeur d'accroissement de l'étude Medinet [993] calibrée sur 20 ans est utilisée.

Tableau 29 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type forêt (métropole)

Catégorie d'usage	Stock aérien (tC/ha)	Stock racinaire (tC/ha)	Gains aériens (tC/ha/an)	Gains souterrains (tC/ha/an)	Pertes aérienne (tC/ha/an)	Pertes racinaire (tC/ha/an)	Source de données
21fc	62 [21 ; 126]	14 [5 ; 29]	1,2 [0,4 ; 2,4]	0,4 [0,1 ; 0,7]	0	0	IGN campagne 2016-2020 [594] et hypothèses de flux
21ff	71 [20 ; 127]	12 [3 ; 21]	1,1 [0,3 ; 1,9]	0,3 [0,1 ; 0,5]	0	0	
21fm	70 [21 ; 120]	13 [4 ; 23]	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	
21fp	80	16	1,4	0,4	0	0	
22mq	8	11	0,4	0,5	200	50	Medinet (shrublands) [993]
22la	4	6	0,2	0,3	200	50	50% du stock des maquis Medinet (shrublands) [993]
12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32va	Assimilé à forêt mixte (21fm)						Estimation : égal aux données de forêt mixte
Autres catégories	0	0	0	0	200	50	Par défaut

Pour les catégories forestières, les valeurs moyennes sont indiquées, puis entre crochets la valeur minimale et la valeur maximale. Pour rappel, elles diffèrent par sylvoécotéon.

En plus des flux de carbone issus du modèle de variation de stock à la maille, des flux seront appliqués via la méthode des flux pour la forêt restant forêt. L'IGN fournit ainsi ces données de flux, en tonnes de carbone, pour la production, la mortalité, et les prélèvements en forêt. Ces données sont présentées dans la section forêt (section § 2.2.2). Elles sont disponibles par interrégion et ne sont pas utilisées directement pour le modèle de flux de carbone à la maille. Elles seront prises en compte dans les totaux des flux en forêt restant forêt, à l'échelle des 22 anciennes régions administratives.

Les flux de carbone (croissance, mortalité, prélèvements) en biomasse hors forêt pour les terres sans changement sont estimés à l'équilibre en métropole (voir section 2.1.1.1).

Biomasse vivante ligneuse type cultures pérennes (métropole)

Pour les cultures pérennes et ligneuses (vergers, vignes), l'étude Medinet [993] est de nouveau utilisée pour déterminer les stocks aériens et racinaires, ainsi que l'accroissement (gains) pour ces catégories d'usage des terres. Ces gains correspondent à l'atteinte du stock de référence en 20 ans.

Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité de la biomasse en 1 an lors d'une conversion (défrichement, arrachage).

Tableau 30 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type cultures pérennes (métropole)

Catégorie d'usage	Stock aérien (tC/ha)	Stock racinaire (tC/ha)	Gains aérienne (tC/ha/an)	Pertes aérienne (tC/ha/an)	Gains racinaire (tC/ha/an)	Pertes racinaire (tC/ha/an)	Source de données
120	2,75	2,2	0,14	20	0,11	10	Estimation : stocks moyens des cultures pérennes
12af	8,5	5,8	0,43	20	0,29	10	Medinet [993], table 27 & 30
12cp	0	0	0	20	0	10	Catégorie contenant: taillis à courte rotation, forêts exploitées pour porcs etc.: la biomasse est qualifiée de type forêt (voir table biomasse associée).
12cq	8,5	5,8	0,43	20	0,29	10	Estimation : égal au stock des arbres fruitiers
12ol	9,1	2,6	0,46	20	0,13	10	Medinet, table 27.
12vi	5,5	4,4	0,28	20	0,22	10	Medinet, table 27.
Autres catégories	0	0	0	20	0	10	Par défaut

Biomasse vivante herbacée type cultures annuelle et type herbe (métropole)

La biomasse herbacée est prise en compte, en différenciant la biomasse en cultures annuelles (blé, maïs...), des autres types de biomasse herbacées (appelés type « autres » ou type « herbe »). Ce sont les herbacées en prairies, zones artificielles, forêt, et toutes les autres catégories. Les gains et les pertes sont calibrés pour avoir lieu de façon annuelle, si on a une conversion entre culture et prairie, toute la biomasse type culture est perdue, et toute la biomasse type prairie est gagnée en 1 an.

Les stocks sont estimés à partir des données de production agricoles du SSP [410] utilisés pour les calculs du secteur Agriculture. Les données utilisées sont des stocks moyens de l'année de production (la moitié du stock récolté). Pour les catégories intermédiaires et les autres catégories, des estimations relatives au taux de couvert de la strate herbacée ont été réalisées. Pour les forêts par exemple, on considère 10% de couvert du stock en prairies. L'ensemble des stocks et flux associés aux différentes catégories sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 31 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante herbacée (type cultures annuelles et type herbe) (métropole)

Catégorie d'usage	Biomasse vivante herbacée type cultures annuelles		Biomasse vivante herbacée type herbe		Source de données
	Stock (tC/ha)	Gains/Pertes (tC/ha)	Stock (tC/ha)	Gains/Pertes (tC/ha)	
Cultures annuelles (codes 11xx)	3,6	3,6	0,0	6,30	SSP [410] ou estimation liée au couvert supposé de la strate herbacée pour la catégorie
Cultures permanentes (codes 12xx)	0,0	3,6	0,0	6,30	
Prairies non permanentes et jachères (codes 13xx)	3,6	3,6	0,0	6,30	
14pp	0,0	3,6	6,3	6,30	
Forêts (codes 21xx)	0,0	3,6	0,2	6,30	
220	0,0	3,6	1,0	6,30	
22bq	0,0	3,6	0,2	6,30	
22la	0,0	3,6	1,0	6,30	
22mq	0,0	3,6	0,5	6,30	
22pe	0,0	3,6	1,6	6,30	
300	0,0	3,6	0,0	6,30	
310	0,0	3,6	0,0	6,30	
31ba	0,0	3,6	0,0	6,30	
31bn	0,0	3,6	2,1	6,30	
320	0,0	3,6	4,2	6,30	
32va	0,0	3,6	6,3	6,30	
32vh	0,0	3,6	0,2	6,30	
400	0,0	3,6	0,0	6,30	
410	0,0	3,6	0,0	6,30	
41ea	0,0	3,6	0,0	6,30	
41in	0,0	3,6	0,0	6,30	
41tb	0,0	3,6	6,3	6,30	
41ms	0,0	3,6	0,0	6,30	
41zh	0,0	3,6	6,3	6,30	
Autres terres (codes 42xx)	0,0	3,6	0,0	6,30	

Biomasse vivante des haies (métropole)

Les haies ne sont pas considérées comme une catégorie d'usage des terres mais comme un compartiment carbone (un type de biomasse), pouvant se retrouver dans différentes catégories d'usage (en cultures, en prairies...).

Suivi du linéaire

Avant l'utilisation du suivi des terres spatialement explicite, le linéaire de haies était suivi par l'enquête TerUti du SSP [1025], en tant que type d'usage des terres spécifique. Il n'est pour l'instant pas possible de proposer une méthode spatialement explicite pour étudier l'évolution du linéaire de haies, fautes de millésimes exploitables. Trois sous-périodes de l'enquête TerUti ont été exploitées pour proposer un suivi de la biomasse en haies (1982-1989 ; 1993-2003 ; 2007-2015). Elles sont traitées séparément car des évolutions méthodologiques les rendent difficilement comparables.

Un taux moyen d'apparition de haies (en ha/an), et de disparition de haies est déduit pour chaque sous-période, en culture, en prairie, et dans les autres catégories d'usage des terres, et ce par ancienne région administrative. Certains types de conversions ont été filtrés pour limiter les faux-changements, par exemple les conversions forêts-haies. Des rythmes de

reculs nets du linéaire de de 6400 ha/an pendant les années 1990, 2960 ha/an pendant les années 2000 et enfin 5265 ha/an au début des années 2010 sont obtenus.

Estimation des stocks

Les stocks de carbone dans la biomasse sont ensuite estimés à partir d'une étude de l'IGN relative aux haies bocagères [1274]. Les stocks fournis sont en tC/km de haies. Une conversion en stocks par hectare est réalisée grâce à des valeurs de largeurs de haies moyennes estimées via la comparaison entre les surfaces Teruti et les linéaires en km de l'étude. Les stocks retenus varient entre 34 et 52 tC/ha, aérien et racinaire compris selon les régions.

Déduction des flux

L'estimation des gains et pertes de carbone liés à l'évolution du linéaire est faite uniquement pour la biomasse. Il n'y a pas de prise en compte de la variation de stocks dans le compartiment sol. Le stock est estimé gagné en 20 ans, et perdu en 1 an.

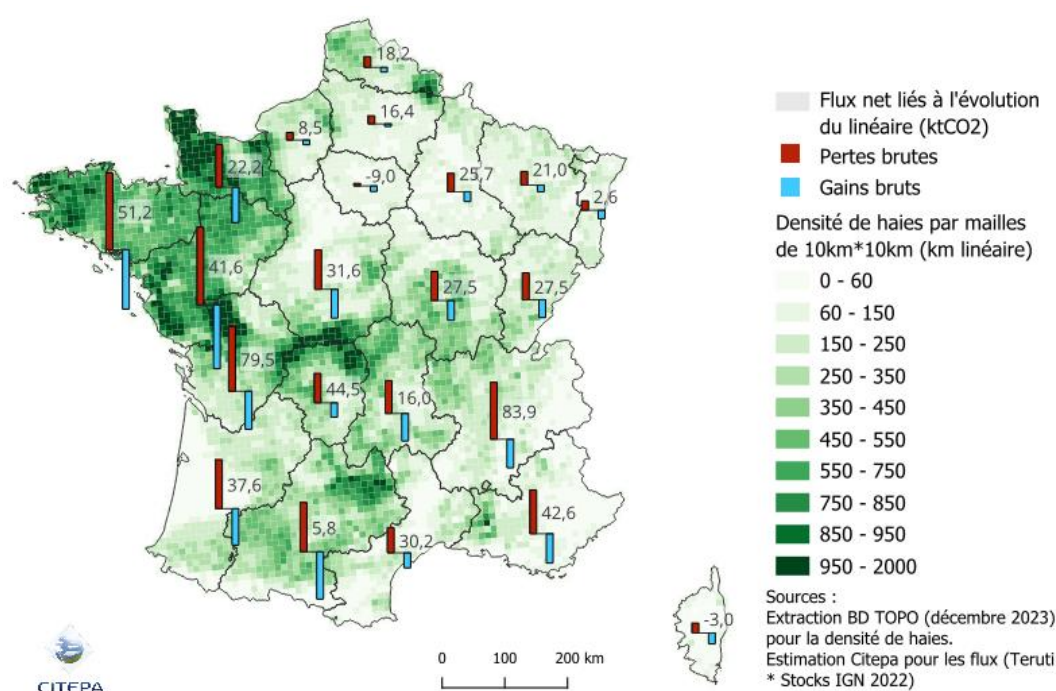


Figure 9 : Résultats méthode Citepa haies, flux moyens pour la période inventaire (1990-2022)

Bois mort

Définition

On considère trois origines au bois mort : la mortalité naturelle des arbres sur pied, la mortalité exceptionnelle en cas de tempêtes (chablis) et l'abandon des résidus de récolte de bois lors de l'exploitation des parcelles forestières. La création ou la disparition d'un stock de bois mort lors d'un boisement ou d'un déboisement est aussi comptabilisée.

Données

Les données de l'IGN [202] de mesures des stocks de bois mort, combiné à une estimation de leur date de mortalité permettent d'estimer la mortalité des arbres sur pied en forêt en Métropole. Le bois mort reste principalement, d'après l'IGN, lié à la compétition (élagage naturel) et non à la sylviculture. Aucune donnée n'est mobilisée pour les flux de mortalité de l'Outre-Mer.

Les données de l'IGN ont permis de quantifier la mortalité exceptionnelle liée aux tempêtes de 1999 et 2009 qui ont modifié fortement les stocks de bois mort en forêt.

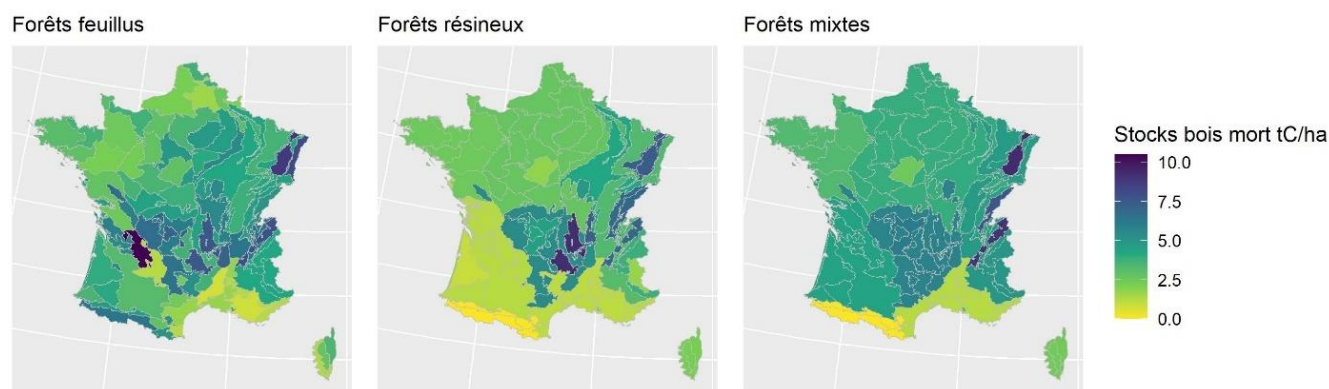
Le Guide du Giec [1996 5.31 ; 2006 [672] ch.4 encadré 4.2, valeur par défaut pour les feuillus] permet d'estimer à 10% la part de la biomasse aérienne récoltée qui est abandonnée sur le site d'exploitation. Cette valeur a été jugée pertinente par les experts forestiers français.

Les stocks de bois mort, utilisés pour estimer la création ou la disparition d'un stock de bois mort lors d'un boisement ou d'un déboisement sont les stocks fournis par la campagne IGN 2016-2020 [594] par sylvoécorégion. Lorsque le stock de la sylvoécorégion n'est pas significatif, le stock de la GRECO (grande région écologique) est utilisé. Ces valeurs seront les valeurs de référence utilisées pour le module de variation de stock à la maille. En Guyane et dans les autres territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE, ce stock de bois mort est estimé de manière spécifique grâce aux études des données dendrométriques [328, 386].

Tableau 32 : Stocks de carbone (tC/ha) dans le bois mort des terres forestières

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
France métropolitaine		Variable selon les sylvoécorégions (voir carte)				[206]
Outre-mer inclus dans le l'UE (5 régions)	Guyane	8,8	n.d	n.d	n.d	[328]
	Guadeloupe	1,2	n.d	n.d	n.d	[386]
	Martinique	1,2	n.d	n.d	n.d	[386]
	Réunion	0,1	n.d	n.d	n.d	[386]
	Mayotte	1,9	n.d	n.d	n.d	[386]
Autres territoires		n.d	n.d	n.d	n.d	

n.d : non déterminé



Lorsque le stock par sylvoécorégion n'est pas significatif, le stock est égal au stock de la GRECO.

Figure 10: Stocks bois mort (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécorégion (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594])

L'ensemble des stocks à l'hectare, ainsi que les flux de gains (constitution du stock de bois mort) et pertes de chaque catégorie d'usage pour la métropole sont résumés dans le tableau suivant. Ils permettent d'alimenter le modèle de calcul de variation de stock à la maille. Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité du bois mort en 1 an lors d'une conversion (défrichement). Pour les peuplements forestiers ou les catégories assimilées à la catégorie forêt mixtes, les gains sont fixés pour atteindre le stock de référence en 40 ans (par hypothèse).

Tableau 33 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment bois mort (métropole)

Catégorie d'usage	Stock (tC/ha)	Gains (tC/ha/an)	Pertes (tC/ha/an)	Source de données
21fc	3 [0 ; 9]	0,07 [0 ; 0,23]	0	IGN campagne 2016-2020 [594]
21ff	4 [1 ; 11]	0,1 [0,02 ; 0,26]	0	
21fm	4 [0 ; 9]	0,1 [0 ; 0,23]	0	
21fp	3 [3 ; 3]	0,06 [0,06 ; 0,06]	0	
12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32va	Estimation : égal aux données de forêt mixte			
Autres catégories	0	0	50	Par défaut

Pour les catégories forestières, les valeurs moyennes sont indiquées, puis entre crochets la valeur minimale et la valeur maximale. Pour rappel, elles diffèrent par sylvoécorégion.

Litière [lt]

Définition

La litière forestière est constituée : des branches mortes au sol de diamètre inférieur au seuil de recensabilité de l'IFN (donc exclues du réservoir bois mort) ; des couches humiques et fumiennes et des feuilles mortes (exclues du réservoir sol) ; des petites racines (exclues du réservoir biomasse vivante souterraine).

Données

Les stocks ont été estimés à partir des valeurs Renecofor [1275]. Des valeurs de stock par hectare pour différents types d'essences sont proposés (une valeur unique pour les feuillus de 5,7 tC/ha, puis des valeurs de 6,1 à 25,4 tC/ha pour diverses essences de résineux).

Tableau 34: Stocks de carbone dans les couches holorganiques (réseau de mesure Renecofor)

Essences	couches holorganiques (tC/ha)
Chênes	5,7
Hêtre	5,7
Epicéa commun	16,1
Sapin pectiné	7,3
Douglas	10,7
Pins	25,4
Mélèze d'Europe	6,1

A partir des surfaces de chaque type d'essence par grande région écologique (GRECO) de l'IGN, et de ces valeurs de stocks par essences, un stock typique par GRECO est proposé pour les catégories d'usage forêt feuillue (21ff), forêt mixte (21fm) et forêt de résineux (21fc) (cf. carte ci-dessous).

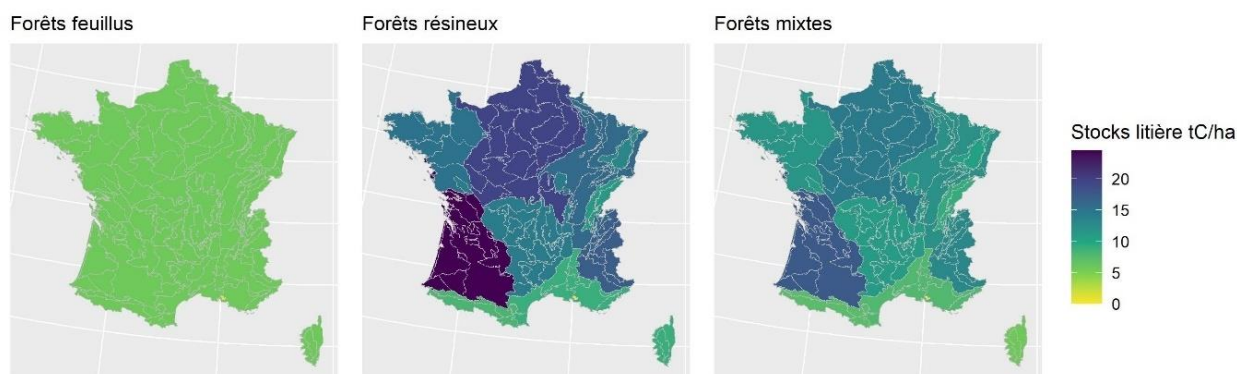


Figure 11 : Stocks litière (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécologie (Source : stocks par essence Renecofor [1275] et surfaces par type d'essence IGN campagne 2018-2022 [594])

Dans les cas où il y a une absence de données statistiquement significatives pour les surfaces par type d'essence, une donnée de stock moyen est utilisée. Elle est issue de l'étude Dupouey et al. (1999) [206], « le stock total des sols forestiers est de (...) 79 tC/ha. [...]. La litière comprend 11 % de ce stock [...] », soit une valeur de 9 tC/ha.

$$79 \text{ tC/ha} * 11\% = 8,7 \text{ tC/ha} \approx 9 \text{ tC/ha.}$$

En Guyane, le stock de litière est estimé par l'ONF [328, p.22] d'après les travaux de Puig et al. (1988) [997] à 2 tC/ha.

$$4,203 \text{ tMS/ha} * 0,5\text{tC/tMS} = 2,1 \text{ tC/ha} \approx 2 \text{ tC/ha.}$$

Dans les autres territoires d'Outre-mer, le stock de litière est estimé de manière spécifique grâce aux études des données dendrométriques de l'ONF [386].

Tableau 35 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la litière des terres forestières

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
France métropolitaine		5,7	variable selon GRECO (voir carte)		5,7	[206],[1275]
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (5 régions)	Guyane	2,0	n.d	n.d	n.d	[328]
	Guadeloupe	1,2	n.d	n.d	n.d	[386]
	Martinique	0,7	n.d	n.d	n.d	[386]
	Réunion	0,1	n.d	n.d	n.d	[386]
	Mayotte	0,9	n.d	n.d	n.d	[386]
Autres territoires		n.d	n.d	n.d	n.d	

n.d : non déterminé

Les stocks à l'hectare, ainsi que les flux de gains (constitution du stock de litière) et pertes de chaque catégorie d'usage pour la métropole sont résumés dans le tableau suivant. Ils permettent d'alimenter le modèle de calcul de variation de stock à la maille. Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité de la litière en 1 an lors d'une conversion (défrichement). Pour les peuplements forestiers ou les catégories assimilées à la catégorie forêt mixtes, les gains sont fixés pour atteindre le stock de référence en 20 ans.

Tableau 36 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment litière (métropole)

Catégorie d'usage	Stock (tC/ha)	Gains (tC/ha/an)	Pertes (tC/ha/an)	Source de données
Forêts feuillus (21ff)	5,7	0,3	0	Renecofor [1275]
Peupleraies (21fp)	5,7	0,3	0	Par défaut
Forêt résineux (21fc)	14,3 [8,1 ; 24,5]	0,7 [0,4 ; 1,2]	0	Renecofor modulé par surfaces de peuplement par GRECO [1275]
Forêts mixtes et catégories assimilées (21fm, 12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32ba)	11 [5,7 ; 17,6]	0,5 [0,3 ; 0,9]	0	Renecofor modulé par surfaces de peuplement par GRECO [1275]
Autres catégories	0	0	10	Par défaut

Pour les catégories forestières, les valeurs moyennes sont indiquées, puis entre crochets la valeur minimale et la valeur maximale. Pour rappel, elles diffèrent par GRECO (grande région écologique).

Carbone du sol [s_min] [s_org]

Définition

Ce réservoir est constitué du carbone organique dans l'horizon 0-30 cm des sols. Le GIEC [672] distingue deux grands types de sols : minéraux et organiques. En France, les sols minéraux constituent la très grande majorité des sols, ce qui explique en partie l'absence d'estimations spécifiques des émissions liées aux changements d'usages sur sols organiques. Cependant, des estimations sont réalisées pour les émissions associées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés ainsi que pour celles liées à l'extraction de tourbe. Ces estimations sont associées aux terres sans changements d'usages : cultures et prairies pour le drainage et zones humides pour l'extraction de tourbe.

Les méthodes et données mises en œuvre pour le carbone des sols sont détaillées dans les sections suivantes ainsi que dans les parties spécifiques à chaque catégorie de terres.

Données

Mesure des stocks de carbone du sol (RMQS)

La France bénéficie d'un réseau de mesures de la qualité des sols nommé Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS), construit à l'initiative du groupement d'intérêt scientifique Sol (GIS Sol), qui regroupe les ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement, l'ADEME, le SOeS et l'INRA. Le réseau RMQS repose sur le suivi de 2200 sites répartis uniformément sur le territoire français, selon une maille carrée de 16 km de côté. Des prélèvements d'échantillons de sols, des mesures et des observations sont effectués tous les dix à quinze ans au centre de chaque maille. L'ensemble des opérations réalisées sur un site est détaillé dans le Manuel RMQS. La première campagne de prélèvement en métropole s'est déroulée de 2000 à 2009. Dans le cadre de l'inventaire, les données de stock de carbone des sites RMQS, fournies par l'unité Infosol de l'INRA, ont pu être exploitées à différents niveaux [424].

Carte des types de sol (BDGSF)

La Base de Données Géographique des Sols de France (BDGSF [719]) au 1/1 000 000, fournie par l'Inra (Unité InfoSol d'Orléans) provient de la Base de Données Géographique des Sols d'Europe au 1/1 000 000, réalisée en plusieurs étapes (correction, numérisation, harmonisation, structuration) entre 1974 et 1998 (en partie par l'Inra, à partir de la typologie internationale des sols proposée par la FAO. Cette terminologie a été adaptée pour prendre en compte des spécificités européennes. Chaque type de sol identifié a été groupé au sein d'unités paysagère, dont la délimitation a fait appel à des jugements d'experts plutôt qu'à des mesures. Parmi les champs descriptifs des sols, on trouve la texture dominante. Cette information est utilisée dans l'inventaire comme critère de définition d'un zonage pédologique (voir § 1.2.5.3.3).

Données sur les sols en Outre-mer

En Outre-mer, des estimations spécifiques sur les stocks de carbone du sol sont disponibles grâce aux études de l'ONF, aussi utilisées pour la biomasse [328, 386].

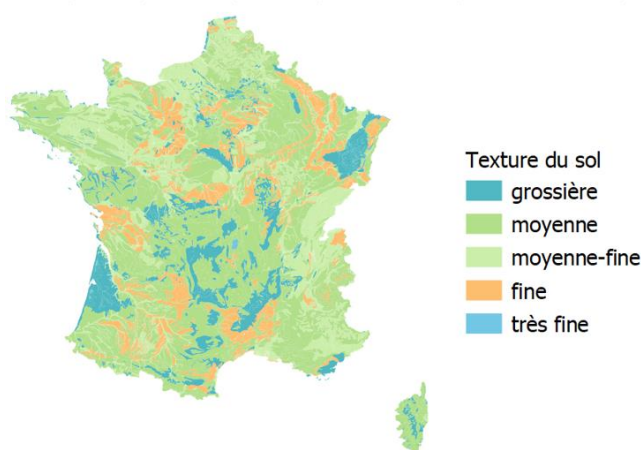


Figure 12 : Cartographie des zones pédologiques (basée sur la texture des sols) complétée [719]

Carte des zones climatiques (JRC)

Le JRC a réalisé une cartographie des zones climatiques [722] en Europe pour l'ensemble des Etats-membres de l'Union européenne, pour les aider à améliorer leur méthodologie des inventaires, selon la classification Giec (2006), en prenant en compte divers paramètres : température, précipitation, potentiel d'évapotranspiration, relief. La carte pour la France réalisée dans ce cadre a été simplifiée par le Citepa avec un critère surfacique de manière à supprimer les pixels ou groupes de pixels isolés. Ainsi, les zones « frais tempéré sec » et « polaire humide » (quelques pixels en haute montagne) ont été intégrées à des ensembles plus larges.

L'utilisation d'une carte des climats plus récente (Giec 2019) a été étudiée. Cependant, l'analyse des stocks de référence issu du RMQS (2000-2009) par zone pédoclimatique se basant sur la carte du Giec 2006, il n'a pas été jugé pertinent de mettre à jour ces zones pour l'instant.

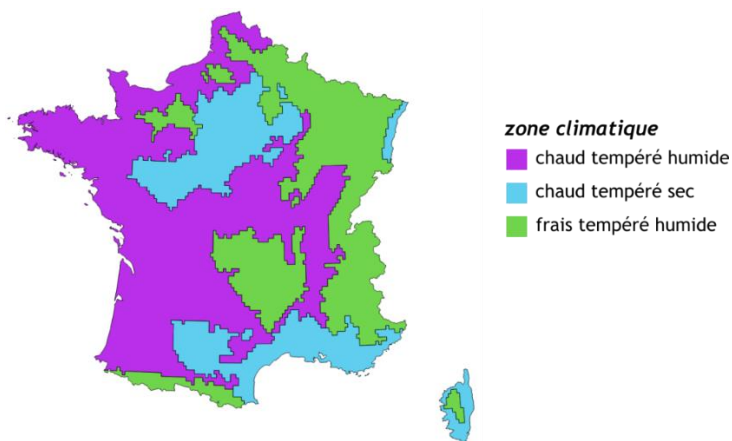


Figure 13 : Cartographie des zones climatiques [722]

Méthode

Equation générale

Pour estimer la variation de stock de carbone organique du sol pour les sols minéraux, une méthode de variation de stock par maille semblable à celle décrite pour tous les autres compartiments est utilisée. Cependant, le stock de référence de la maille est modulé non seulement par l'usage des terres, mais également par les pratiques culturales associées. Ce stock change donc annuellement, cette routine de calcul va donc créer des flux à la fois pour les terres restant dans la même catégorie d'utilisation (en prairies ou en cultures), que pour des terres changeant d'usage. La correction du stock de référence par des facteurs d'ajustement s'approche de la méthode générique du Giec [672]. En revanche, le mode de calcul s'effectue à la maille, et ne s'applique plus aux surfaces de conversion sur 20 ans. Les flux qui définissent la vitesse de transition d'une maille vers son stock de référence dans le modèle sont calibrés sur 20 ans, à l'exception de l'artificialisation des sols, pour laquelle la vitesse de dégradation du stock est calibrée sur 5 ans.

Tableau 37 : Flux appliqués aux différentes catégories d'usage dans le modèle de variation par maille

Catégorie d'usage	Gains (tC/ha/an)	Pertes (tC/ha/an)
Tous les sols agricoles et forestiers	1,22	1,22
Sols artificiels non végétalisés (300, 310, 31ba, 31bn)	1,50	9,72
41tb et 41zh	3,09	0,00
Autres zones humides et autres terres (400, 410, 420, 41ea, 41in, 42gl, 42sn)	0	3,16

Équation 4 (UTCATF) inspirée de l'équation 2.25 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta C_{\text{Minéraux}} = \text{COS}_n - \text{COS}_{(n-1)}$$

$$\text{COS} = \text{COS}_{\text{REF}} \times F_{\text{UT}} \times F_{\text{RG}} \times F_{\text{A}}$$

Avec :

$\Delta C_{\text{Minéraux}}$ = Variation annuelle du stock de carbone du compartiment sol pour une maille, tC/an

COS = Stock de carbone du sol l'année d'inventaire, tC

COS_{REF} = Stock de carbone de référence, tC/ha

F_{UT} = Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres

F_{RG} = Facteur de variation de stock lié au régime de gestion (travail du sol principalement)

F_{A} = Facteur de variation de stock lié aux apports (organiques principalement)

Stocks de carbone de référence (COS_{REF})

Les stocks de carbone du sol de référence (COS_{REF}) correspondent aux stocks de carbone natifs, sous végétation indigène. Afin de conserver les facteurs de variation de stock liés à l'utilisation des terres égaux à 1 (Giec 2019) pour les usages forêts et prairies, le stock de référence est déterminé à partir des stocks RMQS en prairie et en forêt pour chaque zone pédoclimatique. Les COS_{REF} utilisés correspondent donc à la moyenne des stocks médians observés sous forêt et sous prairies, pondérés par le nombre de relevés RMQS dans chacune des catégories [424] pour la métropole. Pour l'Outre-Mer, des valeurs données par l'ONF sont utilisées [328, 386].

Méthode de construction des zones pédoclimatiques par le Citepa

Ces zones pédoclimatiques ont été définies selon les principes du GIEC [672], en croisant :

- la cartographie des types de sols [719] distinguant 5 niveaux de texture (1 = grossière ; 2 = moyenne ; 3 = moyenne fine ; 4 = fine ; 5 = très fine) (§1.2.5.2.2)

Figure 14 : Cartographie des zones pédoclimatiques

- la cartographie des zones climatiques [722] distinguant 3 types de climats (1 = chaud tempéré humide ; 2 = chaud tempéré sec ; 3 = frais tempéré humide) (§1.2.5.2.3)

En croisant ces trois cartes, une cartographie avec 15 zones pédoclimatiques, redécoupées par région administrative, a donc été construite :

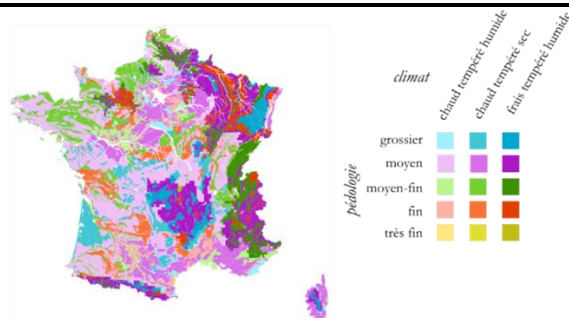


Tableau 38 - Stocks de carbone de référence pour les sols par région ou zone pédoclimatique

Périmètre	Région ou zone pédoclimatique	tC/ha	Pédologie (texture)	Climat	Source
France métropolitaine (22 régions)	1_1	70,5	grossière	chaud tempéré humide	Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) [424]
	1_2	47,6	grossière	chaud tempéré sec	
	1_3	86,5	grossière	frais tempéré humide	
	2_1	65,2	moyenne	chaud tempéré humide	
	2_2	72,5	moyenne	chaud tempéré sec	
	2_3	84,8	moyenne	frais tempéré humide	
	3_1	71,5	moyenne-fine	chaud tempéré humide	
	3_2	58,8	moyenne-fine	chaud tempéré sec	
	3_3	94,8	moyenne-fine	frais tempéré humide	
	4_1	83,5	fine	chaud tempéré humide	
	4_2	64,0	fine	chaud tempéré sec	
	4_3	84,5	fine	frais tempéré humide	
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (5 régions)	Guyane	100			[328]
	Guadeloupe	15			[386]
	Martinique	14			[386]
	Réunion	2			[386]
	Mayotte	64			[386]
Autres territoires		Non estimé			

Pour les zones humides, le RMQS donne la valeur de 125 tC/ha mais sans détail par zones pédoclimatique à cause du faible nombre de relevés. Cette valeur sera utilisée pour toutes les zones humides, sans appliquer de facteur de variation F_{UT} . Pour les zones artificialisées et les « autres terres », le RMQS ne dispose pas de mesures représentatives. Pour les sols urbains (sols nus et revêtus, enherbés, arborés), des valeurs spécifiques de stock de carbone issues de la littérature scientifique sont utilisées [721]. Aucun stock spécifique n'est pris en compte pour les « autres terres » (roches, sable, etc.).

Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres (FUT)

Le paramètre F_{UT} est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Les forêts et les prairies ont un facteur égal à 1. Les types d'usages corrigés sont les cultures annuelles, les cultures pérennes et les jachères. Pour rappel, les stocks de zones humides, zones artificielles et autres terres sont donnés directement (voir partie précédente), et n'applique pas d'ajustement par les facteurs F_{UT} , F_{Rg} et F_A .

Tableau 39 : Facteurs d'ajustement liés à l'utilisation des terres par type d'usage et zone climatique (Giec 2019)

Type de facteur	Descriptif	Zone climatique	Facteur	Erreur
F_{UT}	cultures annuelles	chaud tempéré humide	0,69	16%
		chaud tempéré sec	0,76	12%
		frais tempéré humide	0,7	12%
	cultures pérennes	chaud tempéré humide	0,72	22%
		chaud tempéré sec	0,72	22%
		frais tempéré humide	0,72	22%
	jachères	chaud tempéré humide	0,82	17%
		chaud tempéré sec	0,93	11%
		frais tempéré humide	0,82	17%
	prairie	chaud tempéré humide	1	
		chaud tempéré sec	1	
		frais tempéré humide	1	

Facteurs de variation liés à la gestion (FRG) et aux apports (FA)

Les données de pratiques culturales qui déterminent le régime et gestion et les apports sont détaillés dans les parties relatives aux cultures et aux prairies.

Les paramètres FRG et FA sont issus du raffinement 2019 du Giec [1229], et varient selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille.

Tableau 40: Facteurs d'ajustement liés au régime de gestion et aux apports par zone climatique (Giec 2019)

Type de facteur	Descriptif	Zone climatique	Facteur	Erreur
F _{Rg}	Labour (avec retournement du sol)	chaud tempéré humide	1	
		chaud tempéré sec	1	
		frais tempéré humide	1	
	TCS (travail profond sans retournement, travail superficiel)	chaud tempéré humide	1,05	4%
		chaud tempéré sec	0,99	3%
		frais tempéré humide	1,04	4%
	Semis direct	chaud tempéré humide	1,1	4%
		chaud tempéré sec	1,04	3%
		frais tempéré humide	1,09	4%
	Prairies non dégradées	chaud tempéré humide	1	
		chaud tempéré sec	1	
		frais tempéré humide	1	
	Prairies surpâturées	chaud tempéré humide	0,9	8%
		chaud tempéré sec	0,9	8%
		frais tempéré humide	0,9	8%
	Prairies sévèrement dégradées	chaud tempéré humide	0,7	40%
		chaud tempéré sec	0,7	40%
		frais tempéré humide	0,7	40%
	Prairies améliorées	chaud tempéré humide	1,14	11%
		chaud tempéré sec	1,14	11%
		frais tempéré humide	1,14	11%
F _A	Faibles	chaud tempéré humide	0,92	14%
		chaud tempéré sec	0,95	13%
		frais tempéré humide	0,92	14%
	Moyens	chaud tempéré humide	1	
		chaud tempéré sec	1	
		frais tempéré humide	1	
	Elevés sans fumier	chaud tempéré humide	1,11	10%
		chaud tempéré sec	1,04	13%
		frais tempéré humide	1,11	10%
	Elevés avec fumier	chaud tempéré humide	1,44	13%
		chaud tempéré sec	1,37	12%
		frais tempéré humide	1,44	13%
	Prairies améliorées avec apports moyens	chaud tempéré humide	1	
		chaud tempéré sec	1	
		frais tempéré humide	1	
	Prairies améliorées avec apports élevés	chaud tempéré humide	1,11	7%
		chaud tempéré sec	1,11	7%
		frais tempéré humide	1,11	7%

Méthode de calcul pour les sols organiques drainés

Les émissions liées au drainage des sols organiques sont estimées en culture et en prairie sur la base du GIEC 2013 [923] avec des facteurs d'émissions différents pour la métropole et l'Outre-mer du fait des différences de climat.

Tableau 41 : Paramètres de calcul pour les sols organiques (histosols) drainés.

	Métropole		Outre-Mer	
	Culture	Prairie	Culture	Prairie
FE CO ₂ direct	7,9 tC-CO ₂ /ha/an	3,6 tC-CO ₂ /ha/an	14 tC-CO ₂ /ha/an	9,6 tC-CO ₂ /ha/an
FE CO ₂ indirect	0,3 tC-CO ₂ /ha/an (0.21*0,6*0.9)		0,8 tC-CO ₂ /ha/an (0.57*0,6*0.9)	
FE CH ₄	0 kgCH ₄ /ha/an	39 kgCH ₄ /ha/an	7 kgCH ₄ /ha/an	7 kgCH ₄ /ha/an
Surfaces	5 883 ha	16 416 ha	88 ha	230 ha

Sources : IPCC 2013, tables 2.1, 2.2, 2.3. Note : le N₂O est rapporté en agriculture

Méthode d'estimation des émissions de GES (NID) :

Emissions de CO₂, de CH₄ et de N₂O

Voir les différentes sous-parties dédiées aux types de terres.

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Emissions de NO_x et CO et autres substances

Voir les différentes sous-parties dédiées aux types de terres.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
03/03/2025	MJ	04/03/2025	EM

Terres Forestières (Forestland)

Cette section concerne les émissions/absorptions par les forêts gérées. Deux types de forêt sont distingués : les forêts établies depuis plus de 20 ans (forêts restant forêts) et les forêts issues d'un changement d'usage de la terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée (terres devenant forêts).

Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	4A
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.11.04 à 11.12.15, 11.31.01 à 11.31.16, 11.03.01 et 11.03.02
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

Niveau de méthode :

Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.

Références utilisées :

- [17] EMEP / CORINAIR Guidebook
- [66] EPA - AP42. Janvier 1995
- [92] CITEPA - PAJOT K., GABORIT G. FONTELLE J-P. - Estimation annuelle des émissions de COVNM des sources biotiques dans la basse atmosphère en France (modèle COBRA) - Mai 2003
- [188] AER – Facteurs d'émission pour certains polluants organiques persistants : PCB, HAP, HCB et PCP, octobre 2004 (rapport pour CITEPA, non publié)
- [189] UNFCCC – paragraphe 16 de l'annexe à la Décision 11CP7
- [200] MAP / SCEES – Publications annuelles Agreste « Récolte de bois et production de sciages »
- [201] INESTENE – Le bois énergie en France
- [202] IGN/IFN – Données spéciales d'après l'inventaire terrain
- [204] GICC 2001 – Gestion des impacts du changement climatique, rapport CARBOFOR, juin 2004

- [294] GUENTHER A-B - Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. Ecological Application, 1997, vol. 7, pp 34-45
- [297] PROMETHEE - Base de données sur les incendies en zone méditerranéenne sur www.promethee.com
- [298] Ministère de l'Agriculture (MAP), Dossier de presse « Prévention des incendies de forêt », www.agriculture.gouv.fr
- [493] IFN/FCBA/SOLAGRO - Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020, Novembre 2009
- [533] IGN – Communication personnelle, septembre 2012
- [534] ONF – Communication personnelle, septembre 2012
- [594] IGN - <http://inventaire-forestier.ign.fr/>
- [595] VALLET et al – Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France, 2006
- [596] ANDERSEN A. – Biomasse Normandie. Le chauffage domestique au bois – Approvisionnement et marchés. Réalisée pour l'ADEME, 1999
- [598] AFOCEL – CTBA – Communication personnelle
- [602] Jonard M., Caignet I., Ponette Q., Nicolas M., 2013 : Evolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine – Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR, Rapport préliminaire du 29/04/2013, 31p. ONF – Université de Louvain
- [672] GIEC 2006 – Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.
- [724] SDIS 974, Dispositif de lutte contre les feux de forêts à La Réunion Saison 2015. Présentation du dispositif de lutte contre les feux de forêts. Mercredi 7 octobre 2014
- [725] Feux de végétation - d'après l'état-major de la zone de défense de Guyane
- [726] Orientations Forestières du Département de Mayotte Préfigurant le Programme de la Forêt et du Bois du Département de Mayotte, 2015.
- [795] SIMPSON D. Inventorying emissions from nature in Europe. Journal of Geophysical Research. 1999
- [802] Clement and Tashiro (1991). Forest fires as a source of PCDD and PCDF. 11th International Symposium on Chlorinated dioxins and related compounds, 1991
- [328] Guitet S., Blanc L., Chave J., Gomis A., 2006. Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour la forêt guyanaise. Convention n° 59.02. G 18/05 du 19/12/2005 entre le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et l'Office National des Forêts – Direction régionale de Guyane. Rapport final, 81p.
- [994] Roux A., Dhôte J.-F. (Coordinateurs), 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 pour le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, INRA et IGN, 101 p. + 230 p. (annexes).
- [1027] Jean-Christophe Hervé. "National Forest Inventories - Assessment of wood availability and use". In : sous la dir. de Claude Vidal et al. Springer, 2016. Chap. France, p. 385–404.
- [1028] Jean-Christophe Hervé et al. "L'inventaire des ressources forestières en France : un nouveau regard sur de nouvelles forêts". In : Revue Forestière Française LXVI.3 (2014), p. 247–260. doi : 10.4267/2042/56055
- [1205] DONNEE Surfaces potentiellement brûlées MODIS Quasi-Temps réel (MCD14DL) <https://geoportail.oeil.nc/geoportal/catalog/>

[1270] Maaf, Ecofor, 2018. Indicateurs de gestion durable des forêts françaises ultramarines de la Martinique / Guyane / Guadeloupe, édition 2015

[1276] Mouillot et al., 2006. Global Carbon Emissions from biomass burning in 20th century. Geophysical Research Letters 33(1).

[1350] Indicateurs de gestion durable des forêts française - IGN - Indicateur 4.5

Caractéristiques de la catégorie (uniquement pour le NID) :

Définitions

Définition de « terres forestières » et sous-catégories

En application des accords de Marrakech de 2001 [189], la France retient, pour sa définition de la forêt, les valeurs minimales suivantes :

	Couverture du sol par les houppiers d'essences ligneuses	Superficie	Hauteur des arbres à maturité	Largeur
Seuil	10 %	0,5 ha	5 m	20 m

Formations incluses et exclues de la définition de « Forêt »

Une forêt peut être constituée soit de formations denses dont les divers étages arborés couvrent une forte proportion du sol, soit de formations claires. Les jeunes peuplements naturels et toutes les plantations composées d'essences ligneuses susceptibles d'atteindre 5 mètres de hauteur à maturité mais dont le houppier ne couvre pas encore 10% de la superficie sont classées dans la catégorie « Forêt », de même que les zones faisant normalement partie des terres forestières, temporairement déboisées par suite d'une intervention humaine ou de phénomènes naturels, mais qui devraient redevenir des forêts dans la limite de 5 ans suivant le déboisement.

Le terme « forêt » inclut les routes qui traversent les forêts, les pare-feux et les autres ouvertures de faible superficie, dont la largeur est inférieure à 20 m. Les haies brise-vent, les rideaux-abris arborés et les couloirs d'arbres ayant une superficie supérieure à 0,5 ha et une largeur de plus de 20 m sont également inclus dans la définition de forêt.

En revanche, les peuplements d'arbres respectant les seuils définis mais dont l'affectation est majoritairement non-forestière (vergers, parcs urbains, jardins etc.) sont exclus de la catégorie « Forêt ».

Cette définition de la forêt est conforme à celle communiquée antérieurement à l'Organisation de l'ONU pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), dans le cadre notamment des enquêtes FRA 2005, FRA 2010, FRA 2015, FRA 2020.

Tableau 42 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Forestières

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
2	Végétation naturelle et semi-naturelle	21	Forêt	210	Forêt indéfinie
				21ff	Forêt feuillus
				21fc	Forêt conifères
				21fm	Forêt mixte
				21fp	Peupleraies
				21mg	Mangroves

Définitions de « Gestion forestière » et « Forêt gérée »

En France, l'ensemble du territoire est considéré géré quelle que soit la catégorie d'utilisation des terres (voir partie LULUCF générique).

Une forêt est gérée au sens de la CCNUCC lorsqu'elle fait l'objet d'opérations de gestion forestière visant à administrer ses fonctions écologiques, économiques et sociales. Le terme « opération de gestion forestière » recouvre les actions de coupes ou de travaux forestiers mais également les actions de planification forestière, d'accueil du public en forêt ou de protection des écosystèmes forestiers.

En application de cette définition, la totalité des surfaces forestières (métropole et outre-mer) est considérée gérée. Certaines forêts sont peu ou pas exploitées d'un point de vue sylvicole, mais sont gérées, par exemple sous le régime des Parcs Naturels Nationaux.

Définitions de « terres forestières restant terres forestières » et « terres devenant terres forestières »

La catégorie des terres forestières restant terres forestières est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées dans la catégorie « Forêt » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir forêt.

La catégorie des terres devenant terres forestières correspond à l'ensemble des terres en Forêt l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

Approche et données

Approche générale

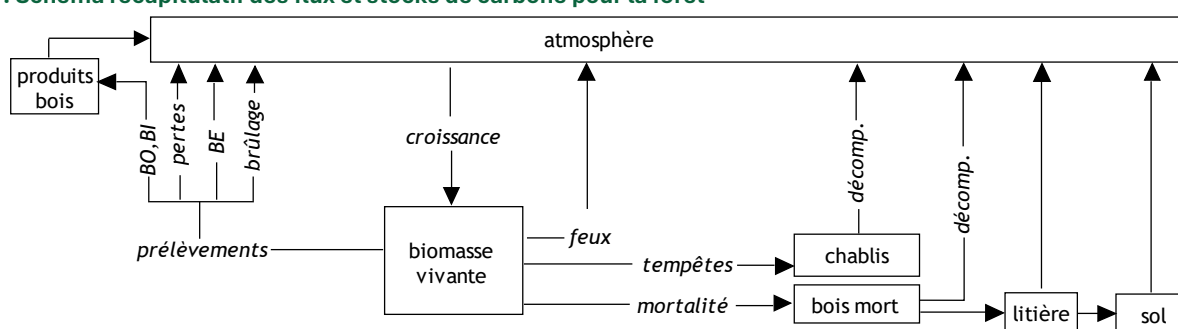
Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque compartiment les flux de carbone par variation de stock en fonction des changements d'usage (y compris entre sous-catégories d'une même catégorie Giec, par exemple entre feuillus et résineux). Ces flux concernent à la fois les terres forestières restant terres forestières et les terres devenant forêt.

Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (méthode gains-pertes). Ils sont appliqués aux terres forestières restant terres forestières.

En forêt, les estimations se font donc en partie avec une approche gains-pertes et en partie avec une approche par variation de stock à la maille.

Figure 15 : Schéma récapitulatif des flux et stocks de carbone pour la forêt



Parmi ces stocks et ces flux, certains sont connus directement (donnée d'entrée), d'autres sont estimés indirectement à partir de données d'entrée et d'hypothèses, et enfin certains ne sont pas estimés. La méthode des flux permet d'estimer directement les flux entre compartiments mais ne permettent pas de connaître l'état des stocks. La méthode de variation de stock permet d'estimer indirectement ces flux.

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*.

Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de forêts pour l'ensemble des compartiments carbone. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 43 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Forêts indéfinies	70 [21 ; 120]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,16	4 [0 ; 9]	11 [5,7 ; 17,6]	77 [48 ; 95]
Forêts feuillus	71 [20 ; 127]	12 [3 ; 21]	0	0	0	0,2	4 [1 ; 11]	5,7	77 [48 ; 95]
Forêts conifères	62 [21 ; 126]	14 [5 ; 29]	0	0	0	0,2	3 [0 ; 9]	14,3 [8,1 ; 24,5]	77 [48 ; 95]
Forêts mixtes	70 [21 ; 120]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,2	4 [0 ; 9]	11 [5,7 ; 17,6]	77 [48 ; 95]
Peupleraies	80	16	0	0	0	0,2	3	5,7	77 [48 ; 95]

moyenne [min, max]

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en forêt (ou entre sous-catégories de forêt). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue forêt dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 44 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Forêts indéfinies	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,5 [0,3 ; 0,9]	1,22
Forêts feuillus	1,1 [0,3 ; 1,9]	0,3 [0,1 ; 0,5]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0,02 ; 0,26]	0,3	1,22
Forêts conifères	1,2 [0,4 ; 2,4]	0,4 [0,1 ; 0,7]	0	0	3,6	6,3	0,07 [0 ; 0,23]	0,7 [0,4 ; 1,2]	1,22
Forêts mixtes	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,5 [0,3 ; 0,9]	1,22
Peupleraies	1,4	0,4	0	0	3,6	6,3	0,06 [0,06 ; 0,06]	0,3	1,22

moyenne [min, max]

Tableau 45 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minér aux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Forêts indéfinies	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Forêts feuillus	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Forêts conifères	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Forêts mixtes	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Peupleraies	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22

Approche en métropole

Méthodologie de l'inventaire forestier

Les données décrites dans cette partie sont relatives aux flux qui s'ajoutent dans un second temps aux résultats du modèle de variation par maille. Ce sont des flux de types gains-pertes appliqués à l'échelle de la région administrative (22 anciennes régions).

Les flux de carbone estimés pour la forêt sont en grande partie dérivés des travaux de l'IGN qui produit l'inventaire forestier de la France. Le protocole pour la production des résultats d'inventaire forestier de l'IGN est décrit en détail sur le site internet de l'IGN [594]. L'inventaire forestier repose sur un système d'échantillonnage systématique comportant annuellement environ 80 000 points d'inventaire.

Deux grandes étapes peuvent être distinguées : la photo-interprétation de tous ces points d'inventaire (classification par couverture et usage et estimation des surfaces) ; la visite de terrain sur une partie des points d'inventaire classés en forêt ou landes (estimation de plusieurs dizaines de caractéristiques qualitatives et quantitatives) (voir encadré ci-dessous).

Méthodologie de l'IFN

« Depuis 2005, une méthode statistique par sondage systématique est appliquée annuellement sur l'ensemble du territoire métropolitain. L'avantage de cette méthode est d'être souple et de s'adapter facilement à de multiples découpages spatiaux et à de nombreuses thématiques. Elle permet de produire annuellement des résultats nationaux et régionaux précis par agrégation de données issues de cinq campagnes annuelles.

Chaque année, un échantillon représentatif de l'ensemble du territoire est visité. Il est cumulable avec les échantillons des années adjacentes pour produire des résultats plus précis fondés sur plusieurs échantillons annuels, selon le principe de la fenêtre glissante. Les résultats standards portent ainsi sur cinq années successives et fournissent des estimations pour l'année médiane de la fenêtre. L'inventaire forestier repose sur une grille à maille carrée de 1 km de côté, mise en place pour construire dix échantillons annuels différents. Cette grille décennale est séparée en deux sous-ensembles quinquennaux, dont les fractions annuelles sont juxtaposées : la fraction 1 du premier cycle quinquennal est juxtaposée à la fraction 1 du second cycle, etc.

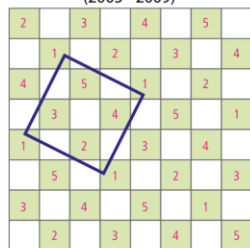
Ainsi, une grille formée de cinq ensembles de mailles rectangulaires de 2 km² se dessine, ce qui permet une optimisation logistique entre les points « première visite » et les points « deuxième visite ». En effet, depuis 2010, le plan d'échantillonnage est composé de points revisités systématiquement cinq ans après le passage initial.

formations ligneuses sont notées sur des placettes de 25 mètres de rayon entourant les points d'inventaire. La photo-interprétation ponctuelle est composée de deux échantillons différents, pour un travail de photo-interprétation à réaliser de manière homogène :

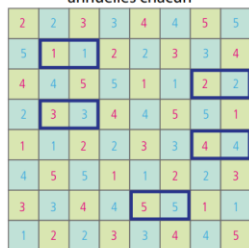
un premier échantillon de points nouveaux, constitués de points photo-interprétés pour la première fois, et un deuxième échantillon de points re-photo-interprétés, constitué de points déjà photo-interprétés cinq ans auparavant. Ce sont désormais environ 100 000 points qui sont photo-interprétés chaque année. Les résultats de ce travail initial contribuent à une première estimation de la surface du territoire selon la couverture et l'utilisation du sol.

La seconde phase consiste à tirer un sous-échantillon parmi les points de la première phase : les couvertures boisées et les landes font l'objet d'un inventaire sur le terrain (soit environ 7 000 points visités chaque année), les couvertures agricoles et en improductif n'en font pas l'objet. Au cours des travaux de terrain, des observations et mesures portant sur le milieu et la végétation (arborée ou non) sont effectuées sur les placettes concentriques entourant le point. Cela permet de qualifier plusieurs dizaines de caractéristiques qualitatives et quantitatives, concernant le peuplement forestier, la végétation, les conditions stationnelles et les arbres (hauteur, diamètre, accroissement, âge, etc.). Des données sur le bois mort au sol sont également collectées, par inventaire des pièces de bois mort au sol qui intersectent le transect de 12 m de long centré sur la placette. L'espèce concernée, le diamètre de la pièce, ainsi que son état de décomposition sont relevés. De plus, un suivi des habitats forestiers est mis en place. Il s'appuie sur des clés régionalisées par domaine biogéographique ou grande région écologique et est basé sur des indicateurs écologiques et floristiques. Profitant de la proximité des mailles des échantillons n et n-5, depuis la campagne

Fractions annuelles à l'intérieur
du premier cycle quinquennal
(2005 - 2009)



Toutes les mailles sont parcourues
en 2 cycles appariés de 5 fractions
annuelles chacun



Premier cycle quinquennal (2005 - 2009)
Deuxième cycle quinquennal (2010 - 2014)

Chaque année, la première phase statistique de l'inventaire est la photo-interprétation ponctuelle. À partir de l'orthophotographie départementale de référence en infrarouge couleur (BD ORTHO®), des informations relatives à la couverture du sol, à son utilisation et à la taille des

2010, la visite des points d'un nouvel échantillon n permet un retour sur les points de l'échantillon n-5 (plus de 7 000 points par an). Depuis la campagne 2015, une grande majorité des informations sont ressaisies. Ce retour est destiné à estimer de manière précise et fiable les évolutions (flux) en forêt, comme l'accroissement des peuplements, la mortalité des arbres ou les prélèvements de bois. Les placettes initiales acquièrent ainsi un caractère « semi-permanent », puisqu'elles font l'objet d'une nouvelle mesure, cinq ans après leur mise en place. » [594, 1027, 1028]

Intégration des campagnes de l'IFN dans l'inventaire

Pour la France métropolitaine, les données sur l'accroissement (croissance brute), la mortalité et les prélèvements issues des campagnes IFN sont fournies, en tonnes de carbone, avec le degré de détail suivant :

- pour la biomasse aérienne et racinaire ;
- par type de peuplement (purement feuillu, purement conifère, mixte, peupleraie) ;
- par interrégion (regroupement des 22 anciennes régions en 5 interrégions : Nord-Est, Centre-Est, Sud-Est, Sud-Ouest, Nord-Ouest), voir carte ci-dessous ;

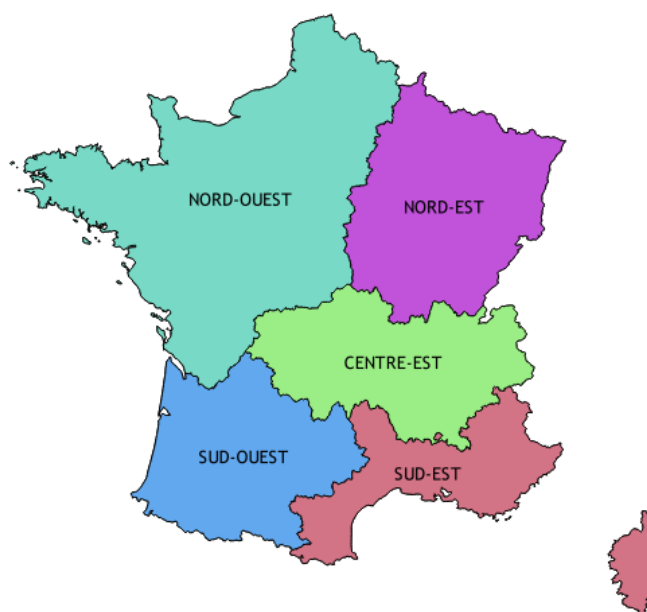


Figure 16 : Carte des interrégions IGN

- en distinguant les chablis des tempêtes exceptionnelles ;
- par campagne (les résultats de chaque campagne quinquennale sont affectés à l'année médiane, cf. tableau ci-dessous).

Tableau 46 : Campagnes de l'inventaire forestier national fournies par l'IGN utilisées dans l'inventaire UTCATF (métropole)

			Interpolation 1990-2007					Années renseignées par les campagnes IFN													Extrapolation			
Résultats fournis en...	Campagne IFN	Année médiane	1990	1991	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	1990																							
2011	2005-2009	2007																						
2012	2006-2010	2008																						
2013	2007-2011	2009																						
2014	2008-2012	2010																						
2015	2009-2013	2011																						
2016	2010-2014	2012																						
2017	2011-2015	2013																						
2018	2012-2016	2014																						
2019	2013-2017	2015																						
2021	2014-2018	2016																						
2021	2015-2019	2017																						
2022	2016-2020	2018																						
2023	2017-2021	2019																						
2024	2018-2022	2020																						

Il est important de souligner que les méthodes d'inventaire de l'IGN ont changé en 2005 de manière à pouvoir produire des résultats nationaux tous les ans, ce qui n'était pas le cas auparavant. Du fait de ces changements et de la nécessité d'avoir une information fiable et représentative, les résultats d'inventaire forestiers sont actuellement fournis sur des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). La dernière campagne utilisée pour l'inventaire est celle de 2017-2021, relative à l'année médiane 2019. Les trois dernières années sont issues d'extrapolation.

Accroissement (ou production brute)

En France métropolitaine, l'IGN fournit des estimations de la production brute au sein des forêts de production par type de peuplement et par interrégion. Le protocole de terrain de l'inventaire forestier de l'IGN pour estimer ce paramètre de production est décrit sur le site internet de l'IGN [594].

La production brute annuelle totale de la forêt est estimée en sommant la production des arbres recensables depuis 5 ans (accroissement en volume des 5 dernières années), le recrutement (volume des arbres recensables depuis moins de 5 ans) et la production sur la période précédant leur mort des arbres coupés ou morts durant les 5 dernières années. La production annuelle brute est donc basée sur une estimation de la production sur une période de 5 ans en raison du protocole de collecte des données de terrain. Cette approche se justifie également par la forte variabilité interannuelle de l'accroissement des arbres qui peut ainsi être lissée dans les inventaires d'émission.

La production brute des arbres est estimée à partir des mesures de terrain notamment la circonférence, la hauteur, et l'accroissement radial des arbres présents. L'échantillonnage étant systématique et non biaisé, ces mesures peuvent être extrapolées à l'ensemble de la forêt métropolitaine. Pour les arbres recensables depuis 5 ans la production en volume (en m3 de bois fort tige IGN) est estimée par arbre grâce à l'équation suivante :

Équation 5 (Forêts)

$$\text{Production} = V_t - V_{t-5} = V''_t \times (1 - V'_{t-5}/V'_t)$$

Avec :

Production	=	Volume de production brute sur 5 ans entre l'année t et l'année t-5
V_t	=	Volume de l'arbre l'année t
V_{t-5}	=	Volume de l'arbre l'année t-5
V''_t	=	Volume de l'arbre l'année t estimé par un tarif de cubage à 2 entrées (circonférence, hauteur)
V'_t	=	Volume de l'arbre l'année t estimé grâce un tarif de cubage à 1 entrée (circonférence)
V'_{t-5}	=	Volume de l'arbre l'année t-5 estimé grâce un tarif de cubage à 1 entrée (circonférence)

Les volumes V''_t , V'_t , V'_{t-5} (exprimés en bois fort tige IGN) sont estimés à partir de tarifs de cubage spécifiques développés par l'IGN (IGN, 2010) :

V''_t est fonction de la circonférence à 1,30 m et de la hauteur de l'arbre l'année t.

V_t et V_{t-5} sont estimés par des tarifs de cubage à une seule entrée qui est la circonférence l'année t-5 (déduit de la mesure de l'accroissement radial).

Les tarifs de cubage à une entrée sont moins précis que ceux à deux entrées mais ils permettent de s'affranchir de la hauteur de l'arbre à t-5 qui est inconnue. L'utilisation du ratio V_{t-5}/V_t permet d'atténuer le biais que représente l'usage de tarifs de cubage à une seule entrée.

Méthodologie de l'IFN : mesure de l'accroissement

« L'accroissement radial des cinq dernières années est mesuré sur tous les arbres vifs inventoriés de la placette. Pour ce faire, les agents de terrain utilisent une tarière de Pressler qui permet d'obtenir une carotte de bois prise à une hauteur de 1,30 m. Cette carotte est ensuite examinée et mesurée à la loupe pour disposer d'un accroissement radial en dixièmes de millimètres sur les cinq dernières années. Le cerne de l'année t n'est marqué qu'à la fin de la saison de

végétation, c'est-à-dire vers la fin de l'été ou le début de l'automne. La campagne d'inventaire de l'année t débute en novembre de l'année t-1 à un moment où le cerne t-1 est pleinement constitué. C'est celui-ci qui est mesuré, ainsi que les quatre précédents, tout au long de la campagne de l'année t. Le cerne mis en place l'année t n'est pas mesuré. Les mesures de l'année n concernent donc bien les années de croissance t-5 à t-1 exactement. » [594]

L'IGN produit des résultats de production brute en volume de bois fort tige IGN ce qui correspond à une unité traditionnellement utilisée dans les inventaires forestiers. Mais il fournit également ces résultats en biomasse totale et en carbone total grâce à l'utilisation de tarifs de cubage et de facteurs de conversion spécifiques. Pour les résultats de production en biomasse totale, l'équation UTCATF 6 est également utilisée en revanche le paramètre V^t est exprimé en biomasse totale et est estimé grâce à des tarifs de cubage différents [595] de ceux utilisés pour estimer les volumes en bois fort tige (IGN, 2010). Les données de production fournies par l'IGN sur des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Ces données sont traitées par l'IGN pour correspondre aux années médianes 2007, 2008, 2009, etc. dans l'inventaire de GES. Certaines années médianes correspondent donc à des périodes incluant ou non les impacts de la tempête Klaus qui a eu lieu en 2009.

Tableau 1 : Production brute annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN (exemple pour l'année 2007)

	PUREMENT FEUILLU	MIXTE	PUREMENT CONIFERE	PEUPLERAIE	TOTAL
CENTRE-EST	4 120	1 370	2 707	73	8 270
NORD-EST	7 964	1 352	1 828	127	11 272
NORD-OUEST	7 719	716	1 177	383	9 996
SUD-EST	1 882	557	1 523	19	3 981
SUD-OUEST	4 480	553	2 827	133	7 993
FRANCE	26 165	4 549	10 062	736	41 512

L'intégralité des valeurs de production utilisées dans l'inventaire est disponible par région, par type de peuplement et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Les données transmises par l'IGN issues du nouveau protocole de l'IFN concernent actuellement les années de 2007 à 2019 (en termes d'années médianes des campagnes). D'autres données issues des anciens inventaires forestiers, permettent d'estimer la production de l'année 1990. Enfin la production de la période 1990-2007 est estimée par interpolation des taux de croissance par hectare entre 1990 et 2007.

Mortalité

La mortalité annuelle correspond au volume des arbres qui sont morts durant l'année. Il s'agit donc du flux annuel de carbone entre le compartiment biomasse vivante et le compartiment bois mort. Il s'agit de la mortalité de fond, hors tempêtes exceptionnelles qui font l'objet d'un traitement particulier (voir plus bas). Ce flux est directement comptabilisé comme une émission vers l'atmosphère. En pratique l'IGN estime ce paramètre en mesurant les volumes des arbres morts depuis moins de cinq ans précédant la visite sur le terrain. La mortalité annuelle est estimée à partir des mesures de terrain notamment la circonférence et la hauteur des arbres morts présents. L'échantillonnage étant systématique et non biaisé, ces mesures peuvent être extrapolées à l'ensemble de la forêt métropolitaine.

Dans le GIEC 2006, cette grandeur n'est pas clairement présentée elle est incluse dans le paramètre $L_{\text{disturbances}}$ de l'équation 2.11 du GIEC 2006 [672] traitant des pertes de carbone des terres forestières.

L'IGN produit des résultats de mortalité en volume de bois fort tige IGN mais également en biomasse totale et en carbone total grâce à l'utilisation de tarifs de cubage (Vallet, 2006) et de facteurs de conversion spécifiques. Les données de mortalité fournies par l'IGN concernent des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Ces données sont traitées par l'IGN pour fournir une mortalité « de fond » hors tempête Klaus (la mortalité liée à la tempête Klaus est traitée de manière distincte cf. paragraphe sur les tempêtes). Les résultats obtenus pour ces périodes sont appliqués aux années médianes (2007, 2008, 2009, etc.) dans l'inventaire de GES. La mortalité est extrapolée sur toute la période depuis 1990 sur la base de la tendance estimée pour la production.

Les données utilisées étant des moyennes quinquennales assimilées à l'année médiane, il y a toujours un décalage entre la dernière année médiane consolidée disponible et la dernière année à estimer pour l'inventaire de GES. Pour l'inventaire édition 2022 par exemple, la dernière campagne utilisable concerne les années 2015-2019 et est assimilée à l'année 2017. Pour estimer les années 2018, 2019 et 2020, une extrapolation temporaire est effectuée pour palier à ce décalage. Pour les données de production brute et de mortalité les valeurs utilisées pour les trois dernières années sont donc temporaires. L'extrapolation est réalisée en faisant la moyenne des 5 dernières campagnes (production brute) ou des 5 dernières valeurs annualisées (mortalité), afin de ne pas faire d'hypothèse forte sur les tendances. Pour les prélèvements, des données plus récentes sont en revanche disponibles (voir section suivante).

Tableau 47 : Mortalité annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN (exemple pour l'année 2007)

	PUREMENT FEUILLU	MIXTE	PUREMENT CONIFERE	PEUPLERAIE	TOTAL
CENTRE-EST	628	152	290	2	1 071
NORD-EST	372	76	78	5	531
NORD-OUEST	658	81	61	2	801
SUD-EST	360	116	257	0	732
SUD-OUEST	512	52	51	1	616
FRANCE	2 529	478	735	10	3 752

L'intégralité des valeurs de mortalité utilisées dans l'inventaire est disponible par région, par type de peuplement et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Prélèvements

Les prélèvements annuels de bois correspondent au volume des arbres qui sont récoltés durant l'année. Ils constituent des pertes de carbone pour les réservoirs de biomasse vivante. Dans le GIEC 2006, cette grandeur correspond aux paramètres L_{fellings} et L_{fuelwood} de l'équation 2.11 traitant des pertes de carbone des terres forestières.

Équation 6 (Forêts) (basée sur l'équation 2.11 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF_L = L_{\text{wood-removals}} + L_{\text{fuelwood}} + L_{\text{disturbances}}$$

Avec :

ΔCFF_L	=	Perte annuelle de carbone due à la perte de biomasse dans les forêts restant forêts, t C/an
$L_{\text{wood-removals}}$	=	Perte annuelle de carbone due aux récoltes commerciales de bois, t C/an
L_{fuelwood}	=	Perte annuelle de carbone due aux récoltes de bois énergie, t C/an
$L_{\text{disturbances}}$	=	Pertes de carbone liées aux perturbations (pertes sans récolte), t C/an

Les prélèvements de bois sont actuellement déterminés en combinant deux sources :

- D'une part des données de prélèvement de bois sont produites de façon directe par l'IGN lors de son inventaire forestier national (source « directe »)
- D'autre part, le GIEC propose un modèle qui permet d'évaluer indirectement ces prélèvements, à partir des statistiques de ventes de bois d'œuvre et d'industrie (source « modèle »)

Ces deux sources, « directe » et « modèle », sont ensuite combinées pour évaluer le volume des prélèvements (cf. section sur les méthodes d'estimation des émissions pour plus de détails).

Bilan forestier

Tableau 48 : Paramètres et bilan pour la biomasse forestière totale en métropole (ktC/an)

	Accroissement	Mortalité	Prélèvements	Bilan
1990	35 895	-3 250	-21 974	10 671

	Accroissement	Mortalité	Prélèvements	Bilan
1991	36 196	-3 275	-22 937	9 984
1992	36 514	-3 302	-23 428	9 784
1993	36 848	-3 331	-21 912	11 605
1994	37 175	-3 361	-21 811	12 003
1995	37 505	-3 394	-21 898	12 213
1996	37 845	-3 425	-21 131	13 289
1997	38 180	-3 455	-21 437	13 288
1998	38 516	-3 484	-21 097	13 935
1999	38 830	-3 512	-38 406	-3 088
2000	39 166	-3 544	-24 815	10 807
2001	39 493	-3 574	-21 861	14 058
2002	39 802	-3 603	-19 664	16 535
2003	40 128	-3 631	-18 966	17 531
2004	40 492	-3 663	-19 227	17 602
2005	40 824	-3 692	-17 612	19 520
2006	41 160	-3 722	-17 578	19 860
2007	41 054	-3 768	-17 702	19 584
2008	40 966	-3 965	-16 946	20 055
2009	40 677	-4 125	-18 091	18 461
2010	40 867	-4 042	-18 856	17 970
2011	40 156	-4 103	-18 377	17 676
2012	39 917	-4 340	-18 377	17 200
2013	40 324	-4 573	-17 428	18 323
2014	39 657	-4 775	-17 003	17 879
2015	39 325	-5 556	-18 012	15 757
2016	38 375	-6 454	-17 942	13 979
2017	37 524	-7 851	-18 719	10 954
2018	38 619	-9 072	-19 475	10 072
2019	39 528	-9 929	-19 997	9 602
2020	39 507	-11 077	-20 463	7 967
2021	39 507	-11 571	-19 504	8 432
2022	39 507	-11 387	-20 366	7 755
2023	39 507	-11 204	-20 061	8 242

*Ce tableau inclut les pertes de carbone liées aux feux de forêt et aux tempêtes dans la mortalité

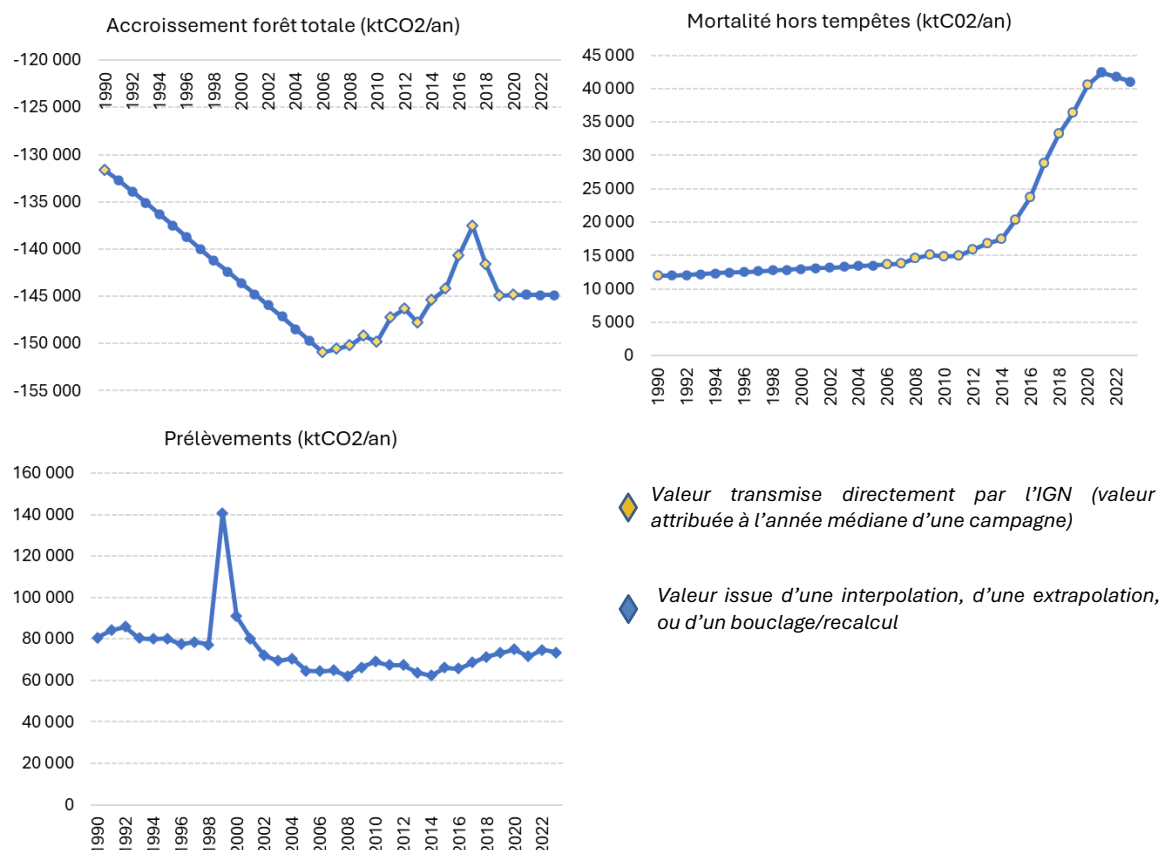


Figure 17 : Evolution des trois composantes principales du puits forestiers : accroissement, mortalité et prélèvements en forêt totale (métropole) (Source : voir détail parties précédentes)

L'intégralité des valeurs du bilan est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx (valeurs converties en CO2e).

Discussion

Une approche par variation de stock est envisageable, en complément de l'approche des flux actuellement appliquée. Un travail de l'IGN pourrait permettre une première estimation de la variation de stock de carbone en forêt restant forêt, qui pourra être comparée avec le bilan des flux mesurés jusqu'ici.

Approche en Outre-Mer

En Outre-mer (zone Kyoto), il n'existe pas de résultats similaires issus d'inventaires forestiers en raison de la faible exploitation forestière et du type de forêt. Des estimations ont donc été produites sur les accroissements forestiers dans les zones exploitées (bande littorale et concessions ONF), à l'aide de données spécifiques à la Guyane. Pour les zones non exploitées pour de la production de bois (principalement le Parc Amazonien de Guyane), une hypothèse de neutralité est appliquée.

Données

Pour la zone exploitée, les données de l'ONF (surface exploitée, taux de récolte) sont mobilisées, ainsi qu'un facteur d'accroissement fixé à 1tC/ha/an pour les terres ayant subi une exploitation sur la base de Guitet et al. (2006) [328] (valeur d'accroissement de la biomasse aérienne après récolte entre 1,5tMS/ha/an et 2tMS/ha/an).

Pour le reste de la Guyane, l'hypothèse de neutralité s'appuie aussi sur l'expertise de Guitet et al. (2006) [328]. Pour les terres ayant été boisées depuis moins de 20 ans, la valeur de 1tC/ha/an est utilisée, en cohérence avec la valeur utilisée pour estimer l'accroissement pour les terres ayant subi une exploitation.

Incertitudes le rôle de puits de la forêt guyanaise

Le bilan carbone de l'écosystème forestier en Amazonie est incertain. Certaines études tendent à montrer que la forêt amazonienne en général aurait un rôle de puits, d'autres montrent qu'il s'agirait plutôt d'une source. Ces résultats dépendent de multiples paramètres (périmètre, mesure ou estimation, région, échantillonnage, période...).

La prise en compte des phénomènes de surmortalité liée à la variabilité pluvio-climatique ainsi qu'à la dégradation forestière (au-delà de la déforestation) induit des estimations qui remettent parfois en question le rôle de puits de carbone de la forêt amazonienne. Au niveau mondial, à partir de mesures satellitaires couplées aux données de terrain, Baccini et al. (2017) concluent que les espaces forestiers tropicaux seraient une légère source, et non un puits. La croissance ne compenserait pas la déforestation ni la dégradation et perturbation (69% des pertes).

L'analyse des données forestières historiques montre que si l'Amazonie joue un rôle de puits de carbone, une tendance au déclin de cette accumulation est observée à long terme (Brienen et al., 2015). Le taux d'accroissement dans la biomasse aérienne a diminué de 2/3 entre les années 1990 et les années 2010. On observe un récent phénomène de stagnation (atteinte d'un plateau) dans la croissance, alors que la mortalité a continué d'augmenter.

D'après Philips et Brienen (2017), en Amazonie, la forêt constitue un puits persistant, même s'il s'est affaibli depuis les années 2000. En Guyane, ce puits serait d'ampleur à compenser l'intégralité des émissions générées, y compris par la déforestation et les changements d'occupation des terres. Les forêts de Guyane n'ont pas forcément la même sensibilité aux hausses de mortalité que celles du reste de la région amazonienne. Cette sensibilité reste corrélée à la quantité de biomasse aérienne présente (Johnson, et al. 2016).

Equations générales

Equation générale pour la variation de stock en forêt restant forêt (ΔCFF)

La catégorie des forêts restant forêts correspond à l'ensemble des terres en forêt depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le GIEC). Cette section vise l'estimation des variations de stock de carbone pour chacun des réservoirs de carbone identifié par le GIEC. Cette estimation est illustrée par l'équation suivante inspirée du GIEC 2006 [672].

Équation 7 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.3 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF = (\Delta CFF_{LB} + \Delta CFF_{DOM} + \Delta CFF_{Soils})$$

Avec :

ΔCFF	=	Variation de stock annuelle dans l'ensemble des stocks de carbone des forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_{DOM}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse morte (bois mort et litière inclus) des forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_{Soils}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la matière organique du sol des forêts restant forêts, t C/an

Equation générale pour la variation de stock en terres devenant forêt (ΔCLF)

La catégorie des terres devenant forêts correspond à l'ensemble des terres en forêt depuis moins de 20 ans (période par défaut définie par le GIEC). Cette section vise l'estimation des variations de stock de carbone pour chacun des réservoirs de carbone identifié par le GIEC. Cette estimation est illustrée par l'équation suivante inspirée du GIEC 2006 [672].

Équation 8 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.3 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CLF = (\Delta CLF_{LB} + \Delta CLF_{DOM} + \Delta CLF_{Soils})$$

Avec :

ΔCLF	=	Variation de stock annuelle dans l'ensemble des stocks de carbone des terres devenant forêts, t C/an
ΔCLF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des terres devenant forêts, t C/an
ΔCLF_{DOM}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse morte des terres devenant forêts, tC/an ($\Delta CLF_{DOM} = \Delta CLF_{DW} + \Delta CLF_{LT}$ soit bois mort + litière)
ΔCLF_{Soils}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la matière organique du sol des terres devenant forêts, t C/an

Méthode générale d'estimation des émissions (pour NID en totalité ; pour IIR que « Feux de forêt » et « Brûlage sur site des résidus de récolte de bois ») :

FORÊTS RESTANT FORÊTS

Biomasse vivante (terres forestières restant terres forestières) [*lb_f* ; *lb_cp* ; *lb_ca* ; *lb_hh*]

Calcul de la variation de stock (ΔCFF_{LB})

Rappel approche générale

Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque type de biomasse les flux de carbone par variation de stock en fonction des changements d'usage entre sous-catégories (par exemple entre feuillus et résineux). Les stocks et flux associés sont décrits dans la section *UTCATF- général*.

Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée (interrégion IFN), d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (méthode gains-perdes). Ils concernent la biomasse vivante type forêt.

Dans cette partie seront décrits les flux relatifs au second point. Ce sont des flux relatifs à l'accroissement, la mortalité, les prélèvements forestiers et certains événements exceptionnels comme les tempêtes ou les feux de forêts (cf. la partie qui précède *Caractéristiques de la catégorie*).

Les éléments suivants vont décrire les évolutions impactant la biomasse de type forêt. Pour les autres types de biomasse, une simple application du modèle de variation de stock à la maille est réalisée.

Équation 9 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF_{LB} = \Delta CFF_{\text{modele}} + (\Delta CFF_G - \Delta CFF_L)$$

Avec :

ΔCFF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
$\Delta CFF_{\text{modele}}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C / an, issue du modèle de variation de stock à la maille
ΔCFF_G	=	Gains annuels en carbone de la biomasse vivante type forêt, hors modèle, t C/an
ΔCFF_L	=	Pertes annuelles en carbone de la biomasse vivante, hors modèle, t C/an

Calcul des gains (ΔCFF_G)

Pour estimer l'accroissement des arbres ; en forêts restant forêts, le GIEC propose la méthode suivante.

Équation 10 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.9 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF_G = \sum_{ij} (A_{FF_{ij}} \times GTOTAL_{FF_{ij}}) \times CF$$

Avec :

ΔCFF_G	=	Accroissement annuel en carbone dans les forêts restant forêts, t C/an
$A_{FF_{ij}}$	=	Surfaces de forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), ha
$GTOTAL_{FF_{ij}}$	=	Accroissement moyen annuel en matière sèche (MS) sur les forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), t MS/ha/an
CF	=	Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS

Cette équation est appliquée dans l'inventaire français avec $n = 4$ types de peuplement (feuillus, résineux, mixtes et peupliers) et $m = 5$ régions climatiques (Nord-Ouest, Nord-Est, Centre-Est, Sud-Ouest, Sud-Est). Les accroissements pour les deux sous-catégories de forêt de l'inventaire : les terres devenant forêt et les forêts restant forêt ne sont pas disponibles annuellement. Seul l'accroissement total de la forêt est disponible.

L'accroissement des boisements est calculé grâce au modèle de variation de stock par maille (voir partie terres devenant forêt). Un volume de production brute par région est donc estimé par le modèle de boisement (terres devenant forêts). Puis, le solde de l'accroissement IGN par interrégion est déduit et appliqué en forêt restant forêt. Cela permet de conserver une cohérence avec les données fournies par l'IGN pour l'accroissement total en France métropolitaine. La production à ajouter en forêt restant forêt est ramenée à l'hectare pour garder l'esprit de l'équation 11.

L'accroissement de ces deux sous-catégories est estimé à partir de l'accroissement total de la forêt et d'un ratio de répartition tel que défini dans l'équation suivante.

Équation 11 (Forêts)

$$P_{FFij} = P_{TOTALij} - P_{FFij_modele} - P_{LFij_modele}$$

Avec :

P_{FFij}	=	Production brute normalisée moyenne annuelle sur les forêts restant forêt, par type de forêt ($i = 1$ to n) et par zone climatique ($j = 1$ to m), tC/an
$P_{TOTALij}$	=	Production brute sur les forêts totales, tC/an, (issu des campagnes IGN)
P_{FFij_modele}	=	Production brute sur les forêts restant forêts, tC/an (issu du modèle de variation de stock de carbone par maille)
P_{LFij_modele}	=	Production brute sur les terres devenant forêts, tC/an (issu du modèle de variation de stock de carbone par maille)

Calcul des pertes (ΔCFF_L)

Pour les pertes de carbone de biomasse vivante en forêt restant forêt l'équation suivante est utilisée.

Équation 12 (Forêts)

$$\Delta CFF_L = \sum_{ij} (P_{FFij} + Mortalité_{FFij}) \times CF$$

Avec :

ΔCFF_L	=	Pertes totales
P_{FFij}	=	Prélèvements de bois (bois matériau et bois énergie)
$Mortalité_{FFij}$	=	Mortalité moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les forêts restant forêt, par type de forêt ($i = 1$ to n) et par zone climatique ($j = 1$ to m), t MS/ha/an
CF	=	Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS

Aucune perte n'est calculée par le modèle de variation de stock à la maille en forêt restant forêt (les flux de pertes sont calibrés à zéro pour la biomasse de type forêt). Ils proviennent exclusivement d'estimations externes.

Calcul des prélèvements de bois des forêts restant forêts (P_{FFij}) - Métropole

Dans l'inventaire français, il est considéré que tous les prélèvements ont lieu sur les forêts restant forêt, les prélèvements de bois ne sont donc pas répartis entre forêts restant forêts et terres devenant forêts.

Méthode « directe » de mesure des prélèvements par l'IGN

Les prélèvements sont estimés dans un premier temps avec une donnée issue de l'IGN : l'estimation des « prélèvements directs » en forêt [202], disponibles en volume (bois fort tige IGN), en biomasse totale et en carbone total (grâce à l'utilisation de tarifs de cubage (Vallet, 2006) et de facteurs de conversion spécifiques), et sur des périodes de 5 ans.

Méthodologie de l'IFN : mesure des prélèvements

« Pour estimer les prélèvements, l'IGN revient sur toutes les placettes « forêt » et « peupleraie » inventoriées cinq ans auparavant et sur lesquelles

Cette donnée n'est disponible que depuis la mise à jour méthodologique de l'IFN de 2005, et donc est disponible pour des périodes de 5 ans (2005-

des arbres vivants avaient été observés. Le choix du pas de temps de cinq ans correspond à la période d'évaluation des autres flux (croissance des arbres et mortalité). [...] 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. » [594]

2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Elle comptabilise les arbres prélevés en forêt entre deux campagnes d'inventaire forestiers et permet d'évaluer, avec une incertitude faible, les volumes de bois récoltés en forêt.

Ces données de prélèvement de l'IGN concernent l'ensemble des prélèvements, c'est-à-dire à la fois les prélèvements liés aux récoltes en forêts restant forêt, les volumes des forêts défrichées, ou encore une part des pertes en forêt lors des incendies.

Équation 13 (Forêts)

$$P_{\text{Foret_IGN}} = P_{\text{Total_IGN}} - P_{\text{Défrichement_IGN}}$$

Avec :

$P_{\text{Foret_IGN}}$	=	Prélèvement dans les forêts, t C/an
$P_{\text{Total_IGN}}$	=	Prélèvement dans les forêts et sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an
$P_{\text{Défrichement_IGN}}$	=	Prélèvement sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an

Ce niveau général de prélèvement ($P_{\text{Foret_IGN}}$) est utilisé en complément de données statistiques sur les récoltes de bois, obtenues via la méthode « modèle » (§ 2.3.3.1.2). En effet, cette donnée IGN sert uniquement, comme donnée de « calage », à fixer le niveau général de prélèvement pour toutes les années disponibles depuis 2005, pour chacune des 5 interrégions (§2.2.2.2). Ce niveau général est calculé avec une moyenne pondérée, en prenant en compte le fait que les années centrales participent au calcul de plusieurs périodes quinquennales et donc « pèsent » davantage que les années extrêmes. Ces données ne sont pas encore utilisées pour estimer la tendance des prélèvements en forêt ni pour estimer le type de forêt dans lequel ont lieu les prélèvements.

Méthode « modèle » - approche générale

En second temps, le niveau de prélèvement annuel est estimé à partir de différentes statistiques de vente de bois d'œuvre et de consommation de bois énergie, via un modèle qui permet d'estimer la récolte de bois et sa destination. Cette approche « modèle » est ensuite recalée sur le niveau général de prélèvement mesuré en forêt via la méthode « directe » (§ 2.3.2.3.1.2). L'approche modèle est toujours nécessaire car elle permet d'estimer les prélèvements depuis 1990 et appréhender le devenir du bois prélevé (savoir s'il est récolté, brûlé sur site, laissé en décomposition), la méthode directe servant de valeur de référence pour les années les plus récentes. Les prélèvements de bois en forêt rapportés dans l'inventaire UTCATF sont donc cohérents avec les résultats de l'IGN obtenus par la méthode « directe », mais il est nécessaire de conserver la méthode « modèle » pour avoir un ensemble cohérent sur l'ensemble de la période inventaire et des données adaptées au rapportage dans les inventaires d'émissions. La méthode « modèle » correspond à la méthode GIEC d'estimation des prélèvements.

Équation 14 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.12 du GIEC 2006 [672])

$$L_{\text{wood-removals}} = H \times D \times BEF_R \times (1+R) \times CF$$

Avec :

$L_{\text{wood-removals}}$	=	Perte annuelle de carbone due aux récoltes de bois commercial, tC/an
H	=	Volume de bois commercial récolté annuellement, m ³ /an
D	=	Densité du bois, t MS/m ³
BEF_R	=	Facteur d'expansion applicable aux volumes récoltés, sans unité
R	=	ratio racinaire/aerien, sans unité
f_{BL}	=	fraction laissée en décomposition
CF	=	Fraction en carbone de la matière sèche, t C/t MS

Équation 15 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.13 du GIEC 2006 [672])

$$L_{\text{fuelwood}} = FG \times D \times BEF_R \times (1+R) \times CF$$

Avec :

$L_{fuelwood}$	=	Perte annuelle de carbone due aux récoltes de bois énergie, t C/an
FG	=	Volume de bois énergie récolté annuellement, m ³ /an
D	=	Densité du bois, t MS/m ³
BEF_R	=	Facteur d'expansion applicable aux volumes récoltés, sans unité
R	=	ratio racine/aérien, sans unité
CF	=	Fraction en carbone de la matière sèche, t C/t MS

La méthode « modèle » est basée sur l'estimation de deux valeurs : les récoltes commerciales (bois d'œuvre et d'industrie principalement) et les récoltes non commerciales (bois de feu principalement).

Méthode « modèle » - Récoltes commerciales – Bois d'œuvre et d'industrie

Les récoltes commerciales sont issues des statistiques de ventes de bois d'œuvre et d'industrie. En métropole, l'enquête annuelle de branche sur « exploitation forestière et scierie » du SSP (EAB) fournit les volumes de récoltes commerciales de bois à l'échelle régionale [200].

Méthode « modèle » - Récoltes non commerciales – Bois énergie

Il s'agit essentiellement de prélèvement pour le bois de feu, (soit une partie du prélèvement de bois énergie), qui doit spécifiquement être estimée, bien que l'évaluation des volumes transitant par cette filière soit difficile en raison de la nature diffuse de l'activité.

Utilisation du bilan de l'énergie

L'utilisation de bilans de consommation de biomasse à des fins énergétiques (résidentiel, tertiaire, chauffage urbain, industrie, etc.) permet de disposer d'une estimation réaliste des volumes prélevés. Ainsi, la consommation globale de bois énergie est fournie par le SDES [1] mais cette donnée doit être adaptée pour estimer la récolte de bois énergie sur les terres forestières.

Retranchement du bois énergie provenant de produits bois recyclés

Tout d'abord une partie du bois utilisé comme bois de feu provient d'une seconde vie d'un bois commercial (par exemple, brûlage d'une table en bois), une estimation du taux de recyclage des produits bois est donc prise en compte afin de ne pas effectuer de double comptage. Ce taux est estimé à 5% du bois énergie consommé dans le résidentiel sur la base d'une étude réalisée en 2000 pour l'Ademe [596].

Distinction entre bois de feu provenant de forêt et d'autres origines

L'étude Andersen (1999) [596] estime également que 70% du bois de feu consommé par les ménages est issu de forêt, les 25% restant représentant un prélèvement sur une autre ressource (agriculture, etc.). Combinées avec des résultats de l'INESTENE [201], il a été possible de ventiler les quantités en fonction de leur provenance (forêts, bosquets ou haies, vergers et vignes) par région [493].

Retranchement du bois énergie consommé en industrie provenant de produits connexes de scieries

Ensuite, dans le bilan de l'énergie, pour le bois-énergie consommé dans l'industrie, on distingue :

une part, majoritaire, correspondant à des produits connexes de scieries (écorces, sciures, copeaux, plaquettes de scierie...). On considère que la totalité du bois énergie consommé en industrie provient de cette source. Ce bois n'est donc pas décompté de la récolte en forêt pour éviter un double compte.

une part correspondant à un prélèvement de bois en forêt, qui correspond à un surplus de consommation de bois énergie en industrie de l'énergie observée depuis 2007. Seules les industries de l'énergie dont l'énergie est la production principale sont prises en compte. Les industries dites « auto productrices » sont supposées liées à l'industrie du bois et ne participent pas à un surplus de prélèvement sur la ressource (ces dernières sont traitées comme les autres industries).

Correction de l'effet de décalage entre récolte et consommation de bois de feu

Enfin il existe un décalage entre la consommation de bois dans le résidentiel et sa récolte en forêt. En moyenne on considère que le bois énergie est conservé entre 2 et 3 ans.

Méthode (non appliquée) d'estimation de la récolte de bois prenant en compte ce décalage

La récolte de bois de feu d'une année i pourrait être estimée en fonction de la consommation de bois de feu des années suivantes, selon l'équation ci-après :

Équation 16 (Forêts)

$$\text{Récolte_BE}_{(i)} = (\text{Frac}_1 \times \text{Conso_BE}_{(i+2)} + \text{Frac}_2 \times \text{Conso_BE}_{(i+3)}) \times \text{FCV}$$

Avec :

$\text{Récolte_BE}_{(i)}$ = Récolte de bois énergie l'année i , m³

Frac_1 = Part de la consommation de l'année $i+2$ correspondant à du bois récolté l'année i

Frac_2 = Part de la consommation de l'année $i+3$ correspondant à du bois récolté l'année i

$\text{Conso_BE}_{(i+2)}$ = consommation de bois énergie de l'année $i+2$, tep

$\text{Conso_BE}_{(i+3)}$ = consommation de bois énergie de l'année $i+3$, tep

FCV = Facteur de conversion en volume, m³/tep

Malheureusement, Il n'est pas possible aux exploitants forestiers de prévoir quelle sera la consommation de bois énergie dans les années futures $i+2$ ou $i+3$, cette méthode ne permet donc pas d'estimer la récolte de bois énergie de manière fiable. Par conséquent, une autre approche a été privilégiée.

Il a été supposé que les exploitants forestiers constituent des stocks. Il a ainsi été estimé que la récolte annuelle de bois énergie pouvait être approchée en moyennant les trois dernières années de consommation de bois énergie.

Équation 17 (Forêts)

$$\text{Récolte_BE}_{(i)} = (\text{Conso_BE}_{(i)} + \text{Conso_BE}_{(i-1)} + \text{Conso_BE}_{(i-2)}) / 3 \times \text{FCV}$$

Avec :

$\text{Récolte_BE}_{(i)}$ = Récolte de bois énergie l'année i

$\text{Conso_BE}_{(i)}$ = consommation de bois énergie de l'année i

$\text{Conso_BE}_{(i-1)}$ = consommation de bois énergie de l'année $i-1$

FCV = Facteur de conversion en volume, m³/tep

Dans l'inventaire actuel, le facteur de conversion en volume (FCV) est estimé à 4,5 m³/tep sur la base des estimations suivantes pour le bois énergie : 18GJ/t et 0.147 tep/stère et un facteur de densité moyen de 0.51 t/m³ obtenu à partir de CARBOFOR [204]. Pour l'industrie la consommation de bois est supposée essentiellement composée de sous-produits de l'industrie du bois (déjà pris en compte dans les récoltes de bois (grumes et industrie) sauf sur les années récentes pour lesquelles le développement du bois énergie génère un prélèvement additionnel sur la ressource.

Les récoltes de bois d'œuvre et le bois énergie ne sont pas indépendantes (une partie des arbres coupés pour produire du bois d'œuvre ou d'industrie part en bois énergie).

Les statistiques de récolte de bois ne différencient pas les récoltes de bois issues de terres forestières ou de terres défrichées.

Les statistiques de consommation de bois énergie ne distinguent pas la source du bois énergie consommé.

Tableau 49 : Récoltes de bois matériau et bois énergie en Métropole depuis 1990 fournies par le SSP [200] et le bilan de l'énergie [1]

ANNEE						rapportageUTCATF.xls / OMINEA	
	BOIS D'OEUVRE (feuillus) (1000 m ³) [200]	BOIS D'OEUVRE (résineux) (1000 m ³) [200]	BOIS D'INDUSTRIE (feuillus) (1000 m ³) [200]	BOIS D'INDUSTRIE (résineux) (1000 m ³) [200]	BOIS CHAUFFAGE SSP (1000 m ³) [200]	BOIS ENERGIE total en forêt SDES (1000 m ³) [1]*	BOIS ENERGIE hors forêt SDES (1000 m ³) [1]*
1990	10 156	15 260	5 194	5 808	2 541	25 055	8 957
1991	9 724	14 077	5 435	6 283	2 702	26 962	9 774
1992	9 043	13 340	5 459	6 513	2 737	28 622	10 370
1993	8 033	12 509	4 732	5 901	2 755	29 473	10 684
1994	8 131	13 767	5 479	6 876	2 588	27 515	9 967
1995	8 290	14 374	5 523	7 271	2 471	25 966	9 428
1996	7 771	13 649	4 820	6 130	2 644	25 573	9 293
1997	7 845	14 245	5 342	6 495	2 770	25 343	9 210

rapportageUTCATF.xls / OMINEA							
ANNEE	BOIS D'OEUVRE (feuillus) (1000 m ³) [200]	BOIS D'OEUVRE (résineux) (1000 m ³) [200]	BOIS D'INDUSTRIE (feuillus) (1000 m ³) [200]	BOIS D'INDUSTRIE (résineux) (1000 m ³) [200]	BOIS CHAUFFAGE SSP (1000 m ³) [200]	BOIS ENERGIE total en forêt SDES (1000 m ³) [1]*	BOIS ENERGIE hors forêt SDES (1000 m ³) [1]*
1998	7 863	15 107	5 228	6 342	2 809	25 021	9 093
1999	7 952	15 240	5 366	6 503	2 771	23 475	8 538
2000	9 598	22 619	5 342	8 561	2 388	22 834	8 234
2001	7 642	18 952	4 788	8 477	2 359	22 226	7 977
2002	6 002	16 631	4 913	7 146	2 713	21 364	7 678
2003	5 719	15 120	5 142	6 283	2 287	21 517	7 717
2004	5 671	15 240	5 355	6 826	2 358	21 504	7 712
2005	5 858	14 741	5 375	6 799	3 547	22 087	7 913
2006	5 854	15 633	5 164	6 820	4 030	21 606	7 744
2007	6 343	16 427	5 315	6 870	3 754	22 450	7 462
2008	6 086	15 048	4 983	6 384	4 029	22 397	7 338
2009	5 228	17 265	4 113	8 235	5 516	23 521	7 478
2010	5 121	15 922	4 386	9 819	6 712	24 730	8 043
2011	5 505	15 492	4 481	8 142	8 488	24 600	7 935
2012	4 978	13 239	4 643	6 693	7 847	25 123	8 105
2013	4 862	13 673	4 255	6 148	9 902	23 981	7 683
2014	5 209	14 136	4 722	6 400	9 959	25 014	7 773
2015	5 145	13 673	4 717	6 025	11 307	25 392	7 655
2016	5 392	13 698	4 615	5 945	11 931	27 001	7 989
2017	5 304	14 127	4 584	5 958	12 814	28 533	8 228
2018	5 443	14 599	4 614	5 726	13 147	29 391	8 250
2019	5 313	14 245	4 420	6 112	8 061	29 084	8 124
2020	4 751	13 712	4 104	5 918	8 135	28 191	7 807
2021	5 015	15 838	4 037	6 088	9 389	28 532	7 887
2022	5 294	14 691	4 233	6 078	9 602	27 985	7 649
2023	4 813	13 698	4 025	6 239	10 365	28 641	7 713

*Les données du bilan de l'énergie (SDES) intègrent les consommations du résidentiel du tertiaire, de l'agriculture, des industries de l'énergie dites de production principale. Les consommations de l'industrie et des industries de l'énergie dites « auto productrices » en sont exclues.

Les prélèvements sont estimés par la méthode « modèle » avec les équations suivantes.

Équation 18 (Forêts)

$$P_{modele_i} = P_{BOBI_i} + P_{cibléesBE_i} + P_{défrichements_i}$$

avec $P_{BOBI_i} = \text{Récoltes}_{BOBI_{SSP_i}} * BEF$ et $P_{cibléesBE_i} = \text{Récoltes}_{cibléesBE_i} * BEF_{BE}$
 et $P_{cibléesBE_i} = \text{Conso}_{BE} * \%forêt - P_{défrichements_i} - P_{BOBI_i} * BEF * \%houppier_{valorisé}$

Avec :

P_{modele_i}	= Prélèvement de bois en forêt l'année i estimé par la méthode « modèle » (m3)
P_{BOBI_i}	= Prélèvement associés aux récoltes de bois matériau en forêt l'année i estimé par la méthode « modèle » (m3)
$P_{cibléesBE_i}$	= Prélèvement associées aux récoltes ciblées bois énergie en forêt l'année i estimé par la méthode « modèle » (m3)
$P_{défrichement_i}$	= Prélèvement de bois estimé pour l'année i sur les terres défrichées par le modèle de variation de stock à la maille
$\text{Récoltes}_{BOBI_{SSP_i}}$	= Récolte commerciale de bois matériau estimée par le SSP pour l'année i (m3 bois fort)
BEF	= Facteur d'expansion de biomasse applicable aux récoltes de bois matériau
$\text{Récolte}_{BE(i)}$	= Récolte ciblée bois énergie en forêt estimée pour l'année i (m3 bois fort)
$\%forêt$	= Part du bois énergie récolté en forêt
$\%houppier_{valorisé}$	= Part des houppiers exploités pour du bois énergie
BEF _{BE}	= Facteur d'expansion de biomasse applicable aux récoltes de bois énergie
Conso _{BE}	= Consommation de bois énergie issue du bilan de l'énergie du SDES (m3)

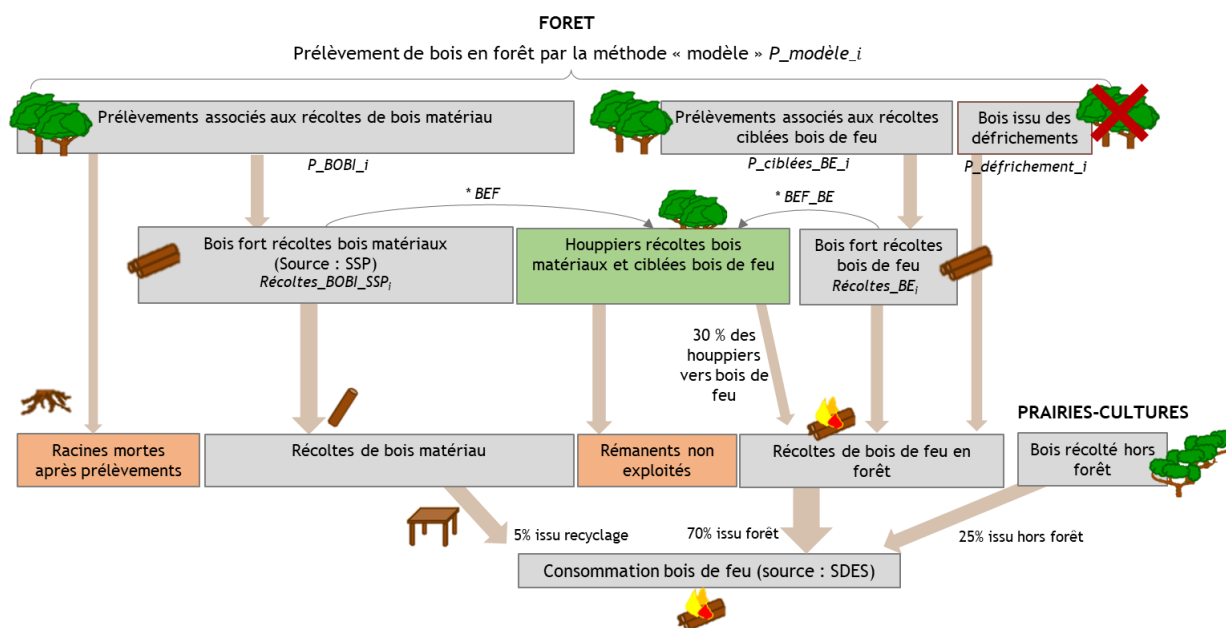


Figure 18: Représentation schématique de la méthode (dite « modèle ») d'estimation des émissions liées aux récoltes de bois)

Méthode « modèle » - facteurs d'expansion et de conversion du bois

Pour les résultats produits par l'IGN, les volumes de biomasse totale sont obtenus par des tarifs de cubage [595] à savoir des équations qui peuvent s'appliquer aux caractéristiques de chaque arbre (espèce, circonférence, hauteur). Dans la méthode « modèle » il n'est pas possible d'utiliser ces tarifs de cubage, le GIEC propose donc l'utilisation de facteurs d'expansion de biomasse (BEF). Malheureusement ces BEF sont très difficiles à appliquer en dehors de leur propre périmètre d'étude. Pour cette raison, dans la méthode « modèle » les BEF utilisés sont des BEF spécifiques à la forêt française calculés à partir de la ressource sur pied et des tarifs de cubage utilisés par l'IGN. Les facteurs actuellement utilisés dans l'inventaire sont fournis par l'IGN, ils sont très proches des résultats disponibles dans le rapport CARBOFOR [204].

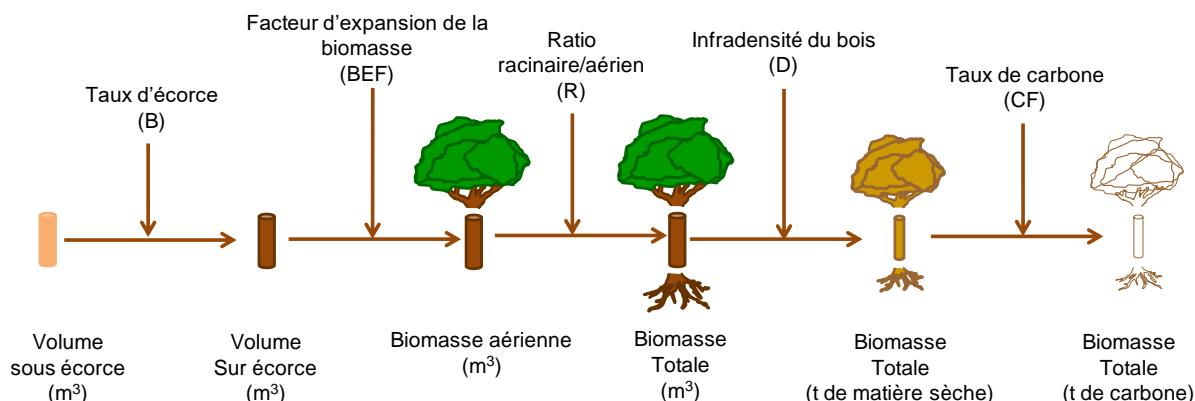
Tableau 50 : Facteurs d'expansion utilisés pour les prélèvements de bois matériau

	Purement feuillu	Mixte	Purement conifère	Peupleraie
CENTRE-EST	1,65	1,45	1,27	1,42
NORD-EST	1,56	1,47	1,25	1,42
NORD-OUEST	1,59	1,53	1,30	1,42
SUD-EST	1,94	1,62	1,39	1,42
SUD-OUEST	1,66	1,52	1,31	1,42
FRANCE	1.63	1.50	1.30	1.42

Pour les facteurs d'expansion souterraine, plusieurs classes sont également distinguées. Les valeurs de 1,28 et 1,30 ont respectivement été retenues pour les peuplements de feuillus et de conifères [204].

Dans le cas des forêts mixtes et du bois de feu, dans la mesure où la composition des essences récoltées n'est pas connue, les facteurs d'expansion retenus sont une valeur moyenne pondérée des facteurs d'expansion pour les feuillus et les conifères. Ces valeurs sont sensiblement variables suivant les années et valent approximativement 1,5 pour le facteur d'expansion branches et 1.29 pour le facteur d'expansion racine. Il en est de même pour la valeur d'infradensité.

Figure 19 : Conversion de volumes de bois commercialisés en carbone



Les données sur l'infradensité de la biomasse sont spécifiques à chaque essence, aussi bien pour l'estimation de l'accroissement que pour les prélèvements.

Tableau 51 : Infradensité utilisées pour les principales essences [598]

Essence	Densité en tMS/m³	Essence	Densité en tMS/m³
chêne	0.56	sapin, épicéa	0.38
hêtre	0.56	douglas	0.41
châtaignier	0.50	pin maritime	0.44
peuplier	0.36	pin sylvestre	0.43

Les travaux conduits dans le cadre du projet CARBOFOR ont également permis de retenir une valeur de teneur en carbone de la biomasse ligneuse plus adaptée au cas français. La valeur retenue dans les inventaires est de 0,475 très proche de la valeur de 0.47 retenue par le GIEC 2006 par défaut.

Combinaison de l'approche « modèle » et de l'approche « directe »

Il existe donc deux méthodes pour estimer les prélèvements en forêt, la méthode « modèle » basée sur les lignes directrices du GIEC 2006 et la méthode « directe » de mesure des prélèvements par l'IGN. Ces deux méthodes sont combinées dans l'inventaire de GES actuel et les prélèvements sont estimés à partir de l'équation suivante.

Équation 19 (Forêts)

$$\text{Prélèvement}_i = P_{\text{modèle}_i} \times P_{\text{Foret_IGN}_{2005/20xx}} / P_{\text{modèle}_{2005/20xx}}$$

Avec :

Prélèvement_i	=	Prélèvement de bois estimé pour l'année i
$P_{\text{modèle}_i}$	=	Prélèvement de bois estimé pour l'année i à partir des données commerciales de bois matériau et des consommations de bois énergie
$P_{\text{Foret_IGN}_{2005/20xx}}$	=	Prélèvement de bois estimé sur la période 2005-20xx par la méthode directe de l'IGN
$P_{\text{modèle}_{2005/20xx}}$	=	Prélèvement de bois estimé sur la période 2005-20xx à partir des données commerciales de bois matériau et des consommations de bois énergie.

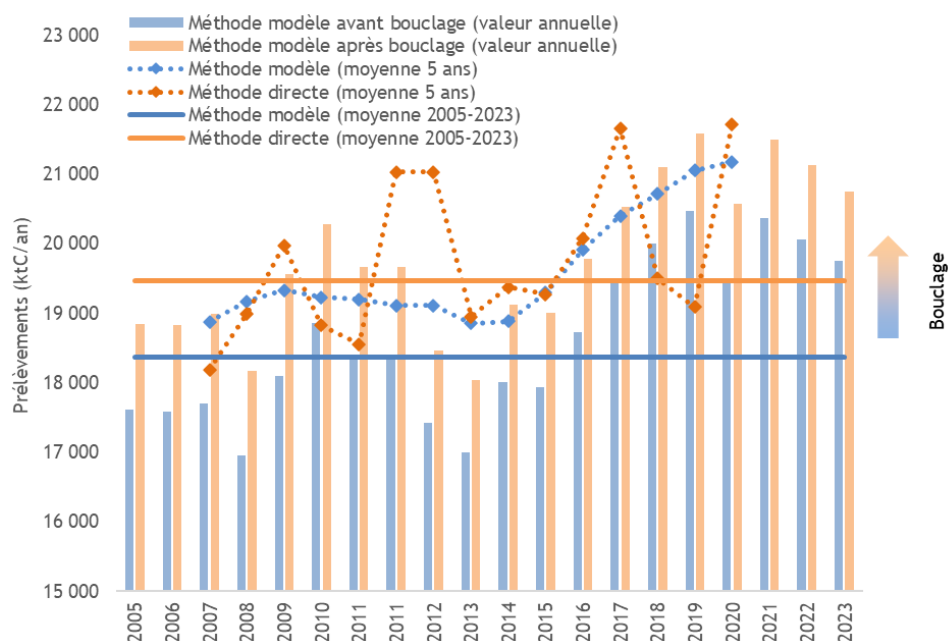


Figure 20 : Représentation de l'ajustement sur la base des données de prélèvement direct issues de l'IFN (en ktC aérien et racinaire)

Les périmètres de calcul des prélèvements entre l'approche « modèle » et l'approche « directe » ne sont pas équivalents (voir figure ci-dessous). La méthode directe de l'IGN permet d'avoir la donnée de prélèvements totaux par campagne (volumes en forêt et terres défrichées, et indique de manière distincte un niveau moyen de la part liée aux défrichements). Ces volumes défrichés sont estimés à environ 0,94 Mm3 de bois fort tige par an en moyenne sur les années couvertes. L'IGN ne distingue pas la part de prélèvements liés aux dégâts de feux pour le moment.

Au niveau de l'approche Citepa, tous les éléments sont estimés indépendamment : récoltes ciblées en forêt, pertes liées aux feux, volumes défrichés. Afin de ne pas double-compter de prélèvements, le bouclage, ou recalage, s'effectue sur les récoltes ciblées en forêt, qui sont comparées aux prélèvements totaux IGN, auxquels sont soustraits le volume moyen défriché estimé par l'IGN, et le volume moyen des pertes incendies estimé par le Citepa sur la base des surfaces incendiées.

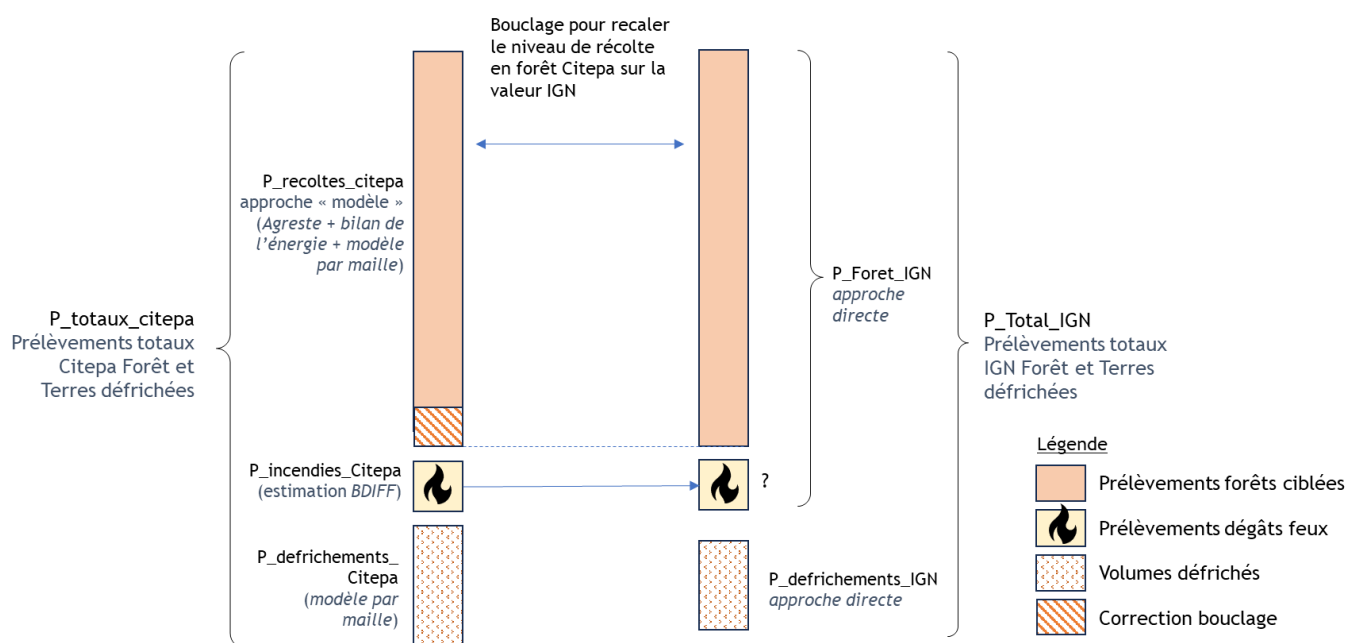


Figure 21 : Explications recalage Récoltes Citepa sur les prélèvements IGN

Équation 21 (Forêts)

$$P_{\text{total_IGN}} = P_{\text{Foret_IGN}} + P_{\text{defrichements_IGN}}$$

$$P_{\text{total_Citepa}} = P_{\text{recoltes_Citepa}} + P_{\text{incendies_Citepa}} + P_{\text{defrichements_Citepa}}$$

Bouclage des récoltes :

$$P_{\text{recoltes_Citepa}}^* = (P_{\text{total_IGN}} - P_{\text{Defrichements_IGN}} - P_{\text{incendies_Citepa}}) * \text{coeff_bouclage}$$

Avec :

$P_{\text{Total_IGN}}$	=	Prélèvement dans les forêts et sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an	
$P_{\text{Foret_IGN}}$	=	Prélèvement (dont récoltes liées aux incendies) dans les forêts, t C/an	
$P_{\text{Défrichement_IGN}}$	=	Prélèvement sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an	
$P_{\text{total_Citepa}}$	=	Prélèvements forêts et terres défrichées (estimation Citepa), tC/an	
$P_{\text{recoltes_Citepa}}$	=	Prélèvements forêts et terres défrichées (modèle récoltes Citepa), t C/an	(* : bouclé)
$P_{\text{incendies_Citepa}}$	=	Pertes de carbone estimées liées aux incendies (sur la base de BDIFF), t C/an	
$P_{\text{Défrichement_Citepa}}$	=	Prélèvement sur les terres défrichées selon le modèle par maille, t C/an	

Équation 20 (Forêts)

$$P_{\text{FF}_{ij}} = \text{Prélèvement}_{ij}$$

Avec :

$P_{\text{FF}_{ij}}$	=	Prélèvement de bois estimé en forêt restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m)
Prélèvement_{ij}	=	Prélèvement de bois estimé, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m)

Calcul des prélèvements de bois des forêts restant forêts ($P_{\text{FF}_{ij}}$) – Outre-Mer

En Guadeloupe, Martinique et Réunion, la forêt représente moins de 1% de la superficie forestière française totale et est très peu exploitée, avec environ 13 000 m³ de récolte annuelle pour les années récentes. En Guadeloupe et Martinique il n'y a presque pas d'exploitation forestière et la récolte très faible provient de plantations d'acajou. A la Réunion l'exploitation forestière est également très faible et essentiellement basée dans les plantations de Cryptomeria. Selon les experts forestiers de l'Office National des Forêts (ONF) [533] et de l'Inventaire forestier national [534], les flux de carbone liés à la gestion des forêts sont négligeables dans ces îles.

A l'inverse, en Guyane, la forêt occupe une surface très importante avec environ un tiers de la superficie totale de la forêt française. Elle reste néanmoins peu exploitée aussi, avec environ 90 000 m³ de récolte en 1990 et environ 73 000 m³ pour les années récentes. Ce faible niveau d'exploitation forestière peut s'expliquer par plusieurs raisons : la faible densité de la population, la faible valeur du bois en Guyane française comparés au bois asiatiques ou africains, la difficulté d'accéder à la forêt, la difficulté pour transporter du bois flottant (la densité des arbres en Guyane française est souvent supérieure à 1).

Tableau 52 : Données forestières pour les départements d'Outre-mer

	Guadeloupe	Martinique	Guyane	La Réunion	Métropole
Surface (1000 ha)	64	49	8 082	88	15 500
Stock (1000 m ³)	26 000	15 000	2 829 000	17 000	2 500 000
Récolte (1000 m ³) memento	<0.5	2	73	11	45 000
Récolte IGD 2015 (1000 m ³)	17	13	80		51 000

Sources : Mémento Agreste Filière Forêt-Bois édition 2012 [532], IGN/IFN [202], Indicateurs de Gestion Durable 2015 [1270]

Cette faible exploitation des forêts ultramarines est illustrée par l'absence d'inventaire forestier et par les quelques données de récolte disponibles. En 2012, la récolte annuelle sur ces quatre territoires cumulés est estimée à 86 000 m³ de bois. A titre de comparaison la récolte dans la partie métropolitaine est estimée à environ 45 000 000 m³, ce qui signifie que la récolte dans les territoires d'outre-mer correspond à environ 0,2% de la récolte totale. Ramené au stock de biomasse en forêt, le pourcentage de prélèvement est encore plus faible dans la mesure où les stocks de carbone par hectare sont très élevés en Guyane française. En actualisant ces données, le pourcentage de 0,2% reste valable.

Considérant que le niveau de récolte est très faible et qu'il est difficile actuellement d'estimer précisément les accroissements dans les autres territoires d'Outre-mer, il a été jugé préférable, par les experts forestiers français [533,

534], d'appliquer un principe de prudence et de considérer que la croissance de la forêt permet seulement de compenser la récolte.

Calcul de la mortalité des forêts restant forêts (Mortalité_{FFij})

La mortalité est répartie entre les forêts restant forêts et les terres devenant forêt grâce à l'équation suivante.

Équation 21 (Forêts)

$$\text{Mortalité}_{FFij} = \text{Mortalité}_{ij} \times A_{FFij} \times \text{Mort}_{FFij} / (A_{FFij} \times \text{Mort}_{FFij} + A_{AFij} \times \text{Mort}_{AFij})$$

Avec :

Mortalité _{FFij}	=	Mortalité normalisée moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), t MS/ha/an
Mortalité _{ij}	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts, t MS/an
A _{FFij}	=	Surfaces des forêts restant forêts, ha
A _{AFij}	=	Surfaces des terres devenant forêts, ha
Mort _{FFij}	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts restant forêt, t MS/ha/an
Mort _{AFij}	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les terres devenant forêt, t MS/ha/an+

Mortalité normale des forêts restant forêt

La mortalité normale, de fond, des forêts est estimée directement par l'IGN dans son inventaire forestier. Elle est fournie par interrégion et estimée pour l'année médiane de chaque campagne de cinq ans de l'IFN (§2.2.2.3).

Mortalité exceptionnelle - tempêtes

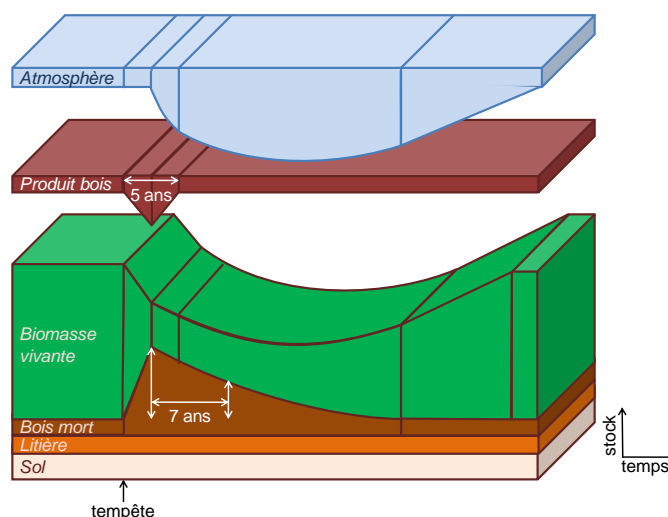
En plus de la mortalité « normale » des forêts, les tempêtes exceptionnelles affectent brusquement et souvent durablement les stocks de carbone forestier. Depuis 1990, la France a été touchée deux fois par des épisodes de tempêtes importants :

En décembre 1999, les tempêtes Lothar et Martin ont touché quasi intégralement le territoire métropolitain et ont provoqué d'énormes dégâts notamment en Aquitaine et en Lorraine. Le bilan global s'élève à environ 175 Mm³ de chablis (en bois fort) selon les estimations de l'IFN.

En janvier 2009, la tempête Klaus a également détruit de nombreuses surfaces forestières ; elle a touché le sud-ouest de la France et en particulier le massif forestier des Landes. Le bilan global s'élève à environ 42,5 Mm³ de bois à terre (en bois fort).

L'équation 2.14 du GIEC 2006 [672] qui se base sur les superficies affectées par les perturbations naturelles n'est pas utilisée pour prendre en compte l'effet des tempêtes exceptionnelles car il existe des données statistiques qui renseignent directement les volumes de chablis (IGN) et sur les volumes de chablis prélevés (SSP et IGN). Les volumes de chablis prélevés sont donc inclus dans les prélèvements de bois.

Figure 22 : Représentation de l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête



Suite aux tempêtes, l'ensemble des chablis ne peut être mobilisé : ces tempêtes génèrent donc une augmentation brusque du bois mort en forêt. Ce bois mort se dégrade au cours du temps et génère un flux de CO₂ vers l'atmosphère qui tend à rétablir un niveau d'équilibre pour le stock de bois mort en forêt. Contrairement à la mortalité de fond où le flux est annuel, dans l'inventaire français cette dégradation du bois mort est supposée suivre une cinétique classique d'ordre 1 à partir d'une durée de dégradation moyenne de 10 ans pour le bois mort. Cela correspond, pour le stock de bois mort excédentaire, à une valeur de demi-vie (temps pour que le stock diminue de moitié) de l'ordre de 7 ans (cf. schéma ci-dessus sur l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête).

Équation 22 (Forêts)

$$L_{\text{disturbances}} = (\text{Chablis} - \text{Chablis}_{\text{prélevé}}) \times \exp(-k \times n)$$

Avec :

$L_{\text{disturbances}}$	=	Pertes de carbone annuelle, tC/an
Chablis	=	Quantité de carbone dans les chablis, tC
$\text{Chablis}_{\text{prélevé}}$	=	Quantité de carbone dans les chablis récoltés après tempête, tC
k	=	0,1 an ⁻¹ (=1/10 ans)
n	=	Nombre d'années écoulées depuis la tempête

Calcul des émissions liées au brûlage sur site des résidus de récolte de bois

Le brûlage sur site réalisé au cours de la récolte de bois est pris en compte et génère différents gaz à effet de serre directs et indirects, ainsi que des polluants (N₂O, NO_x, CO et CH₄) en plus du CO₂. Le volume de bois brûlé sur site est mal connu. Les experts terrains rapportent que la pratique de brûlage n'est plus pratiquée, et souvent interdite par des arrêtés préfectoraux. Des dérogations étant possibles, cette valeur conservatrice de 5 % est conservée. Puis, les émissions sont estimées à partir des facteurs d'émission du GIEC 2006.

Équations 23 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.27 du GIEC 2006 [672])

$$\text{Emissions} = \text{Quantité_brulée} \times \text{Facteur_oxydation} \times \text{Facteur_Emission}$$

Avec :

Emissions	=	Emissions de CH ₄ , N ₂ O, CO et NO _x , t
Quantité_brulée	=	Quantité de matière sèche mise à brûler, t MS
Facteur_oxydation	=	Part de la matière sèche réellement brûlée (valeur utilisée : 90%)
Facteur_Emission	=	Facteur d'émission en kg / t brûlée (CH ₄ = 4.7 // CO = 107 // NO _x = 3 // N ₂ O = 0.26)

Calcul des émissions liées aux incendies de forêt

Les feux de forêts génèrent des perturbations importantes des stocks de carbone forestier. Ils provoquent des flux très variables et parfois importants de CO₂ de la biomasse vivante vers l'atmosphère.

La combustion de biomasse lors des feux de forêt génère des émissions de différents polluants : SO₂, NO_x, COVNM, CO, NH₃, particules. Par ailleurs, du fait de la présence de certains métaux ou éléments dans la biomasse, des émissions de métaux lourds et de certains polluants organiques persistants sont aussi possibles. Parmi elles, seules les émissions de HAP et de PCDD-F sont estimées.

Données de surface

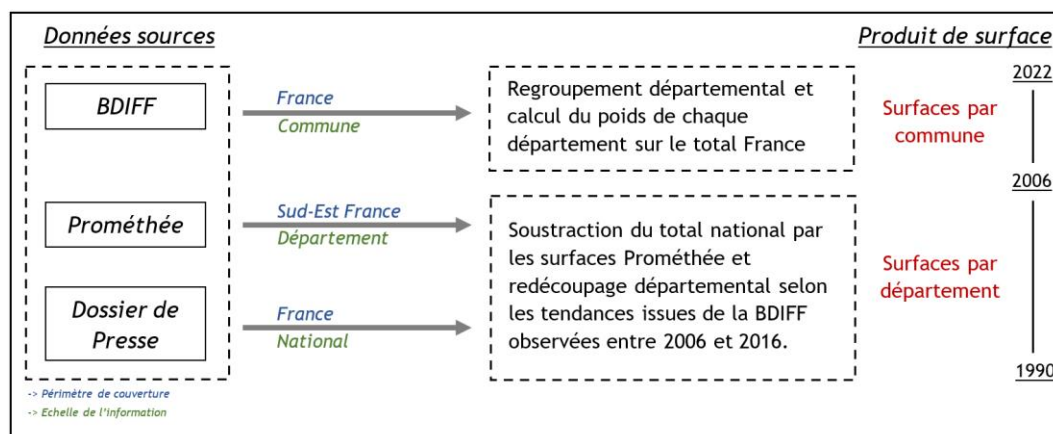
La constitution des surfaces pour la série temporelle de 1990 à aujourd'hui repose sur trois principales sources de données :

- La Base de données des feux de forêt en France (BDIFF) [723] qui couvre l'ensemble de la France métropolitaine depuis 2006 avec un niveau d'information renseigné à l'échelle de la commune.
- La base de données « Prométhée » [297], créée en 1973 cette base de données renseigne les feux de forêt et de garrigue uniquement sur certains départements du Sud-Est de la France.
- Des dossiers et communiqués de presse émanent du ministère de l'Agriculture [298], Ministère de la Transition Ecologique et/ou de certains département et région d'outre-mer.

Les surfaces incendiées sont regroupées au sein d'entités géographiques les plus homogènes possible qui varient selon la source d'information. L'ensemble de la série temporelle est reconstitué comme suit, de façon antéchronologique :

- **2022 à 2006** : Utilisation des données issues de BDIFF pour l'ensemble de la France métropolitaine disponibles à l'échelle communale.
- **2006 à 1990** : La base de données Prométhée fournit les surfaces incendiées pour 15 départements du sud-est. Le total des surfaces Prométhée est soustrait au total de surface métropole renseigné par le Dossier de Presse ministériel, le résultat est ensuite découpé à l'échelle départementale selon le poids de chaque département déterminé à partir des données réelles observées entre 2006 et 2016 issues de la BDIFF.

Figure 23 : Méthodologie utilisée pour la reconstitution des surfaces incendiées en forêt depuis 1990.



La précision des données de la BDIFF, depuis 2006, apporte des informations supplémentaires sur le type de surfaces incendiées au sein de la catégorie « feux de forêt ». On distingue ainsi trois grandes catégories de surfaces : les surfaces strictement « en forêt » et les surfaces dites « hors forêt » composées d'incendies sur des terres boisées et des terres non boisées. Cette distinction étant seulement disponible après 2006, le profil de type de surfaces brûlées par région post 2006 est appliqué aux années antérieures.

En Outre-mer appartenant à l'UE (périmètre Kyoto), différentes sources sont utilisées pour estimer les surfaces brûlées : la BDIFF [723], la DRAAF Réunion [601] pour cette île qui est le seul territoire d'Outre-Mer fréquemment sujette à des incendies ; et divers documents officiels [724, 725, 726] pour tenir compte de la particularité de ces territoires (cultures sur brûlis, feux de brousse). En Outre-mer hors UE, des surfaces brûlées sont uniquement rapportées en Nouvelle-Calédonie, sur la base de produits satellites (MODIS [1205]).

Tableau 53 : Surfaces incendiées en France depuis 1990

Feu-for.xlsx

ANNEE	METROPOLE (Zone Prométhée)	METROPOLE (Zone hors Prométhée)	OUTRE-MER (inclus dans l'UE (périmètre Kyoto))	OUTRE-MER (hors UE - PTOM)
1990	53 897	18 728	1 055	15 597
1991	6 549	3 581	1 036	15 597
1992	12 765	3 828	1 055	15 597
1993	11 901	4 797	1 043	15 597
1994	22 605	2 390	1 033	15 597
1995	9 988	8 149	1 067	15 597
1996	3 119	8 281	1 502	15 597
1997	12 250	9 331	1 015	15 597
1998	11 243	8 039	1 111	15 597
1999	12 782	3 124	1 808	15 597
2000	18 860	5 218	1 021	1 542
2001	17 965	2 677	1 094	5 648
2002	6 298	23 871	1 080	38 424
2003	61 424	11 576	1 013	17 875
2004	10 596	3 104	1 018	31 481
2005	17 356	5 044	1 068	13 843
2006	5 234	1 790	1 082	14 343
2007	6 343	712	1 013	5 415

ANNEE	METROPOLE (Zone Prométhée)	METROPOLE (Zone hors Prométhée)	OUTRE-MER (inclus dans l'UE (périmètre Kyoto))	OUTRE-MER (hors UE - PTOM)
2008	3 491	1 219	1 052	3 117
2009	10 751	3 768	1 065	11 575
2010	5 897	2 627	1 989	10 010
2011	3 993	2 807	3 728	13 850
2012	3 858	3 715	1 735	4 232
2013	1 838	895	613	12 170
2014	3 814	919	1 584	16 103
2015	2 771	4 951	1 414	15 836
2016	12 039	2 049	1 103	16 785
2017	19 335	3 708	318	38 026
2018	2 995	942	634	10 361
2019	7 758	5 371	2 168	39 536
2020	7 131	3 679	491	5 892
2021	10 509	2 327	360	17 065
2022	14 680	44 012	295	2 283
2023	3 715	1 098	305	20 000

Estimation des émissions de GES : CO₂, CH₄ et N₂O

Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émissions spécifiques à chaque type de surface et à chaque compartiment carbone. Pour la biomasse par exemple, les émissions dépendent de la quantité de matière sèche effectivement brûlée et sont calculées selon l'équation suivante (Giec, 2006) :

Equation 24 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.14 du GIEC 2006 [672])

$$L_{wild_fires} = \sum_i A_{burnt(i)} \times BW_i \times \text{Frac_burn}_i \times CF$$

Avec :

L_{wild_fires}	=	Pertes de carbone annuelle liée aux feux, t C/an
i	=	Sylvoécarrégion (85 sylvoécarrégions en France métropolitaine)
$A_{burnt(i)}$	=	Surface incendiée annuelle dans la sylvoécarrégion i , ha
BW_i	=	Stock de biomasse aérienne sur les surfaces brûlées dans la sylvoécarrégion i , t MS/ha
Frac_burn	=	Fraction de la biomasse effectivement brûlée brûlées sur la surface incendiée dans la sylvoécarrégion i
CF	=	Fraction en carbone de la biomasse, t C/t MS (0,475)

Pour les autres compartiments le principe est similaire mais se base sur un stock en quantité de carbone directement. Les stocks par compartiment carbone sont spécifiés par types de surfaces (forêt, terres boisées et terres non boisées) et par sylvoécarrégion ou par GRECO (grande région écologique) sur la base des stocks utilisés dans le modèle de variation par maille (voir section UTCATF - général).

Tableau 54: Stocks par compartiment et type de surface brûlée utilisés pour le calcul des émissions liées aux feux de forêts

Stocks par compartiment carbone (en tMS ou tC)	Surfaces en forêt	Surfaces en terres boisées hors forêt	Surfaces en terres non boisées
Biomasse aérienne ligneuse	129 tMS/ha (40 – 247) ¹	15 tMS/ha Médinet, 2018 - Shrubland [993]	0 tC/ha
Feuillage	Non estimé	Non estimé	0 tC/ha
Biomasse herbacée	Non estimé	Non estimé	4,1 tMS/ha Giec, 2006 - Grassland tempéré [437]
Litière	8,5 tC/ha (6,3 – 12,7) ²	Non estimé	0 tC/ha
Bois mort	Non estimé		
Racines	Non estimé		
Sol minéraux (0-30cm)	Non estimé		

¹ moyenne, min et max par sylvoécarrégions [voir section UTCATF -général]

² moyenne, min et max par GRECO [voir section UTCATF -général]

Un facteur de combustion (Frac Burn) est ensuite appliqué à chaque compartiment carbone pour estimer les pertes par combustion.

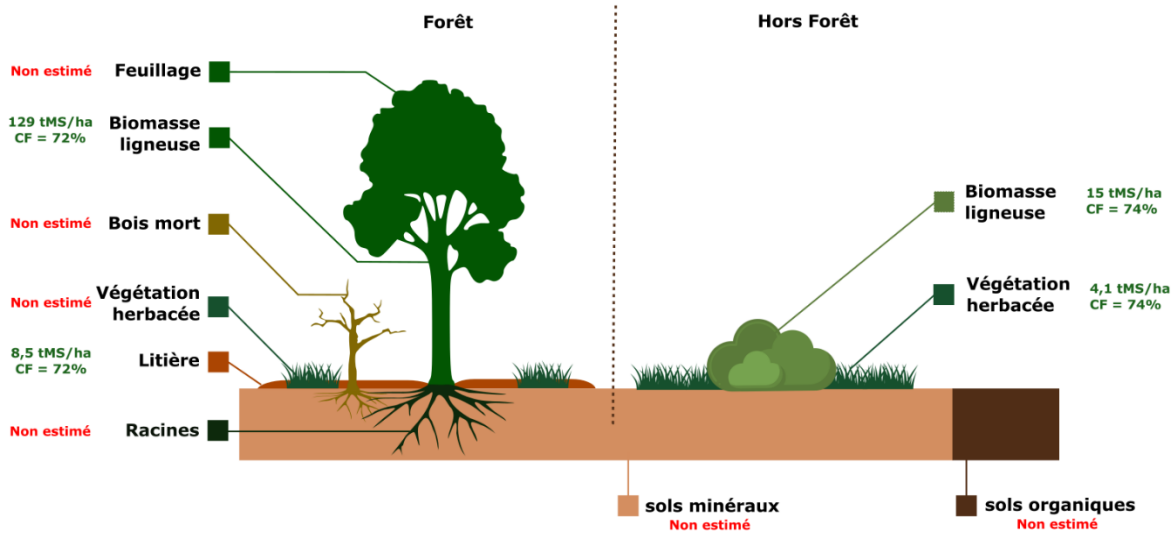
Tableau 55 : Facteurs de combustion par compartiment carbone en fonction des surfaces incendiées

Stocks par compartiment carbone (en tMS ou tC)	Surfaces en forêt	Surfaces en terres boisées hors forêt	Surfaces en terres non boisées	Végétation Tropicale
Biomasse aérienne ligneuse	21% (10% - 27%) *	72% Giec, 2006 - Table 2.6 [437]	-	20% [795]
Végétation herbacée	Non estimé	Non estimé	74% Giec, 2006 - Table 2.6 [437]	77% [437]
Litière	76% (70% - 90%) *	Non estimé	-	Non estimé

* Pour les surfaces en forêt les facteurs de combustion sont estimés en fonction des peuplements pour chaque GRECO à partir des données issues de Mouillot et al., 2006 (Table 2) [1276].

Pour chaque ancienne région, des facteurs d'émissions liés au profil de végétation brûlée, aux stocks de référence et aux fractions brûlées sont déduits pour la période post 2006. Ils sont réutilisés pour la période 1990-2006, et appliqués aux surfaces estimées hors BDIFF pré 2006.

Figure 24 : Synthèse des compartiments carbone estimés dans le calcul feux de forêt



Les facteurs d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants pour les feux sont présentés plus bas.

Biomasse morte (terres forestières restant terres forestières) [dw] [lt]

Calcul de la variation de stock (ΔCFF_{DOM})

Les variations de stock de carbone pour la biomasse morte sont ensuite décomposées entre bois mort et litière.

Équation 25 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.17 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF_{DOM} = \Delta CFF_{DW} + \Delta CFF_{LT}$$

Avec :

- ΔCFF_{DOM} = Variation annuelle de stock dans la biomasse morte dans les forêts restant forêts, t C/an
- ΔCFF_{DW} = Variation de stock dans le bois mort dans les forêts restant forêts, t C/an
- ΔCFF_{LT} = Variation de stock dans la litière dans les forêts restant forêts, t C/an

Bois mort (terres forestières restant terres forestières) [dw]

La méthode générale d'estimation de la variation de bois mort est la suivante :

Équation 26 (Forêts) (Méthode des flux inspirée de l'équation 2.19 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF_{DW} = \Delta CFF_{\text{modèle}} + (A \times (B_{t2} - B_{t1}) / T) \times CF - \Delta CFF_{\text{modèle}}$$

Avec :

ΔCFF_{DW}	Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt, tC/an
$\Delta CFF_{\text{modèle}}$	Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt issue du modèle de variation de stock à la maille, tC/an
A	Surface de forêt gérée restant forêt, ha
B_{t1}	Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t1 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha
B_{t2}	Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t2 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha
CF	Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS
T	Période (t2 - t1), an

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres forestières restant terres forestières, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de bois mort. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général), et peuvent être non nuls car les stocks de référence de carbone dans le bois mort diffèrent selon les sous-catégories de forêts. Ils sont retranchés de la variation de stock de bois mort générale (bottom-up par mesure des stocks observés) pour ne pas être double-comptés.

Flux estimés en complément

Puis, des flux additionnels sont appliqués, en lien avec la mortalité et les tempêtes.

Données et hypothèses

Il était auparavant considéré que les flux entrants et sortants dans le compartiment bois mort étaient de même ordre, étant donné la dynamique plutôt stable de la mortalité. Une hypothèse de stabilité était appliquée pour ce compartiment hors épisode de tempêtes (voir § 2.4.1.2.3). Or, avec l'augmentation forte de la mortalité dans les années post 2015, et la disponibilité des données sur les mesures de stock de bois mort, une nouvelle méthodologie de variation de stock est mise en place.

Dans les inventaires français, les paramètres B_{t1} et B_{t2} sont estimés à partir des mesures de stock de bois mort mesuré sur les placettes de l'IGN.

Les stocks transmis par l'IGN sont des stocks annuels en m³, par type de bois mort sur la période 2008-2023, en cohérence avec la méthodologie des Indicateurs de Gestion Durable de l'IGN (IGD 4.5) et les transmissions par campagnes 5 ans pour l'accroissement et la mortalité [1350]. Le stock est attribué à l'année médiane. Quand les données ne sont pas disponibles, une extrapolation est réalisée indexée sur l'évolution de la mortalité.

Ces stocks comprennent :

- Le volume aérien et racinaire des arbres morts sur pied (tiges et racines, les branches étant comptabilisées dans le bois mort au sol) ;
- Le volume aérien et racinaire des chablis (tiges et racines, les branches étant comptabilisées dans le bois mort au sol) ;
- Le volume de bois mort au sol.

Ils ne comprennent pas les racines et souches des arbres prélevés.

Un traitement a été réalisé en début de série pour ne pas double-compter les chablis de la tempête Klaus de 2009, et les émissions liées à la dégradation des chablis estimées en parallèle (voir section suivante).

Tableau 56 : Stocks de bois mort issus utilisés pour le calcul des flux en forêt restant forêt – transmission spécifique de l'IGN à partir de la méthodologie IGD 4.5 [1350]

Année de référence	Stock total de bois mort (m3)
2008	391 641 380
2009	428 712 470
2010	417 352 291
2011	412 409 583
2012	414 325 003
2013	408 789 672
2014	413 438 037
2015	392 989 886
2016	404 969 135
2017	381 907 158
2018	404 336 679
2019	438 314 143
2020	450 409 285
2021	477 071 440
2022	501 548 739
2023	540 657 945

Cas des tempêtes

Les tempêtes exceptionnelles (voir §2.3.3.3.3) génèrent des augmentations brusques et temporaires du stock de bois mort (chablis). Dans ces cas une méthode des flux est appliquée avec une estimation du paramètre B_{into} basée sur les dégâts observés après tempête et B_{out} sur le stock de bois mort supplémentaire associé à une cinétique de décomposition mort.

Litière (terres forestières restant terres forestières) [lt]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres forestières restant terres forestières, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de litière. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général).

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment. Sans changement entre sous-catégories, ce stock est supposé constant (hypothèse de stabilité) et aucun flux n'est donc pris en compte. L'évolution de l'intensité sylvicole et ses impacts sur la litière ne sont pour l'instant pas estimés.

Regain de litière post combustion par feux de forêt

Le compartiment litière subit des pertes par combustion lors d'un feu de forêt. Ces pertes sont estimées à environ 72% des stocks de matières organiques du compartiment litière (variable selon le peuplement) [1277]. Ces émissions sont estimées dans la partie relative aux incendies en forêt restant forêt. La prise en compte des pertes par combustion pour le compartiment litière implique l'estimation d'un regain de carbone pour reconstituer les stocks perdus. Par conséquent, un regain est estimé et lissé sur une période de 20 ans jusqu'à atteinte des stocks de référence de chaque grande sylvoecorégion.

Discussion

Une étude [602] a également été réalisée par l'ONF et l'université de Louvain sur les placettes du réseau de suivi forestier RENECOR pour connaître l'évolution du stock de carbone dans la litière et dans les sols. Cette étude a été lancée par le ministère de l'Agriculture français en vue de répondre aux exigences de rapportage du Protocole de Kyoto sur le suivi de certains réservoirs de carbone. Pour la litière, cette étude conclut que les stocks de carbone sont significativement à la hausse même si elle ne permet pas de définir quantitativement l'amplitude de cette hausse sur la période d'étude. Cette étude permet de justifier que l'hypothèse de stabilité des litières dans l'inventaire français est une hypothèse conservatrice.

Matière organique du sol (terres forestières restant terres forestières) – sols minéraux [s_min]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres forestières restant terres forestières, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de carbone dans les sols. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général), ils sont a priori toujours nuls car les stocks de référence de carbone dans les sols ne varient pas entre sous-catégories de forêts, ni dans le temps.

Le GIEC propose une estimation des stocks de carbone sur la base de stocks de référence associé à des facteurs correcteurs liés à la gestion. Aucune information n'a été identifiée permettant de traduire l'évolution de ces modes de gestion en forêt, les stocks de carbone des sols sont donc stables au cours du temps en l'absence de changement d'utilisation des terres. Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment. Sans changement entre sous-catégories, ce stock est supposé constant (hypothèse de stabilité) et aucun flux n'est donc pris en compte. L'évolution de l'intensité sylvicole et ses impacts sur les sols ne sont pour l'instant pas estimés.

Discussion

Les données disponibles actuellement sont :

les données du RMQS, disponibles pour l'instant pour une seule campagne (2000-2009). Une deuxième campagne, en cours, devrait permettre d'obtenir des variations de stocks, qui, si elles sont significatives, seront mobilisables dans l'inventaire. Actuellement, le RMQS ne permet pas d'estimer un flux de carbone dans les sols forestiers sans changement.

les données issues du réseau de suivi forestier RENECOFOR, qui n'est pas complètement représentatif de l'ensemble de la forêt française. Une étude [602] menée par l'ONF et l'université de Louvain sur les placettes du réseau, et lancée par le ministère de l'Agriculture français en vue de répondre aux exigences de rapportage du Protocole de Kyoto, étude conclut que les sols forestiers français peuvent être considérés de manière significative comme des puits de carbone. Les taux estimés sur une période de 15 ans sont de 0,19 tC/ha/an sous feuillus et 0,49 tC/ha/an sous résineux [602]. Ces facteurs d'absorption ont été jugés non représentatifs de l'ensemble des forêts françaises et ne sont pas exploités directement dans les inventaires de GES ; même si certaines études extrapolent les résultats obtenus sur le réseau RENECOFOR tout en appliquant une marge d'incertitude [994]. En revanche, cette étude permet de justifier l'hypothèse de neutralité en assurant qu'il s'agit d'une hypothèse conservatrice, puisque les sols forestiers seraient des puits de carbone. Une estimation fiable n'est simplement pas faisable à ce stade.

TERRES DEVENANT TERRES FORESTIERES

Biomasse vivante (terres devenant terres forestières) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]

Calcul de la variation de stock (ΔCLF_{LB})

Pour rappel, les flux concernant la biomasse vivante de type forêt sont distingués des flux de biomasse vivante type cultures pérennes et type herbacées. Le stock de carbone de biomasse vivante de type forêt évolue au cours du temps : ses variations sont estimées à partir des accroissements et de la mortalité. Il est considéré que les terres dont l'usage forêt est inférieur à 20 ans ne font pas l'objet de récoltes.

Équation 27 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CLF_{LB} = \Delta CFF_{\text{modele}} + (\Delta CLF_G - \Delta CLF_L)$$

Avec :

ΔCLF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
$\Delta CLF_{\text{modele}}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, issue du modèle de variation de stock à la maille, t C/an
ΔCLF_G	=	Gain annuel en carbone de la biomasse vivante type forêt, t C/an
ΔCLF_L	=	Perte annuelle en carbone de la biomasse vivante type forêt, t C/an

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres non forestières devenant terres forestières on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb_hh]. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général).

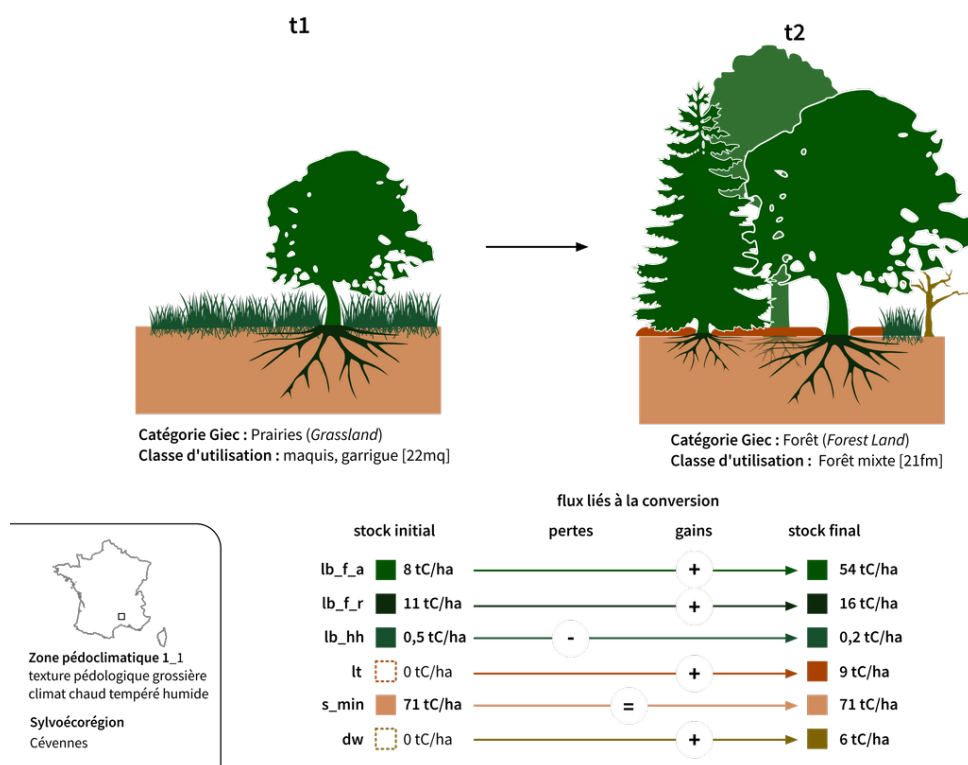


Figure 25 : Exemple de conversion d'un maquis en forêt et flux de carbone estimés par le modèle de variation de stock à la maille pour l'ensemble des compartiments

Flux estimés en complément

Des flux de mortalité sont estimés en complément uniquement pour la biomasse vivante de type forêt.

Gains (ΔCLF_G)

Pour estimer l'accroissement des arbres sur les terres devenant forêts, le GIEC distingue deux cas : les terres gérées de manière intensive incluant les plantations et les terres gérées de manière extensive. Dans l'inventaire français il n'a pas été possible de distinguer ces deux cas. Les gains de carbone sur ces terres sont donc calculés à partir du modèle de variation de stock à la maille par type de peuplement pour tous les types de biomasse vivante.

Pour la biomasse vivante de type forêt, une terre devenant forêt visera le stock de référence de la sylvoécorégion et l'atteindra au bout de 40 ans si elle ne change pas d'usage avant cela (les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la partie 4A. *Terres forestières*).

En forêt, il n'y a pas de cultures pérennes, par conséquent les gains en biomasse vivante de type cultures pérennes sont toujours nuls. Cela est vrai également pour la biomasse vivante herbacée de type cultures annuelles.

En revanche, des flux sont calculés pour les gains de biomasse herbacée de type herbe lors des conversions. Il suffit que l'usage initial de la maille ait un stock inférieur au stock de référence forestier.

Pertes (ΔCLF_L)

Pour les pertes de carbone sur les terres devenant forêts l'équation suivante est utilisée. Cette équation est appliquée dans l'inventaire français avec $n = 4$ types de forêt (feuillus, résineux, mixtes et peupliers) et $m = 5$ régions climatiques (Nord-Ouest, Nord-Est, Centre-Est, Sud-Ouest, Sud-Est).

Équation 28 (Forêts)

$$\Delta CLF_L = \Delta CLF_{L_modele} + \sum_{ij} (Mortalité_LF_{ij}) \times CF$$

Avec :

ΔCFF_L	=	Pertes totales
ΔCFF_{L_Modele}	=	Pertes issue du modèle de variation de stock à la maille, t C/an
$Mortalité_LF_{ij}$	=	Mortalité moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les terres devenant forêts, par type de forêt ($i = 1$ à n) et par zone climatique ($j = 1$ à m), t MS/ha/an
CF	=	Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS

Des pertes de carbone sur ces terres sont calculées à partir du modèle de variation de stock à la maille par type de peuplement pour tous les types de biomasse vivante.

Les pertes en biomasse vivante de type forêt sont toujours nulles avec le modèle car les pertes de référence pour les catégories forestières sont fixées à zéro. Ce choix a été fait pour ne pas détecter de pertes de biomasse lors de conversion entre feuillus et conifères par exemple, afin de ne pas créer de double compte avec le calcul des récoltes.

Les pertes en biomasse vivante de type cultures pérennes sont calculées par le modèle sur la base d'une perte de la totalité de la biomasse en 1 an (20 tC/ha/an pour la biomasse aérienne et 10 tC/ha/an pour la biomasse racinaire, ce qui vide nécessairement le compartiment). Cela illustre par exemple un arrachage de vignes avant une conversion en forêt.

De la même façon, les pertes en biomasse herbacée sont calibrées sur 1 an. Pour la biomasse type cultures annuelles, tout le stock est perdu en une année si une culture est convertie en forêt par exemple. Pour la biomasse de type herbe, la conversion se fait en 1 an vers le stock de référence forestier.

A ces pertes s'ajoutent des flux de mortalité décrits ci-dessous.

Mortalité des terres devenant forêts ($Mortalité_LF_{ij}$)

Dans l'inventaire français, il est considéré que tous les prélèvements ont lieu sur les forêts restant forêt, aucun prélèvement de bois n'est donc comptabilisé pour les terres devenant forêts. Seule la mortalité naturelle du peuplement est estimée dans les pertes associées à des terres devenant forêt. Les données de mortalité sur les terres devenant forêt sont fournies par l'inventaire forestier mais elles sont plus incertaines que les données de mortalité les plus récentes relatives à la forêt entière. Ces données sont donc retraitées pour être mises en cohérence avec les données les plus récentes grâce à l'équation suivante.

Équation 29 (Forêts)

$$Mortalité_LF_{ij} = Mortalité_{ij} \times A_LF_{ij} \times Mort_LF_{ij} / (A_FF_{ij} \times Mort_FF_{ij} + A_LF_{ij} \times Mort_LF_{ij})$$

Avec :

$Mortalité_LF_{ij}$	=	Mortalité normalisée moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les forêts devenant forêt, par type de forêt ($i = 1$ à n) et par zone climatique ($j = 1$ à m), t MS/ha/an
$Mortalité_{ij}$	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts, t MS/an
A_FF_{ij}	=	Surfaces des forêts restant forêts, ha
A_LF_{ij}	=	Surfaces des terres devenant forêts, ha
$Mort_FF_{ij}$	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts restant forêt, t MS/ha/an
$Mort_LF_{ij}$	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les terres devenant forêt, t MS/ha/an

Biomasse morte (terres devenant terres forestières) [dw] [lt]

Les variations de stock de carbone pour la biomasse morte sont décomposées entre bois mort et litière.

Bois mort (terres devenant terres forestières) [dw]

La conversion d'une terre en forêt s'accompagne de la création du réservoir bois mort et donc d'un stockage de carbone dans ce réservoir. Dans l'inventaire français actuel, ce stockage est estimé par la méthode de la variation de stock à la maille. Le stock de bois mort de référence est le stock de la sylvoécocorégion par type de peuplement, et il sera atteint au bout de 40 ans. Pour les peupleraies, seule une valeur nationale est utilisée. Le stock moyen est d'environ 3 à 4 tC/ha pour les sous-catégories de forêt. Les valeurs sont disponibles dans le tableau de stock de référence en début de section, paragraphe *Approche et données*, ou à la section *UTCATF-Général*.

Litière (terres devenant terres forestières) [lt]

Le passage en usage forêt d'une terre s'accompagne de la création du réservoir litière et donc d'un stockage de carbone dans ce réservoir. Dans l'inventaire français actuel, ce stockage est estimé par la méthode de la variation de stock à la maille. Le stock de litière de référence est le stock de la GRECO par type de peuplement, et il sera atteint au bout de 20 ans. Les valeurs sont disponibles dans le tableau de stock de référence dans le paragraphe *Méthodes génériques (UTCATF-Général)*.

Matière organique du sol (terres devenant terres forestières) – sols minéraux [s_min]

Les variations du stock de carbone des sols sont estimées selon la méthode décrite dans la partie générique et commune à toutes les terres avec changement (modèle de variation de stock par maille).

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Emissions de CO₂Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock des différents compartiments carbone associées aux terres forestières changeant de sous-catégorie ou aux terres converties en terres forestières entraînent des flux de CO₂. Des flux de carbone complémentaires liés à la mortalité, l'accroissement ou aux récoltes sont aussi pris en compte. La conversion du flux de C en CO₂ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Les émissions de CO₂ provenant des feux de forêts sont calculés directement à partir de l'estimation de la quantité de biomasse brûlée. La conversion en CO₂ de la biomasse brûlée est estimée grâce à une teneur moyenne de 0,5 tC/t m.s.

Emissions de CH₄Emissions de CH₄ liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions liées au drainage ou à la remise en eau sont actuellement estimées dans l'inventaire français pour les sols organiques des cultures et de prairies uniquement et sont négligées en forêt.

Emissions de CH₄ liées au brûlage

Conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de CH₄ issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond à 5 % des rémanents par hypothèse. Les experts terrains rapportent que la pratique de brûlage n'est plus pratiquée, et souvent interdite par des arrêtés préfectoraux. Des dérogations étant possibles, cette valeur conservatrice de 5 % est conservée. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Les émissions des feux de forêts sont estimées au moyen des facteurs d'émission de 4,7 kg/t m.s (métropole) et de 6,8 kg/t m.s (Outre-mer) tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Emissions de N₂O

Emissions de N₂O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Les émissions de N₂O liées à la fertilisation des terres forestières sont actuellement négligées dans l'inventaire français.

Emissions de N₂O liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions liées au drainage ou à la remise en eau sont actuellement estimées dans l'inventaire français pour les sols organiques des cultures et de prairies uniquement et sont négligées en forêt.

Emissions de N₂O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N₂O liées à la minéralisation des sols sont estimées dans l'inventaire français pour les terres forestières dans tous les cas où la conversion vers une terre forestière entraîne une perte de carbone des sols ce qui ne se rencontre que dans quelques régions dans l'inventaire actuel et uniquement sur des terres de prairies converties en forêt.

Emissions de N₂O liées au brûlage

Conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de N₂O issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond à 5 % des rémanents par hypothèse. Les experts terrains rapportent que la pratique de brûlage n'est plus pratiquée, et souvent interdite par des arrêtés préfectoraux. Des dérogations étant possibles, cette valeur conservatrice de 5 % est conservée. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Les émissions des feux de forêts sont estimées au moyen des facteurs d'émission de 0,26 kg/t m.s (métropole) et de 0,2 kg/t m.s (Outre-mer) tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Données d'activité : quantités brûlées

Feux de forêt

(voir plus haut « Calcul des émissions liées aux incendies de forêt »)

Brûlage sur site de résidus de récolte de bois

(voir plus haut « Calcul des émissions liées au brûlage sur site des résidus de récolte de bois »)

Facteurs d'émission

Selon la disponibilité des facteurs d'émission les émissions sont basées soit sur la biomasse brûlée soit sur les surfaces brûlées. Lorsque les facteurs d'émissions sont basés sur la surface brûlée, les facteurs d'émission sont spécifiques à chacune des zones (zone méditerranéenne et reste de la métropole) pour refléter dans la mesure du possible les différences de type de végétation et leur densité.

Emissions de SO₂

Emissions de SO₂ liées au brûlage

Les émissions des feux de forêt sont estimées au moyen de facteurs d'émission de 24 kg/ha (zone tempérée) et de 6 kg/ha (zone méditerranéenne) tirés du Guidebook EMEP / CORINAIR [17].

Emissions de NO_x

Emissions de NO_x liées au brûlage

Les émissions de NO_x des feux de forêt sont estimées au moyen des facteurs d'émission de 3 kg/t m.s (métropole) et de 1,6 kg/t m.s (Outre-mer) tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Emissions de COVNM

Emissions de COVNM liées au brûlage

Les émissions des feux de forêt sont estimées au moyen de facteurs d'émission de 280 kg/ha (zone tempérée) et de 71 kg/ha (zone méditerranéenne) tirés du Guidebook EMEP / CORINAIR [17].

Emissions de CO

Emissions de CO liées au brûlage

Conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de CO issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois prises en compte la récolte et la part laissée en décomposition. Elle est en moyenne de 13%. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Les émissions des feux de forêts sont estimées au moyen des facteurs d'émission de 107 kg/t m.s (métropole) et de 104 kg/t m.s (Outre-mer) tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Emissions de NH₃

Emissions de NH₃ liées au brûlage

Les émissions de NH₃ pour les feux de forêt sont estimées au moyen de facteurs d'émissions de 24 kg/ha (zone tempérée) et de 6 kg/ha (zone méditerranéenne) tirés du Guidebook EMEP / CORINAIR [17].

Emissions de poussières totales en suspension (TSP)

Le brûlage sur site et les feux de forêt engendrent de grandes quantités d'imbrûlés solides. Ces émissions, qui sont particulièrement aléatoires et présentent une très grande variabilité, sont estimées pour les feux de forêts uniquement, et non pour les feux de végétation hors-forêt. Les facteurs d'émission utilisés sont de l'ordre de 17 kg/t.ms [66].

Emissions de PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{1,0}

Des ratios exprimés par rapport aux particules totales (66% et 60% pour estimer respectivement les PM₁₀ et les PM_{2,5}) sont utilisés [66]. Ces ratios présentent une très forte incertitude.

Métaux lourds (ML)

Des émissions de métaux lourds, généralement très faibles, sont susceptibles de survenir lors du brûlage sur site et d'incendies de forêts par suite de la présence de certains métaux (Zn, Cr, Cu) dans la biomasse. Cette présence peut être naturelle (traces parfois liées à la nature des sols) ou anthropique (bois mitraillés par exemple). Les émissions de métaux lourds liées aux feux de forêt sont actuellement négligées dans les inventaires.

Dioxines et furannes (PCDD-F)

Des émissions de dioxines peuvent se produire au cours des incendies de forêts du fait de la présence d'éléments chlorés provenant des aérosols marins [802]. Les éléments disponibles jusqu'à présent n'ont pas été jugés assez probants pour retenir des valeurs permettant de quantifier les émissions dans les inventaires.

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les émissions de HAP des feux de forêt sont estimées sur la base de facteurs d'émissions tirés de l'étude AER [188].

Tableau 9 : Facteurs d'émissions de HAP utilisés pour les feux de forêt

HAP	Facteur d'émission (g/Mg)
FluorA	3.4
BaA	3.1

HAP	Facteur d'émission (g/Mg)
BbF	4.3
Bkf	2.2
BaP	7.2
IndPy	2.8
BghiPe	2.5

Polychlorobiphényles (PCB)

Aucune émission n'est estimée pour ce secteur.

Hexachlorobenzène (HCB)

Aucune émission n'est estimée pour ce secteur.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
03/03/2025	MJ	04/03/2025	EM

Terres Cultivées (Cropland)

Cette section concerne les émissions/absorptions par les terres cultivées liées à l'utilisation ou au changement d'utilisation de ces terres. Les émissions liées aux pratiques agricoles (émissions azotées liées à l'épandage de fertilisants, particules liées au travail du sol, etc.) sont prises en compte dans les sections relatives à l'agriculture et ne sont pas comptabilisées dans cette section. Deux types de terres cultivées sont distingués : les terres cultivées établies depuis plus de 20 ans (terres cultivées restant terres cultivées) et les terres cultivées issues d'un changement d'usage d'une terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée (terres devenant terres cultivées).

Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	4B
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.32.01 à 11.32.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

Niveau de méthode :

Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.

Références utilisées :

- [92] CITEPA - PAJOT K., GABORIT G. FONTELLE J-P. - Estimation annuelle des émissions de COVNM des sources biotiques dans la basse atmosphère en France (modèle COBRA) - Mai 2003
- [294] GUENTHER A-B - Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. Ecological Application, 1997, vol. 7, pp 34-45
- [485] MAAF / SSP – Résultats des Enquêtes Pratiques Culturelles 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017
- [424] INRA INFOSOL – Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009
- [672] GIEC 2006 – Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol 4.
- [719] INRA, Unité Infosol, Base de données géographique des sols de France, 1999.
- [720] Cubizolle, H., Mouandza, M. M., & Muller, F. (2013). Mires and Histosols in French Guiana (South America): new data relating to location and area. Mires and Peat, 12(3), 1-10.
- [923] Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC

[962] INRA, Projet C-SOPRA (Prédiction des impacts des pratiques culturales sur le stockage et déstockage de C organique en sols agricoles) (2020).

[963] INRA, Etude 4 pour 1000 (Le potentiel de l'agriculture et de la forêt françaises en vue de l'objectif d'un stockage de carbone dans les sols à hauteur de 4 pour mille) (2019).

[1202] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012. Les troubières en France métropolitaine. CGDD.

[1203] Copernicus (Commission européenne / AEE), données High Resolution Layers, disponible en ligne : <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers>

[1204] Agence de Services et de Paiements (ASP), données du Registre Parcellaire Graphique (RPG), base de données géographiques servant de référence à l'instruction des aides de la politique agricole commune (PAC). Données annuelles depuis 2007 disponibles en ligne : <https://geoservices.ign.fr/rpg>

Caractéristiques de la catégorie (NID) :

Définitions

Définition de « terres cultivées » et sous-catégories

La catégorie des « terres cultivées », ou « Cultures », comprend les terres cultivées et labourées, les prairies temporaires et les jachères, ainsi que les parcelles en agroforesterie pour lesquelles la définition de forêt ne s'applique pas.

Cette catégorie comprend les sous-catégories suivantes :

Les cultures annuelles, légumes et fleurs (céréales, racines et tubercules, cultures industrielles, légumes secs, légumes frais, fleurs).

Les cultures permanentes qui restent en place pendant plus d'une campagne agricole (arbres fruitiers, baies, vignes, oliviers, pépinières, etc.).

Les prairies temporaires et jachères (une prairie est dite temporaire lorsque le semis date d'au maximum 5 ans lors de l'enquête ce qui représente un maximum de 6 récoltes).

Tableau 57 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Cultivées

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
1	Agricole	10	Agricole à définir	100	Agricole indéfini
		11	Cultures annuelles, légumes et fleurs	110	Cultures annuelles, légumes et fleurs indéfinies
				11bh	Blé tendre d'hiver
				11bp	Blé tendre de printemps
				11dh	Blé dur d'hiver
				11dp	Blé dur de printemps
				11cz	Colza
				11ah	Avoine d'hiver
				11ap	Avoine de printemps
				11lf	Légumes ou fleurs
				11be	Betterave industrielle
				11cf	Choux, racines et tubercules fourragers
				11ci	Autres cultures industrielles
				11ls	Légumes secs
				11mf	Maïs fourrage
				11mg	Maïs grain
				11oh	Orge d'hiver
				11op	Orge de printemps
				11xc	Autres céréales
				11pf	Plantes à fibres

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
				11pg	Pois protéagineux
				11pm	Pomme de terre
				11sh	Seigle d'hiver
				11so	Sorgho
				11sp	Seigle de printemps
				11th	Triticale d'hiver
				11to	Tournesol
				11tp	Triticale de printemps
				11xf	Autres fourrages annuels
				11xo	Autres oléagineux
				11xp	Autres protéagineux
		12	Cultures permanentes	120	Cultures permanentes indéfinies
				12vi	Vignes
				12ol	Oliveraies
				12cq	Fruits à coque
				12af	Autres arbres fruitiers
				12cp	Autres cultures permanentes
				130	Prairies temporaires et jachères indéfinies
	13		Prairies temporelles et jachères	13pa	Prairies artificielles
				13pt	Prairies temporaires
				13jh	Jachères

Définition de « terres cultivées gérées » (managed cropland)

Dans le cadre du règlement européen 2018/841 dit LULUCF, pour la première période de rapportage (2021-2025), les « terres cultivées gérées » correspondent aux terres cultivées restant terres cultivées ; aux prairies, zones humides, établissements ou autres terres, convertis en terres cultivées ; et aux terres cultivées converties en zones humides, établissements ou autres terres.

Définition de « terres cultivées restant terres cultivées » et « terres devenant terres cultivées »

La catégorie des terres cultivées restant terres cultivées est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Cultures » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Cultures.

La catégorie des terres devenant terres cultivées correspond à l'ensemble des terres en Cultures l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

Méthode générale d'estimation des émissions (NID) :

Approche et données

Approche générale

Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du *modèle de variation de stock par maille* estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock :
 - pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec, par exemple entre blé et vigne) ;
 - pour le compartiment des sols minéraux, en fonction des changements de pratique (en plus des changements d'usage).

2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (récolte de bois hors forêt...) ; sols organiques drainés ; etc.

Données

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*. Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de terres cultivées. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 58 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha	Biomasse vivante					Type herbe (aérien + racinaire)	Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)				
Cultures annuelles	0	0	0	0	3,6	0	0	0	56,1 [34,7 ; 86,6]
Cultures permanentes indéfinies	0	0	2,75	2,2	0	0	0	0	54,1 [33,2 ; 67,4]
Fruitiers	0	0	8,5	5,8	0	0	0	0	54,1 [33,2 ; 67,4]
Autres cultures permanentes	46 [14 ; 79]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,2	4 [0 ; 9]	9	54,1 [33,2 ; 67,4]
Oliveraies	0	0	9,1	2,6	0	0	0	0	54 [33 ; 67]
Vignes	0	0	5,5	4,4	0	0	0	0	54 [33 ; 67]
Prairies temporaires et jachères	0	0	0	0	3,6	0	0	0	76 [45 ; 97]

moyenne [min, max]

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en terres cultivées (ou entre sous-catégories de terres cultivées). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue terres cultivées dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 59 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Cultures annuelles	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22
Cultures permanentes indéfinies	0	0	0,14	0,11	3,6	6,3	0	0	1,22
Fruitiers	0	0	0,43	0,29	3,6	6,3	0	0	1,22
Autres cultures permanentes	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	4	6	0,1 [0 ; 0,23]	0,5	1,22
Oliveraies	0	0	0,46	0,13	3,6	6,3	0	0	1,22
Vignes	0	0	0,28	0,22	3,6	6,3	0	0	1,22
Prairies temporaires et jachères	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22

moyenne [min, max]

Tableau 60 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Cultures annuelles	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Cultures permanentes indéfinies	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Fruitiers	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Autres cultures permanentes	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Oliveraies	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Vignes	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Prairies temporaires et jachères	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22

TERRES CULTIVEES RESTANT TERRES CULTIVEES

La catégorie « Terres cultivées restant terres cultivées » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre cultures annuelles, cultures pérennes et prairies temporaires ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

Biomasse vivante (terres cultivées restant terres cultivées) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb_hh]. En effet, les stocks de référence de carbone dans la biomasse peuvent être différents selon les cas. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général).

Flux estimés en complément [lb_cp]

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, on estime des flux complémentaires pour la croissance nette de la biomasse. L'IFN ne couvrant pas ces terres dans son inventaire, il n'existe pas non plus de données précises sur l'accroissement annuel ou les prélèvements de la biomasse ligneuse des terres cultivées qui permettrait d'appliquer une véritable « méthode des flux » (gains - pertes). Il est donc considéré que l'accroissement compense le prélèvement sur la

récolte pour les terres de cette catégorie. La biomasse récoltée est supposée être uniquement à destination du bois de feu laquelle est estimée au travers de statistiques de consommation énergétique (méthode et valeurs décrites dans la section *Biomasse vivante – Forêt restant Forêts*, voir *tableau Récoltes de bois*). Si le modèle de variation de stock à la maille détecte des pertes de biomasse ligneuse liées aux changements d’usage des terres, ces flux sont déduits des récoltes de bois hors forêt. Le flux final (récoltes moins volume issu des changements d’usage) permet d’estimer les récoltes en cultures restant cultures. Ce flux est affecté à la catégorie vergers, et des gains du même ordre sont appliqués pour la repousse.

Du brûlage de résidus est associé à la récolte de bois énergie en vignes et vergers. Comme pour le brûlage des rémanents en forêt, celui-ci génère différents gaz à effet de serre directs et indirects, ainsi que des polluants (N₂O, NO_x, CO et CH₄) en plus du CO₂. Ces émissions sont estimées à partir des facteurs d’émission du GIEC 2006 (voir équation 24 forêts).

Des flux de carbone dans la biomasse liés à l’évolution du linéaire de haies en cultures sont pris en compte. La méthodologie est décrite dans la section *UTCATF – général*.

Bois mort (terres cultivées restant terres cultivées) [dw]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu’il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les pertes et gains de bois mort. En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différents selon les sous-catégories. Ils sont nuls pour la plupart des sous-catégories des Terres cultivées. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section *UTCATF – général*). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

Litière (terres cultivées restant terres cultivées) [lt]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu’il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les pertes et gains de litière. En effet, les stocks de référence de carbone dans la litière peuvent être différents selon les cas. Ils sont nuls pour la plupart des sous-catégories des Terres cultivées. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section *UTCATF – général*). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

Matière organique du sol (terres cultivées restant terres cultivées) – sols minéraux [s_min]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu’il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les variations de stocks de carbone dans les sols minéraux. Les stocks de référence de carbone dans les sols minéraux varient selon les sous-catégories et selon l’année.

La méthode détaillée sur l’estimation des stocks de carbone dans les sols se trouve en section UTCATF générale. Le stock de référence pour la calibration du modèle se base sur l’équation suivante :

Équation 30 (UTCATF) inspirée de l’équation 2.25 du GIEC 2006 [672]

$$COS_{X,n} = COS_{REF} * F_{UT,X} * \sum_i^n \%RG_{i,X,n} * F_{RG_i} * \sum_i^n \%A_{i,X,n} * F_{A_i}$$

Avec :

COSX Stock de carbone du sol pour une catégorie d’usage X, pour l’année n, tC
COSREF Stock de carbone de référence spécifique à la zone pédoclimatique, tC/ha

FUTX	Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres spécifique à la catégorie X et à la zone climatique
FRGi	Facteur de variation de stock lié au régime de gestion i (travail du sol principalement) lié à la zone climatique
FA	Facteur de variation de stock lié aux apports (organiques principalement) lié à la zone climatique
%RGi,X,n	Part du régime de gestion i issu des pratiques culturales pour la catégorie d'usage X, l'année n
%Ai,X,n	Part du régime d'apport i issu des pratiques culturales pour la catégorie d'usage X, l'année n

Les stocks de référence dans les sols minéraux varient selon l'année car ils sont issus d'une modulation d'un stock de référence (COS_{REF}) par l'occupation du sol et les pratiques culturales. Les variations de stock liées aux changements de pratiques agricoles (travail du sol, type et quantité d'apport) sont estimées conformément aux lignes directrices 2006 et au raffinement 2019 du Giec [672, 1229]. Les facteurs issus du raffinement 2019 [1229] sont appliqués sur la base des données issues des enquêtes Pratiques culturales disponibles pour les années 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017 [485]. Pour chaque classe d'occupation du sol (ex. 11bh blé tendre d'hiver), des données de pratiques sont disponibles et permettent d'affiner le stock cible du modèle de variation de stock par maille chaque année. Elles ne sont pas disponibles par région pour l'ensemble de la série temporelle, les tendances nationales sont donc utilisées. Une série temporelle du stock de référence pour le compartiment sols minéraux [s_{min}] est estimée pour chaque sous-catégorie d'usage.

Choix du paramètre de stock de référence (COS_{REF})

Le paramètre COS_{REF} choisi correspond à la moyenne entre la médiane des stocks forestiers et des stocks sous prairies régionaux issus du RMQS [424] (pondérés par le nombre de relevés). Il varie par zone pédoclimatique. Ils sont référencés en section UTCATF générale.

Catégorisation selon le facteur d'utilisation des terres (F_{UT})

Le paramètre F_{UT} est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Le facteur est différent pour les cultures annuelles, les cultures pérennes et les jachères. Ils sont référencés en section UTCATF générale.

Catégorisation selon le facteur lié au travail du sol (F_{RG})

Le paramètre F_{RG} est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Ses valeurs sont référencées en section UTCATF générale.

Le travail du sol est un des paramètres les plus importants pour l'estimation des flux de carbone des sols en France. En effet le travail du sol influe fortement les stocks de carbone du sol selon le GIEC et les pratiques associées ont significativement évolué durant la période couverte par l'inventaire avec une forte diminution du labour au profit des techniques culturales simplifiées.

En termes de travail du sol, trois modalités ont été identifiées en lien avec les facteurs correcteurs proposés par le GIEC : le labour, les techniques culturales simplifiées (TCS) et le semis direct (Semis d.). La part de chaque régime de gestion pour les différentes catégories de cultures est estimée à partir des enquêtes Pratiques culturales du Ministère de l'Agriculture disponibles pour les années 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017 [485]. Ces données concernent les cultures principales en France.

Tableau 61 : Part du régime de gestion (%RGi,x) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485]

		Blé tendre	Blé dur	Orge d'hiver	Orge de printemps	Autres céréales	Mais grain	Mais fourrage	Colza	Tournesol	Autres oléagineux	Pois	Autres protéagineux	Betterave	Pomme de terre	Autres cultures
1994	Labour	88%	63%	95%	95%	88%	98%	98%	82%	94%	82%	98%	98%	85%	89%	88%
	TCS	12%	37%	5%	5%	12%	2%	2%	18%	6%	18%	2%	2%	15%	11%	12%
	Semis d.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2001	Labour	74%	51%	85%	83%	74%	87%	92%	78%	92%	78%	91%	91%	85%	89%	74%
	TCS	26%	49%	15%	17%	26%	13%	8%	22%	8%	22%	9%	9%	15%	11%	26%
	Semis d.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2006	Labour	56%	42%	72%	72%	56%	84%	84%	53%	75%	53%	87%	87%	85%	92%	56%
	TCS	44%	55%	28%	28%	44%	16%	16%	47%	24%	47%	13%	13%	15%	8%	44%
	Semis d.	1%	3%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
2011	Labour	56%	42%	69%	69%	56%	82%	85%	49%	72%	49%	70%	70%	86%	86%	56%
	TCS	40%	54%	30%	30%	40%	18%	15%	51%	27%	51%	28%	28%	14%	14%	40%
	Semis d.	4%	4%	1%	1%	4%	0%	0%	0%	1%	0%	2%	2%	0%	0%	4%
2017	Labour	41%	35%	56%	56%	41%	71%	77%	33%	62%	33%	62%	62%	80%	78%	41%
	TCS	55%	61%	42%	42%	55%	28%	22%	64%	38%	64%	34%	34%	20%	22%	55%
	Semis d.	4%	4%	2%	2%	4%	1%	1%	3%	0%	3%	3%	3%	0%	0%	4%

Entre les années d'enquêtes les données sont extrapolées linéairement. Avant 1994 elles sont supposées équivalentes à l'année 1994 et après 2017 elles sont supposées équivalentes à 2017.

Catégorisation selon le facteur lié aux apports (F_A)

Les apports (intrants) sont un paramètre clé dans l'estimation des variations du carbone du sol. Il s'agit en premier lieu des apports organiques mais les engrais minéraux peuvent également être intégrés car la fertilisation permet d'augmenter la production de biomasse et donc potentiellement les retours de carbone au sol.

Le paramètre F_A est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Ses valeurs sont référencées en section *UTCATF générale*.

Le GIEC propose de caractériser le niveau d'apport selon quatre modalités qualitatives : apports faibles, apports moyens, apports élevés sans fumier, apports élevés avec fumier. Pour caractériser les surfaces de culture selon ce gradient, trois paramètres ont pu être exploités au niveau français : le taux de retour des résidus de culture au sol, l'apport de fumure organique et la présence d'une culture intermédiaire durant l'interculture.

Le taux de retour des résidus au sol a pu être pris en compte grâce aux enquêtes 2001, 2006 et 2011. Le devenir des résidus de la culture précédente étant connu (résidus récoltés, brûlés, laissé sur place), des valeurs pour les années 2000, 2005 et 2010 ont pu être estimées.

De même de informations qualitatives sur les surfaces ayant reçu des amendements organiques ou ayant mis en place des cultures intermédiaires ont pu être intégrées dans la catégorisation des terres selon la classification GIEC. Les terres ont été classées selon le protocole d'allocation suivant :

Tableau 62 : Protocole d'allocation entre les catégories GIEC

Résidus laissés au champ ?	Culture intermédiaire ?	Fumure organique ?	Apports			
			A. faibles	A. moyens	A. élevés	A. élevés + Fumier
OUI	OUI	OUI				X
		NON			X	
	NON	OUI		X		
		NON		X		
NON	OUI	OUI		X		
		NON	X			
	NON	OUI	X			
		NON	X			

Grâce à ce protocole d'allocation, les terres ont pu être réparties selon les catégories GIEC de la manière suivante :

Tableau 63 : Part du régime d'apport (% $A_{i,x}$) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485]

		Blé tendre	Blé dur	Orge d'hiver	Orge de printemps	Autres céréales	Mais grain	Mais fourrage	Colza	Tournesol	Autres oléagineux	Pois	Autres protéagineux	Betterave	Pomme de terre	Autres cultures
2000	A. faibles	56%	35%	76%	50%	56%	1%	5%	3%	1%	3%	15%	15%	2%	6%	56%
	A. moyens	44%	64%	24%	48%	44%	81%	82%	97%	96%	97%	67%	67%	50%	61%	44%
	A. élevés	0%	1%	0%	2%	0%	12%	2%	0%	3%	0%	18%	18%	24%	17%	0%
	A. élevés+	0%	0%	0%	0%	0%	5%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	24%	15%	0%
2005	A. faibles	38%	23%	43%	39%	38%	0%	5%	3%	2%	3%	9%	9%	2%	9%	38%
	A. moyens	62%	76%	57%	59%	62%	82%	82%	97%	95%	97%	72%	72%	50%	60%	62%
	A. élevés	0%	1%	0%	2%	0%	12%	2%	0%	3%	0%	19%	19%	24%	16%	0%
	A. élevés+	0%	0%	0%	0%	0%	6%	11%	0%	0%	0%	1%	1%	24%	14%	0%
2010	A. faibles	50%	34%	50%	50%	50%	0%	5%	3%	2%	3%	8%	8%	2%	11%	50%
	A. moyens	50%	66%	46%	46%	50%	80%	74%	97%	82%	97%	58%	58%	25%	37%	50%
	A. élevés	0%	0%	4%	4%	0%	13%	4%	0%	14%	0%	31%	31%	32%	33%	0%
	A. élevés+	0%	0%	1%	1%	0%	7%	17%	0%	3%	0%	3%	3%	41%	18%	0%
2017	A. faibles	50%	52%	46%	46%	50%	2%	4%	6%	2%	6%	7%	7%	3%	0%	50%
	A. moyens	49%	48%	47%	47%	49%	54%	46%	94%	47%	94%	51%	51%	11%	17%	49%
	A. élevés	1%	0%	6%	6%	1%	30%	8%	0%	46%	0%	39%	39%	39%	54%	1%
	A. élevés+	0%	0%	1%	1%	0%	15%	42%	0%	5%	0%	3%	3%	47%	29%	0%

Entre les années d'enquêtes les données sont extrapolées linéairement. Avant 2000 elles sont supposées équivalentes à l'année 2000 et après 2017 elles sont supposées équivalentes à 2017.

On estime donc pour chaque type de culture une série temporelle de stock de carbone dans le sol à partir du stock de référence, du facteur utilisation des terres FUT et de l'évolution de la part des régimes de gestion et d'apports associés aux facteurs de FRG et FA. La figure ci-dessous présente un exemple pour les cultures de blé tendre.

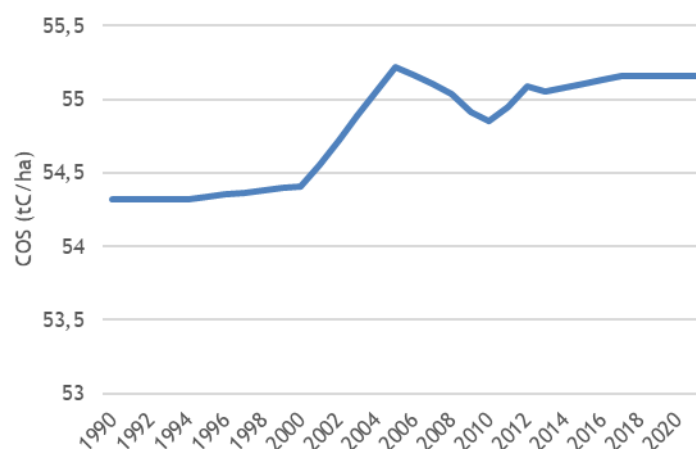


Figure 26 : Exemple d'évolution du stock de référence liés aux pratiques culturales pour les cultures de blé tendre

En Outre-mer, faute de données sur les changements de pratiques, aucune variation de stock de carbone des sols minéraux en cultures restant cultures n'est estimée.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire de CO₂ pour ce compartiment.

Emissions de N₂O associées

L'estimation des émissions *directes* de N₂O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C :N (15, ou 10 dans le cas des variations entre catégories de cultures), et le facteur d'émission de 0.01 tN-N₂O/tN. L'estimation des émissions *indirectes* de N₂O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N₂O/tN (table 11.3). Néanmoins, comme les terres cultivées sans changement voient leur stock de carbone du sol augmenter, aucune émission de N₂O associée à la perte de carbone (minéralisation) n'a lieu.

Matière organique du sol (terres cultivées restant terres cultivées) – sols organiques

Les sols organiques cultivés génèrent des émissions de CO₂, de CH₄ et de N₂O liées à leur drainage. Les surfaces de sols organiques sont obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (Base de données des inventaires des tourbières en France métropolitaine [1202]) ou pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec le modèle de suivi des terres spatialement explicite Citepa pour la métropole ou avec des cartes d'occupation du sol (*Corine Land Cover*) pour la Guyane afin de caractériser les surfaces par usage des terres. Les surfaces des sols organiques classées en terres cultivées sont par défaut considérées comme drainées et par conséquent source d'émission, les facteurs d'émissions appliqués proviennent du Supplément du GIEC sur les Zones Humides [923] (voir plus bas).

TERRES DEVENANT TERRES CULTIVEES

Biomasse vivante (terres devenant terres cultivées) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]

Comme pour les terres cultivées restant terres cultivées les flux de biomasse sont estimés par le modèle de variation de stock à la maille. Les stocks et flux de référence sont référencés en début de chapitre. Les flux de gains sont calibrés sur une période de conversion de 20 ans dans la majorité des catégories (la seule exception est la catégorie autres cultures permanentes qui s'apparente à la catégorie forêt mixte avec des dynamiques sur 40 ans). Un stock de biomasse en vignes par exemple prend 20 ans à se constituer s'il est issu d'une catégorie d'usage sans biomasse de type culture pérennes. Les

flux de pertes en revanche sont calibrés dans le modèle pour refléter des pertes abrutées lors des défrichements (forêts devenant terres cultivées) pour lesquels on utilise une période de 1 an. Les pertes de biomasse de type cultures pérennes se font également sur 1 an (arrachage de vignes par exemple lors d'une conversion vignes vers cultures annuelles).

Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la partie 4B. *Terres cultivées*. La série temporelle des flux de CO₂ liées aux conversions de terres par sous-catégorie de culture pérenne est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Des émissions complémentaires de CH₄, de N₂O et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, quelle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH₄, de N₂O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

Bois mort (terres devenant terres cultivées) [dw]

Les variations de stocks du compartiment bois mort pour les terres devenant terres cultivées sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début du chapitre 4B. Terres cultivées.

Litière (terres devenant terres cultivées) [lt]

Les variations de stocks du compartiment litière pour les terres devenant terres cultivées sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début du chapitre 4B. Terres cultivées.

Matière organique du sol (terres devenant terres cultivées) – sols minéraux [s_min]

Les variations de stocks du compartiment sols minéraux pour les terres devenant terres cultivées sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Il peut s'agir, selon les cas, d'une émission ou d'une absorption de carbone. La méthode de calcul des flux sur les sols lors des changements d'utilisation des terres est décrite plus en détail dans la partie générique.

S'il s'agit d'une perte de carbone, elle s'accompagne également d'une perte de l'azote contenu dans le sol sous forme de N₂O (Giec 2006 [672]). Cette émission de N₂O n'est pas liée à l'utilisation de fertilisants azotés en agriculture mais à la symbiose des cycles de l'azote et du carbone dans les sols. On notera que dans le cas d'une transition inverse (passage d'une terre cultivée vers un autre usage), le gain en carbone n'est pas associé à un puits de N₂O.

La série temporelle des flux de CO₂ liées aux conversions de terres par sous-catégorie de culture pérenne est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Emissions de CO₂

Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock des différents compartiments carbone associées aux terres cultivées changeant de sous-catégorie ou aux terres converties en terres cultivées entraînent des flux de CO₂. Des flux de carbone complémentaires liés aux récoltes de bois et à la repousse associée sont aussi pris en compte. La conversion du flux de C en CO₂ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO₂ liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions directes et indirectes de CO₂ liées aux surfaces des sols organiques (histosols) drainés sur sols cultivés sont estimées en appliquant les facteurs d'émission du Supplément 2013 du GIEC sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.1) : 7,9 tCO₂/ha/an en Métropole et 14t CO₂/ha/an pour la Guyane ; ainsi que et 0,1 tCO₂/ha/an dans les deux zones pour les émissions indirectes.

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Les émissions de CO₂ liées au brûlage sont incluses dans les estimations liées à la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Aucune émission supplémentaire n'est calculée.

Emissions de CH₄

Emissions de CH₄ liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions de CH₄ liées aux surfaces des sols organiques (histosols) drainés sur sols cultivés sont estimées en appliquant les facteurs d'émission proviennent du Supplément 2013 du GIEC sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.3) : 0 tCO₂/ha/an en Métropole et en Guyane.

Emissions de CH₄ liées au brûlage

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, quelle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH₄ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH₄/tC [199, table 3A.1.15].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de CH₄ issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est également prise en compte. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Emissions de N₂O

Emissions de N₂O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Les émissions de N₂O liées à la fertilisation des terres agricoles sont intégralement rapportées dans le secteur agriculture.

Emissions de N₂O liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions de N₂O liées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés sont estimées et rapportées dans le secteur Agriculture.

Emissions de N₂O liées à la minéralisation des sols

Conformément aux recommandations du GIEC, si une conversion d'une terre en Culture s'accompagne d'une perte de carbone (exemple : Forêt vers Culture ou Prairie vers Culture), alors elle entraîne une émission de N₂O liée à la minéralisation de l'azote. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672]. Ces émissions sont rapportées en UTCATF.

Pour les terres cultivées sans changement d'utilisation des terres, les flux associés à la minéralisation doivent être rapportés dans le secteur Agriculture. Ces flux sont nuls car les terres cultivées restant terres cultivées présentent un puits de carbone au niveau des sols.

Emissions de N₂O liées au brûlage

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, quelle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N₂O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 tN₂O/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de N₂O issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est prise en compte (en vignes et vergers). Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Emissions de SO₂

Emissions de SO₂ liées au brûlage

Compte tenu des spécificités actuelles du rapportage international, les émissions correspondantes sont négligées.

Emissions de NO_x, CO

Emissions de NO_x, CO liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, quelle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO_x associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO_x/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

Emissions de COVNM

Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Les cultures contribuent aux émissions de COVNM (isoprène, mono terpènes et autres COV) dans le total national. Elles sont estimées au moyen d'un modèle d'émission (COBRA) [92] basé sur les équations développées par Günther et al [294] décrit dans la section Agriculture.

Emissions de COVNM liées au brûlage

Quant au brûlage, compte tenu des spécificités actuelles du rapportage international, les émissions correspondantes sont négligées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
03/03/2025	MJ	04/03/2025	EM

Prairies (Grassland)

Cette section concerne les émissions / absorptions par les prairies. Deux types de prairies sont distingués : les prairies établies depuis plus de 20 ans (prairies restant prairies) et les prairies issues d'un changement d'usage d'une terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée (terres devenant prairies).

Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	4C
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.33.01 à 11.33.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

Niveau de méthode :

Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.

Références utilisées :

- [294] GUENTHER A-B - Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. Ecological Application, 1997, vol. 7, pp 34-45
- [424] INRA INFOSOL – Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009
- [485] MAAF / SSP – Résultats des Enquêtes Pratiques Culturelles 2001, 2006, 2011 et 2017
- [672] GIEC 2006 – Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.
- [719] INRA, Unité Infosol, Base de données géographique des sols de France, 1999.
- [720] Cubizolle, H., Mouandza, M. M., & Muller, F. (2013). Mires and Histosols in French Guiana (South America): new data relating to location and area. Mires and Peat, 12(3), 1-10.
- [923] Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC
- [962] INRA, Projet C-SOPRA (Prédiction des impacts des pratiques culturales sur le stockage et déstockage de C organique en sols agricoles) (2020)
- [963] INRA, Etude 4 pour 1000 (Le potentiel de l'agriculture et de la forêt françaises en vue de l'objectif d'un stockage de carbone dans les sols à hauteur de 4 pour mille) (2019)

[1202] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012. Les troubières en France métropolitaine. CGDD.

[1203] Copernicus (Commission européenne / AEE), données High Resolution Layers, disponible en ligne : <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers>

[1204] Agence de Services et de Paiements (ASP), données du Registre Parcellaire Graphique (RPG), base de données géographiques servant de référence à l'instruction des aides de la politique agricole commune (PAC). Données annuelles depuis 2007 disponibles en ligne : <https://geoservices.ign.fr/rpg>

Caractéristiques de la catégorie (NID) :

Définitions

Définition de « Prairie » et sous-catégories

La catégorie des « Prairies » est la traduction de la catégorie « Grassland » du Giec. Cette catégorie ne correspond pas à la définition usuelle du terme « prairies » en français : elle inclut les superficies en herbe et des surfaces arborées ou recouvertes d'arbustes qui ne correspondent pas à la définition de la forêt et ne rentrent pas dans les catégories culture ou zone artificialisée.

Cette catégorie comprend les sous-catégories suivantes :

- Prairies permanentes. Il s'agit des zones couvertes d'herbe d'origine naturelle ou qui ont été semées il y a plus de 5 ans (contrairement aux prairies temporaires comptées en terres cultivées).
- Végétation naturelle et semi-naturelle hors forêt (Bosquet (surface boisée < 0,5 ha) ; Landes, clairières, broussailles ; Maquis, garrigues ; Alpagnes, pelouses naturelles ; Prairies arbustives.

Ces classes d'occupation du sol se distinguent par des différences de présence et densité de biomasse (strate arborée, arbustive et herbacée) : leur stock de carbone dans la biomasse et dans les sols est donc différent.

Tableau 64: Extrait de la nomenclature pour la catégorie Prairies

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
1	Agricole	14	Prairies permanentes	14pp	Prairies permanentes
2	Végétation naturelle et semi-naturelle	22	Végétation naturelle hors forêt	220	Végétation naturelle hors forêt indéfinie
				22bq	Bosquet
				22la	Landes, clairières, broussailles
				22mq	Maquis, garrigues
				22pe	Alpagnes, pelouses naturelles

Définition de « prairies gérées » (managed grassland)

Dans le cadre du règlement européen 2018/841 dit LULUCF, pour la première période de rapportage (2021-2025), les « prairies gérées » correspondent aux prairies restant prairies ; terres cultivées, zones humides, établissements ou autres terres, convertis en prairies ; et prairies converties en zones humides, établissements ou autres terres.

Définition de « prairies restant prairies » et « terres devenant prairies »

La catégorie des prairies restant prairies est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Prairies » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Prairies.

La catégorie des terres devenant Prairies correspond à l'ensemble des terres en Prairie l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

Méthode générale d'estimation des émissions (NID) :

Approche et données

Approche générale

Les flux de carbone sur l'ensemble des terres sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du *modèle de variation de stock par maille* estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock :
 - pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;
 - pour le compartiment des sols minéraux, en fonction des changements de pratique (en plus des changements d'usage).
2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (récolte de bois hors forêt...) ; sols organiques drainés ; etc.

Données

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*. Le tableau suivant rappelle les stocks et flux de référence pour les sous-catégories de prairies. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 65 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Prairies permanentes	0	0	0	0	0	6,3	0	0	78,6 [48,3 ; 97]
Végétation naturelle indéfinie	46 [14 ; 79]	13 [4 ; 23]	0	0	0	1,0	4 [0 ; 9]	9	77,2 [47,6 ; 94,8]
Bosquet	46 [14 ; 79]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,2	4 [0 ; 9]	9	77,2 [47,6 ; 94,8]
Landes, clairières, broussailles	4	6	0	0	0	1,0	0	0	77,2 [47,6 ; 94,8]
Maquis, garrigues	8	11	0	0	0	0	0	0	77 [48 ; 95]
Alpages, pelouses naturelles	0	0	0	0	0	2	0	0	77 [48 ; 95]

moyenne [min, max]

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en prairies (ou entre sous-catégories de prairies). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue prairies dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 66 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Prairies permanentes	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22
Végétation naturelle indéfinie	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,45	1,22
Bosquet	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,45	1,22
Landes, clairières, broussailles	0,2	0,3	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22
Maquis, garrigues	0,4	0,5	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22
Alpages, pelouses naturelles	0,0	0,0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22

moyenne [min, max]

Tableau 67 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Prairies permanentes	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Végétation naturelle indéfinie	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Bosquet	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Landes, clairières, broussailles	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Maquis, garrigues	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Alpages, pelouses naturelles	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22

PRAIRIES RESTANT PRAIRIES

La catégorie « Prairies restant prairies » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre prairies permanentes et végétation hors forêt ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

Biomasse vivante (prairies restant prairies) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb_hh]. En effet, les stocks de référence de carbone dans la biomasse peuvent être différents selon les cas. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général).

Flux estimés en complément

Dans les prairies restant prairies, on estime des flux complémentaires pour la croissance nette de la biomasse. L'IFN ne couvrant pas ces terres dans son inventaire, il n'existe pas non plus de données précises sur l'accroissement annuel ou les prélèvements de la biomasse ligneuse des prairies qui permettrait d'appliquer une véritable « méthode des flux » (gains - pertes). Il est donc considéré que l'accroissement compense le prélèvement sur la récolte pour les terres de cette catégorie. La biomasse récoltée est supposée être uniquement à destination du bois de feu laquelle est estimée au travers de statistiques de consommation énergétique (méthode et valeurs décrites dans la section Biomasse vivante – Forêt restant Forêts, voir tableau Récoltes de bois). Si le modèle de variation de stock à la maille détecte des pertes de biomasse ligneuse liées aux changements d'usage des terres, ces flux sont déduits des récoltes de bois hors forêt. Le flux final (récoltes moins volume issu des changements d'usage) permet d'estimer les récoltes en prairies restant prairies. Ces flux sont affectés aux catégories de prairies arbustives, et des gains du même ordre sont appliqués pour la repousse. De la même façon, si des pertes sont considérées en lien avec les feux de forêt en prairies arbustives, une repousse est prise en compte, pendant 20 ans, pour reconstituer les stocks détruits.

Du brûlage de résidus est associé à la récolte de bois énergie en prairies arbustives. Comme pour le brûlage des rémanents en forêt, celui-ci génère différents gaz à effet de serre directs et indirects, ainsi que des polluants (N₂O, NO_x, CO et CH₄) en plus du CO₂. Ces émissions sont estimées à partir des facteurs d'émission du GIEC 2006 (voir équation 24 - Forêts).

Des flux de carbone dans la biomasse liés à l'évolution du linéaire de haies en prairies sont pris en compte. La méthodologie est décrite dans la section UTCATF – général.

Bois mort (prairies restant prairies) [dw]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de bois mort. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général). En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différents selon les cas. Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

Litière (prairies restant prairies) [lt]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de litière. En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différents selon les cas. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

Matière organique du sol (prairies restant prairies) – sols minéraux [s_min]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les variations de stocks de carbone dans les sols minéraux. En effet, les stocks de référence de carbone dans les sols minéraux peuvent être différents selon les sous-catégories et selon l'année.

Pour la sous-catégorie « Prairies permanentes » (sur le même principe que pour la catégorie Terres cultivées), les stocks de référence dans les sols minéraux varient selon l'année car ils sont issus d'une modulation d'un stock de référence (COS_{REF}) par l'occupation du sol et les pratiques culturales. Les variations de stock liées aux changements de pratiques agricoles (niveau de dégradation de la prairie, niveau d'apports) sont estimées conformément aux lignes directrices 2006 et au raffinement 2019 Giec [672, 1229]. Les facteurs issus du raffinement 2019 [1229] sont appliqués sur la base des données issues des enquêtes Pratiques culturales disponibles pour les années 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017 [485]. Les données de pratiques permettent d'affiner le stock cible du modèle de variation de stock par maille chaque année pour la catégorie prairies permanentes. Elles ne sont pas disponibles par région pour l'ensemble de la série temporelle, les tendances nationales sont donc utilisées. Une série temporelle du stock de référence pour le compartiment sols minéraux [s_min] est estimée pour chaque sous-catégorie d'usage.

Comme pour les terres cultivées, le stock de référence pour la calibration du modèle se base sur l'équation ci-dessous. La méthode détaillée sur l'estimation des stocks de carbone dans les sols se trouve en section UTCATF générale.

Équation 31 (UTCATF) inspirée de l'équation 2.25 du GIEC 2006 [672]

$$COS_n = COS_{REF} * F_{UT} * \sum_i^n \%RG_{i,n} * F_{RG_i} * \sum_i^n \%Ai,n * F_{Ai}$$

Avec :

COS _n	Stock de carbone du sol des prairies, pour l'année n, tC
COS _{REF}	Stock de carbone de référence spécifique à la zone pédoclimatique, tC/ha
FUT	Facteur de variation de stock lié à l'occupation du sol prairies (=1)
FRGi	Facteur de variation de stock lié au régime de gestion i (travail du sol principalement) lié à la zone climatique
FA	Facteur de variation de stock lié aux apports lié à la zone climatique
%RG _{i,n}	Part du régime de gestion i issu des pratiques culturales pour les prairies, l'année n
%Ai,X,n	Part du régime d'apport i issu des pratiques culturales pour les prairies, l'année n

Choix du paramètre de stock de référence (COS_{REF})

Le paramètre COSREF choisi correspond à la moyenne entre la médiane des stocks forestiers et des stocks sous prairies régionaux issus du RMQS [424] (pondérés par le nombre de relevés). Il varie par zone pédoclimatique. Ils sont référencés en section UTCATF générale.

Catégorisation selon le facteur d'utilisation des terres (F_{UT})

Le paramètre FUT est toujours égal à 1 pour les prairies permanentes, conformément aux lignes directrices du Giec [672, 1229].

Catégorisation selon le facteur lié à la gestion et aux apports (F_{RG} X F_A)

En termes de gestion, cinq modalités graduelles ont été définies par le GIEC : prairie non dégradée, prairies surpâturées, prairies sévèrement dégradées et prairies améliorées. En termes d'apports, seule la catégorie de gestion prairies améliorées est subdivisée en deux niveaux d'apports possibles (moyens ou élevés).

Les enquêtes pratiques culturales présentes en France proposent des résultats relatifs aux prairies pour les années 1990, 1998, 2006, 2011 et 2017 [485] permettant d'identifier des pratiques ayant changées sur cette période. Dans l'inventaire actuel, seules les fertilisations minérale et organique ont été identifiées comme paramètres permettant de classer les prairies selon la catégorisation GIEC et de témoigner des changements de pratique. Ces données ont donc été exploitées pour répartir les surfaces de prairies françaises dans les différentes catégories grâce au protocole suivant.

Tableau 68 : Protocole d'allocation entre les catégories GIEC

Fertilisation minérale ?	Fumure organique ?	Prairie				
		Sévèrement dégradée	Surpâturée	Non dégradée	Améliorée apports moyens	Améliorée apports élevés
<50 kgN/ha/an	OUI				X	
	NON		X			
Entre 50 et 100 kgN/ha/an	NON			X		
Supérieure à 100 kgN/ha/an	NON				X	

Grâce à ce protocole d'allocation les terres ont pu être réparties selon les catégories GIEC de la manière suivante.

Tableau 69 : Part du régime de gestion et d'apport issu des pratiques culturales pour les prairies [485]

	Prairie				
	Sévèrement dégradée	Surpâturée	Non dégradée	Améliorée apports moyens	Améliorée apports élevés
1990	0%	27%	40%	33%	0%
1998	0%	20%	50%	30%	0%
2006	0%	22%	50%	29%	0%
2011	0%	29%	40%	31%	0%
2017	0%	34%	31%	35%	0%

Entre les années d'enquêtes les données sont extrapolées linéairement. Avant 2006 elles sont supposées équivalentes à l'année 2006 et après 2017 elles sont supposées équivalentes à 2017.

La série temporelle obtenue pour l'évolution du stock de référence en prairies permanentes est la suivante :



Figure 27 : Evolution du stock de référence liés aux pratiques culturales pour les prairies

En Outre-mer, faute de données sur les changements de pratiques, aucune variation de stock de carbone des sols minéraux en prairies restant prairies n'est estimée.

Flux estimés en complément

Des émissions de N_2O (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées et calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Prairies restant prairies. L'estimation des émissions *directes* de N_2O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0,01 tN- N_2O /tN. L'estimation des émissions *indirectes* de N_2O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN- N_2O /tN (table 11.3).

Matière organique du sol (prairies restant prairies) – sols organiques [s_org]

Les sols organiques cultivés génèrent des émissions de CO_2 , de CH_4 et de N_2O liées à leur drainage. Les surfaces de sols organiques sont obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (Base de données des inventaires des tourbières en France métropolitaine [1202]) ou pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec le modèle de suivi des terres spatialement explicite Citepa pour la métropole ou avec des cartes d'occupation du sol (Corine Land Cover) pour la Guyane afin de caractériser les surfaces par usage des terres. Les surfaces des sols organiques classées en prairies permanentes sont considérées comme drainées et par conséquent source d'émission, les facteurs d'émissions appliqués proviennent du Supplément du GIEC sur les Zones Humides [923] (voir plus bas).

TERRES DEVENANT PRAIRIES

Biomasse vivante (terres devenant prairies) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]

Comme pour les prairies restant prairies les flux de biomasse sont estimés par le modèle de variation de stock à la maille. Les stocks et flux de référence sont référencés en début de section. Les flux de gains sont calibrés sur une période de conversion de 20 ans dans la majorité des catégories, à l'exception des catégories bosquets et végétation naturelle indéfinie qui sont assimilées à la catégorie forêt mixte, avec des dynamiques sur 40 ans. Un stock de biomasse en maquis par exemple prend 20 ans à se constituer s'il est issu d'une catégorie d'usage sans biomasse de type forêt. Les flux de pertes en revanche sont calibrés dans le modèle pour refléter des pertes brutales lors des défrichements (forêts devenant prairies) pour lesquels on utilise une période de 1 an. Les pertes de biomasse de type cultures pérennes se font également sur 1 an (arrachage de vignes par exemple lors d'une conversion vignes vers prairies).

Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la partie 4C. Prairies.

La série temporelle des flux de CO₂ liées aux conversions de terres par sous-catégorie de prairies est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Des émissions complémentaires de CH₄, de N₂O et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH₄, de N₂O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

Bois mort (terres devenant prairies) [dw]

Les variations de stocks du compartiment bois mort pour les terres devenant prairies sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la section.

Litière (terres devenant prairies) [lt]

Les variations de stocks du compartiment litière pour les terres devenant prairies sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la section.

Matière organique du sol (terres devenant prairies) - [s_min]

Les variations de stocks du compartiment sols minéraux pour les terres devenant prairies sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Il peut s'agir, selon les cas, d'une émission ou d'une absorption de carbone. La méthode de calcul des flux sur les sols lors des changements d'utilisation des terres est décrite plus en détail dans la partie générique.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Emissions de CO₂

Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock des différents compartiments carbone associées aux prairies changeant de sous-catégorie ou aux terres converties en prairies entraînent des flux de CO₂. Des flux de carbone complémentaires liés aux récoltes de bois et à la repousse associée sont aussi pris en compte. La conversion du flux de C en CO₂ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO₂ liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions directes et indirectes de CO₂ liées aux surfaces des sols organiques (histosols) drainés en prairie sont estimées en appliquant les facteurs d'émission du Supplément 2013 du GIEC sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.1) : 3,6 tCO₂/ha/an en Métropole et 9,6 t CO₂/ha/an pour la Guyane ; ainsi que et 0,1 tCO₂/ha/an dans les deux zones pour les émissions indirectes.

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Les émissions de CO₂ liées au brûlage sont incluses dans les estimations liées à la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Aucune émission supplémentaire n'est calculée.

Emissions de CH₄

Emissions de CH₄ liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions de CH_4 liées aux surfaces des sols organiques (histosols) drainés en prairie sont estimées en appliquant les facteurs d'émission proviennent du Supplément 2013 du GIEC sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.3) : 30 $\text{KgCH}_4/\text{ha}/\text{an}$ en Métropole et en Guyane.

Emissions de CH_4 liées au brûlage

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH_4 associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH_4/tC [199, table 3A.1.15].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de CH_4 issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est également prise en compte (en prairies arbustives). Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Emissions de N_2O

Emissions de N_2O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Les émissions de N_2O liées à la fertilisation des terres agricoles sont intégralement rapportées dans le secteur agriculture.

Emissions de N_2O liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions liées au drainage ou à la remise en eau sont actuellement négligées dans l'inventaire français.

Emissions de N_2O liées à la minéralisation des sols

Des émissions de N_2O liées à la minéralisation des sols, lors d'une perte de carbone, sont estimées.

Emissions de N_2O liées au brûlage

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N_2O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 $\text{tN}_2\text{O}/\text{tN}$, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de N_2O issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est également prise en compte. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Emissions de SO_2

Emissions de SO_2 liées au brûlage

Compte tenu des spécificités actuelles du rapportage international, les émissions correspondantes sont négligées.

Emissions de NO_x , CO

Emissions de NO_x , CO liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO_x associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO_x/tN , [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

Emissions de COVNM

Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Les prairies contribuent aux émissions de COVNM (isoprène, monoterpènes et autres COV) dans le total national. Elles sont estimées au moyen d'un modèle d'émission (COBRA) [92] basé sur les équations développées par Günther et al [294] décrit dans la section agriculture.

Emissions de COVNM liées au brûlage

Quant au brûlage, compte tenu des spécificités actuelles du rapportage international, les émissions correspondantes sont négligées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

Zones humides (Wetlands)

Cette section concerne les flux de carbone associés aux zones humides (ou « terres humides »). Au titre de la CCNUCC, les catégories de rapportage des zones humides distinguent d'une part les zones humides restant zones humides et les terres converties en zones humides ; et d'autre part, parmi les zones humides, les tourbières exploitées, les terres inondées, et les autres zones humides.

Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	4D
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.34.01 à 11.34.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

Niveau de méthode :

Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.

Références utilisées :

- [424] INRA INFOSOL – Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009
- [672] GIEC 2006 – Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.
- [1306] Eulry M. 1983. Recherches de gisements de tourbes en Languedoc-Roussillon. Sitologie et données économiques, Etude de quatre tourbières du Plateau d'Aubrac. BRGM.
- [1307] Manneville Olivier, 1999. Les tourbières de France : causes de régression, intérêts de leur conservation, mise au point nomenclaturale. Le Journal Botanique. 12pp 73-82.
- [1308] Le lien horticole n°848-849, juin 2013.
- [1309] Echo des tourbières n°14, juillet 2007, p.1.
- [1310] Julve, Philippe (1994). Les tourbières de France : répartition, caractères biogéographiques, fonctionnement écologique et dynamique, valeur patrimoniale. Bulletin de l'Association de Géographes Français, 1994. 71-3 pp. 287-293
- [1311] Conservatoires d'Espaces Naturels. Pôle Tourbière. 2006. A la découverte des tourbières. "Les menaces".
- [1312] Joosten H. 2009. Global Status of Peatland CO2 picture. Peatland status and emissions in all countries of the world. Greifswald University, Wetlands International, Ede.

[1313] Barthélémy F., 1999. Mémento roches et minéraux industriels la tourbe et les tourbières. Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 99-G-185.

Caractéristiques de la catégorie (NID) :

Définitions

Définition de « terres humides »

La catégorie des « Terres humides », ou zones humides, est la traduction de la catégorie « Wetlands » du Giec. Cette catégorie ne correspond pas exactement à la définition des zones humides de la Convention Ramsar ou utilisée dans d'autres contextes.

Dans le cadre de l'inventaire UTCATF, il s'agit à la fois des zones humides et en eau : terres recouvertes ou saturées d'eau pendant tout ou une partie de l'année et qui n'entrent pas dans l'une des autres catégories (hormis la catégorie "Autres terres"). Cette catégorie exclut donc les sols organiques cultivés ou sous prairie. En effet, des terres en sols organiques peuvent appartenir à différents usages des terres, pas uniquement « Zones humides », même si dans d'autres contextes ces sols organiques sont appelés *zones humides*. Cette catégorie inclut notamment les retenues d'eau, les rivières et les lacs.

Pour le calcul des flux de carbone, l'inventaire distingue les classes d'occupation du sol suivantes : Zone en eau naturelle (mer, océan, lac, rivière...) ; Zone inondée (artificiellement) - bassins, aquaculture, étang de pisciculture, zones de stockage de l'eau ; Tourbières (exploitées ou non) ; Marais salants et Autres zones humides (roselières...).

Tableau 70 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Zones humides

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
4	Autres	41	Zones humides et en eau	410	Zones humides et en eau indéfinies
				41ea	Zone en eau naturelle (mer, océan, lac, rivière...)
				41in	Zone inondée (artificiellement) - bassins, aquaculture, étang de pisciculture, zones de stockage de l'eau
				41tb	Tourbières
				41ms	Marais salants
				41zh	Autres zones humides (roselières...)

Définition de « terres humides gérées » (managed wetlands)

Dans le cadre du règlement européen 2018/841 dit LULUCF, pour la seconde période de rapportage (2026-2030), les « zones humides gérées » correspondent aux zones humides restant zones humides ; établissements ou autres terres convertis en zones humides ; et zones humides converties en établissements ou autres terres.

Définition de « terres humides restant terres humides » et « terres devenant terres humides »

La catégorie des zones humides restant zones humides est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Zones humides » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Zones humides.

La catégorie des terres devenant Zones humides correspond à l'ensemble des terres en Zones humides l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NID et à l'IIR) :

Approche et données

Approche générale

Les flux de carbone sur l'ensemble des catégories de terres sont estimés en deux temps :

3. Dans un premier temps, la routine du *modèle de variation de stock par maille* estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;
4. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : sols organiques drainés ; émissions de N₂O liés à la perte de carbone, etc.

Données

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*.

Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de terres humides. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 71 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha	Biomasse vivante					Type herbe (aérien + racinaire)	Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)				
Zones humides indéfinies, en eau naturelle, zones inondées	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tourbières et autres zones humides	0	0	0	0	0	6,3	0	0	125
Marais salants	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0
<i>moyenne [max, min]</i>									

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en terres humides (ou entre sous-catégories de terres humides). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue terres humides dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 72 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Zones humides indéfinies, en eau naturelle, zones inondées	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	0
Tourbières et autres zones humides	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	3,1
Marais salants	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22

Tableau 73 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Zones humides indéfinies, en eau naturelle, zones inondées	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-3,2
Tourbières et autres zones humides	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	0
Marais salants	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22

ZONES HUMIDES RESTANT ZONES HUMIDES

La catégorie « Zones humides restant zones humides » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre surfaces en eau et autre zones humides ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

Biomasse vivante (zones humides restant zones humides) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]

Les potentiels flux sont estimés par le modèle de variation de stock par mailles. Les flux et stocks de référence sont rappelés en début de section. Dans les zones humides restant zones humides, les stocks de référence pour la biomasse (ligneuse, herbacée) sont presque tous considérés à 0, faute de données suffisante à ce stade pour disposer d'une valeur fiable. Seule la biomasse herbacée a été renseignée avec des valeurs assimilées à des stocks de prairies.

Bois mort et litière (zones humides restant zones humides) [dw ; lt]

Les potentiels flux sont estimés par le modèle de variation de stock par mailles. Dans les zones humides restant zones humides, les stocks de référence pour le bois mort et la litière sont considérés à 0. Aucune variation de stock pour le bois mort et la litière n'est estimée dans les zones humides restant zones humides.

Matière organique du sol (zones humides restant zones humides) – sols minéraux [s_min]

Les potentiels flux sont estimés par le modèle de variation de stock par mailles. Dans les zones humides restant zones humides, les stocks de référence pour les sols sont considérés à 125 tC/ha par défaut, d'après les mesures du RMQS [424] pour les sous-catégories tourbières et autres zones humides. La sous-catégorie marais salant est assimilée à un stock de prairies permanentes. Son stock de référence dépend donc des années. Les zones en eau (mer, rivière) et les zones inondées artificiellement ont un stock nul. Des flux peuvent exister si on a des conversions entre sous-catégories, et pour les stocks assimilés à des sols de prairies qui varient annuellement à cause des pratiques de gestion.

Matière organique du sol (zones humides restant zones humides) – sols organiques [s_org]

Une estimation des pertes de carbone dans les sols organiques dues à l'extraction de la tourbe en France métropolitaine a été menée en combinant des données sur les surfaces exploitées et les quantités extraites, issues de publications scientifiques [1306], [1307], [1310], [1312], ainsi que d'articles de médias et d'organismes spécialisés [1308], [1309], [1311]. À partir des années 2000, le nombre de sites de production encore en activité ayant diminué, les données d'activité ont été complétées par une enquête réalisée auprès des acteurs de la profession. Les pertes de carbones associées à ces activités sont estimées uniquement pour le carbone du sols et attribuées aux surfaces de sols organiques des terres en zones humides restant zones humides.

Les émissions GES sont calculées avec la méthode tier 1 qui implique l'estimation des émissions dites « On-site » et « Off-site » selon les équations 7.2 à 7.5 des Guidelines 2006 du Giec (Vol 4, chap 7, Managed Peatlands) [672]. Le calcul des émissions « Off-site » se base sur les quantités annuelles de tourbe extraites traduites en émission de CO₂ uniquement. En France, la tourbe extraite est principalement destinée à des usages horticoles et correspond à de la tourbe noire herbacées de type carex, minérotrophe et riche en nutriments (dite Fen). La part de tourbe pauvre en nutriment (dite bog) est par conséquent considérées comme négligeable pour le calcul.

TERRES DEVENANT ZONES HUMIDES

La catégorie Terres devenant Zones humides peut comprendre à la fois les créations, anthropiques ou non, de terres inondées ou de la création ou re-crédation de zones humides. Les surfaces associées sont donc faibles. Pour certaines sous-catégories de zones humides, les stocks de carbone dans la biomasse herbacée et dans le sol sont élevés : les terres converties vers ces catégories peuvent donc générer une hausse progressive de leur stock de carbone sur ces compartiments, et donc, en fonction de la catégorie initiale, générer une séquestration de CO₂.

Tous compartiments – flux de carbone

Les flux de carbone liés aux terres devenant Zones Humides sont calculés via la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF-général*). Pour chaque compartiment carbone, ces flux dépendent du stock initial et du stock final dans la sous-catégorie concernée au sein de la catégorie Zones Humides.

N₂O de la minéralisation liée à la perte de C du sol

Des émissions complémentaires de N₂O (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées et calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Terres devenant Zones Humides. L'estimation des émissions directes de N₂O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0,01 tN-N₂O/tN. L'estimation des émissions indirectes de N₂O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N₂O/tN (table 11.3).

Emissions liées au brûlage sur site de biomasse lors d'une déforestation

Des émissions complémentaires de CH₄, de N₂O et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH₄, de N₂O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Emissions de CO₂

Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock de carbone associées aux terres converties en Zones Humides ou aux Zones Artificialisées changeant de sous-catégorie entraînent des flux de CO₂. La conversion du flux de C en CO₂ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Les émissions de CO₂ sont déjà comptabilisées au niveau de la perte de carbone lors du calcul de la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Seules des émissions complémentaires d'autres gaz et substances sont estimées.

Emissions de CO₂ liées à l'extraction de tourbe (wetlands under Peat extraction)

Seules les émissions « Off-Site » sont prises en compte dans la catégorie « Peat extraction ». Ces émissions correspondent à la dégradation du carbone contenu dans la tourbe, considéré comme entièrement perdu l'année de l'extraction. La densité de la tourbe sèche est estimée à 0,4 t/m³ [1312], et la fraction de carbone dans la tourbe est de 0,4 t C par tonne de tourbe sèche à l'air (air-dry Rich peat) [672]. Les émissions de CO₂ sont ensuite calculées en convertissant les quantités de carbone en CO₂ via le facteur de conversion 44/12.

Emissions de CH₄

Emissions de CH₄ liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Humides. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de CH₄ liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH₄ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH₄/tC [199, table 3A.1.15].

Emissions de N₂O

Emissions de N₂O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Aucune fertilisation n'est estimée sur les Zones artificialisées.

Emissions de N₂O liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Humides. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de N₂O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N₂O liées à la minéralisation des sols sont estimées en cohérence avec l'estimation des pertes de carbone.

Emissions de N₂O liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N₂O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 tN₂O/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Emissions de SO₂

Emissions de SO₂ liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de SO₂ associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Emissions de NO_x, CO

Emissions de NO_x, CO liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO_x associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO_x/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

Emissions de COVNM

Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Aucune émission de COV biotique n'est estimée, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Emissions de COVNM liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de COVNM associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

Zones artificialisées ou établissements (settlements)

Cette section concerne les émissions par les changements d'occupation des terres à destination des usages « zones artificialisées ». Deux types de terres peuvent être distingués : les « zones artificialisées » établies depuis plus de 20 ans et « zones artificialisées » issues d'un changement d'usage d'une terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée.

Les zones artificialisées correspondent aux terres artificialisées, qu'elles soient bâties, revêtues, ou non (habitations, parcs urbains, routes, pelouses, etc.), non incluses dans les autres catégories.

Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	4E
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.35.01 à 11.35.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

Niveau de méthode :

Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.

Références utilisées :

[424] INRA INFOSOL – Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009

[672] Giec 2006 – Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.

[721] Robert C. 2016, Comprendre les changements d'utilisation des terres en France pour mieux estimer leurs impacts sur les émissions de gaz à effet de serre. De l'observation à la modélisation. Thèse de doctorat en Géographie, Université Paris-Diderot, ADEME-CITEPA-LADYSS, 530p.

[199] Giec, Guide sur les Bonnes Pratiques pour l'UTCATF, 2003.

Caractéristiques de la catégorie (communes au NID et à l'IIR) :

Définitions

Définition de « zones artificialisées »

Zones artificialisées est l'expression usuellement employée dans le cadre de l'inventaire UTCATF de la France pour traduire le terme du Giec « *Settlements* », dont la traduction officielle est « Etablissements ». Le terme « artificialisé » ne doit pas être compris ici dans un sens strict (la majorité du paysage en France étant, à un certain degré, marqué par l'anthropisation et étant une création artificielle) mais dans le sens restreint des espaces associés aux lieux construits (habitations, infrastructures industrielles, commerciales, de transport) et aux espaces associés, tant que ceux-ci ne sont pas déjà comptabilisés dans une autre catégorie. Cette catégorie peut donc inclure des terres enherbées ou boisées si leur utilisation principale n'est ni agricole ni forestière, c'est le cas des jardins, des parcs ou des terrains de sport.

Pour le calcul des flux de carbone, on distingue dans l'inventaire français d'une part les espaces artificiels principalement bâtis et/ou revêtus, et d'autre part les espaces artificiels principalement végétalisés. Des classes d'occupation du sol plus précises permettent de distinguer un gradient de présence de végétation, permettant d'affiner l'estimation des stocks de carbone dans la biomasse et le sol.

Tableau 74 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Etablissements

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
3	Artificiel	30	Artificiel à définir	300	Artificiel indéfini
		31	Artificiel principalement bâti/revêtu	310	Artificiel principalement bâti/revêtu indéfini
				31ba	Espaces entièrement artificiels (bâtis, nus ou revêtus)
				31bn	Espaces en partie artificiels bâtis, nus ou revêtus -
		32	Artificiel principalement végétalisé	320	Artificiel principalement végétalisé indéfini
				32vh	Espaces végétalisés artificiels - herbe et buissonnant
				32va	Espaces végétalisés artificiels - arborés

Définition des « zones artificialisées restant zones artificialisées » et « terres devenant zones artificialisées »

La catégorie des zones artificialisées restant zones artificialisées est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « zones artificialisées » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir zones artificialisées.

La catégorie des terres devenant zones artificialisées correspond à l'ensemble des terres en zones artificialisées l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NID et à l'IIR) :

Approche et données

Approche générale

Les flux de carbone sur l'ensemble des catégories de terres sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du *modèle de variation de stock par maille* estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;

- Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : sols organiques drainés ; émissions de N₂O liés à la perte de carbone, etc.

Données

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*.

Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de terres humides. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 75 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Artif. indéfini	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Artif. bâti/revêtu indéfini	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Artif. bâtis, nus ou revêtus	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Artif. en partie bâtis, nus ou revêtus	0	0	0	0	0	2,1	0	0	30
Artif. végétalisé indéfini	0	0	0	0	0	4,2	0	0	77 [48 ; 95]
Artif. herbe et buissonnant	0	0	0	0	0	6,3	0	0	77 [48 ; 95]
Artif. arboré	46 [14 ; 79]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,2	4 [0 ; 9]	9	77 [48 ; 95]

moyenne [min, max]

Les stocks de carbone du sol dans les zones urbanisées sont estimés à partir d'une revue de littérature menée dans le cadre des travaux de thèse de C. Robert [721]. D'après ces travaux, les sols nus, revêtus ou artificialisés ont un stock moyen de 30 tC/ha ; les sols végétalisés en herbe ont un stock similaire, en moyenne, au stock sous prairie et les sols urbanisés arborés ont un stock similaire, en moyenne, au stock sous forêt. Pour les sous-catégories végétalisées, le stock de référence considéré pour les sols est donc le COS_{REF} de la zone pédoclimatique. Pour rappel, ce stock dans l'inventaire est le stock moyen entre les stocks forêts et prairies du RMQS [424] par zone pédoclimatique.

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en zones artificialisées (ou entre sous-catégories de zones artificialisées). Il s'agit de :

- gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue artificielle dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Ces flux se basent sur des périodes de transition de 1 an, 20 ans ou 5 ans. Dans la plupart des cas, seuls des flux de pertes sont attendus pour la catégorie Zones Artificielles. Néanmoins des gains sont possibles dans certains cas (ex. conversion d'une culture sans biomasse ligneuse en une zone artificialisée arborée).

Tableau 76 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Artif. indéfini	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,5
Artif. bâti/revêtu indéfini	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,5
Artif. bâtis, nus ou revêtus	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,5
Artif. en partie bâtis, nus ou revêtus	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,5
Artif. végétalisé indéfini	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,2
Artif. herbe et buissonnant	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,2
Artif. arboré	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0,0	0,0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,5	1,2

moyenne [min, max]

Tableau 77 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Artif. indéfini	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-9,7
Artif. bâti/revêtu indéfini	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-9,7
Artif. bâtis, nus ou revêtus	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-9,7
Artif. en partie bâtis, nus ou revêtus	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-9,7
Artif. végétalisé indéfini	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Artif. herbe et buissonnant	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Artif. arboré	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22

Il est important de souligner que, en Guyane, il est considéré que l'intégralité du carbone du sol est perdue suite aux défrichements vers zones artificialisées. En effet, une grande partie des défrichements correspond à de l'orpaillage, et dans ces cas le sol est clairement décapé ce qui entraîne une perte importante de carbone pour ce réservoir.

ZONES ARTIFICIALISEES RESTANT ZONES ARTIFICIALISEES

La catégorie « Zones artificialisées restant zones artificialisées » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre zones artificialisées végétalisées en zones bâties ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

Biomasse vivante (zones artificialisées restant zones artificialisées) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Pour les zones artificialisées restant zones artificialisées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb_hh]. Les stocks de référence de carbone dans la biomasse peuvent être différent selon les sous-catégories et engendre alors des flux d'absorption ou d'émissions. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général).

Flux estimés en complément

Des flux de carbone dans la biomasse liés à l'évolution du linéaire de haies sont pris en compte. La méthodologie est décrite dans la section UTCATF – général.

Bois mort et litière (zones urbanisées restant zones urbanisées) [dw ; lt]

Dans les zones artificialisées restant zones artificialisées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (bâti, artificiel arboré...), on estime les pertes et gains de bois mort. En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différents selon les sous-catégories. Ils sont nuls pour la plupart des sous-catégories des zones artificialisées. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

Matière organique du sol (zones urbanisées restant zones urbanisées) - sols minérauxFlux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les zones artificialisées restant zones artificialisées, les stocks de référence pour les sols minéraux varient selon les classes d'occupation, en fonction du degré de présence de sol végétalisé. Lors d'une conversion entre sous-catégories de zones artificialisées, des éventuels flux de carbone peuvent être estimés en cas de variation de stock entre l'occupation initiale et finale. Cependant, pour les terres restant dans la même sous-catégorie, aucune variation de stock n'est estimée pour le sol.

Flux estimés en complément

Des émissions complémentaires de N₂O (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées et calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Zones Artificialisées restant Zones artificialisées mais changeant de sous-catégorie. L'estimation des émissions directes de N₂O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0.01 tN-N₂O/tN. L'estimation des émissions indirectes de N₂O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N₂O/tN (table 11.3).

TERRES DEVENANT ZONES ARTIFICIALISEES

La catégorie Terres devenant Zones artificialisées reflète les dynamiques d'artificialisation du territoire et estime les flux de carbone associés. Il s'agit surtout de pertes de carbone (perte de biomasse, diminution du stock de carbone dans le sol) mais des gains sont aussi possibles (par exemple : gains de biomasse lié à la création d'une zone artificielle arborée sur une zone précédemment sans arbres).

Tous compartiments – flux de carbone

Les flux de carbone liés aux terres devenant Zones Artificialisées sont calculés via la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF-général). Pour chaque compartiment carbone, ces flux dépendent du stock initial et du stock final dans la sous-catégorie concernée au sein de la catégorie Zones artificialisées.

N₂O de la minéralisation liée à la perte de C du sol

Des émissions complémentaires de N₂O (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées et calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Terres devenant Zones Artificialisées. L'estimation des émissions directes de N₂O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0.01 tN-N₂O/tN. L'estimation des émissions indirectes de N₂O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N₂O/tN (table 11.3).

Emissions liées au brûlage sur site de biomasse lors d'une déforestation

Des émissions complémentaires de CH₄, de N₂O et de polluants, associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, quelle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH₄, de

N₂O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Emissions de CO₂

Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock de carbone associées aux terres converties en Zones Artificialisées ou aux Zones Artificialisées changeant de sous-catégorie entraînent des flux de CO₂. La conversion du flux de C en CO₂ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Les émissions de CO₂ sont déjà comptabilisées au niveau de la perte de carbone lors du calcul de la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Seules des émissions complémentaires d'autres gaz et substances sont estimées.

Emissions de CH₄

Emissions de CH₄ liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Artificialisées. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de CH₄ liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH₄ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH₄/tC [199, table 3A.1.15].

Emissions de N₂O

Emissions de N₂O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Aucune fertilisation n'est estimée sur les Zones artificialisées.

Emissions de N₂O liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Artificialisées. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de N₂O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N₂O liées à la minéralisation des sols sont estimées en cohérence avec l'estimation des pertes de carbone.

Emissions de N₂O liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N₂O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 tN₂O/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Emissions de SO₂

Emissions de SO₂ liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de SO₂ associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Emissions de NO_x, CO

Emissions de NO_x, CO liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO_x associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO_x/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

Emissions de COVNM

Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Aucune émission de COV biotique n'est estimée, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Emissions de COVNM liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de COVNM associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
10/02/2023	CR	02/03/2020	EM, JPC

Autres terres (Other land)

Cette section concerne les émissions par les changements d'occupation des terres à destination des « autres terres ». Deux types de terres peuvent être distingués : les « autres terres » établies depuis plus de 20 ans et les « autres terres » issues d'un changement d'usage d'une terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée.

Les autres terres au sens du Giec regroupent toutes les terres qui ne correspondent pas aux cinq autres définitions de terres (dunes, glaciers, roches affleurantes, etc.).

Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	4F
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.36.01 à 11.36.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

Niveau de méthode :

Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.

Références utilisées :

[672] Giec, Lignes directrices 2006 pour les inventaires nationaux – Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.

[199] Giec, Guide sur les Bonnes Pratiques pour l'UTCATF, 2003.

Caractéristiques de la catégorie (communes au NID et à l'IIR) :

Définition des Autres terres

En principe, la catégorie « Autres Terres » du Giec permet de rassembler toute autre terre qui n'est pas comptabilisées dans les 5 autres catégories précédentes (Forêt, Cultures, Prairies, Zones humides, Zones artificielles), quelle que soit son occupation du sol précise. Dans les faits, les terres concernées sont des surfaces avec un stock de carbone dans la biomasse et dans le sol nul ou faible : sols nus, sables, rochers, glaciers...

Tableau 78 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Autres Terres

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
4	Autres	40	Autres à définir	400	Autres indéfini
		42	Sols nus, et minéraux	420	Sols nus, minéraux indéfinis
				42sn	Sols nus, sables, rochers
				42gl	Glaciers et neiges

Définition de « autre terres restant autres terres » et « terres devenant autres terres »

La catégorie des autres terres restant autres terres est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Autres terres » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Autres terres.

La catégorie des terres devenant Etablissements correspond à l'ensemble des terres en Autres terres l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

Méthode générale d'estimation des émissions (NID) :

Approche et données

Approche générale

Les flux de carbone sur l'ensemble des catégories de terres sont estimés en deux temps :

3. Dans un premier temps, la routine du *modèle de variation de stock par maille* estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;
4. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés aux sols organiques drainés ; émissions de N₂O liés à la perte de carbone, etc.

Valeurs de référence

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*.

Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories des Autres terres. Ces derniers sont nuls pour toutes les sous-catégories et tous les compartiments.

Tableau 79 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Autres indéfini	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sols nus, minéraux indéf.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sols nus, sables, rochers	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Glaciers et neiges	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Le tableau suivant décrit les flux de référence utilisés par le modèle. Ce sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en autres terres (ou entre sous-catégories). Il s'agit dans tous les cas de flux de pertes car aucun gain de carbone n'est possible pour la catégorie Autres Terres. En effet, les stocks de tous les compartiments étant nuls, la

seule configuration possible est l'application d'un flux de perte, pour dégrader le stock de carbone existant lors de la conversion d'une maille en Autres terres.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 80 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Autres indéfini	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-3,16
Sols nus, minéraux indéf.	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-3,16
Sols nus, sables, rochers	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-3,16
Glaciers et neiges	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-3,16

AUTRES TERRES RESTANT AUTRES TERRES

La catégorie « Autres terres restant autres terres » inclut des terres changeant de sous-catégories et des terres restant dans la même sous-catégorie.

Tous compartiments

Dans les autres terres restant autres terres, les stocks de référence pour tous les compartiments sont considérés à 0. Aucune variation de stock n'est estimée dans les autres terres restant autres terres, ni pour la biomasse vivante, le bois mort, la litière ou les sols.

Les lignes directrices du Giec [672] ne prévoient aucune estimation pour cette sous-catégorie. Les tables de rapportage des émissions et absorptions au titre de la CCNUCC (tables CRT) ne prévoient pas non plus la possibilité de rapporter des flux sur cette sous-catégorie.

TERRES DEVENANT AUTRES TERRES

Les terres devenant autres terres sont des conversions improbables ou très rares en France. Les lignes directrices du Giec [672] indiquent qu'il peut s'agir de déforestation suivie de forte dégradation des terres.

Tous compartiments – flux de carbone

Les flux de carbone liés aux terres devenant Autres Terres sont calculés via la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF-général). Pour chaque compartiment carbone, ces flux dépendent du stock initial et du stock final dans la sous-catégorie concernée au sein de la catégorie Autres Terres.

Conformément aux recommandations du Giec [672], on considère une perte totale du carbone de la biomasse et du sol. Le stock de référence, pour tous les compartiments, sont fixés à zéro pour toutes les sous-catégories d'Autres terres. Les Terres devenant Autres terres engendrent généralement des pertes de carbone et donc des émissions de CO₂.

N₂O de la minéralisation liée à la perte de C du sol

Des émissions complémentaires de N₂O (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées sont calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Terres devenant Autres terres. L'estimation des émissions directes de N₂O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0.01 tN-N₂O/tN. L'estimation des émissions indirectes de N₂O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N₂O/tN (table 11.3).

Emissions liées au brûlage sur site de biomasse lors d'une déforestation

Des émissions complémentaires de CH₄, de N₂O et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH₄, de N₂O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Emissions de CO₂Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock de carbone associées aux terres converties en Autres Terres entraînent des flux de CO₂. La conversion du flux de C en CO₂ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Les émissions de CO₂ sont déjà comptabilisées au niveau de la perte de carbone lors du calcul de la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Seules des émissions complémentaires d'autres gaz et substances sont estimées.

Emissions de CH₄Emissions de CH₄ liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Autres Terres. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de CH₄ liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH₄ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH₄/tC [199, table 3A.1.15].

Emissions de N₂OEmissions de N₂O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Aucune fertilisation n'est estimée sur les Autres terres.

Emissions de N₂O liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Autres Terres. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de N₂O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N₂O liées à la minéralisation des sols sont estimées en cohérence avec l'estimation des pertes de carbone.

Emissions de N₂O liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N₂O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur

d'émission suivant : 0,007 tN₂O/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Emissions de SO₂

Emissions de SO₂ liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de SO₂ associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Emissions de NO_x, CO

Emissions de NO_x, CO liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO_x associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO_x/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

Emissions de COVNM

Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucune émission de COV biotique n'est estimée, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Emissions de COVNM liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de COVNM associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2024	CR/MJ	16/02/2024	EM

Produits ligneux récoltés (harvested wood products)

Cette section concerne les absorptions et les émissions de CO₂ par les produits ligneux récoltés (PLR) aussi désignés par l'expression « produits bois ».

Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	4G
CEE-NU / NFR	Hors champ
SNAPc (extension CITEPA)	11.25.00
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantité de produits bois fabriquée	Densité de carbone des produits bois

Niveau de méthode :

Rang 2

Références utilisées :

- [674] Carbone 4. Méthode opérationnelle de comptabilisation des produits-bois dans l'inventaire national GES, Juin 2014.
- [710] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 4, Chap. 12
- [718] Marland, E. S., Stellar, K. & Marland, G. H. A distributed approach to accounting for carbon in wood products. Mitigation Adapt. Strat. Glob. Change 15, 71:91 (2010).
- [804] 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol

Caractéristiques de la catégorie (NID) :

Définition

Définition du guide GIEC 2006 [710] : « Les PLR incluent tous les matériaux ligneux (y compris l'écorce) extraits des sites de récoltes. Les rémanents et autres matériaux laissés sur le site des récoltes doivent être considérés comme de la matière organique morte et non pas des PLR »

Définition de la décision UE n° 529/2013 du 21/05/13 : « produit ligneux récolté », tout produit issu de la récolte du bois, qui a quitté un site où le bois est récolté.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

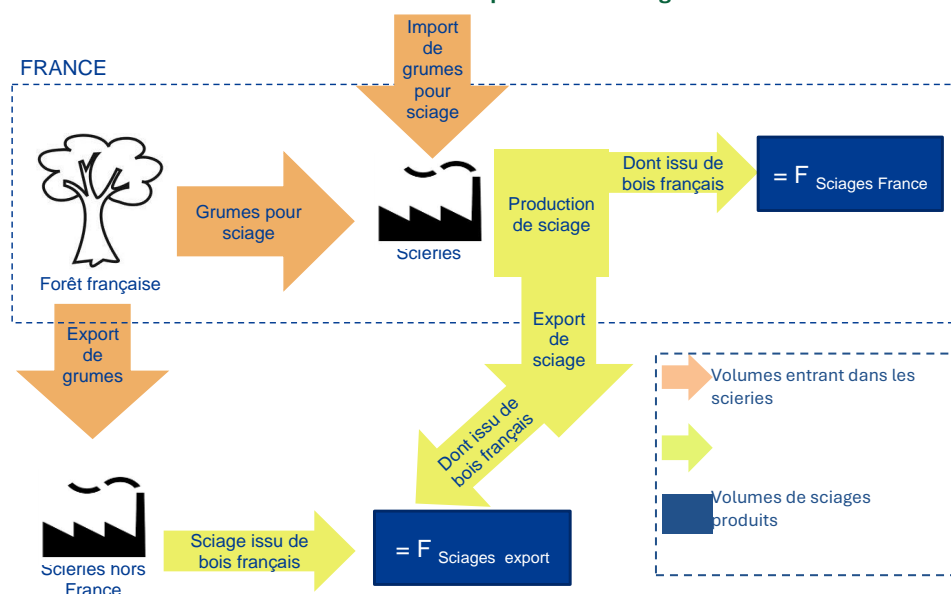
Emissions de CO₂

Les produits bois sont estimés dans l'inventaire sur la base des travaux menés au niveau national spécifiquement pour l'inventaire de GES France [674] et avec l'aide des lignes directrices du GIEC 2006 [710] et du guide révisé du GIEC 2013 [804].

Les produits bois 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 pas prises en compte. Les données d'activité (production aux différentes étapes de la chaîne industrielle) proviennent notamment des enquêtes de branche du SSP, du ministère de l'Agriculture. Afin de prendre en compte les produits bois produits avant 2008, mais encore en cours de décomposition pendant les périodes d'engagement du Protocole de Kyoto, la comptabilisation des PLR démarre dès 1900. De plus, lors de la première période d'engagement les flux de carbone provenant des PLR produits entre 2008 et 2012, comptabilisés par la méthode d'oxydation instantanée, sont exclus du stock de produits bois en cours de décomposition.

Le schéma général des flux pour le compartiment sciages est représenté sur la figure ci-dessous. Le flux entrant total correspond à la somme des deux flux représentés par les rectangles bleu marine. Les PLR récoltés en France sont pris en compte, mais les PLR importés (sciés en France à partir de bois non français) sont eux retranchés de la production. En revanche, les produits sciés à l'étranger à partir de bois français sont bien pris en compte.

Figure 1 : Flux considérés dans la formulation concernant le compartiment "sciages"



Données

Les données de production de bois sont issues principalement des statistiques du Ministère de l'Agriculture, mais aussi d'Eurostat, du FCBA et de la Copacel. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 81 : Principales sources de données pour les Produits Ligneux Récoltés

Donnée	Source
Sciage	
Production de sciages de feuillus par les scieries françaises	DISAR Scieries
Production de sciages de résineux par les scieries françaises	DISAR Scieries
Exportation de sciages de feuillus	DISAR Conjoncture bois et dérivés
Exportation de sciages de résineux	DISAR Conjoncture bois et dérivés
Récolte de bois d'œuvre destiné au sciage, feuillus	DISAR Exploitations forestières
Récolte de bois d'œuvre destiné au sciage, résineux	DISAR Exploitations forestières
Récolte de chablis, bois d'œuvre, feuillus	DISAR Exploitations forestières
Récolte de chablis, bois d'œuvre, résineux	DISAR Exploitations forestières
Récolte de bois d'œuvre, feuillus	DISAR Exploitations forestières
Récolte de bois d'œuvre, résineux	DISAR Exploitations forestières
Exportation de bois d'œuvre, feuillus	DISAR Conjoncture bois et dérivés
Exportation de bois d'œuvre, résineux	DISAR Conjoncture bois et dérivés
Importation de bois d'œuvre pour sciage, feuillus	DISAR Scieries
Importation de bois d'œuvre pour sciage, résineux	DISAR Scieries
Panneaux de process	
Production annuelle de panneaux	EUROSTAT
Exportation annuelle de panneaux	EUROSTAT
Exportation de bois rond destiné à la trituration	DISAR Conjoncture bois et dérivés
Exportation de produits connexes de scierie	DISAR Conjoncture bois et dérivés
Réception de bois de trituration par les usines de panneaux	Memento FCBA
Réception de bois de trituration par les usines de pâte à papier	Memento FCBA
Production de produits connexes de scierie	DISAR Scieries
Importation de bois rond destiné à la trituration	DISAR Conjoncture bois et dérivés
Importation de produits connexes de scierie	DISAR Conjoncture bois et dérivés
Récolte de bois de trituration par les exploitations forestières	DISAR Exploitations forestières
Récolte de chablis, trituration	DISAR Exploitations forestières
Contreplaqués	
Récolte de bois d'œuvre destiné au placage	DISAR Exploitations forestières
Exportation de bois d'œuvre destiné au placage	Calcul
Rendement grumes -> contreplaqués	Memento FCBA
Récolte totale de bois d'œuvre	DISAR Exploitations forestières
Papiers et cartons	
Rendement trituration -> papier 1	COPACEL
Production de trituration comme produits connexes de scierie	DISAR Scieries
Exportation de produits connexes de scierie	DISAR Conjoncture bois et dérivés
Réception de bois de trituration par les usines de panneaux	Memento FCBA
Réception de bois de trituration par les usines de pâte à papier	Memento FCBA

Méthode

Ces données permettent de reconstituer les flux entrants de produits bois issus de la forêt française et issus d'importation.

Récupération des données disponibles

Dans un premier temps, les données d'entrée disponibles dans les différentes bases de données source sont directement recopiées, dans l'unité correcte.

Estimation des valeurs non disponibles

Certaines valeurs ne sont plus disponibles. Des estimations sont faites à partir de ratio d'évolution à l'aide des autres données.

Facteurs de conversion et paramètres

Ces données sources sont combinées et converties avec différents paramètres :

- facteurs de conversion (0,675 t de bois de trituration/m³ de bois brut ; 0,5t de panneaux /m³) [674]
- taux de rendement (0,5 m³ sciage/m³ de bois rond sur écorce ; 0,47m³ de contreplaqué /m³ de grume ; 50% de rendement pour le papier journal et 25% pour le papier ramette) [674] ;

- répartition entre feuillus et résineux des produits issus du sciage [674] ;
- répartition des papiers entre journal (65%) et ramette (35%) [674].

Durée de demi-vies

Tableau 82 : Durées de demi-vie des produits bois

Catégorie	Demi-vie	Source
Panneaux	25 ans	Décision (UE) n°529/2013 du 21/05/2013
Contreplaqués	30 ans	IPCC, 2003
Papier journal et ramette	7 ans	Calcul Carbone 4 prenant en compte le recyclage, d'après IPCC, 2006 et COPACEL
Emballages	3 ans	IPCC, 2003
Ameublement	10 ans	Carbone 4 d'après la durée de vie moyenne (FCBA 2008)
Agencement et menuiseries	15 ans	
Couverture/Charpente	50 ans	
Parquets/lambris	30 ans	

Gestion des imports et des exports

Les flux entrants permettent de distinguer :

- Les produits bois issus de bois récolté en France.
- Les produits bois issus de bois importé
- Le bois exporté.

Les statistiques de récolte de bois traitent de l'ensemble du bois commercial récolté, qu'il s'agisse de bois en forêt ou hors forêt. Les statistiques de récolte de bois et de sciages sont cohérentes avec les statistiques de récolte de bois utilisés pour estimer les prélèvements en Forêt.

Les quantités de bois exporté proviennent des statistiques du Ministère de l'Agriculture sur le commerce extérieur.

Série temporelle des flux entrants dans les produits bois

Le tableau ci-dessous présente la quantité de produits bois, exprimée en carbone, par grande catégorie, produits à partir de la récolte de bois intérieure.

Tableau 83 : Production de produits bois issus des prélèvements intérieurs

	Sciages (tC)	Panneaux (tC)	Contreplaqués (tC)	Papier (tC)
1990	1 767 711	1 470 432	247 959	1 062 247
1991	1 704 227	1 484 247	232 197	1 086 880
1992	1 624 455	1 063 938	218 389	1 062 646
1993	1 503 315	993 393	200 420	995 337
1994	1 586 991	1 043 309	213 623	1 105 568
1995	1 626 610	1 091 752	221 094	1 112 722
1996	1 547 069	1 181 167	208 955	1 020 014
1997	1 588 374	1 265 121	215 478	1 069 864
1998	1 656 320	1 381 503	224 062	1 074 375
1999	1 663 226	1 425 794	226 191	1 129 285
2000	1 594 720	1 418 932	314 326	1 252 324
2001	1 600 207	1 497 271	259 492	1 175 207
2002	1 461 478	1 462 506	219 609	1 092 332
2003	1 442 370	1 512 278	216 322	1 069 315
2004	1 480 056	1 578 936	220 494	1 125 219
2005	1 616 766	1 744 462	197 464	1 079 246
2006	1 659 308	1 737 707	206 368	1 107 149
2007	1 678 801	1 866 955	227 516	1 093 415
2008	1 567 497	1 692 090	223 228	1 030 687
2009	1 413 458	1 367 593	244 328	978 389
2010	1 456 182	1 611 760	183 860	1 179 914
2011	1 637 501	1 778 425	193 521	1 086 830
2012	1 466 928	1 711 011	168 392	1 024 936
2013	1 462 836	1 654 828	166 891	977 062
2014	1 403 950	1 575 174	183 438	1 014 121
2015	1 402 344	1 507 482	179 175	935 276
2016	1 388 687	1 471 132	193 084	879 351
2017	1 428 177	1 417 872	206 352	868 344
2018	1 437 471	1 408 983	221 864	813 170
2019	1 365 596	1 411 414	213 576	800 072

	Sciages (tC)	Panneaux (tC)	Contreplaqués (tC)	Papier (tC)
2020	1 336 071	1 066 826	193 412	824 775
2021	1 524 913	1 398 829	209 296	913 961
2022	1 503 259	1 299 906	193 412	893 154

L'intégralité du bilan des produits bois utilisées dans l'inventaire est disponible par produit et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Estimation des flux sortants : fonction de décomposition et durées de vie des produits bois

La fonction de décomposition de 1er ordre proposée par le Giec (2006) est utilisée. La fonction Gamma, utilisée dans les précédentes éditions d'inventaire, n'est plus utilisée. L'approche préconisée par le Giec est appliquée, notamment dans le cadre du règlement EU 2018/841.

Série temporelle des flux sortants des produits bois

Le tableau ci-dessous présente la quantité de produits bois en fin de vie (flux sortants), exprimée en carbone, par grande catégorie.

Tableau 84 : Fin de vie des produits bois issus des prélèvements intérieurs

	Sciages (tC)	Panneaux (tC)	Contreplaqués (tC)	Papier (tC)
1990	1 221 325	810 238	127 327	909 910
1991	1 245 619	828 481	129 902	925 133
1992	1 258 876	840 640	132 080	940 424
1993	1 260 027	845 777	133 845	948 602
1994	1 260 065	850 499	135 517	956 573
1995	1 267 093	856 437	137 387	971 886
1996	1 271 433	864 100	139 160	981 402
1997	1 273 937	873 923	140 828	986 811
1998	1 282 196	886 219	142 632	994 633
1999	1 293 320	900 371	144 516	1 002 774
2000	1 299 323	914 644	147 392	1 019 613
2001	1 301 053	929 510	150 576	1 039 502
2002	1 295 794	944 558	152 607	1 049 760
2003	1 284 134	959 405	154 099	1 052 286
2004	1 276 029	975 439	155 568	1 056 386
2005	1 279 350	994 215	156 787	1 060 967
2006	1 291 895	1 014 638	157 818	1 063 727
2007	1 305 729	1 036 186	159 170	1 067 644
2008	1 312 677	1 056 501	160 681	1 068 923
2009	1 305 405	1 069 424	162 352	1 061 335
2010	1 294 685	1 080 932	163 531	1 061 428
2011	1 298 616	1 097 736	164 106	1 069 730
2012	1 302 550	1 115 424	164 490	1 069 745
2013	1 297 504	1 130 938	164 562	1 063 307
2014	1 290 592	1 144 170	164 805	1 057 096
2015	1 282 268	1 155 026	165 181	1 050 792
2016	1 275 042	1 164 165	165 661	1 037 892
2017	1 270 764	1 171 827	166 439	1 023 049
2018	1 269 810	1 178 433	167 528	1 006 630
2019	1 265 935	1 184 771	168 674	987 940
2020	1 257 765	1 186 235	169 469	970 182
2021	1 259 602	1 187 531	170 198	959 898
2022	1 269 311	1 191 950	170 909	954 586

L'intégralité du bilan des produits bois utilisées dans l'inventaire est disponible par produit et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Discussion

Différence entre l'approche Giec (appliquée) et l'approche Gamma (non utilisée)

La fonction plus évoluée, à deux paramètres, qui s'appuie sur la fonction de distribution Gamma présentait notamment l'intérêt de corriger l'erreur intrinsèque portée par la fonction de décomposition de 1er ordre, qui considère que la décomposition maximale d'une catégorie de produits a toujours lieu la première année. C'est en effet incorrect dans les faits pour les produits bois à longue durée de vie, par exemple.

Origine du bois récolté – part issue de récoltes en France

Les produits ligneux récoltés importés (sciés en France à partir de bois non français) sont retranchés de la production prise en compte dans le bilan des produits bois. Les données statistiques du Ministère de l'Agriculture sur le commerce extérieur du bois permettent de connaître les quantités de grumes importées achetées par les scieries, et ainsi connaître la part du bois entrant qui provient de l'étranger. Ainsi, cette part est retranchée du bois entrant pour ne prendre en compte que la part issue de récoltes domestiques.

L'équation suivante synthétise ce calcul :

Équation 32 (UTCATF)

$$P_{dom} = P_{tot} \times \frac{P_{fra}}{P_{fra} + I}$$

Avec :

P _{dom}	Production de sciages issue de bois domestique
P _{tot}	Production de sciages totaux en France métropolitaine (données DISAR)
P _{fra}	Récolte de bois destiné au sciage (récoltes classiques et accidentelles)
I	Import (achats de grumes – données DISAR sur le commerce extérieur du bois)

La production de sciages totaux en France provient de l'enquête annuelle Exploitations forestières et scieries (EXF-SRI) qui mesure la production en quantités physiques en France métropolitaine, de l'ensemble des branches d'activité Exploitations forestières et scieries. Elle permet de connaître chaque année les volumes de bois récoltés, de bois sciés, de merrains ou bois sous rails et de certains produits finis.

Les données sur les achats de grume sont suivies par le service statistique du ministère de l'Agriculture à partir de deux sources :

Intra UE, les déclarations d'échanges mensuelles de biens fournies par les entreprises sont obligatoires pour les entreprises dépassant 460 000 € d'échanges annuels avec l'UE. Les données sous ce seuil déclaratif font l'objet d'estimation par pays.

Pour les pays hors UE, tous les échanges de marchandises sont déclarés directement au passage de la frontière sur la base d'un Document administratif unique.

Origine du bois récolté – répartition entre boisements et forêt restant forêt

L'ensemble du bois récolté en France, et alimentant les réservoirs des produits bois issus de production domestique, provient de la catégorie « forêt restant forêt », c'est-à-dire les forêts de plus de 20 ans, à dire d'expert. Ainsi, le bilan des Produits Ligneux Récoltés, dans le rapportage au titre du Protocole de Kyoto, est entièrement rapporté au sein de l'activité « Forest management ». Il n'est pas rapporté au sein de l'activité « Afforestation/reforestation ».

Origine du bois récolté – Outre-mer

Les statistiques de production de sciages (l'enquête annuelle Exploitations forestières et scieries (EXF-SRI)) sont uniquement disponibles pour la France métropolitaine. Dans l'inventaire, les flux des produits bois issus d'Outre-mer sont donc comptabilisés en tant qu'oxydation instantanée.

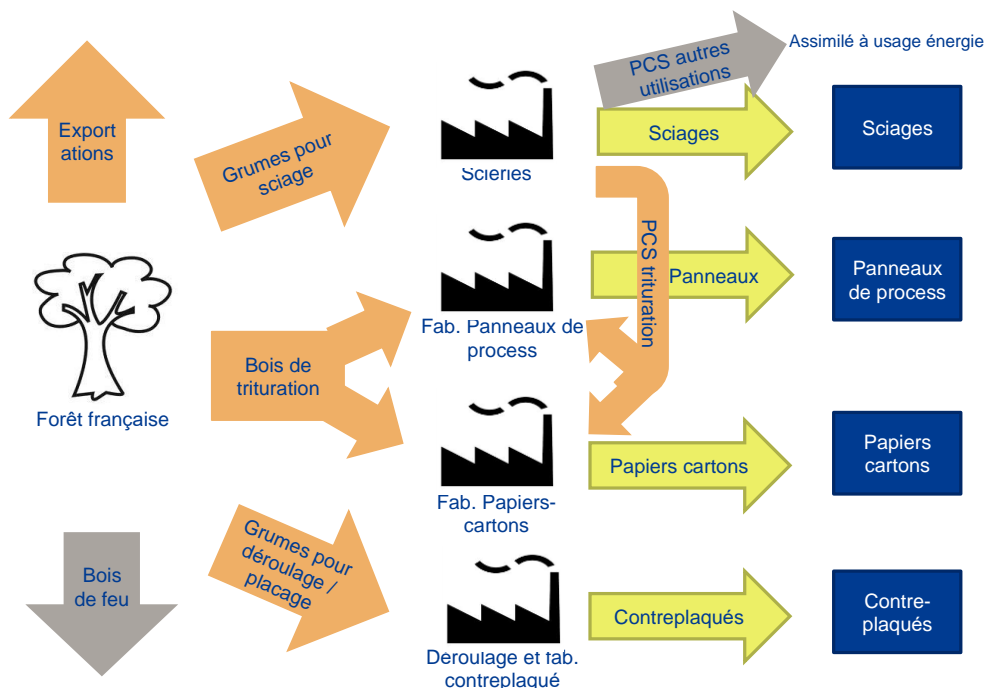
Le seul territoire d'Outre-mer pour lequel une récolte de bois est estimée dans l'inventaire est la Guyane. Sur ce territoire, les pertes liées à ces récoltes sont compensées par des regains, étalés dans le temps. Les récoltes en Guyane sont estimées à environ 50 000 m³ en 2000 et 90 000 m³ en 2020, soit 0,2% environ de la récolte métropolitaine. L'hypothèse

d'oxydation instantanée est une hypothèse conservatrice appliquée en attendant d'inclure des estimations plus fines basées sur des données plus précises sur le devenir des bois récoltés en Outre-mer.

Bois énergie et déchets :

Les PLR entrant dans ces deux catégories sont comptabilisés dans des secteurs séparés (respectivement secteur énergie, et secteur traitement des déchets) par la méthode d'oxydation instantanée. La figure ci-dessous procure une vision d'ensemble (simplifiée) des flux principaux qui structurent l'ensemble de la méthode. En gris figurent les flux non pris en compte dans la méthode, ici parce qu'ils concernent une utilisation énergétique :

Figure 28 : Vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode



Emissions de CH₄

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances provenant des produits bois.

Emissions de N₂O

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances provenant des produits bois.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
25/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

Barrage de Petit-Saut (Guyane)

Cette section traite spécifiquement des émissions du barrage de Petit-Saut, seul barrage pris en compte dans l'inventaire français du fait de ses spécificités :

- Une surface importante de 30 000 ha,
- Un climat tropical,
- Une mise en eau sans déforestation préalable.

Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	4H
CEE-NU / NFR	(Hors champ)
SNAPc (extension CITEPA)	11.34.02
CE / directive IED	(Hors champ)
CE / E-PRTR	(Hors champ)
CE / directive GIC	(Hors champ)

Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surface	Modèle développé par EDF

Niveau de méthode :

Rang 3

Références utilisées :

[425] GALY LACAUX C. – Modification des échanges de constituants mineurs liés à la création d'une retenue hydroélectrique : Impact des barrages sur le bilan de méthane dans l'atmosphère, 1996

[599] GUERIN F. – Emission de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄) par une retenue de barrage hydroélectrique en zone tropicale (Petit-saut, Guyane française) : expérimentation et modélisation. Thèse soutenue en 2006

[600] DESCLOUX – EDF - Mise à jour de données de la thèse de F. GUERIN pour le barrage de Petit-Saut, 2013

Caractéristiques de la catégorie (NID) :

La mise en eau d'un barrage est une source potentielle de CH₄ et CO₂ par dégradation de la biomasse immergée. La mise en eau en 1994 du barrage de Petit Saut en Guyane a conduit à inonder 300 km² de forêt tropicale, ces émissions ont pu être estimées par plusieurs travaux successifs notamment des thèses [425, 599, 600] et ajoutées de manière spécifique à l'inventaire français. Les émissions associées sont rapportées sous la catégorie 4H pour plus de transparence et prises en compte dans le cadre de l'article 3.3 pour le Protocole de Kyoto.

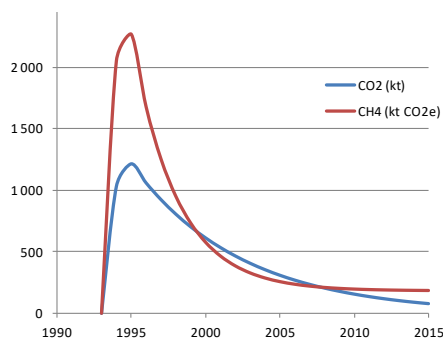
Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Emissions de CO₂, CH₄

Les émissions de CH₄ et de CO₂ du barrage de Petit-Saut ont récemment été mises à jour sur la base des dernières données disponibles dans la publication de DESCLOUX [600], telles que présentées dans le tableau ci-dessous :

Figure 29 : Emissions de CH₄ et de CO₂ dues au barrage de Petit-Saut en Guyane

année	CH ₄ (t)	CO ₂ (kt)
1994	97 587	1 034
1995	107 904	1 217
1996	79 807	1 062
1997	59 668	926
1998	45 233	808
1999	34 887	704
2000	27 471	614
2001	22 155	536
2002	18 345	467
2003	15 613	408
2004	13 656	355
2005	12 253	310
2006	11 248	270
2007	10 527	236
2008	10 011	206
2009	9 640	179
2010	9 375	156
2011	9 184	136
2012	9 048	119
2013	8 951	104
2014	8 880	90
2015	8 829	79
2016	8 793	69
2017	8 768	60
2018	8 749	52
2019	8 736	46
2020	8 727	40
2021	8 720	35
2022	8 715	30
2023	8 712	26



Emissions de N₂O

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

Emissions de Gaz fluorés

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

Crédit des illustrations

Couverture

@ Steven KAMENA / Unsplash

Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie | Introduction (de gauche à droite)

@ Steven KAMENA / Unsplash

@ Pixabay / PEXELS

@ Romeo A / Unsplash

