



Oct.  
2018

---

# NOTICE TECHNIQUE : OUTIL ALDO

---

Estimation des stocks et des flux de  
carbone des sols, des forêts et des  
produits bois à l'échelle d'un EPCI

---

Notice technique

**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

## REMERCIEMENTS

*L'outil a été réalisé par Léna Pérez de l'Ecole Supérieure d'Agriculture en apprentissage à l'ADEME, sous l'encadrement de Thomas Eglin, Antonio Bispo et Miriam Buitrago et le tutorat de Robert Biagi.*

*Concernant les sols, la méthodologie de l'outil a bénéficié de l'expertise des membres du comité d'experts mis en place par l'ADEME, dont les membres étaient :*

- Claire Chenu (AgroParisTech)
- Thomas Cozzi (Bordeaux Sciences Agro)
- Annie Duparque (AgroTransfert Ressources et Territoires)
- Manuel Martin (INRA)
- Sylvain Pellerin (INRA)
- Olivier Scheurer (Unilassalle Beauvais - RMT Sols et Territoires)
- Colas Robert (Citepa)

*Les données de bases issues de l'inventaire forestier national sont disponibles dans la convention IGN-ADEME "Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des EPCI concernés par un PCAET" (Colin A. et al. 2018).*

## CITATION DE CE RAPPORT

**Perez L., Buitrago M, Eglin T. 2018.** Notice technique de l'outil ALDO : Estimation des stocks et des flux de carbone des sols, des forêts et des produits bois à l'échelle d'un EPCI. 21p.

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

Le document est diffusé par l'ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

# SOMMAIRE

RÉSUMÉ .....	4
1. CONTEXTE DU PROJET .....	5
2. COMPRENDRE LE DECRET n°2016-849 .....	6
3. OBJET DE LA NOTICE .....	8
4. METHODOLOGIE.....	9
4.1. Architecture du tableur Excel : voir Onglet « Notice ».....	9
4.2. Restitution des résultats dans l'onglet « cadre_de_dépôt » .....	10
4.3. Méthodologie : estimation des stocks de carbone (Voir onglet « stocks_C » .....	11
4.3.1. Calcul des stocks par occupation de sols .....	11
4.3.2. Calcul des stocks dans les produits bois .....	14
4.3.3. Calcul des stocks totaux .....	14
4.4. Méthodologie de calcul des flux de CO <sub>2</sub> (voir onglet « flux_C »).....	15
4.4.1. Calcul des flux liés aux changements d'occupations des sols et à la forêt .....	15
4.4.2. Calcul des flux liés aux produits bois .....	18
4.4.3. Calcul des flux totaux.....	18
4.5. Méthodologie de calcul des flux liés à l'implantation de pratiques agricoles reconnues comme favorables au stockage de carbone : voir onglet « pratiques_agricoles » .....	19
4.5.1. Calcul des flux associés à l'implantation de pratiques dites stockantes .....	19
4.5.2. Calcul des stocks dans les surfaces agroforestières présentes sur le territoire .....	19



## RÉSUMÉ

À l'échelle globale, les sols et les forêts (y compris les produits issus du bois) stockent, sous forme de biomasse vivante ou morte, 3 à 4 fois plus de carbone que l'atmosphère. Toute variation négative ou positive de ces stocks, même relativement faible, peut influencer sur les émissions de gaz à effet de serre. La séquestration nette de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un flux net positif de l'atmosphère vers ces réservoirs qui se traduit au final par une augmentation des stocks. L'estimation territoriale de ce flux se base sur les informations disponibles sur les changements d'affectation des sols (ex : artificialisation des sols, déforestation), la dynamique forestière et les modes de gestion des milieux (ex : pratiques agricoles) qui modifient sur les stocks de carbone en place. L'estimation de la séquestration carbone est devenue obligatoire dans le cadre de l'élaboration d'un PCAET (décret le n° 2016-849).

D'un point de vue méthodologique, l'estimation des flux de carbone entre les sols, la forêt et l'atmosphère est sujette à des incertitudes importantes car elle dépend de nombreux facteurs, notamment pédologiques et climatiques. Trois éléments doivent être pris en compte pour estimer ces flux :

- Les changements d'affectation des sols :
  - A titre d'exemple, en France, les trente premiers centimètres des sols de prairies permanentes et de forêts présentent des stocks près de 2 fois plus importants que ceux de grandes cultures. La mise en culture d'une prairie permanente aboutit ainsi à une émission de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère ; au contraire, la forte l'augmentation de la surface forestière qui a eu lieu au cours du XX<sup>ème</sup> siècle a généré à puits carbone important.
- Les modes de gestion des milieux, notamment :
  - Les pratiques agricoles (ex : gestion des résidus de culture, semis direct, couverture du sol, agroforesteries, haies, apports de produits résiduels organiques). Par exemple la couverture du sol en hiver va permettre d'accroître les apports de biomasse au sol tout en limitant les risques d'érosion et de lessivage des nitrates ;
  - Les modes de gestion sylvicole, les niveaux de prélèvement de la biomasse et son mode de retour au sol. Ainsi, la gestion durable de la forêt et le retour au sol de la biomasse est essentiel au maintien des stocks de carbone.
- Les stocks et flux dans les produits issus de la biomasse prélevée, en particulier le bois d'œuvre ;

Pour aider les territoires dans leur diagnostic, l'ADEME propose le tableur excel qui fournit, à l'échelle des EPCI des valeurs par défaut pour :

- L'état des stocks de carbone organique des sols, de la biomasse et des produits bois en fonction de l'aménagement de son territoire (occupation du sol) ;
- La dynamique actuelle de stockage ou de déstockage liée aux changement d'affectation des sols, aux forêts et aux produits bois en tenant compte du niveau actuel des prélèvements de biomasse ;
- Les potentiels de séquestration nette de CO<sub>2</sub> liés à diverses pratiques agricoles pouvant être mises en place sur le territoire.

Ces éléments ne traitent pas l'ensemble des questions posées par le décret no 2016-849 relatif à la prise en compte de la séquestration dans les PCAET. Plus précisément, l'outil n'intègre pas des estimations des productions additionnelles de biomasse à usages autres qu'alimentaires ni les potentiels de développement de la séquestration de CO<sub>2</sub> dans les forêts.

Les calculs utilisent des moyennes régionales (ex : stocks de carbone par ha dans les sols par région pédoclimatique; stocks de carbone par ha de forêt par grande région écologique) appliquées à l'échelle de l'EPCI ainsi que des sources de données nationales pour l'occupation des sols (ex : Corine Land Cover 2012). **Il est important de vérifier leur pertinence et, le cas échéant, de les remplacer par des valeurs plus cohérentes avec le territoire.** Dans cette optique, une notice est également jointe à ce tableur.

# 1. CONTEXTE DU PROJET

Les flux de carbone (flux de séquestration et/ou d'émissions) consécutifs aux variations de la quantité de carbone stockée par les forêts et les sols sont comptabilisés dans le secteur Utilisation de Terres, Changement d'Affectation de Terres et Foresterie (UTCATF) des inventaires de gaz à effet de serre. Le renforcement de la contribution du secteur UTCATF aux objectifs de lutte contre le changement climatique s'opère aujourd'hui à tous les échelons politiques.

Dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques<sup>1</sup>, l'accord de Paris a confirmé l'importance de la séquestration carbone dans la lutte contre le changement climatique en ciblant notamment l'objectif d'un équilibre entre les émissions anthropiques et les absorptions par les puits de gaz à effet de serre au cours de la seconde moitié de ce siècle, et en invitant les États membres à prendre des mesures pour conserver et, le cas échéant, renforcer les puits et réservoirs de gaz à effet de serre (GES), notamment les forêts et les sols. L'initiative 4 pour 1000 portée par la France dans le cadre du Plan d'Action Lima-Paris vise à consolider la prise en compte du rôle du puits de carbone dans sols.

A niveau européen, le Paquet Energie Climat 2030<sup>3,4</sup> intègre pour la première fois le secteur UTCATF dans les objectifs contraignants avec l'objectif pour la période 2021-2030 d'un « bilan neutre ou positif ».

Au niveau national, le plan Climat<sup>5,6,7</sup> de la France présenté par le Ministre de la transition écologique et solidaire vise une neutralité carbone de la France à horizon 2050, les efforts à réaliser (budget carbone) pour tous les secteurs sont décrits dans la Stratégie Nationale Bas Carbone.

A niveau territorial, la LTECV complétée par le décret no 2016-849 du 28/06/2016 relatif aux Plan Climat Air Energie Territoriaux (PCAET), marque l'obligation d'y intégrer un diagnostic comprenant l'estimation de la séquestration nette de CO<sub>2</sub> par les sols et les forêts selon la méthodologie établie dans le guide PCAET : « comprendre, construire et mettre en œuvre ».

## Pour aller plus loin :

- Site UNFCCC secteur UTCATF : <https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf>
- Site de l'initiative 4 pour 1000 : <http://4p1000.org/comprendre>
- Site de la Commission Européenne, action pour le climat : [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_fr](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_fr)
- Site Europe secteur UTCATF : [https://ec.europa.eu/clima/lulucf\\_en](https://ec.europa.eu/clima/lulucf_en)
- Site du Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/>
- Site du gouvernement Plan Climat : <https://www.gouvernement.fr/action/plan-climat>
- Site Citepa secteur UTCATF : <https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/analyse-sectorielle/foret>
- Guide PCAET « Comprendre, construire et mettre en œuvre » : <https://www.ademe.fr/pcaet-comprendre-construire-mettre-oeuvre>



## 2. COMPRENDRE LE DECRET n°2016-849

---

L'article 1er- I du décret no 2016-849 précise que :

« Le diagnostic comprend : une estimation de la **séquestration nette de dioxyde de carbone et de ses possibilités de développement**, identifiant au moins les sols agricoles et la forêt, en tenant compte des **changements d'affectation des terres** ; les **potentiels de production et d'utilisation additionnelles de biomasse à usages autres qu'alimentaires** sont également estimés, afin que puissent être valorisés les bénéfices potentiels en termes d'émissions de gaz à effet de serre, ceci en **tenant compte des effets de séquestration et de substitution** à des produits dont le cycle de vie est plus émetteur de tels gaz. »

Ainsi, le décret prévoit la consolidation de la prise en compte de la séquestration carbone dans les sols et la forêt tout en tenant compte des prélèvements des biomasses non-alimentaire.

Cette thématique est intégrée dans les différents volets d'action des PCAET. Dans ce cadre, sont exigés :

- Un diagnostic permettant de photographier l'état actuel de la séquestration de CO<sub>2</sub> du territoire tenant compte du niveau actuel des prélèvements.
- Une évaluation des potentiels de développement de la séquestration de CO<sub>2</sub> tenant compte des objectifs de production et d'utilisation additionnelles de biomasse à usages autres qu'alimentaires.

Quelques termes qui méritent d'être précisés :

- **Stocks de carbone des sols et des forêts** : les sols et les forêts (y compris les produits issus du bois) sont des réservoirs importants de carbone. La quantité de carbone contenue dans ces réservoirs à un moment donné correspond aux stocks de carbone.
- **La séquestration nette de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ou puits net de carbone** est ici l'augmentation, sur le territoire, des stocks de carbone sous forme de matière organique dans les sols et les forêts (y compris produits bois). La séquestration est un flux net positif de l'atmosphère vers ces réservoirs. Elle traduit un déséquilibre entre les entrées de carbone (ex : photosynthèse, apports de matières organiques exogènes,) et les sorties (ex : respiration des sols et des végétaux, export et dégradation de biomasse). Inversement, une réduction des stocks de carbone des sols et forêts se traduit par une émission nette de CO<sub>2</sub> ou une source de carbone. Cette séquestration nette/émission nette consécutifs aux variations de la quantité de carbone stockée par les forêts et les sols est théoriquement limitée dans le temps, car elle s'interrompt lorsqu'un nouvel équilibre est atteint. Le niveau de stock à l'équilibre dépend, au-delà des conditions pédoclimatiques des territoires, de l'aménagement du territoire (% des différents types d'occupation des sols) et des pratiques agricoles et forestières. Toute modification de la distribution de l'occupation des sols et des pratiques agricoles et forestières conduira à une modification des stocks de carbone dans ces réservoirs et donc à une séquestration nette ou à une émission de carbone.
- **La substitution ou les émissions fossiles évitées par l'utilisation accrue de biomasse** se caractérisent par un processus d'évitement des émissions issues d'énergies fossiles par l'utilisation alternative de biomasse forestière et/ou agricole pour l'énergie et/ou les matériaux. La substitution a un caractère cumulatif (la gestion durable permet de maintenir un rendement soutenu de biomasse) et, contrairement à la séquestration, n'est pas limitée dans le temps (tant qu'il y a des produits/énergies fossiles à substituer). Néanmoins, les émissions évitées ne sont pas comptabilisées dans les inventaires territoriaux de GES. La comptabilisation des effets de substitution (émissions fossiles évitées) n'a de sens que dans l'évaluation de l'impact climatique d'une action impliquant un réel développement de l'usage de la biomasse en alternative à l'usage de ressources fossiles. Il est donc crucial de prendre en compte la substitution, en plus de la séquestration, pour pouvoir comparer l'impact carbone des actions de mobilisation accrue de la biomasse non-alimentaire. Il faut également rappeler que la quantification de l'impact GES d'une action se fait par comparaison du scénario avec action avec un scénario de référence contrefactuel (le scénario qui est le plus probable en l'absence de mise en œuvre de l'action<sup>1</sup>).

Ces deux processus (séquestration/substitution) sont à considérer conjointement dans l'élaboration des plans d'actions des PCAET, d'autant plus qu'ils ne sont pas indépendants. Ainsi, des niveaux élevés de séquestration

---

<sup>1</sup> Voir Méthode ADEME de quantification de l'impact GES d'une action de réduction des émissions : <http://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/contenu/index/page/evaluer+ses+actions/siGras/0>

peuvent traduire des niveaux faibles d'utilisation de la biomasse, et inversement. La prise en compte de ces interactions est cruciale lors de la définition et l'évaluation des plans d'actions.

**Pour aller plus loin :**

- Carbone organique des sols : l'énergie de l'agroécologie, une solution pour le climat, ADEME - <http://www.ademe.fr/carbone-organique-sols-lenergie-lagro-ecologie-solution-climat>
- Agricultures & Environnement : des pratiques clés pour la préservation du climat, ADEME - <http://www.ademe.fr/agriculture-environnement-pratiques-clefs-preservation-climat-sols-lair-economies-denergie>
- Quelle contribution de l'Agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?, INRA, ADEME, Ministères en charge de l'agriculture et de l'écologie - <http://www.ademe.fr/contribution-lagriculture-francaise-a-reduction-emissions-gaz-a-effet-serre>
- Forêt et atténuation du changement climatique, Avis de l'ADEME - <http://www.ademe.fr/foret-attenuation-changement-climatique>
- Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035, IGN, FCBA - <http://www.ademe.fr/disponibilites-forestieres-lenergie-materiaux-a-lhorizon-2035>
- Quel rôle pour les forêts et la filière forêt bois française dans l'atténuation du changement climatique ?, INRA, IGN <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Forets-filiere-foret-bois-francaises-et-attenuation-du-changement-climatique>



### 3. OBJET DE LA NOTICE

---

Cette note constitue une **notice technique** permettant de guider l'utilisation de l'outil ALDO développé par l'ADEME. L'outil ALDO actualise la méthodologie *a minima* décrite dans le guide « PCAET ; comprendre, construire et mettre en œuvre » publié en novembre 2016 par l'ADEME et le ministère en charge de l'écologie.

L'outil ALDO développé par l'ADEME délivre :

- L'état des stocks de carbone organique des sols, de la biomasse et des produits bois en fonction de l'aménagement de son territoire (occupation du sol) ;
- La dynamique actuelle de stockage ou de déstockage (c'est à dire, le flux de CO<sub>2</sub> ou séquestration nette CO<sub>2</sub>) liée aux changements d'affectation des sols, aux forêts et aux produits bois en tenant compte du niveau actuel des prélèvements de biomasse en forêt ;
- Les potentiels de séquestration nette de CO<sub>2</sub> liés à diverses pratiques agricoles pouvant être mises en place sur le territoire ;

**Ces éléments ne traitent pas l'ensemble des questions demandées par le décret no 2016-849 relatif à la prise en compte de la séquestration dans les PCAET.** Plus précisément, l'outil n'intègre pas des estimations des productions additionnelles de biomasse à usages autres qu'alimentaires ni les potentiels de développement de la séquestration de CO<sub>2</sub> dans les forêts. Ces éléments pourront être complétés et améliorés sur la base des travaux menés par l'ADEME, de ses partenaires et des territoires.

## 4. METHODOLOGIE

NB : les éléments de la notice ci-dessous sont repris dans les différents onglets du tableur (à droite des calculs)

### 4.1. Architecture du tableur Excel : voir Onglet « Notice »

#### RESULTATS et CALCULS :

Onglets		Source des données utilisées pour les calculs
Nom	Descriptif	
cadre_de_depot	Résultats présentés au format du cadre de dépôt (partie diagnostic). <b>Le numéro SIREN de l'EPCI doit être rentré dans cet onglet en case A2.</b>	ADEME
resultats_graphiques	sorties graphiques des principaux résultats issus de l'outil : répartition des stocks de carbone par occupation du sol, stocks de référence par occupation du sol, flux de CO <sub>2</sub> de l'EPCI par occupation du sol	ADEME
stocks_C	diagnostic des stocks de carbone dans les sols, la litière, la biomasse et les produits bois	ADEME, GIS Sol, IGN, Citepa, Corine Land Cover, Agreste
flux_C	diagnostic des flux de carbone des sols, de la litière, la biomasse et les produits bois	ADEME, GIS Sol, IGN, Citepa, Corine Land Cover, Agreste
pratiques_agricoles	diagnostic des stocks et flux de stockage de carbone liés à la mise en œuvre de pratiques agricoles dites "stockantes"	INRA, Pellerin et al. 2013
dendro_forêts	données dendrométriques des compositions forestières (conifères, feuillus, mixtes, peupleraies)	IGN

#### INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES :

typologies_occsol	correspondance utilisée entre la typologie d'occupation des sols "Corine Land Cover" et celle de l'outil pour la détermination de stocks et de flux	-
References_sols	valeurs de référence des stocks/flux de carbone dans les sols par occupation/changement d'occupation des sols	Ademe
References_biomasse_hors_foret	valeurs de référence des stocks/flux de carbone dans la biomasse hors forêt par occupation/changement d'occupation des sols	Citepa
References_biomasse_foret	valeurs de référence des stocks/flux de carbone dans la biomasse hors forêt par composition forestière	IGN



References_biomasse_peupleraies	valeurs de référence des stocks/flux de carbone dans la biomasse pour les peupleraies	IGN
References_surfaces_haies	valeurs de références pour lse surfaces de haies associées aux espaces agricoles	INRA, IGN, CITEPA
References_produitsbois	valeurs de références utilisées pour le calcul des flux dans les produits bois (données de prélèvements, récoltes)	ADEME et IGN
epci_clc12	surfaces en 2012 par occupation du sol issues de Corine Land Cover	CLC
epci_bc_clc12	variations de surfaces entre 2006 et 2012 par occupation du sol issues de Corine Land Cover	CLC
epci_surffor_ign	surfaces forestières en 2012 par composition forestière issues d'une étude de l'IGN	IGN

### Légende des couleurs des cases du tableur

<b>Légende</b>		A renseigner par l'EPCI
		Renseigné par le tableur
		Résultats
		Non utilisé

#### 4.2. Restitution des résultats dans l'onglet « cadre de dépôt »

C'est dans cet onglet que le numéro SIREN de l'EPCI doit être renseigné en case A2.

Siren de l'EPCI	Nom de l'EPCI	Surface	Habitants
200072015	CA Annonay Rhône Agglo	31920	49 675

Dans l'outil, les calculs sont généralement réalisés à partir de moyennes régionales (ex: stocks de carbone par ha dans les sols par région pédoclimatique; stocks de carbone par ha de forêt par grande région écologique, flux de séquestration dans la biomasse par ha et par type de forêt) appliquées à l'échelle de l'EPCI. Il est important de vérifier leur pertinence et, le cas échéant, de les remplacer par des valeurs plus cohérentes avec le territoire.

	Diagnostic sur la séquestration de dioxyde de carbone		
	Stocks de carbone (tCO <sub>2</sub> eq)	Flux de carbone (tCO <sub>2</sub> eq/an)*	Année de comptabilisation
Forêt	9 682 410	-66 398	
Prairies permanentes	1 172 967	0	
Cultures	Annuelles et prairies temporaires	1 687 285	0
	Pérennes (vergers, vignes)	269 454	0
Sols artificiels	Espaces végétalisés	181 119	-342
	Imperméabilisés	230 447	1 394
Autres sols (zones humides)	48 399	0	
Produits bois (dont bâtiments)	329 790	-1 182	
Haies associées aux espaces agricoles	329		

\* Les flux de carbone sont liés aux changements d'affectation des terres, à la Foresterie et aux pratiques agricoles, et à l'usage des produits bois. Les flux liés au changements d'affectation des terres sont associés à l'occupation finale. Un flux positif correspond à une émission et un flux négatif à une séquestration.

Diagnostic sur la récolte de biomasse à usage non alimentaire		
Type de biomasse	Récolte actuelle (m <sup>3</sup> /an)*	Année de comptabilisation
Bois d'œuvre (sciage)	39 397	
Bois d'industrie (panneaux, papiers)	3 721	
Bois énergie	21 966	
Biomasse agricole		

\* La récolte théorique est un calcul de l'ADEME considérant un taux de prélèvement égal à celui de la grande région écologique et une répartition entre usage égale à celui de la région administrative

### 4.3. Méthodologie : estimation des stocks de carbone (Voir onglet « stocks C »)

#### 4.3.1. Calcul des stocks par occupation de sols

Il s'agit de réaliser un état des lieux des stocks de carbone dans les sols et la biomasse du territoire. Bien que cet état des stocks ne soit pas demandé dans le texte du décret, il est utile pour se représenter les enjeux relatifs à la préservation des stocks existants, qui peuvent être menacés par des changements d'affectation des sols comme l'imperméabilisation, la déforestation ou le retournement des prairies. Les plans d'actions peuvent aussi intégrer des niveaux de stocks à atteindre.

#### ① Collecte des stocks de carbone de référence définis pour chaque réservoir et pour chaque occupation du sol (tC·ha<sup>-1</sup>)

Les stocks de référence se traduisent par la quantité de carbone stockée en tonnes de carbone (tC) dans un hectare d'une occupation de sol donnée selon la localisation géographique de l'EPCI.

- Réservoirs :

**4 réservoirs** de carbone pris en considération ici :



SOL



LITIÈRE



BIOMASSE VIVANTE\*  
(ARIENNE+RACINAIRE)



\*par manque des données, la biomasse morte en forêt n'a pas été prise en compte

- Typologie d'occupation des sols selon réservoir :

Deux typologies d'occupation des sols sont utilisées (cf. onglet typologies\_occsol).

En effet, les stocks de référence pour chaque réservoir ne suivent pas la même typologie d'occupation des sols. Ainsi, les stocks de carbone se différencient par la nature des prairies (arborée, arbustive, herbacée) et par la typologie de forêt (feuillus, mixtes, conifères, peupleraies) pour le réservoir biomasse ce qui n'est pas le cas pour les réservoirs sol et litière.

Dans le tableur, nous identifions la typologie de niveau 1 pour l'attribution des stocks de référence pour les réservoirs « sol » et « litière », la typologie de niveau 2 pour le réservoir biomasse.

Sources de données :

- Données stocks de carbone des sols par occupation et zone pédoclimatique : GIS Sol-Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS). Echantillonnage réalisé entre 2001 et 2011.



- **Données stocks de carbone de la litière** : *Compte rendu de l'Académie d'Agriculture de France - Vol. 85, n°6, 1999*
- **Données stocks de carbone de la biomasse hors forêts par inter région** : *IFN/FCBA/SOLAGRO - Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020, Novembre 2009*
- **Données stocks de carbone de la biomasse de la forêt par composition** (feuillus, mixtes, conifères, peupleraies) **et par Grande Région Ecologique (GRECO)** : *Etude IGN "puits de CO2 des forêts françaises", volet 1, 2018*
- **Données stocks de carbone pour les haies associées aux espaces agricoles** : *en cohérence avec les pratiques du Citepa (OMINEA, 2018), ce sont les stocks de biomasse des forêts mixtes qui sont prises comme références.*

## ② **Collecte des surfaces par occupation des sols pour chaque typologie (ha) à l'échelle de l'EPCI**

Une répartition de la surface du territoire pour chaque occupation du sol est obtenue en hectare d'une part, en % de l'autre.

Aussi, les typologies de niveau 1 et niveau 2 d'occupation des sols mentionnées précédemment sont renseignées.

Les surfaces renseignées sont obtenues (page F27:G41), à partir de la base de données Corine Land Cover 2012 peu précise à cette échelle (résolution de 25 ha). Si des informations plus précises sont accessibles (bases de données locales/régionales), elles pourront être introduites par le territoire dans la plage H:27:I41. Le tableur continuera les calculs avec les données les plus précises.

Aussi, il est considéré que 80% des sols artificiels sont enherbés et 20 % sont imperméabilisés. En outre, chaque territoire pourra modifier selon ses caractéristiques ces proportions en L40 et M40.

Sources de données :

- **Par défaut : données surfaciques hors occupation forêt par occupation du sol** issues de *Corine Land Cover, 2012*. A remplacer par données plus fines de bases de données régionales ou locales.
- **Données surfaciques de l'occupation forêt par composition** (feuillus/mixtes/conifères/peupleraies) issues de la *BD forêt de l'IGN (Inventaire forestier 2012-2016)*
- **Données surfaciques occupation par les haies associées aux activités agricoles** : croisement des données du *Référentiel Parcellaire Graphique 2012* et de la *couche végétation de la BD TOPO de l'IGN par l'Observatoire du développement rural de l'INRA (réalisée en 2018)*. Attention : lors des débuts de la construction de la couche végétation, l'attribut nature de la couche végétation de la BD TOPO n'était remplie que pour la classe zone arborée; au fur et à mesure de l'avancement de la production de la végétation en partenariat avec l'*Inventaire Forestier National*, cette valeur disparaît au profit des autres valeurs (haies, forêt, vignes, vergers, peupleraies, bois...). Il peut donc y avoir une sous-estimation des surfaces, notamment des faux "zéro".

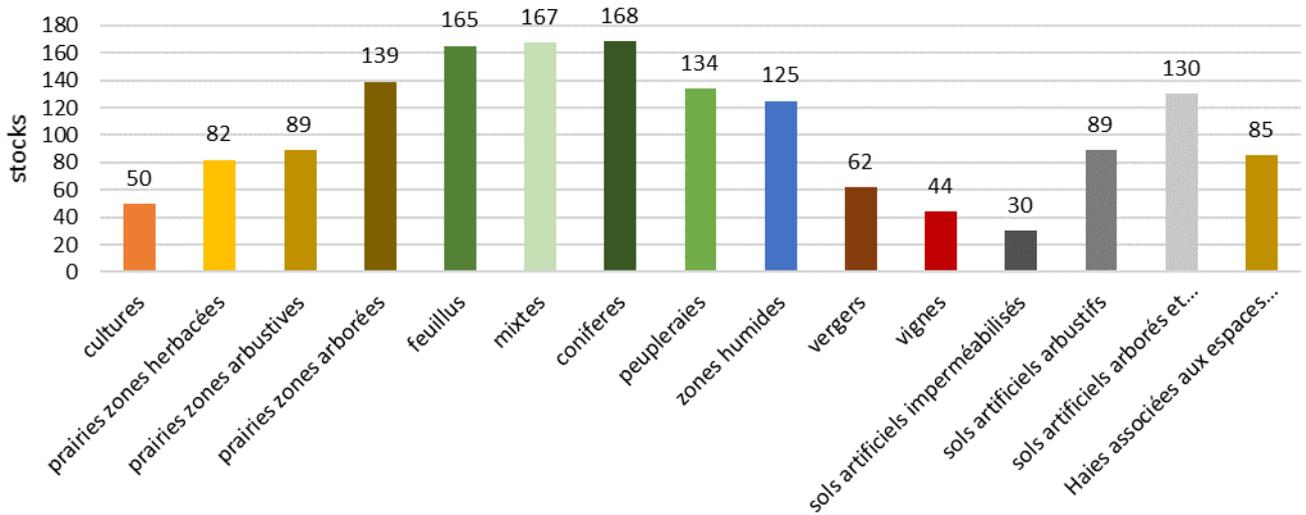
## ③ **Calcul des stocks totaux de carbone par occupation des sols et par réservoir (tC et %) à l'échelle de l'EPCI**

Les **stocks totaux de carbone par occupation du sol** sont obtenus par le produit des stocks de référence par occupation du sol **à l'échelle de l'EPCI** avec les surfaces **de l'EPCI** associées à chaque occupation du sol correspondante.

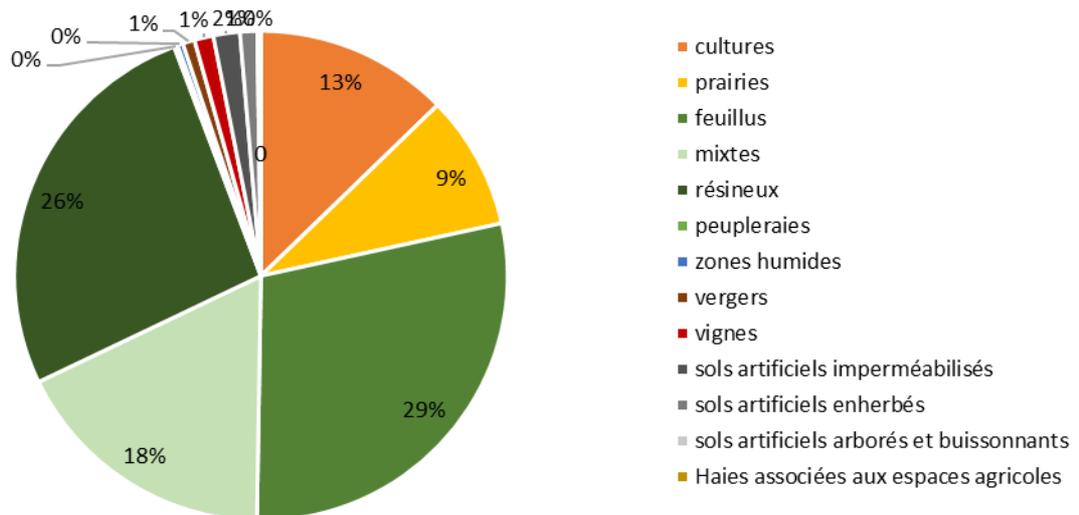
Une représentation de la répartition des stocks de carbone totaux tous réservoirs confondus dans l'EPCI et par occupation du sol est donnée par le calcul des proportions (%) des stocks totaux par occupation dans l'EPCI. Cette répartition est également donnée par réservoir.

**Exemples de résultats graphiques stocks de carbone dans les sols, la litière et la biomasse (voir l'onglet « résultats graphiques »)**

### Stocks de référence par occupation du sol de l'epci (tous réservoirs inclus) (tC/ha)



### Répartition des stocks de carbone (hors produits bois) par occupation du sol de l'epci (%), 2012, état initial (2012)



### 4.3.2. Calcul des stocks dans les produits bois

#### 1 Collecte des stocks de carbone par catégorie de produits bois à l'échelle de la France

Pour le sciage (bois d'œuvre) et les panneaux et papier (bois d'industrie), des **stocks de carbone à l'échelle de la France** sont collectés. *Ces stocks se traduisent par la quantité de carbone stockée en tCO<sub>2</sub>eq en France dans les produits bois en 2016 selon estimations du CITEPA.*

Sources de données :

- Données stocks de carbone français dans les produits bois en 2016 : CITEPA, OMINEA 2017

#### 2 Estimation théorique des quantités de produits bois récoltées par catégorie (BO/BI), de l'EPCI et de la France

Des estimations théoriques des **récoltes totales en bois d'œuvre (BO) et bois d'industrie (BI)** sont fournies à l'échelle de la France et de l'EPCI, (récolte théorique considérant un niveau de prélèvement et une répartition entre usage égal à celui de la région) prenant en compte les pertes d'exploitation.

Celles-ci ont été calculées de la façon suivante :

- Calcul des flux de référence des récoltes (m<sup>3</sup>/ha) de bois *par composition (feuillus, mixtes, conifères, peupleraies) et par Grande Région Ecologique (GRECO) calculés en soustrayant les pertes d'exploitation* aux données de prélèvements moyens fournies par l'IGN *par composition (feuillus, mixtes, conifères, peupleraies) et par Grande Région Ecologique (GRECO).*
- Répartition des flux de référence des récoltes de bois entre les différents usages du bois (m<sup>3</sup> BO/ha ; m<sup>3</sup> BI/ha) : selon les proportions de récolte par catégorie de bois (BO/BI) régionales (anciennes régions administratives) fournies par l'Agreste.
- Calcul des récoltes théoriques BO / BI à l'échelle de l'EPCI : obtenus par le produit des flux de référence des récoltes de bois avec les surfaces de l'EPCI associées à chaque typologie de forêt.

Ces données peuvent être affinées avec des données plus précises propres aux territoires si disponibles.

Sources de données :

- Données prélèvements moyens par composition (feuillus, mixtes, conifères, peupleraies) et par Grande Région Ecologique (GRECO) : IGN - Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des EPCI concernés par un PCAET - volet dendrométrie 2018
- Données proportion de récolte BO/BI par région (anciennes) : AGRESTE, 2015

#### 3 Distribution du stock de carbone des produits bois français par EPCI (tCO<sub>2</sub>eq)

Deux approches sont considérées :

- Approche production (répartition selon récolte) :

La **part de la récolte de produits bois de l'EPCI au sein de la récolte totale française** est calculée comme le ratio (récolte produits bois EPCI/récolte produits bois France). Ce ratio est multiplié par la valeur du stock total de carbone contenu dans les produits bois en France en 2016 (donnée CITEPA) pour obtenir une estimation **stock de carbone des produits bois de l'EPCI.**

- Approche consommation (répartition selon habitants) :

Le **stock de carbone des produits bois de l'EPCI** est obtenu en multipliant le stock national de produits bois par la **part de l'EPCI dans la population nationale.**

### 4.3.3. Calcul des stocks totaux

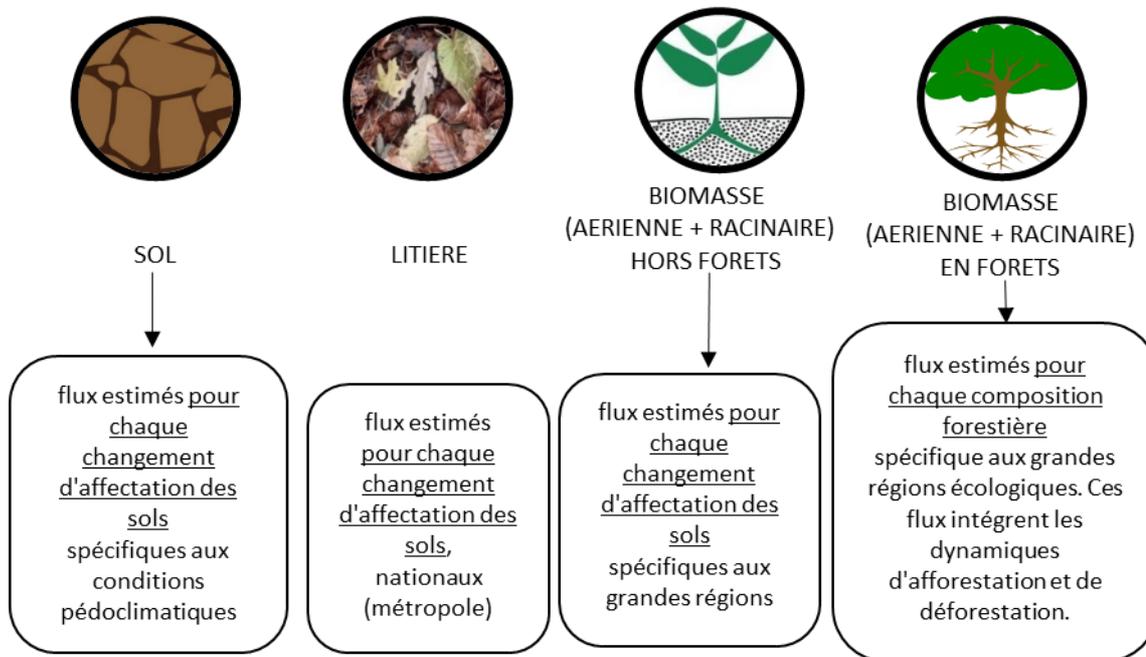
Les stocks totaux sont obtenus par addition des stocks totaux de chaque occupation du sol et au sein de chaque réservoir pour l'EPCI. Pour les produits bois, c'est l'approche consommation qui est utilisée par défaut.

## 4.4. Méthodologie de calcul des flux de CO<sub>2</sub> (voir onglet « flux C »)

### 4.4.1. Calcul des flux liés aux changements d'occupations des sols et à la forêt

#### 1 Collecte des flux de référence unitaires (tC·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> ou tC·ha<sup>-1</sup>) par réservoir de carbone

Le flux de carbone de référence est une variation de stock en tonnes de carbone entre une occupation du sol initiale et une occupation du sol finale par hectare pour les stockages et déstockages immédiats, et par hectare et par an pour les stockages et déstockages progressifs.



Pour la biomasse forestière, Les flux de référence sont calculés en soustrayant à la production biologique des forêts la mortalité et les prélèvements de bois.

#### LE SAVIEZ VOUS?

Les flux de stockage de carbone des sols mis à disposition ont été déterminés en considérant que les dynamiques de stockage et de déstockage de carbone sont asymétriques. Selon les travaux d'Arrouays et al. 2002<sup>2</sup>, les sols déstockent beaucoup plus vite qu'ils ne stockent. Aussi, après un changement d'affectation des sols, les sols ne (dé)stockent pas de façon linéaire : un stock dit "à l'équilibre" est atteint au bout d'un siècle environ.

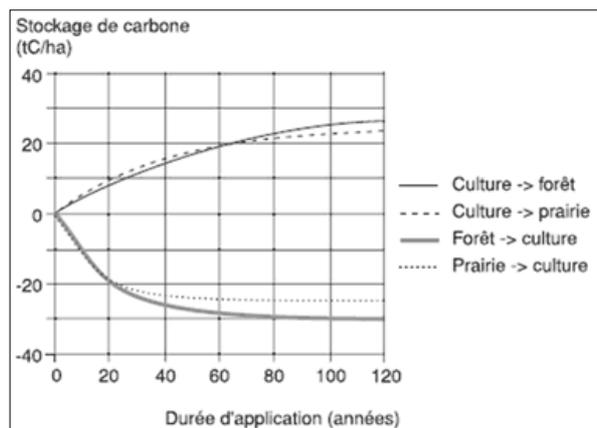


Figure : Evolution théorique des stocks de carbone après un changement d'affectation des sols (Arrouays et al. 2002). Le déstockage est plus rapide que le stockage.

<sup>2</sup> Stocker du carbone dans les sols agricoles de France? (Arrouays et al. 2002) : <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Stockier-du-carbone-dans-les-sols-agricoles-de-France>



## Deux approches différentes d'estimations des flux de carbone par réservoir...

- Pour le réservoir "biomasse en forêts", nous utilisons des flux de référence unitaires ( $tC \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ ) associés à chaque composition forestière (C52 à 55) et GRECO. Pour calculer les flux totaux de ce réservoir par composition forestière sur le territoire, nous multiplions chaque facteur de référence par la surface de chaque composition forestière sur le territoire (ha; lignes C119 à C122). Alors, les flux totaux du réservoir biomasse en forêts tiennent compte des changements d'occupation des sols impliquant au moins à l'état initial ou final l'occupation forestière. Il n'est pas possible ici de connaître la part du flux total attribuée à chaque changement d'affectation des sols impliquant la forêt.
- Pour les changements d'occupation des sols n'impliquant pas l'occupation forestière, l'estimation des flux dans le réservoir biomasse est faite à partir de l'utilisation de flux de référence unitaires associés à chaque changement d'occupation considéré (C38 à L47) et de variations de surfaces associées (lignes C61 à L70). Cette dernière approche est également utilisée pour l'estimation de flux totaux de carbone pour les réservoirs "sols" (lignes C10 à L18) et "litières" (lignes C24 à L32), qu'ils soient forestiers ou non.

### *Sources de données :*

- Données flux de carbone de référence des sols par changement d'affectation des sols par zone pédoclimatique : Traitements ADEME à partir des données du réseau de mesure de la qualité des sols (GIS Sol) et de la méthode de calcul développée par l'INRA dans Arrouays et al. 2002. Les zones pédoclimatiques sont définies selon les lignes directrices du GIEC en fonction de classes de texture et de climat, et en cohérence avec les travaux du CITEPA.
- Données flux de carbone de la litière par changement d'affectation des sols, nationales :
- CITEPA, guide Ominea 2017
- Données flux de la biomasse aérienne et racinaire hors forêts par changement d'affectation des sols, par grandes régions: CITEPA, guide Ominea 2017
- Données flux de carbone de la biomasse aérienne et racinaire des forêts par composition forestière, par grandes régions écologiques (GRECO) sur la base de l'inventaire forestier 2012-2016: IGN, Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des EPCI concernés par un PCAET - volet dendrométrie 2018

## **2** Collecte des variations de surfaces par changement d'occupation des sols / composition forestière par réservoir (ha)

Un premier tableur renseigne les variations de surface pour chaque changement d'affectation des sols considéré pour la nomenclature de niveau 1 (sols), un deuxième pour la nomenclature de niveau 2 (biomasse) et un troisième spécifique aux surfaces forestières.

Les variations de surfaces associées à chaque changement d'affectation du sol sont renseignées de façon automatique par le tableur à partir des données de bases de changement Corine Land Cover entre 2006 et 2012. Celles-ci correspondent aux plages C61:M70 (pour la nomenclature "biomasse", et C76:L84 (pour la nomenclature "sols").

Les territoires disposant de données plus fines locales entre 2006 et 2012, sont invités à remplir les plages C90:M99 et C105:L113.

Les calculs suivants générés par le tableur prendront en compte automatiquement les données les plus fines disponibles.

Aussi, il est considéré que 80% des sols artificiels sont enherbés et 20 % sont imperméabilisés. Chaque territoire pourra modifier selon ses caractéristiques ces proportions en L39 et M39.

### *Source de données :*

- Par défaut : données de variations surfaciques hors occupation forêt par changement d'occupation du sol issues des bases de changements Corine Land Cover, 2006-2012 :\_A remplacer par données plus fines de bases de données locales

- Données surfaciques occupation forêts par composition forestière (feuillus/mixtes/coniferes/peupleraies) issues de la BD forêt de l'IGN (inventaire forestier 2012-2016)

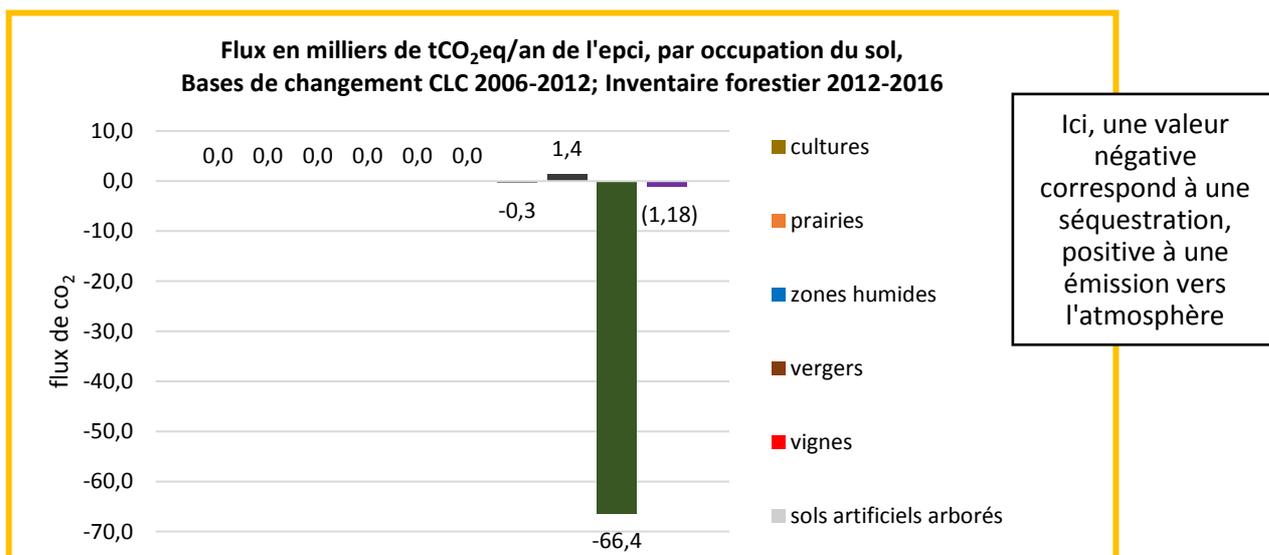
### ③ Calculs des flux totaux de carbone par changement d'occupation des sols et par réservoir (tC·an<sup>-1</sup>)

Les flux totaux de carbone par changement d'occupation du sol/composition forestière sont obtenus par le produit des flux unitaires en tC·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> ou tC·ha<sup>-1</sup> par changement d'occupation du sol/composition forestière avec les variations de surfaces (ha an<sup>-1</sup>) associées à chaque changement d'occupation du sol/occupation forestière correspondante. Par ailleurs, lorsque ces flux s'accompagnent d'une perte de carbone dans les sols et la litière, un flux de N<sub>2</sub>O y est associé en accord avec les lignes directrices de l'IPCC (2006). 1% de l'azote perdu lors du déstockage de matière organique l'est sous forme de N<sub>2</sub>O au niveau de la parcelle et 0,75% de l'azote lixivie l'est hors de la parcelle. On considère 30% de lixiviation et un ratio C/N dans la matière organique de 15.

Source de données :

- Emissions de N<sub>2</sub>O : IPCC, Lignes directrices pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (2006)

Une représentation graphique des flux totaux en MtCO<sub>2</sub> de carbone attribués à chaque occupation du sol est fournie (onglet « résultats\_graphiques »). Les flux totaux sont dans ce cas affectés à l'occupation finale du changement d'occupation du sol.



#### 4.4.2. Calcul des flux liés aux produits bois

##### **1 Collecte du puits de carbone par catégorie de produits bois à l'échelle de la France (tCO<sub>2</sub>eq·an<sup>-1</sup>)**



BOIS D'OEUVRE ET BOIS D'INDUSTRIE

Pour le bois d'œuvre et le bois d'industrie, des valeurs de puits (flux) de carbone à l'échelle de la France sont collectées (CITEPA, 2017)

Source de données :

- Données puits de carbone français dans les produits bois (BO/BI) : CITEPA, guide Ominea 2017

##### **2 Estimation théorique des quantités de produits bois récoltées par catégorie (BO/BI), de l'EPCI et de la France**

cf. Voir description de la méthodologie de calcul des stocks de C.

##### **3 Distribution du puits de carbone des produits bois français par EPCI (tCO<sub>2</sub>eq)**

Deux approches sont considérées :

- Approche production (répartition selon récolte) :

La part de la récolte de l'EPCI au sein de la récolte française est calculée précédemment. Multipliée par la valeur du puits total de carbone contenu dans les produits bois en France, le puits de carbone des produits bois de l'EPCI est alors obtenu.

- Approche consommation (répartition selon habitants) :

Le flux de CO<sub>2</sub> lié aux produits bois de l'EPCI est obtenu en multipliant le stock national de produits par la part de l'EPCI dans la population nationale.

#### 4.4.3. Calcul des flux totaux

##### **4 FLUX TOTAUX DE CARBONE DU TERRITOIRE PAR RESERVOIR ET TOUS RESERVOIRS INCLUS (tC et tCO<sub>2</sub>eq)**

Le flux total de carbone du territoire est obtenu par addition des flux totaux de chaque changement d'occupation du sol ou composition forestière et évolution des stocks de produits bois pour l'EPCI. Pour les produits bois, c'est l'approche consommation qui est utilisée par défaut.

#### 4.5. Méthodologie de calcul des flux liés à l'implantation de pratiques agricoles reconnues comme favorables au stockage de carbone : voir onglet « pratiques agricoles »



##### 4.5.1. Calcul des flux associés à l'implantation de pratiques dites stockantes

Certaines pratiques agricoles sont un levier d'action d'accroissement des stocks de carbone des réservoirs sol et biomasse. L'étude INRA "Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?" identifie 10 pratiques clés et analyse leur potentiel d'accroissement des stocks de carbone en lien avec leur potentiel d'atténuation d'autres GES importants et leurs coûts techniques, entre autres.

**1 Collecte des références nationales d'accroissement des stocks de carbone en tonnes de carbone par hectare et par an pour les réservoirs sols et biomasse. Cet accroissement est considéré durer 20 ans avant atteinte d'une saturation.**

Sources de données :

- Flux d'accroissement des stocks de carbone des sols et de la biomasse et potentiel d'atténuation GES (émissions indirectes et induites) : Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?, étude INRA (Pellerin et al. 2013)

**2 Collecte par l'utilisateur des surfaces associées à chaque pratique à partir de données locales (dires d'experts par exemple) dans la plage E2:E13.**

**3 Un flux de séquestration pour chaque pratique est alors obtenu par produit, en tonnes de carbone par hectare.**

Il est important d'intégrer dans l'analyse l'impact de ces pratiques sur d'autres postes du bilan GES (D2:D13), notamment les consommations d'énergies, les émissions de N<sub>2</sub>O et de CH<sub>4</sub>, et le potentiel de production d'énergies renouvelable. Par exemple, par la mise en œuvre d'une démarche Climagri® ou ABC'TERRE.

##### 4.5.2. Calcul des stocks dans les surfaces agroforestières présentes sur le territoire

Il est possible de comptabiliser dans les stocks totaux les surfaces en agroforesterie déjà existantes en complétant les cases B21:B22.



## L'ADEME EN BREF

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

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

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

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### ILS L'ONT FAIT

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



#### EXPERTISES

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



#### FAITS ET CHIFFRES

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



#### CLÉS POUR AGIR

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



#### HORIZONS

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



## NOTICE TECHNIQUE de l'OUTIL ALDO

Pour aider les territoires dans leur diagnostic de la séquestration carbone, l'ADEME propose le tableur « ALDO » qui fournit, à l'échelle des EPCI des valeurs par défaut pour :

- L'état des stocks de carbone organique des sols, de la biomasse et des produits bois en fonction de l'aménagement de son territoire (occupation du sol) ;
- La dynamique actuelle de stockage ou de déstockage liée aux changements d'affectation des sols, aux forêts et aux produits bois en tenant compte du niveau actuel des prélèvements de biomasse ;
- Les potentiels de séquestration nette de CO<sub>2</sub> liés à diverses pratiques agricoles pouvant être mises en place sur le territoire.

Ces éléments ne traitent pas l'ensemble des questions posées par le décret no 2016-849 relatif à la prise en compte de la séquestration dans les PCAET. Plus précisément, l'outil n'intègre pas des estimations des productions additionnelles de biomasse à usages autres qu'alimentaires ni les potentiels de développement de la séquestration de CO<sub>2</sub> dans les forêts.



[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

