EXPERTISES

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.

e 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 13
4.3.3. Calcul des stocks totaux 14

4.4. Méthodologie de calcul des flux de CO_2 (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

5. PRECAUTIONS 19

5.1. Les moyennes régionales peuvent être localement inexactes 19

5.2. Le puits de carbone actuel en forêt n'est pas celui de demain 20

5.3. Les données intégrées dans l'outil ALDO sur la forêt ne permettent pas de faire de projections sur l'évolution de la forêt. 20

RÉSUMÉ

A 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 influer sur les émissions de gaz à effet de serre. La séquestration nette de dioxyde de carbone (CO2) 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_2 vers l'atmosphère ; au contraire, la forte l'augmentation de la surface forestière qui a eu lieu au cours du XXème 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 résiduaires 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_2 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_2 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, 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 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 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 CO2 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
- Site Europe secteur UTCATF : 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 potentiel 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_2 du territoire tenant compte du niveau actuel des prélèvements.
- Une évaluation des potentiels de développement de la séquestration de CO_2 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_2) 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 forêt (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_2 or une source de carbone. Cette séquestration nette/émission nette consécutive 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 de-là 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 limité 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[1]).

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

[1] 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 CO2 ou séquestration nette CO2) liée aux changement 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_2 liés à diverses pratiques agricoles pouvant être mises en place sur le territoire ;

Les calculs de stocks et des flux par occupation de sols sont réalisés à partir de valeurs moyennes à l'hectare calculées à l'échelle régionale appliquées aux surfaces de l'EPCI. Les moyennes régionales peuvent ne pas être représentatives à niveau local. L'application à une échelle infrarégionale de valeurs moyennes régionales doivent être prises avec précaution, Il est important de vérifier leur pertinence et, le cas échéant, de les remplacer par des valeurs plus cohérentes avec le territoire (voir rubrique précautions).

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 CO2 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). **Le numéro SIREN de l'EPCI doit être rentré dans cet onglet en case A2.**	ADEME
résultats_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_2 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

Légende		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 selon occupation par région pédoclimatique; stocks de carbone et flux de séquestration et prélèvements par ha dans la biomasse forestière selon typologie de forêt et par grande région écologique) appliquées aux surfaces de l'EPCI associées à chaque occupation du sol. 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_2eq)	**Flux de carbone (tCO_2eq/an)***	**Année de comptabilisation**
Forêt		8 909 277	-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 changement 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^3/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.

❶ Collecte des stocks de carbone de référence définis pour chaque réservoir et pour chaque occupation du sol ($tC \cdot ha^{-1}$)

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 LITIERE 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 de stocks moyens de carbone par ha de la litière :*** *Compte rendu de l'Académie d'Agriculture de France – Vol. 85, n°6, 1999*
- ***Données de stocks moyens de carbone par ha 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 de stocks moyens de carbone par ha 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 de stocks moyens de carbone par ha 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.*

❷ 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 hors occupation forêt renseignées sont obtenues (plage 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. Les données surfaciques de l'occupation forêt par composition (feuillus/mixtes/conifères/peupleraies) sont issues de la BD forêt de l'IG. Du fait du bon niveau de précision de ces données (0.5 ha) l'outil ALDO ne donne pas la possibilité de les changer.

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 :

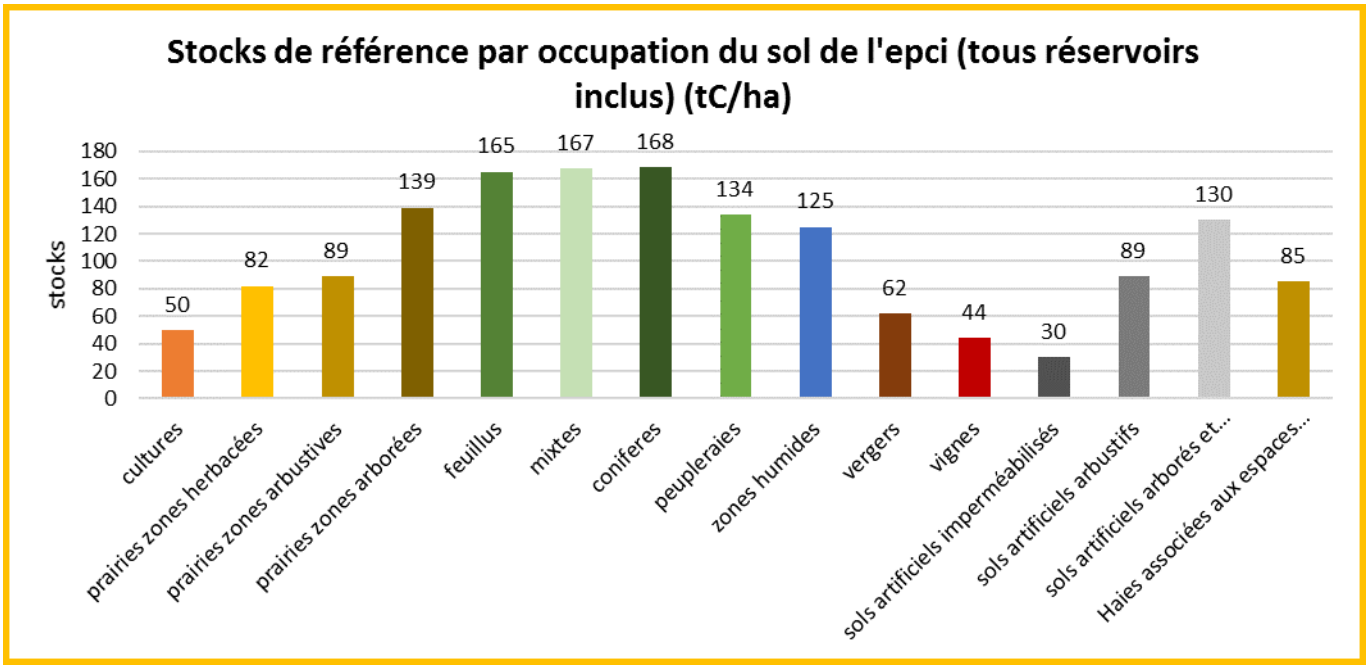
- ***Par défaut : données surfaciques hors occupation forêt par occupation du sol*** *issues de Corine Land Cover, 2012. A remplacer par données plus fines de bases de données régionales ou locales.*
- ***Données surfaciques de l'occupation forêt par composition (feuillus/mixtes/conifères/peupleraies)*** *issues de la BD forêt de l'IGN*
- ***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".*
-

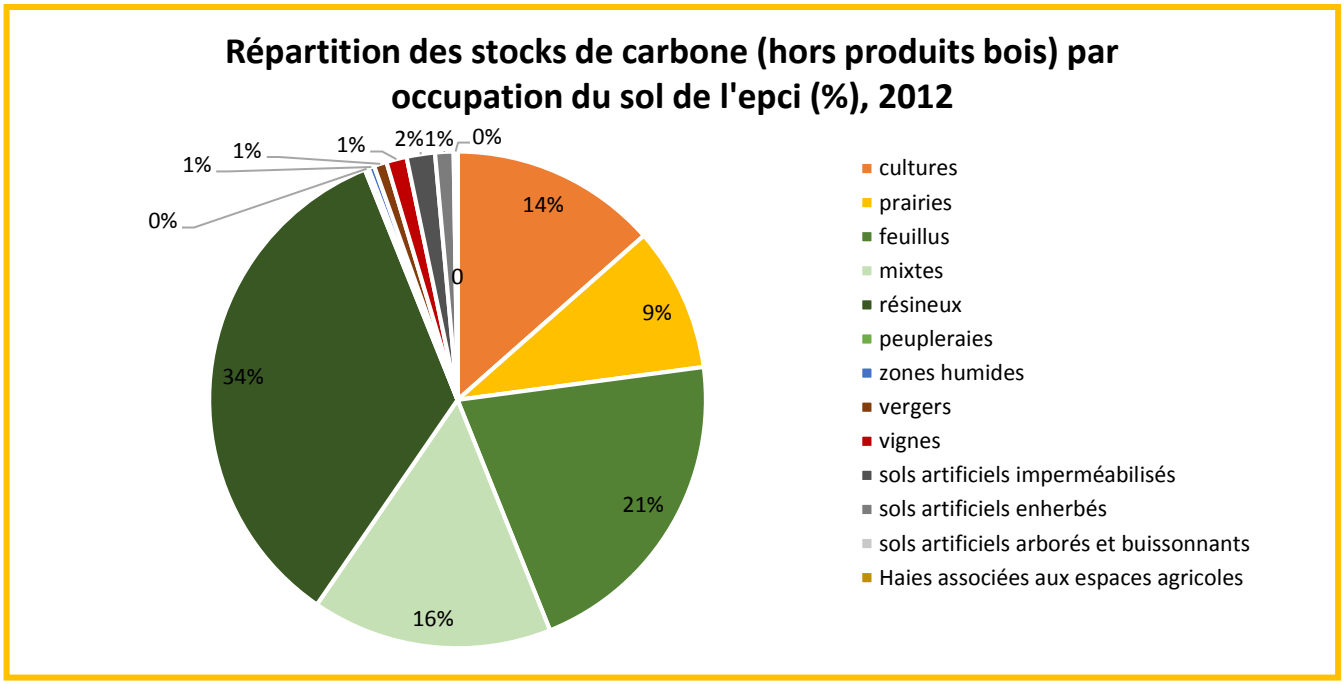
❸ Calcul des stocks totaux de carbone par occupation des sols et par réservoir (tC et %) à l'échelle de l'EPCI

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 »)





4.3.2. Calcul des stocks dans les produits bois

❶ **<u>Collecte des stocks de carbone par catégorie de produits bois à l'échelle de la France</u>**

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 tCO2eq en France dans les produits bois en 2016 selon estimations du CITEPA.*

Sources de données :

- ***<u>Données stocks de carbone français dans les produits bois en 2016</u>*** *: CITEPA, OMINEA 2017*

❷ **<u>Estimation théorique des quantités de produits bois récoltées par catégorie (BO/BI), de l'EPCI et de la France</u>**

Des estimations théoriques des **récoltes totales en bois d'oeuvre (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 :

i. Calcul des flux de référence des récoltes (m3/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).*
ii. Répartition des flux de référence des récoltes de bois entre les différents usages du bois (m3 BO/ha ; m3BI/ha) : selon les proportions de récolte par catégorie de bois (BO/BI) régionales (anciennes régions admnistratives) fournies par l'Agreste.
iii. 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 dendrométrique 2018*
- ***Données proportion de récolte BO/BI par région (anciennes) :*** *AGRESTE, 2015*

❸ **Distribution du stock de carbone des produits bois français par EPCI (tCO2eq)**

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

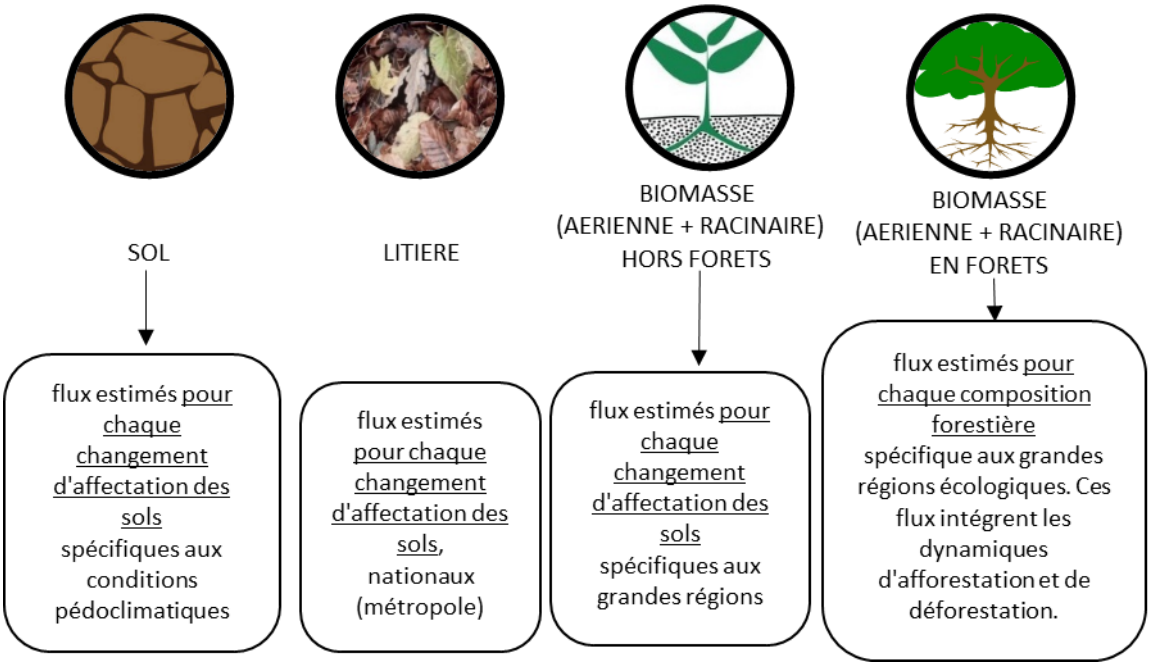
Les stocks totaux sont obtenus par addition des stocks totaux de chaque occupation du sol et au sein de chaque réservoir pour l'EPCI. Pour les produits bois, c'est l'approche consommation qui est utilisée par défaut.

4.4. Méthodologie de calcul des flux de CO_2 (voir onglet « flux_C »)

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

❶ Collecte des flux de référence unitaires ($tC \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ ou $tC \cdot ha^{-1}$) 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[2], 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.

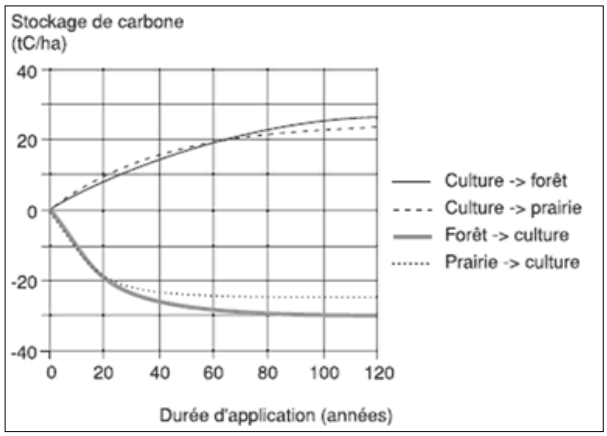


Figure : Evolution théorique des stocks de carbone après un changement d'affectation des sols (Arrouays et al. 2002). Le déstockage est plus rapide que le stockage.

[2] Stocker du carbone dans les sols agricoles de France? (Arriouays et al. 2002) : http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Stocker-du-carbone-dans-les-sols-agricoles-de-France

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

1. 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. En effet, les données fournies par l'IGN donnent une évolution du volume de bois sur le GRECO (territoire) par composition forestière, incluant donc les dynamiques de croissance sans changement d'occupation des sols (augmentation en volume des forêts sur une surface fixe) et les dynamiques d'afforestation et déforestation (augmentation/réduction en surface de l'étendue des forêts). D'un point de vue pratique, les flux totaux de ce réservoir sont ainsi calculés en multipliant chaque facteur de référence par la surface des compositions forestières associées (ha; lignes C119 à C122). Il faut noter qu'il n'est pas possible ici de connaître la part du flux total attribuée à chaque changement d'affectation des sols impliquant la forêt car le calcul est global.

2. 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 dendrométrique 2018*

❷ Collecte des variations de surfaces par changement d'occupation des sols par réservoir (ha) et des surfaces par composition forestière

Concernant les changement d'occupation des sols (approche 2),

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.

Concernant le réservoir biomasse en forêt (approche 1), les données surfaciques de l'occupation forêt par composition (feuillus/mixtes/conifères/peupleraies) sont issues de la BD forêt de l'IGN.

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/conifères/peupleraies)** issues de la BD forêt de l'IGN

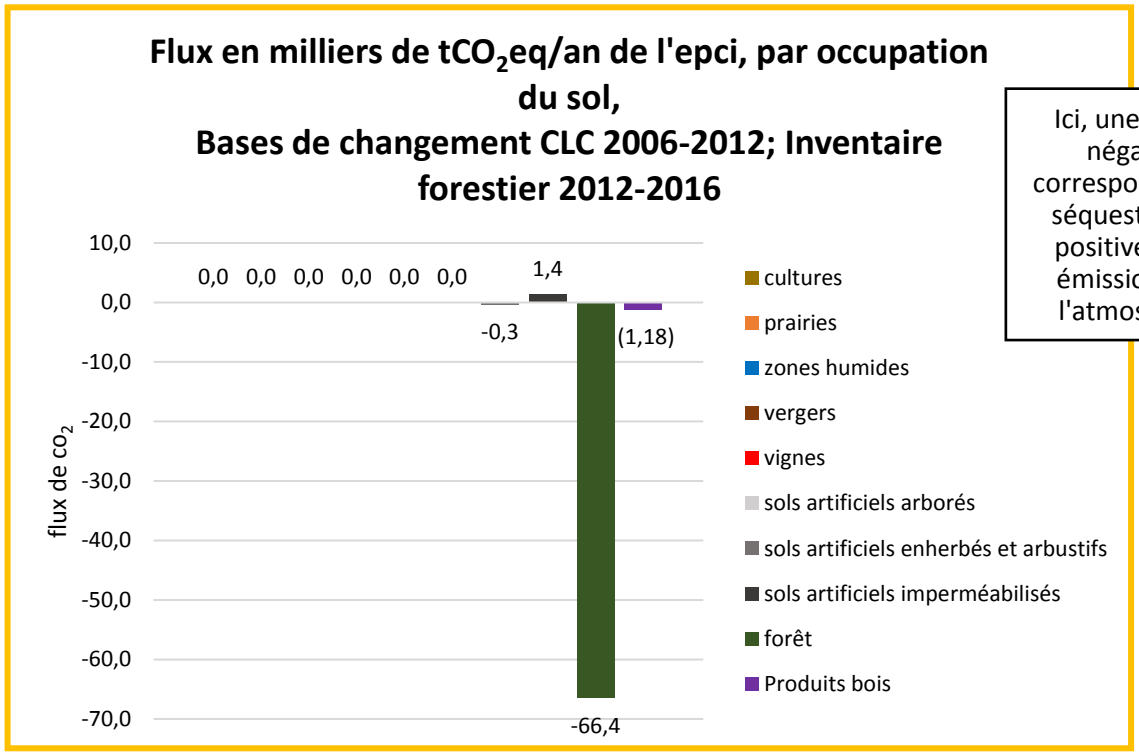
❸ Calculs des flux totaux de carbone par changement d'occupation des sols et par composition forestière

Les **flux totaux de carbone par changement d'occupation du sol/composition forestière** sont obtenus par le produit des flux unitaires en $tC \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ ou $tC \cdot ha^{-1}$ par changement d'occupation du sol/ ou en $tC \cdot ha^{-1}$ par composition forestière avec les variations de surfaces (ha an-1) associées à chaque changement d'occupation du sol/ et les surfaces (ha) par occupation forestière. Par ailleurs, lorsque ces flux s'accompagnent d'une perte de carbone dans les sols et la litière, un flux de N2O 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_2O au niveau de la parcelle et 0,75% de l'azote lixivié l'est hors de la parcelle. On considère 30% de livixiation et un ratio C/N dans la matière organique de 15.

Source de données :

- **Emissions de N2O :** IPCC, Lignes directrices pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (2006)

Une représentation graphique des flux totaux en $MtCO_2$ 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.



Ici, une valeur négative correspond à une séquestration, positive à une émission vers l'atmosphère

4.4.2. Calcul des flux liés aux produits bois

❶ Collecte du puits de carbone par catégorie de produits bois à l'échelle de la France ($tCO2eq \cdot an^{-1}$)

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

❷ 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.

❸ Distribution du puits de carbone des produits bois français par EPCI (tCO_2eq)

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 CO2 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

❹ FLUX TOTAUX DE CARBONE DU TERRITOIRE PAR RESERVOIR ET TOUS RESERVOIRS INCLUS (tC et tCO_2eq)

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 réservoir 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.

❶ **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)

❷ **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.**

❸ **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 N2O et de CH4, 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.

5. PRECAUTIONS

5.1. Les moyennes régionales peuvent être localement inexactes

Cet outil propose des ordres de grandeurs pour initier une réflexion sur la gestion des sols et de la biomasse en lien avec les activités agricoles, sylvicoles et l'aménagement du territoire. Ces valeurs peuvent être inexactes localement.

En effet, toutes les valeurs moyennes à l'hectare sont calculées à l'échelle de vastes domaines géographiques : les grandes régions écologiques pour la biomasse forestière et les régions pédoclimatiques pour les stocks de carbone dans les sols. Si la moyenne est significative et statistiquement valide à ces échelles, elle peut masquer en réalité des situations locales hétérogènes.

Par exemple, concernant les stocks et flux des forêts, la moyenne calculée à l'échelle des forêts résineuses de Bretagne combine en réalité des peuplements de pins sur le littoral et dans les landes (productivité faible à moyenne) et les plantations industrielles de douglas et d'épicéa de Sitka dans l'intérieur de la Bretagne (forte productivité).

Concrètement cela signifie que l'application à une échelle infra-régionale de valeurs moyennes à l'hectare calculées à l'échelle régionale doit toujours faire l'objet d'une expertise préalable, pour vérifier sa pertinence.

5.2. Le puits de carbone actuel en forêt n'est pas celui de demain

Le puits qui représente aujourd'hui la forêt est lié à une dynamique d'expansion inédite. Au cours du XXème siècle, la surface forestière s'est ainsi accrue de 6 millions d'hectares et couvre aujourd'hui 16,5 millions d'hectares. La maturation de ces forêts se traduit par une augmentation du stock de bois sur pied, qui a doublé au cours des cinquante dernières années. L'augmentation du stock sur pied pouvant être expliqué par l'accroissement des surfaces (ex : recolonisation naturelle d'espaces agricoles abandonnés) et par une moindre exploitation industrielle ou domestique de forêts qui étaient auparavant exploitées par une population essentiellement rurale. Il s'agit d'une situation non stationnaire car le puits carbone in situ est amené à s'arrêter à long terme (l'augmentation de stock de carbone in situ est limitée), jusqu'à arriver aux stocks dit au stade d'équilibre. Deux situations d'équilibre peuvent être différenciées :

- Dans les forêts de production, Dans le cadre conceptuel de la gestion durable, une forêt équilibrée en âge et gérée aurait un taux de prélèvement de 100 %, ce qui équivaut à un flux de séquestration net nul. Concrètement, cela signifie que la production biologique des peuplements en croissance compense les prélèvements qui surviennent dans les peuplements arrivés à matures. Les durées de révolution, les densités des peuplements et les essences marqueront notamment les stocks du système à long terme. Les peuplements gérés seront capables de pourvoir les filières en produits bois pour la construction, l'industrie, l'énergie, la chimie verte, et ils contribueront de ce fait à l'atténuation des effets du changement climatique via le stockage dans les produits bois et l'effet substitution.

- Dans les réserves, la production nette tend à s'annuler à partir d'un certain âge (la production biologique tend à s'équilibrer avec la mortalité) arrivant ainsi aux stocks maximaux (état de saturation).

5.3. Les données intégrées dans l'outil ALDO sur la forêt ne permettent pas de faire de projections sur l'évolution de la forêt.

Les données sur la forêt intégrées dans l'outil ALDO décrivent les stocks et les flux actuels de séquestration en tentant compte la répartition en classes d'âge actuelle des forêts. L'outil ALDO ne permettent pas d'évaluer les stocks de carbone des forêts qui seront maintenus à long terme dépendant des stratégies forestières mises en place. L'outil ALDO ne permet pas non plus d'évaluer la disponibilité additionnelle de biomasse forestière qui dépendra également de l'évolution des pratiques sylvicoles dans le territoire. Ces éléments pourront être complétés et améliorés sur la base des travaux menés par l'ADEME, de ses partenaires et des territoires. Il est important de réaliser des évaluations des stratégies forestières d'atténuation du changement climatique en tenant compte à la fois de l'évolution de la séquestration in-situ et ex-situ et des effets substitution à court, moyen et long termes.

EXPERTISES

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 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_2 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_2 dans les forêts.

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

www.ademe.fr