

---

# Méthodologie de quantification CO<sub>2</sub> EcoTree



EcoTree est une société spécialisée dans la valorisation écologique et économique de la forêt et de son renouvellement. EcoTree propose aux particuliers et aux entreprises d'investir dans la création et l'entretien de massifs forestiers en devenant propriétaires d'arbres sur des propriétés dont le foncier est détenu par EcoTree ou des tiers. En devenant propriétaires, nos clients soutiennent l'office écologique des forêts et en perçoivent les revenus. L'ensemble de la gestion forestière est assuré par les équipes d'EcoTree avec une approche sylvicole dite proche de la nature. Dans cette logique, EcoTree cherche à valoriser toutes les multifonctionnalités de la forêt, parmi lesquelles le stockage de carbone. En 2019, EcoTree a donc élaboré une première version d'un outil qui, basé sur l'itinéraire sylvicole, permet de quantifier le carbone stocké par nos forêts. Cette méthode est constamment améliorée, par exemple pour prendre en compte les produits de la filière bois ainsi que leurs effets de substitution, assurer la clause de permanence, etc. La présente méthode a fait l'objet d'une vérification par Bureau Veritas de son applicabilité aux projets de boisement réalisés par EcoTree.

Mots-clefs : séquestration de carbone, stockage de carbone dans les produits bois, substitution, Label Bas Carbone, sylviculture irrégulière, SMLT

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
1.1	Itinéraires sylvicoles	2
1.2	Stockage du carbone	2
<b>2</b>	<b>Glossaire</b>	<b>2</b>
2.1	Itinéraires sylvicoles, termes forestiers courants	2
2.2	Calcul du carbone	3
2.3	Labellisation (Label Bas Carbone, 2020)	3
2.4	Produits/filière	4
<b>3</b>	<b>Données brutes</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Calcul du carbone séquestré dans l'écosystème forestier selon la méthode LBC adaptée à 100 ans</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Calcul du carbone séquestré dans les scénarios de référence</b>	<b>5</b>
5.1	La reprise de terre agricole	6
5.2	Le boisement d'une prairie ou d'un pâturage	6
5.3	Le boisement d'une terre où il y aurait de la colonisation naturelle/enfrichement	6
<b>6</b>	<b>Calcul du carbone stocké dans les produits de la filière bois</b>	<b>6</b>
6.1	Prise en compte des demi-vies	7
<b>7</b>	<b>Calcul des effets de substitution</b>	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>Concept du Stock Moyen à Long Terme</b>	<b>7</b>
8.1	Explication du concept de SMLT/LTA	7
8.2	SMLT adapté à la sylviculture irrégulière d'EcoTree	8

<b>9 Calcul des Réductions d'Emissions Anticipées (REA) générables du fait de la séquestration du carbone par l'écosystème forestier</b>	<b>9</b>
<b>10 Calcul des REA générables du fait du stockage du carbone dans les produits de la filière bois</b>	<b>10</b>
<b>11 Calcul des Réductions d'Emissions Indirectes (REI) générables</b>	<b>10</b>
<b>12 Utilisation des métriques</b>	<b>10</b>
<b>13 Vérification</b>	<b>11</b>
<b>14 Limites</b>	<b>11</b>
<b>15 Références</b>	<b>12</b>
<b>16 Annexes</b>	<b>12</b>
16.1 Annexe 1 — Pourcentages des différentes qualités de bois . . . . .	12
16.2 Annexe 2 — Evolutions de la méthode . . . . .	12

## 1 Introduction

### 1.1 Itinéraires sylvicoles

EcoTree a d'abord travaillé et défini, avec plusieurs experts et ingénieurs forestiers, des itinéraires de gestion sylvicole types. Ces itinéraires sont des adaptations et des révisions des tables de production de référence, qui, confrontées aujourd'hui au terrain, au changement climatique, et aux méthodes de sylviculture durables privilégiées par EcoTree, ont pu paraître, à plusieurs égards, obsolètes, souvent trop optimistes ou inadaptées.

28 itinéraires sylvicoles théoriques et standardisés ont ainsi été élaborés par EcoTree pour :

- Différentes essences (14)
- Différentes classes de fertilité (3)
- Différents types de gestion (14 × 3 en « irrégulier », 14 × 3 en « régulier »)

Compte tenu du caractère unique de chaque forêt, EcoTree retravaille ensuite l'itinéraire le plus adapté à chaque situation et le soumet à la validation d'un expert forestier qui atteste, selon un certain nombre de critères, de sa cohérence.

La méthode Label Bas Carbone utilise une équation polynomiale afin de déterminer le volume au cours du temps. Cependant, les nouveaux itinéraires sylvicoles sur lesquels se base la présente méthode fournissent les données nécessaires année par année, obtenue avec le logiciel CAPSIS développé par le CIRAD (Site internet dans les références, voir 15).

### 1.2 Stockage du carbone

EcoTree a donc travaillé sur un outil permettant de quantifier, sur la base de l'itinéraire sylvicole choisi, le stockage de carbone espéré pour chaque peuplement. Les clients d'EcoTree peuvent ainsi constater les bénéfices d'une bonne gestion forestière, en termes de stockage de carbone.

Si cet outil de quantification se base sur les équations de quantification du Label Bas Carbone (LBC) Version 2 du 27/07/2020, il s'en distingue par le fait qu'EcoTree ne limite pas ses calculs à 30 ans, mais quantifie le carbone stocké tout au long de la durée de vie des arbres: les projets sont calculés sur 100 ans pour les métriques idoines.

## 2 Glossaire

### 2.1 Itinéraires sylvicoles, termes forestiers courants

Rotation : durée séparant deux passages successifs d'une coupe de même nature dans la même parcelle. Ex : rotation de 12 ans pour les coupes d'éclaircies de feuillus. (Glossaire de sylviculture)

Révolution : durée de renouvellement d'un peuplement séparant deux coupes rases ou régénérations successives.

---

Hauteur dominante : moyenne des hauteurs totales des cent plus gros arbres à l'hectare dans un peuplement.

Surface terrière : somme des surfaces des sections des tiges d'un peuplement à 1,3 m du sol. Elle s'exprime donc en m<sup>2</sup>/ha.

Volume bois fort : volume de bois d'un arbre pour un diamètre de découpe s'arrêtant à 7 cm.

Litière : la litière est l'ensemble des feuilles mortes et des débris végétaux en décomposition sur le sol ; elle accueille un écosystème d'organismes décomposeurs qui la transforme peu à peu en humus (Source : futura-sciences).

Humus : couche supérieure du sol créée et entretenue par la décomposition de la matière organique, essentiellement par l'action combinée des animaux, des bactéries et des champignons du sol ; elle est de couleur foncée car elle contient beaucoup de carbone (Source : actu-environnement).

Productivité : accroissement du volume de matière ligneuse (en m<sup>3</sup>/ha/an).

## 2.2 Calcul du carbone

Les 3 S :

- Séquestration (dans la biomasse) : piégeage du CO<sub>2</sub> dans la biomasse par photosynthèse.
- Stockage (dans les produits) : stockage du CO<sub>2</sub> dans les produits de la filière bois (meubles, caquettes, poutres, copeaux, etc.).
- Substitution : cf. paragraphe produits/filière 2.4 (et voir 7 pour les coefficients exacts).

Biomasse : masse ou quantité totale de matière organique provenant d'organismes vivant dans une zone particulière à un moment donné.

- Biomasse d'un arbre : biomasse aérienne + biomasse racinaire.
- Biomasse aérienne : comprend le tronc et le houppier.
- Biomasse racinaire : comprend la partie racinaire dans le sol.

Infradensité : rapport entre la masse de bois sec et le volume de bois vert = masse sèche contenue dans le volume humide.

tMS : tonne de masse sèche, c'est la métrique utilisée pour calculer le volume avant de passer en évaluation carbone (taux de carbone = 0.475 tC/tMS) puis équivalent dioxyde de carbone.

Carbone vs dioxyde de carbone (C/CO<sub>2</sub>) : Certains documents utilisent le carbone plutôt que le dioxyde de carbone comme valeur. La fraction de carbone dans le dioxyde de carbone est le rapport de leurs poids. Le poids atomique du carbone est de 12 unités de masse atomique, tandis que le poids du dioxyde de carbone est de 44, car il comprend deux atomes d'oxygène qui pèsent chacun 16. Donc, pour passer de l'un à l'autre, il faut utiliser la formule : une tonne de carbone équivaut à  $44/12$  (tCO<sub>2</sub>/tC) = 3.67 tonnes de dioxyde de carbone. Ainsi, 11 tonnes de dioxyde de carbone égalent 3 tonnes de carbone.

Carbone additionnel (ou additionnalité) : quantité de carbone produite dans le cadre du projet (peuplement, produits et, dans une moindre mesure, substitution). Les quantités de carbone du sol et de la litière ne sont pas prises en compte, sauf dans le cas d'une conversion de terrain agricole où le projet améliore la capacité de stockage de carbone du sol.

## 2.3 Labellisation (Label Bas Carbone, 2020)

Scénario de référence : hypothèses permettant de déterminer l'état d'une parcelle (sol et peuplement) dans le cas où le projet n'aurait pas lieu et qu'il n'y aurait pas de modification d'usage. On distingue trois cas : balivage, boisement et reconstitution de forêts dégradées. Ce document concerne les scénarios de boisement (sur terrain agricole, prairie/pâturage, ou enrichissement (i.e. parcelle laissée à l'abandon et qui se régénère naturellement)) et de reconstitution de peuplements dégradés (i.e. dans ce cas, selon le document LBC, le scénario de référence est celui de la friche).

SMLT : Stock à Moyen Long Terme (« Long-Term average (LTA) » dans la méthode Verra) est une valeur en relation avec le concept de permanence des crédits carbone. Cette notion est développée plus bas (cf chapitre 8.1).

---

Réductions d'émissions anticipées (REA) : les REA prennent en compte les stockages de carbone dans les arbres sur pied (REA forêt), et les stockages de carbone dans les produits bois (REA produits). Elles se calculent par une différence entre le scénario du projet et le scénario de référence (i.e. si le projet n'était pas implémenté).

Réductions d'émissions indirectes (REI) : la substitution que pourrait apporter l'utilisation des produits bois issus des REA produits est calculée. Pour cela un coefficient de substitution est appliqué selon le type de bois (cf. paragraphe suivant 2.4)

## 2.4 Produits/filière

Pourcentages BO-BI-BP-BE : BO = bois d'œuvre (charpentes, poutres, menuiserie...) ; BI = bois d'industrie (palettes, panneaux...) ; BP = bois pour pâte à papier ; BE = bois énergie (plaquettes forestières, bûches...). Selon le diamètre et la qualité des troncs coupés, leur devenir est réparti entre ces différentes catégories. Les prix et les durées de vie en dépendent également :  $BE < BP < BI < BO$ .

Demi-vie : temps au bout duquel la moitié du carbone (ou équivalent CO<sub>2</sub>) stocké dans le bois est retournée à l'atmosphère du fait de la dégradation du matériau. Il dépend du type de produit bois : BO, BI, BP ou BE. (cf. Figure 1).

Substitution : fait de remplacer les sources d'énergie fossile (charbon, pétrole...) ou l'utilisation de matériau à la production énergivore et/ou polluante (aluminium, béton) par du bois. Les quantités de carbone évitées par l'utilisation de ce matériau renouvelable plutôt qu'un autre non-renouvelable sont dites substituées. Le coefficient de substitution dépend du type de produit bois : BO, BI, BP ou BE.

## 3 Données brutes

Les données brutes sont issues des itinéraires sylvicoles EcoTree qui formalisent un certain nombre de données par année et par hectare. Pour la méthode, les données suivantes sont utilisées :

- nombre de tiges,
- volume total des tiges,
- volume prélevé dans le cas d'une année de coupe,
- diamètre moyen des tiges,
- les pourcentages d'utilisation des grumes pour la répartition en bois énergie, bois d'industrie et bois d'œuvre.

Il est à noter que c'est le volume bois fort, i.e. le volume du tronc jusqu'au diamètre de découpe 7 cm, qui est utilisé dans les itinéraires sylvicoles.

Les itinéraires utilisés comme données d'entrée concernant une seule essence, on utilise l'essence dite « objectif » et les pourcentages sont indiqués (quand disponibles) sur les attestations des experts forestiers. Pour les calculs, l'essence objectif est prise en compte sur 100 % de la parcelle, cela implique une approximation dans les résultats que nous jugeons négligeable par rapport à l'incertitude générale de la présente méthode (ce nonobstant, lorsqu'il est possible d'évaluer finement la réalité du terrain, nous séparons les essences en les modélisant comme parcelles distinctes).

Lorsque sur certaines parcelles plusieurs essences sont plantées comme objectif, les calculs sont effectués séparément pour chaque parcelle.

## 4 Calcul du carbone séquestré dans l'écosystème forestier selon la méthode LBC adaptée à 100 ans

Dans un premier temps, les quantités de carbone séquestrées dans les différents compartiments du peuplement sont calculées (Gleizes, 2017 et Carbofor, 2004).

---

Le stockage carbone total sur 1 ha à l'instant t est égal à  $(ba + br).tc + S_{sol} + S_{lit} + b_{mort}$ , exprimé en tMS. Ce résultat est multiplié par 44/12 pour trouver le résultat en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent (TeqCO<sub>2</sub>).

En détaillant chaque coefficient :

La biomasse aérienne (ba) :

$$ba = vol.exp_{aero}.infracdensité$$

exprimée en tMS avec :

- *vol* : volume des tiges des arbres sur pied à l'instant t sur un hectare,
- *exp<sub>aero</sub>* : coefficient d'expansion aérienne. Facteur d'expansion « branches » de 1,335 pour les conifères et de 1,611 pour les feuillus, tirés du Label Bas Carbone ou bien de la littérature lorsque l'essence n'apparaît pas dans celui-ci (par exemple pour le Thuya, voir 15, en référence),
- *infracdensité* : les valeurs utilisées sont définies par essence (Label Bas Carbone, 2020).

La biomasse racinaire (br) :

$$br = e^{-1.0587+0.8836.ln(ba)+0.2840}$$

exprimée en tMS (Label Bas Carbone, 2020 sur la base des travaux de Cairns et al., 1997)

La séquestration totale de carbone dans l'arbre est obtenue en multipliant  $(ba + br)$  par  $t_c$  (taux de carbone = 0.475 tC/tMS (Giec, 2006)).

Le stockage de carbone dans le sol :

Il y a ici une différence selon le scénario de référence. Il est considéré que pour une terre agricole, le sol se régénère pour retourner à l'équilibre de 70 tC/ha à partir de 45 tC/ha.

$$S_{sol} = C_{ref} + (C_f - C_{ref}).(1 - e^{-0.0175.t})$$

depuis (Arrouays et al., 2002) p.161. Bien-sûr si  $C_{ref} = C_f$  (pour enrichissement ou prairie) alors  $S_{sol} = C_{ref} = 70$  tC/ha.

Le stockage de carbone dans la litière :

Le Label Bas Carbone propose que l'équilibre soit atteint à 30 ans. Nous considérons donc que le stock est à l'équilibre par la suite.

$$S_{lit} = \frac{t.(L_{eq} - l_0)}{30}$$

pour  $t \leq 30$  ans

$S_{lit} = L_{eq}$  pour  $t > 30$  ans

avec  $L_{eq}$  = stock de carbone à l'équilibre = 10 tC/ha.

Le stockage de carbone dans le sous-étage :

Il est considéré que le sous-étage compte pour 2,4 tC/ha pour les feuillus et 6,5 tC/ha pour les résineux (Carbofor, 2004). Ces coefficients ne sont pas implémentés à ce jour dans cette méthode.

Le stockage de carbone dans le bois mort :

Il est négligé d'après le LBC, donc  $b_{mort} = 0$ .

Jusqu'à 30 ans cette hypothèse était valide. Elle ne le sera peut-être plus à 100 ans. Toutefois, EcoTree met en œuvre une gestion en sylviculture irrégulière, avec des coupes légères mais plus fréquentes. Les arbres dépérissants sont donc récoltés avant de devenir du bois mort. Pour répondre aux normes pour la biodiversité, 3 ou 4 arbres morts (ou « arbres bio ») sont gardés par hectare. Leur volume est pour l'instant considéré comme négligeable.

## 5 Calcul du carbone séquestré dans les scénarios de référence

Afin de suivre la méthodologie du Label bas Carbone, un scénario de référence doit être sélectionné. En effet, « Seules les réductions d'émissions allant au-delà de ce scénario de référence sont reconnues dans le cadre du Label », Référentiel du Label bas carbone (III.C.1).

Trois scénarios de référence (calculés pour tout t dans la durée du projet) existent : reprise de terre agricole, reprise de prairie ou de pâturage et reprise de friche. Dans le cas où le projet est une reprise de coupe rase (ou coupe à blanc) le scénario de référence sélectionné est « reprise de friche ».

---

## 5.1 La reprise de terre agricole :

Il n'y a pas d'accru en termes de biomasse qui vaut alors 5 tC/ha constante.

Stockage dans le sol : 45 tC/ha.

Il n'y a pas de litière.

Donc la constante de départ est de 50 tC/ha.

## 5.2 Le boisement d'une prairie ou d'un pâturage :

Il n'y a pas d'accru en termes de biomasse : 0 tC/ha constante.

Stockage dans le sol : 70 tC/ha.

Il n'y a pas de litière.

Donc la constante de départ est de 70 tC/ha.

## 5.3 Le boisement d'une terre où il y aurait de la colonisation naturelle/enfrichement :

Il est considéré qu'il y a un accru de biomasse de  $1\text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$  en démarrant sur une parcelle vide (pâturage ou coupe rase). Sur une période de 30 ans dans le Label Bas Carbone, le scénario de référence resterait exclusivement une friche. Ici, sur des projets longs (100 ans et plus), la succession écologique aura déjà eu le temps de se mettre en place, la friche devient donc petit à petit une forêt. L'accroissement de  $1\text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$  reste cohérent. On arrête cependant les accrues de  $1\text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$  à 75 ans puis on reste sur cette valeur stationnaire de  $75\text{ m}^3/\text{ha}$ . Selon les dires d'experts, c'est une valeur raisonnable. Il apparaît en effet probable qu'au delà de 75 ans on arrive à une forêt de type taillis pauvre stable, surtout si elle est utilisée régulièrement pour obtenir du bois de chauffe sur les essences pionnières comme la méthode le stipule lorsqu'elle pose que l'on ne récolte pas de produits bois (calcul du REA produits depuis LBC) hors bois de chauffe dans ce scénario de référence.

Pour le coefficient d'expansion aérienne nous utilisons une moyenne des coefficients feuillus/résineux (soit respectivement 1.611 et 1.335).

Nous utilisons les formules précédentes de calcul de biomasse avec un stockage dans le sol de 70 tC/ha constant de départ (soit un pâturage qui s'enfriche, soit une coupe rase qui a donc un sol forestier). Pour le stock dans la litière, la formule utilisée est celle adaptée à 100 ans comme précédemment, en effet nous considérons que la litière est soit inexistante soit très endommagée au début du projet.

Au niveau de la production de produits bois, nous considérons que, vu que la friche qui devient une forêt petit à petit n'est pas touchée lors des projets d'EcoTree, il n'y a pas de stockage en produit bois sur ce scénario de référence, ni donc de substitution, conformément aux préconisations du LBC.

## 6 Calcul du carbone stocké dans les produits de la filière bois

Selon le diamètre moyen des tiges prélevées, plusieurs catégories de produits sont différenciées. Les quantités de carbone qui y sont stockées et leur durée de stockage en dépendent :

- BO = stock de carbone des produits bois à destination du sciage (bois d'œuvre),
- BI = stock de carbone des produits bois à destination de l'industrie. Deux sous-catégories peuvent être distinguées : le bois pour la pâte à papier (BP = 44 % du BI), les panneaux (BPa = 56 % du BI),
- BE = stock de carbone des produits bois à destination du bois énergie. Aucune REA n'est prise en compte pour le BE.

La méthode de calcul suivante est mise en œuvre pour déterminer la quantité de carbone dans les produits à l'instant  $t$  : le carbone ( $\text{TCO}_2\text{eq}$ ) extrait lors des années de coupe est calculé, en séparant le volume de bois en bois industrie (BI) et bois d'œuvre (BO) ; les pourcentages de bois de qualité par essence sont issus des travaux du Cemagref-IFN, adaptés pour le Label Bas Carbone (Cemagref-IFN, 2009 et Label Bas Carbone, 2020). Nous avons actuellement implémenté une version de ces pourcentages de qualité de bois par essence tirés des hypothèses qualité de l'IFN (cf. Annexe 1, page 12) ; ces pourcentages prennent déjà en compte les 50 % du BO qui passent en BE dû au rendement de sciage (Label Bas Carbone, 2020).

## 6.1 Prise en compte des demi-vies :

Pour les années entre les coupes, nous calculons la dégradation du stockage de CO<sub>2</sub> équivalent (équation de demi-vies selon le type : BI = 25 ans, BO = 35 ans, BP = 2 ans ; voir figure 1) des coupes précédentes.

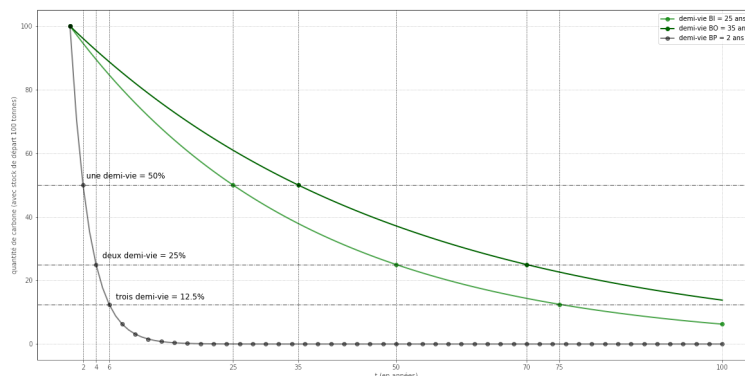


Figure 1: Demi-vies pour les différentes classes de produits bois

Ceci est calculé pour chaque coupe par :

$$C(n+1) = C(n).e^{-k} \text{ avec } k = \frac{\ln(2)}{t_{demi}} \text{ (Pingoud, 2006).}$$

Pour les années de coupe, nous rajoutons les différents pourcentages aux stocks de qualité de bois. Les coupes étant réalisées en fin d'année nous ne tenons pas compte de la dégradation des stocks ajoutés lors de l'année de coupe, mais bien de la dégradation de tous les stocks dans les produits bois des années précédentes. À chaque année  $t$  nous recensons donc le stock total de carbone (ici équivalent CO<sub>2</sub>) stocké individuellement dans les différents types de produits bois : BE, BP, BI et BO.

## 7 Calcul des effets de substitution

La substitution concerne les différentes catégories de produits : BE, BI et BO. Les coefficients suivants (Label Bas Carbone, 2020) sont utilisés :

- BO = 1,52
- BI = 0 pour le papier (BP = 44 % du BI), 0,77 pour les panneaux (BPa = 56 % du BI)
- BE = 0,25

Il s'agit d'une multiplication du volume de bois en mètre cube extrait lors des éclaircies par les coefficients de substitution (ClimWood2030, 2016), en prenant en compte les pourcentages de qualité bois ainsi que les connexes de sciage. Le calcul est effectué par coupe et en cumulatif. Il est cohérent de considérer ces effets de substitution comme cumulatif et définitif (ONF, webinaire 08/12/2020) pour obtenir un chiffre final global. De même, « la courbe à une forme particulière avec des paliers correspondant à un seuil d'émissions évitées à chaque éclaircie réalisée qui permet de mobiliser du bois supplémentaire à destination de la construction par exemple. » (Gleizes, 2017)

## 8 Concept du Stock Moyen à Long Terme

### 8.1 Explication du concept de SMLT/LTA

- SMLT : Stock Moyen à Long Terme
- LTA : Long Term Average (depuis Verra)

---

Le vocabulaire de « moyen » (ou « *average* ») est ambigu. Il ne s'agit pas ici d'une moyenne même si le calcul le laisse supposer car les valeurs sur lesquelles se base l'équation sont des valeurs cumulatives (le stock de bois fort sur une parcelle forestière ou par extension le dioxyde de carbone séquestré sur ladite parcelle). Cela n'a donc aucun sens de parler de moyenne.

Le concept de SMLT est en relation avec **le concept de permanence des crédits carbone. Il définit en substance la valeur théorique maximale du volume de bois sur une parcelle forestière, sur un temps infini.** Ce concept est particulièrement important lorsque le stock de bois fluctue fortement, par exemple dans le cas d'une gestion équiennne (ou en sylviculture régulière) où l'on assiste à une succession de rotations forestières (plantation, éclaircies, coupe rase, etc.). Dans ce cas on a la répétition « à l'infini » d'un motif, le SMLT représente une valeur statistique si celle-ci était constante. La formule consisterait à additionner le stock de bois par an, toutes les années de 0 à n, et à diviser par le nombre d'années (donc n), lequel est infini. On doit donc prendre la limite lorsque n tend vers l'infini. Mathématiquement, cela est équivalent à faire le calcul sur une rotation (elle est répétée à l'identique à l'infini, le nombre de rotations « se simplifie »).

## 8.2 SMLT adapté à la sylviculture irrégulière d'EcoTree

Dans le cas où l'on n'a pas de motif répétitif, la méthode Verra préconise de prendre pour le calcul précédent : valeur de n = la durée du projet. **Cela revient à dire, si on se replace dans un contexte forestier, que l'on effectue une coupe rase à la fin du projet et que l'on repart pour un projet identique, qui devient le motif.** Dans la suite de ce document nous appellerons cette méthode la méthode Verra (voir la dernière entrée du §15 : les références). Nous pensons que cela ne représente pas convenablement la réalité de la sylviculture de type irrégulier que nous pratiquons.

En effet, la sylviculture irrégulière présente la particularité de **viser un état stable où tout le volume qui est extrait de la forêt est remplacé par la régénération naturelle, on tend vers un état stationnaire.** Cela est modélisé chez EcoTree par une série de motifs identiques qui représente l'évolution du stock de bois fort entre chaque éclaircie, et qui se répète à l'infini. Le SMLT, dans ce cas, est la valeur calculée comme précédemment sur l'un de ces motifs<sup>1</sup>, la figure 2 propose un exemple sur le Douglas, la figure 3 sur le Chêne Sessile. Dans la suite de ce document nous appellerons cette méthode la méthode « infini ».

Il est à noter que dans le cas d'un scénario de référence agricole le motif final n'est pas réellement stable au cours du temps. Ceci est dû à l'équation de stockage du carbone dans le sol (voir section 4). Nous utilisons tout de même le dernier motif pour le calcul dans la mesure où nous restons conservateurs ce faisant, le sol agricole continuant de tendre lentement vers un sol forestier plus riche.

De la même façon, le cas des stocks produits est plus compliqué car il n'est pas réellement stable non plus mais évolue lentement au cours du temps ; dans la plupart des cas il augmente. Nous utilisons ce nonobstant, la même méthode (i.e. on postule que le dernier motif se répète à l'infini) ce qui implique une valeur conservatrice et va dans le sens du respect de la nature versus le modèle.<sup>2</sup>

Dans le cas des scénarios de référence, les valeurs étant stationnaires (le scénario friche devient stationnaire à partir de 75 ans) **les valeurs du SMLT sont ces valeurs stationnaires**, quelle que soit la méthode (Verra ou « infini »). Par exemple, pour la friche la SMLT est de 75 m<sup>3</sup>/ha.

Toujours **afin de rester conservateur face au risque de non-permanence, ainsi que dans un souci d'humilité par rapport à notre modèle expérimental de sylviculture irrégulière, une décote (buffer) de 10 % est appliquée** au calcul du SMLT, que ce soit sur la partie de séquestration ou sur la partie de stock des produits bois. Cependant, toujours pour rester conservateur, cette décote n'est pas appliquée sur les calculs de SMLT des scénarios de référence.

---

<sup>1</sup>Notre modélisation de sylviculture nous amène à définir un motif qui correspond à la fonction volume/temps entre deux éclaircies. Si l'on pose ce motif comme le terme d'une suite, il existe un certain rang N à partir duquel la différence entre deux termes tend vers zéro. En fait, à partir du moment où l'on se situe dans la zone irrégulière (régime permanent) cette différence est par définition du modèle égale à zéro, ce même motif étant répété *ad infinitum*. Cette suite est donc une suite de Cauchy. De plus cette modélisation est effectuée sur  $\mathbb{R}$  (l'ensemble des réels, de dimension finie 1), donc un espace de Banach. La suite est donc convergente (vers une valeur limite, ici le SMLT/LTA). Le début de l'itinéraire n'a donc conceptuellement aucun impact sur la valeur limite, celle-ci ne dépend que de l'état stationnaire.

<sup>2</sup>La méthode de calcul par demi-vies est déjà basée sur des coefficients conservateurs.



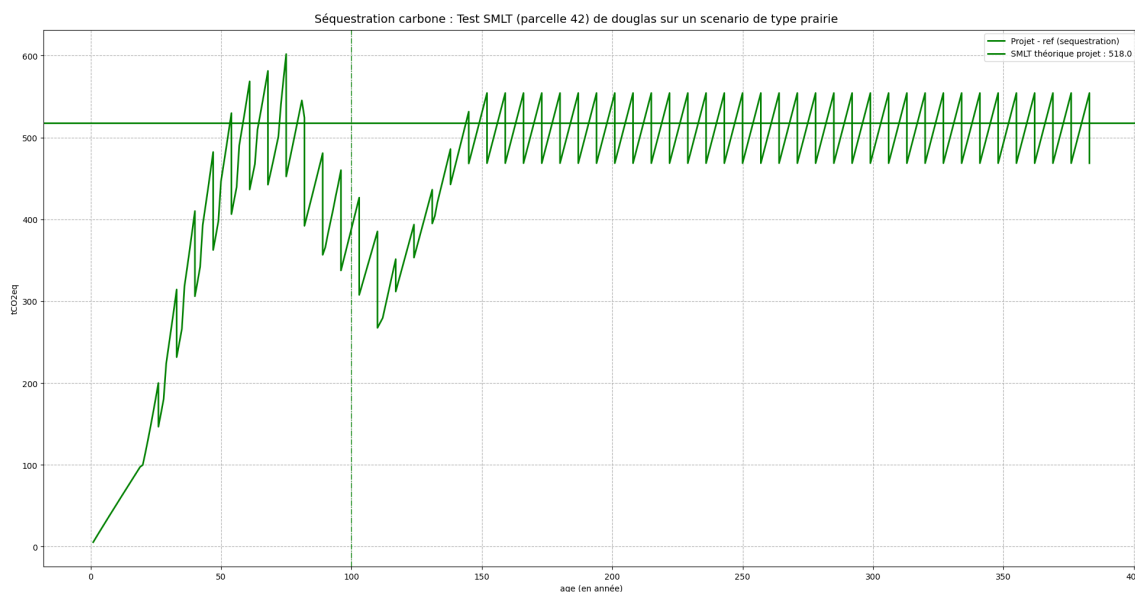


Figure 2: Exemple dans le cas de la séquestration du carbone sur un itinéraire irrégulier de Douglas pour un scénario de type friche

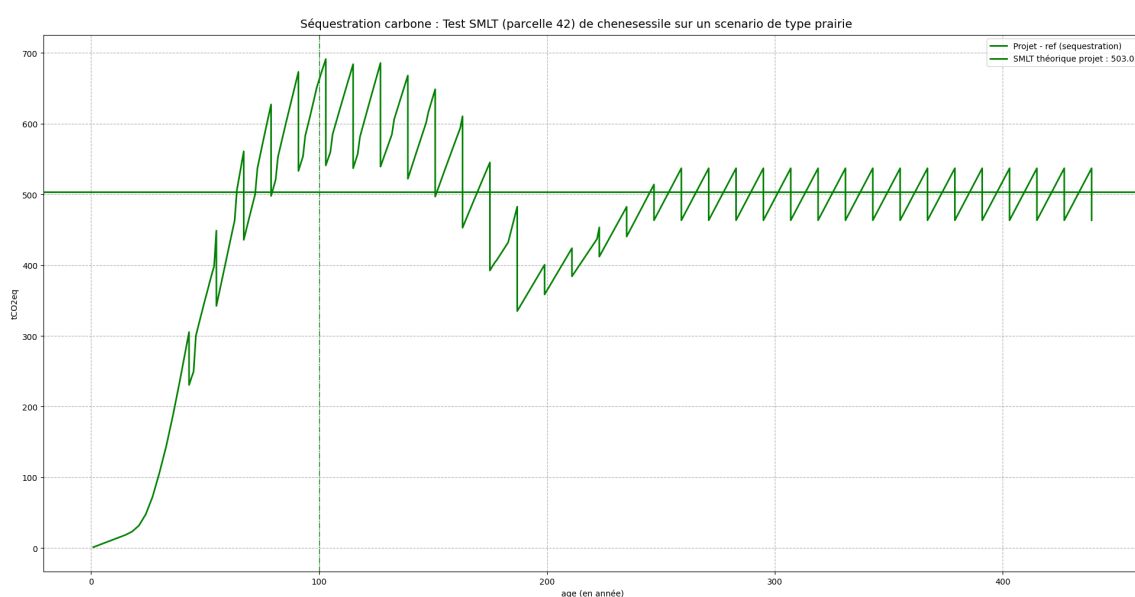


Figure 3: Exemple dans le cas de la séquestration du carbone sur un itinéraire irrégulier de Chêne Sessile pour un scénario de type friche

## 9 Calcul des Réductions d'Émissions Anticipées (REA) générables du fait de la séquestration du carbone par l'écosystème forestier

Les REA sont toujours calculées par rapport à un scénario de référence et sur la totalité de la durée du projet. Pour les calculer, il faut rechercher le minimum entre :

- la différence entre le stockage dans l'écosystème forestier du projet et du stockage du scénario de référence à l'issue du projet (100 ans).
- la différence sur les Stocks à Moyen Long Terme (SMLT) sur la durée du projet.

$$REA_{foret} = \min(\Delta S(100), \frac{1}{R} \cdot \sum_{n=0}^R S_{projet}(n) - \frac{1}{R'} \cdot \sum_{n=0}^{R'} S_{ref}(n))$$

avec :

- $\Delta S(100)$  : différence de séquestration de carbone à l'année 100 entre le scénario de projet et le scénario de référence (en TCO<sub>2eq</sub>),
- $S_{projet}$  : la séquestration de carbone dans les compartiments forestiers du scénario de projet (en TCO<sub>2eq</sub>),
- $S_{ref}$  : la séquestration de carbone dans les compartiments du scénario de référence, (en TCO<sub>2eq</sub>),
- R : durée de révolution de l'essence de projet,
- R' : durée de révolution du scénario de référence. Si l'âge d'exploitabilité des accrues n'est pas connu, on appliquera le même âge que pour le scénario de projet, par conséquent R = R'.

## 10 Calcul des REA générables du fait du stockage du carbone dans les produits de la filière bois

Comme pour les REA générables grâce à la séquestration, ces REA dues au stockage de carbone dans les produits bois sont calculées à la fin du projet.

La valeur est calculée selon la formule ci-dessous, sur la durée du projet (100 ans). On utilise les différences de stockage du carbone dans les produits bois entre le projet et le scénario de référence. Dans les cas de reprise de terrain agricole ou prairies/pâturage, il n'y a bien sûr pas de produits bois. Dans le cas d'un enrichissement, nous considérons que la parcelle n'est pas exploitée donc il n'y a pas non plus de produits bois. La formule du REA produit est la suivante :

$$REA_{produits} = \frac{1}{100} \cdot \sum_{n=0}^{100} (C_{projet}(n) - C_{ref}(n))$$

avec :

- $C_{projet}$  : stock de carbone dans les produits bois qui seraient récoltés dans le scénario de projet (en TCO<sub>2eq</sub>),
- $C_{ref}$  : stock de carbone dans les produits bois qui seraient récoltés dans le scénario de référence (en TCO<sub>2eq</sub>).

## 11 Calcul des Réductions d'Emissions Indirectes (REI) générables

Elles sont calculées de même à la fin du projet. Cette fois, c'est le cumul sur la durée du projet (100 ans) des différences de stockage du carbone dans les produits bois entre le projet et le scénario de référence qui est calculé. Par la suite, le résultat est multiplié par les coefficients de substitution. Ce sont donc directement les chiffres calculés précédemment qui sont utilisés ; en effet il n'y a pas de substitution dans les scénarios de référence car pas de production de produits bois. Ces chiffres sont purement indicatifs et ne sauraient être utilisés autrement que comme communication/pédagogie pour changer les pratiques de consommation, etc.

## 12 Utilisation des métriques

Les chiffres affichés par EcoTree sur ses prévisions du carbone des projets forestiers en fin de projet (à t = 100 ans donc) sont les valeurs calculées selon le méthode du SMLT « infini », purement additionnelles pour les parties séquestration et stock produits bois ainsi que, de manière indicative, la REI pour la partie substitution à cette date finale. Par cela est entendue ladite valeur SMLT « infini » de la séquestration carbone à la fin du projet (avec la décote de 10 %), plus la valeur SMLT « infini » du stockage dans les produits (idem pour la décote), moins la valeur SMLT « infini » de la séquestration du scénario de référence (sans la décote). En effet, il n'y a pas de stockage dans les produits bois pour nos scénarii de référence (agricole ou prairie évidemment mais aussi friche selon l'hypothèse faite (cf. paragraphe idoine)).

Cette valeur est préférée à la valeur REA qui apporte des restrictions très conservatrices et ne s'appliquent pas à la stratégie sylvicole d'EcoTree qui valorise la gestion sur le long terme par la mise en place d'itinéraires irréguliers. En effet, les projets de boisement ou reboisement d'EcoTree n'ont pas vocation à aboutir à une coupe rase mais bien à

---

consolider le patrimoine forestier et la biodiversité d'un écosystème forestier complet. De la même façon, travailler avec le vivant sur des projets à long terme implique pour les clients d'EcoTree d'en accepter les risques inhérents. EcoTree prépare ses plans de gestion forestiers en prenant en compte, au mieux des connaissances actuelles, les futurs aléas dus au changement climatique avec, par exemple, le choix des essences plantées et les théories de résilience des écosystèmes comme paramètres.

Il y a donc, pour chaque projet forestier incluant de la plantation, trois métriques calculées :

- la valeur appelée « bilan EcoTree » qui correspond au stock de carbone additionnel à la fin du projet (i.e. *séquestration du projet – séquestration du scénario de référence + stock produits/projet*), souvent c'est à 100 ans que s'arrêtent les projets. Dénomination **Bilan de séquestration et stockage carbone additionnel à 100 ans**, cette valeur est indicative.
- les REAs (forêt + stocks produits + total) calculées selon les équations LBC avec la méthode du SMLT Verra (i.e. sur la durée du projet donc le plus souvent 100 ans). Dénomination **REA forêt**, **REA produits** et **REA totale**. Dans les cas où la date de fin de projet correspond à une date de coupe, les valeurs de séquestration et de stock produits (et donc de substitutions possibles) qui sont utilisées correspondent aux valeurs « avant coupe », on considère en effet que les coupes sont effectuées en fin d'année.
- les valeurs « forêt » + « stocks produits » + « totales » calculées selon la méthode du SMLT « infini ». On rappelle que la valeur « forêt » correspond à la valeur additionnelle, soit la différence entre projet et scénario de référence. Dénomination **SMLT/LTA « infinity » forêt**, **SMLT/LTA « infinity » produits**, **SMLT/LTA « infinity » total**.

## 13 Vérification

EcoTree fait donc appel à Bureau Veritas pour chaque peuplement afin de :

- vérifier la cohérence entre les itinéraires sylvicoles validés par l'expert et ceux utilisés pour la quantification carbone des projets,
- vérifier le contenu et le respect de la méthodologie de quantification carbone EcoTree,
- attester de la bonne application des calculs de quantification carbone selon l'itinéraire sylvicole : dans le scénario de référence, comme dans le scénario du projet ; sur la période définie par l'itinéraire.

## 14 Limites

EcoTree attire néanmoins l'attention de chacun sur le fait :

- que le monde du vivant étant par définition difficilement quantifiable, cette méthodologie de captation du carbone d'EcoTree est par essence une estimation et en aucun cas une mesure juste et parfaite, et ce pour les raisons suivantes :
  - (i) elle est elle-même basée sur notre méthodologie d'itinéraires sylvicoles ; méthodologie nouvelle pour une forêt résiliente, théoriquement juste, mais que le monde du vivant et les aléas naturels (notamment le réchauffement climatique) pourraient modifier ;
  - (ii) elle est réalisée *ex-ante*, c'est-à-dire que cette estimation est issue d'une vision prospective de la croissance des peuplements et de leur séquestration de carbone. Ainsi, elle permet de cadrer le puits de carbone que la forêt est susceptible de créer tout au long du cycle en question ;
  - (iii) par conséquent, les chiffres sont arrondis à la tonne de CO<sub>2</sub> équivalent ;
  - (iv) par ailleurs, une mesure *ex-post* réalisée par EcoTree et ses équipes permettra de préciser la captation de carbone effective, année après année ;
- que toute action ayant pour but de contribuer à la création de puits de carbone n'a de sens que si elle s'inscrit dans une démarche plus globale incluant évitement et réduction ;
- qu'envisager l'engagement en forêt pour sa seule capacité de séquestration et de stockage de carbone pourrait favoriser le développement d'une gestion peu durable et respectueuse de l'environnement et de sa biodiversité ;

## 15 Références

- Logiciel CAPSIS : Croissance d'Arbres en Peuplement avec Simulation d'Itinéraires Sylvicoles (<http://capsis.cirad.fr/>)
- Glossaire de sylviculture [http://www.cdaf.be/docs/web/pdf/A0\\_interreg/GLOSSAIRE\\_sylviculture.pdf](http://www.cdaf.be/docs/web/pdf/A0_interreg/GLOSSAIRE_sylviculture.pdf)
- Méthode conversion de taillis en futaie sur souches, 2020. Label Bas Carbone.
- Méthode boisement, 2020. Label Bas Carbone.
- Méthode reconstitution de peuplements forestiers dégradés, 2020. Label Bas Carbone
- GINISTY Christian, CHEVALIER Hélène, VALLET Patrick, COLIN Antoine (IFN), 2009. Évaluation des volumes de bois mobilisables à partir des données de l'IFN "nouvelle méthode" — Actualisation 2009 de l'étude "biomasse disponible" de 2007. Convention Cemagref-IFN-DGFAR Disponible sur Internet à l'adresse : [https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/rapport\\_biomasse-2009vf.pdf](https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/rapport_biomasse-2009vf.pdf)
- ARROUAYS Dominique, BALESDENT Jérôme, GERMON Jean-Claude, JAYET Pierre-Alain, SOUSSANA Jean-François, STENDEL Pierre, 2002. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? (Expertise scientifique collective). INRA, 334 p.
- CAIRNS Michael, BROWN Sandra, HELMER E.H., BAUMGARDNER Greg, 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 11:1-11.
- EGGLESTON H.S., BUENDIA L., MIWA K., NGARA T. et TANABE K. (eds), IGES, Japon, Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), 2006. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.
- Disponible sur Internet à l'adresse : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/index.html>
- PINGOUD Kim, WAGNER Fabian, 2006. Methane Emissions From Landfills And Carbon Dynamics Of Harvested Wood Products: The First-order Decay Revisited, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change
- GLEIZES Olivier, 2017. Faire un diagnostic carbone des forêts et des produits bois à l'échelle d'un territoire (étude de faisabilité Climafor) – Rapport final. ADEME. 118 p.
- Rapport final du projet CARBOFOR, Séquestration de Carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. (Coordinateur) Denis Loustau, Juin 2004.
- Western Red Cedar's datasheet, Tropix, Cirad, 2012 <https://tropix.cirad.fr/FichiersComplementaires/EN/Tempere/WESTERN%20RED%20CEDAR.pdf>
- VCS Guidance for Harvesting scenarios (2018/03) [https://verra.org/wp-content/uploads/2018/03/VCS-Guidance-Harvesting-Examples\\_0.pdf](https://verra.org/wp-content/uploads/2018/03/VCS-Guidance-Harvesting-Examples_0.pdf)
- ClimWood2030 'Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products: Perspective 2030' Final Report [https://www.researchgate.net/publication/326326498\\_ClimWood2030\\_'Climate\\_benefits\\_of\\_material\\_substitution\\_by\\_forest\\_biomass\\_and\\_harvested\\_wood\\_products\\_Perspective\\_2030'\\_Final\\_Report](https://www.researchgate.net/publication/326326498_ClimWood2030_'Climate_benefits_of_material_substitution_by_forest_biomass_and_harvested_wood_products_Perspective_2030'_Final_Report)

## 16 Annexes

### 16.1 Annexe 1 — Pourcentages des différentes qualités de bois

Nous sélectionnons ces pourcentages selon les diamètres (selon l'IFN), données modifiées pour prendre en compte les hypothèses du LBC (50 % des sciages de BO perdu, passé en BE).

CHENE			
Dg (cm)	BE	BI	BO
< 27,5	0%	100%	0%
[27,5 - 47,5[	35%	30%	35%
≥ 47,5	45%	10%	45%

SAPIN + EPICEA COMMUN			
Dg (cm)	BE	BI	BO
< 22,5	5%	90%	5%
≥ 22,5	40%	20%	40%

HETRE			
Dg (cm)	BE	BI	BO
< 27,5	0%	100%	0%
[27,5 - 47,5[	30%	40%	30%
≥ 47,5	45%	10%	45%

PIN SYLVESTRE + PIN MARITIME + AUTRES RESINEUX			
Dg (cm)	BE	BI	BO
< 22,5	0%	100%	0%
≥ 22,5	35%	30%	35%

AUTRES FEUILLUS			
Dg	BE	BI	BO
Dg	25%	50%	25%

### 16.2 Annexe 2 — Evolutions de la méthode

La méthodologie EcoTree en est à sa troisième version majeure, ci-après un rappel des principales étapes :

- Version 1 — adaptation du Label Bas Carbone aux projets sylvicoles à 100 ans d'EcoTree.
- Version 2.x — mise à jour à partir de la version 2020 du Label Bas Carbone et adaptation de la méthode aux itinéraires irréguliers, recherche de coefficients d'expansion aérienne et d'infra-densité pour les essences non disponibles dans le document officiel du Label Bas Carbone.
- Version 3 (présente version) — ajout de la partie sur le clause de permanence et des explications sur les concepts de LTA et SMLT, changement de la durée avant stabilisation pour le scénario de friche, création de la métrique « LTA infinity ».