



BOÎTE À OUTILS CARBONE FORESTIER

ESTIMER L'IMPACT CARBONE D'UN PROJET FORESTIER

ANALYSE DES APPROCHES EXISTANTES ET RECOMMANDATIONS

WWF

Le WWF est une organisation indépendante de conservation de la nature. Avec plus de 35 millions de sympathisants et un réseau actif dans plus de 100 pays grâce à ses dirigeants locaux, le WWF œuvre pour mettre un frein à la dégradation de l'environnement naturel de la planète et construire un avenir où les humains vivent en harmonie avec la nature, en conservant la diversité biologique mondiale, en assurant une utilisation soutenable des ressources naturelles renouvelables, et en faisant la promotion de la réduction de la pollution et du gaspillage.

Depuis 1973, le WWF France agit au quotidien afin d'offrir aux générations futures une planète vivante. Avec ses bénévoles et le soutien de ses 191 000 donateurs, le WWF France mène des actions concrètes pour sauvegarder les milieux naturels et leurs espèces, assurer la promotion de modes de vie durables, former les décideurs, accompagner les entreprises dans la réduction de leur empreinte écologique, et éduquer les jeunes publics. Mais pour que le changement soit acceptable, il ne peut passer que par le respect de chacune et de chacun. C'est la raison pour laquelle la philosophie du WWF est fondée sur le dialogue et l'action.

Antoine Housset est président du WWF France, et Véronique Andrieux en est la directrice générale.

Pour découvrir nos projets, rendez-vous sur : wwf.fr

Ensemble, nous sommes la solution.

Avertissement :

Ce rapport est l'un des livrables d'une "boîte à outils carbone forestier", développée par WWF avec l'appui de Sylvamo dans le cadre du contrat de coopération technique 22125 (2022-2024). La boîte à outils a pour objectif d'aider à estimer et valoriser de façon crédible l'impact carbone dans des transactions de type PSE.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier chaleureusement pour leur relecture critique attentive et les nombreuses suggestions d'amélioration du texte : Olivier Chandioix, Sébastien Diette et Mariette Samoyeau (Alcina), Gaëtan Du Bus de Warnaffe (Arbre et Bois Conseils), Aude Valade (CIRAD), Florian Tirana et Charles Tissot (DGEC/BAFCC), Erwan Le Mené et Arnaud de Grave (EcoTree), Hugo Senges (Fédération des CEN), Magali Rossi (FSC France), Nicolas Picard (Gip-Ecofor), Simon Martel (I4CE), Philippe Gourmain et Sabine Baretts (La Belle Forêt), Olivier Forsans (MaForêt), Marianne Bernard (OFB), Christine Deleuze (ONF), Thibaud Poulain, Carole Renner et Justine Campredon (Reforest'Action), Kévin Brice (Société forestière de la Caisse des dépôts), Emmanuel Ripout et Elodie Vanhal (Sylvamo).

Auteurs : Luce-Eline Darteyron, Daniel Vallauri

Mise en page : Sambou-Dubois

Photo de couverture : © Aleksander Bolbot/Shutterstock



© Mark Hamblin



SOMMAIRE

Résumé exécutif	4
Executive summary	8
Liste des abréviations	12
INTRODUCTION	13
PARTIE 1.	
MATÉRIEL ET MÉTHODES	15
PARTIE 2.	
CADRAGES GÉNÉRAUX DES SYSTÈMES, MÉTHODES ET OUTILS	18
Gouvernance	18
Transparence et clarté	20
Diversité des pratiques mobilisées	21
PARTIE 3.	
OPÉRATIONNALISATION DES ESTIMATIONS CARBONE	24
Compartiments séquestrant du carbone considérés	24
Plages de temps et emprise spatiale	31
PARTIE 4.	
ESTIMATIONS DU CARBONE PAR COMPARTIMENT	35
Le carbone en forêt	35
L’empreinte carbone des opérations de gestion, mobilisation et transformation du bois	40
Le carbone des usages du bois	41
PARTIE 5.	
DÉTERMINATION DE L’IMPACT CARBONE TOTAL NET ADDITIONNEL	46
Choix du scénario de référence	46
Estimation de l’impact carbone brut additionnel	52
Gestion des risques : choix des abattements	54
PARTIE 6.	
SUIVI, ÉVALUATION, VÉRIFICATION ET AJUSTEMENTS	60
CONCLUSION GÉNÉRALE	64
Références	65
Annexe 1. Synthèse, points de vigilance et recommandations du WWF sur les paramètres carbone des projets forestiers	68

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

OBJET DU RAPPORT

L'impact carbone des projets forestiers est de plus en plus valorisé, y compris financièrement (crédit carbone ou contribution carbone volontaire, Paiements pour Services Écosystémiques - PSE). Dans ce but, aujourd'hui, se côtoient de très nombreux systèmes ou méthodes, parfois très structurés, exigeants et précis, parfois relativement opaques, pour estimer le carbone séquestré qui en découle.

Le présent rapport analyse tout d'abord les paramètres choisis par les principaux systèmes, méthodes et outils utilisés pour estimer l'impact carbone d'un projet forestier. Il propose des recommandations pour assurer une estimation du carbone additionnel fiable et crédible des projets forestiers en France hexagonale.



© Jaap van der Waarde/WWF-Netherlands

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'analyse porte sur neuf systèmes, neuf méthodes et cinq outils. Certains ont déjà été analysés en détail par le WWF, au-delà de la seule estimation carbone qui nous intéresse ici : Label Bas Carbone (Ollivier et Vallauri, 2021b) et procédure Services Écosystémiques de FSC (Ollivier et Vallauri, 2021a). Il a été ajouté quatre systèmes français développés par des entités privées (EcoTree, Reforest'Action, Alcina et La Belle Forêt) ainsi que trois grands systèmes internationaux (Gold Standard, Verra pour les méthodes Extension de la durée de révolution - ERA, Conversion des écosystèmes évitée - REDD, Protection d'une forêt anciennement exploitée - LtPF et Exploitation forestière à faible impact sur le climat - RIL-C, ainsi que ART TREES). Chaque système cadre une ou plusieurs méthodes forestières. Certains d'entre eux proposent des outils de calcul.

CADRAGES GÉNÉRAUX

La gouvernance des systèmes montre la manière dont les estimations carbone ont été discutées et validées. L'estimation du carbone séquestré est un domaine complexe qui demande une expertise sérieuse. Certains systèmes, méthodes et outils analysés ont développé seuls leurs méthodologies (sans consultation ; par exemple, l'outil A•CO₂ d'Alcina ou le FSC Carbon Monitoring Tool) ; d'autres s'appuient sur une approche solide combinant expertise et consultation publique (Verra ou Gold Standard par exemple).



Recommandations du WWF

La co-construction de méthodes entre les experts du système, la mobilisation d'experts externes, ainsi qu'une consultation publique sont des gages de sérieux. Cela semble également indispensable pour légitimer les systèmes, méthodes et outils dans une géographie donnée.

La transparence et la clarté du processus ayant mené aux choix et arbitrages réalisés pour l'estimation carbone sont primordiaux. La plupart des systèmes ou méthodes (Verra, Gold Standard, Label Bas Carbone...) permettent d'accéder facilement aux documents explicitant les méthodologies d'estimation du carbone, même si certains ne sont accessibles que sur demande (par exemple Reforest'Action) ou sont à ce jour confidentiels (La Belle Forêt). Certains systèmes sont très précis (notamment Verra, dont la définition de certaines méthodes dépasse les 300 pages), tandis que d'autres fournissent des informations très partielles ou encore incomplètes (par exemple outil A•CO₂ interne et confidentiel d'Alcina). Les systèmes les plus complets ne sont pas forcément les plus facilement compréhensibles (complexité du système Verra),

tandis que d'autres sont difficiles à aborder du fait du peu d'informations disponibles (par exemple, Reforest'Action qui renvoie seulement vers des équations générales mondiales du Mécanisme de Développement Propre ou des recommandations de la Commission Européenne).



Recommandations du WWF

Les systèmes, méthodes et outils doivent être faciles d'utilisation et accessibles, pour permettre leur bonne compréhension et utilisation par un public averti sans formation spécifique (porteurs de projets, financeurs). Les méthodes d'un même système doivent suivre une même organisation afin de faciliter leur prise en main.

La diversité des pratiques dont on estime l'impact carbone est importante. Les modes d'estimation doivent être variables en fonction des actions sylvicoles choisies. L'analyse montre que peu de systèmes proposent plusieurs méthodes forestières (Label Bas Carbone, Verra) et de surcroît peu donnent accès à des projets complexes faisant appel à plusieurs pratiques dans le même projet forestier (sauf FSC ou l'outil A•CO2 d'Alcina). La quasi-totalité est spécifique à un itinéraire technique : souvent principalement la plantation (méthodes Boisement et Reboisement du Label Bas Carbone, EcoTree, Gold Standard, Reforest'Action), d'autres sylvicultures productives (méthode Balivage du Label Bas Carbone, La Belle Forêt, méthodes ERA et RIL-C de Verra), la réduction de la déforestation et de la dégradation des forêts (méthode REDD de Verra, ART TREES), et enfin la libre évolution (méthode LtPF de Verra).



Recommandations du WWF

Il est conseillé aux systèmes de ne pas brider (volontairement ou par manque d'investissement technique) l'estimation carbone de la large palette d'alternatives sylvicoles séquestrant du carbone en forêt. Pour cela, comme le fait le Label Bas Carbone avec retard, il faut investir, en mobilisant les acteurs pertinents, pour décliner les modes d'estimation du carbone des méthodes les plus utiles¹.

OPÉRATIONNALISATION DES ESTIMATIONS CARBONE

Par fréquence d'utilisation, **les compartiments séquestrant du carbone dans l'écosystème forestier** qui sont considérés sont i) la biomasse aérienne des arbres (inclus dans 100 % des systèmes, méthodes ou outils), ii) la biomasse racinaire (100 %, souvent facultatif), iii) le bois mort au sol ou sur pied (86 %), iv) la matière organique du sol (57 %), v) la litière (50 %) et enfin vi) la biomasse du sous-étage (29 %). Certains compartiments sont obligatoirement inclus, tandis que d'autres sont facultatifs.



Recommandations du WWF

Seule la biomasse aérienne peut être toujours estimée de façon crédible, statistiquement fiable et sans des

mesures extrêmement lourdes. Même si les autres compartiments séquestrent du carbone, c'est principalement ce compartiment que le forestier peut influencer par sa gestion. Les données sont généralement disponibles pour l'estimer de façon relativement précise. Le bois mort gagne à être estimé notamment si le choix du gestionnaire implique le maintien de volumes substantiels, par exemple dans le cas de la libre évolution. Le carbone du sous-étage, des racines, de la litière et la matière organique du sol ne peut que difficilement être estimé de manière fiable et varie peu, sauf exception ou gestion caricaturale, sur la période généralement considérée pour les projets forestiers (additionnalité faible à nulle sur 30 ans). L'estimation de ces compartiments ne présente dans notre contexte qu'un faible intérêt, même s'ils sont importants dans l'écosystème forestier.

La prise en compte du **carbone issu des usages du bois** est facultative pour presque tous les systèmes ou méthodes. Elle s'appuie sur le stock de carbone des produits bois ainsi que sur l'effet substitution (jamais obligatoire, parfois clairement exclu). Tous les systèmes ou méthodes comptabilisent le bois d'œuvre et le bois d'industrie. La revendication d'un effet de substitution est possible pour les trois méthodes du Label Bas Carbone et pour l'outil A•CO2 d'Alcina. Le bois énergie n'est jamais comptabilisé dans les stocks de carbone des produits bois mais son effet substitution est estimé pour les méthodes du Label Bas Carbone.



Recommandations du WWF

Le carbone des produits bois doit être pris en compte avec précautions. Cela implique par exemple : i) de ne considérer que la part des produits séquestrant durablement du carbone, c'est-à-dire vraiment sur une longue durée (> 25 ans) ; ii) d'exclure de l'estimation les produits de courte durée de vie (bois énergie ou bois-papier) ; iii) d'exclure absolument toute revendication et vente du carbone découlant de l'effet substitution associé au bois mis sur le marché. Au-delà des difficultés de calcul et du caractère indirect de la substitution, le reconnaître en "réductions d'émissions indirectes" nous semble un abus grave car le forestier ne peut en aucune manière s'approprier cet impact supposé. S'il est responsable des choix sylvicoles qui permettent de favoriser des produits bois de longue durée de vie, il n'est en effet pas maître de ce qui est fait du bois qu'il vend.

L'**empreinte carbone des opérations forestières** est estimée à partir de l'usage d'engrais azotés, la combustion de combustibles fossiles et le brûlage de biomasse. Leur prise en compte est rarement obligatoire (méthodes REDD et ERA de Verra pour le brûlage de biomasse, Gold Standard pour les engrais azotés) car ils sont souvent jugés peu significatifs.



Recommandations du WWF

Le WWF préconise de ne pas inclure l'empreinte des opérations forestières, car ils ne sont significatifs que dans des cas caricaturaux de mauvaise gestion (qui ne doivent pas donner lieu à des projets de PSE et crédit carbone) et leur estimation pâtit pour l'instant de faiblesses méthodologiques.

¹ Cf. tableau 2, page 20 dans Vallauri, Ollivier et Laurans, 2021.

Choisir **les plages de temps** sur lesquelles les estimations du carbone sont réalisées est un sujet important. Celles-ci peuvent être fixes ou variables. Elles varient en durée de 5 ans (ART TREES) à 100 ans (EcoTree). Certains ne précisent aucune durée spécifique (FSC, outil A•CO₂ d'Alcina). Quelques systèmes ou méthodes proposent un décalage temporel entre la date de début de l'estimation carbone et la date de début du projet permettant ainsi une rétroactivité de l'estimation carbone. C'est le cas par exemple de Gold Standard (jusqu'à 2 ans avant l'enregistrement du projet) ; inversement, la méthode REDD de Verra permet quant à elle de démarrer jusqu'à 10 ans après la date de départ du projet, le temps que les activités se mettent en place et assurent des impacts évalués *ex post*.



Recommandations du WWF

L'estimation de l'impact carbone doit s'effectuer sur une période ne dépassant pas 30 ans, durée au-delà de laquelle la fiabilité d'estimation des risques de non-permanence est trop élevée. Par contre, la durée du projet et la permanence du stockage du carbone séquestré par le projet doit être au minimum de 20 ans et si possible plus longue que 30 ans. Au-delà de la quantité de carbone séquestrée de façon additionnelle, une notation qualitative concernant la pérennité de son stockage au-delà de la durée d'estimation peut être envisagée. La rétroactivité devrait être limitée à maximum 2 ans.

Concernant **l'emprise spatiale** des projets et des estimations de leur impact carbone, la plupart des systèmes ou méthodes ne fixent ni superficie minimale ni superficie maximale. Les méthodes du Label Bas Carbone fixent néanmoins une taille de projet minimum égale à 0,5 ha ; aucun système ou méthode ne fixe de superficie maximum.



Recommandations du WWF

L'échelle d'un projet doit être suffisamment grande dans un souci d'économie d'échelle, mais surtout être en cohérence écologique avec les actions menées. Le WWF recommande que l'estimation de l'impact carbone se fasse à partir de données les plus proches des parcelles du projet et un échantillonnage suffisant. Si les formules permettant les estimations carbone peuvent être générales ou nationales, les paramètres d'entrée de l'estimation doivent être la meilleure information disponible à l'échelle nationale ou infra ou provenant de la forêt du projet. Les choix en la matière recherchent un compromis entre une précision corrigée par des abattements adaptés et le coût de mobilisation des données.

ESTIMATION DU CARBONE PAR COMPARTIMENT

Les formules utilisées pour les estimations du carbone séquestré par chaque compartiment s'appuient, pour la plupart des systèmes ou méthodes, sur des équations générales (recommandations du GIEC ou du Mécanisme de Développement Propre), c'est-à-dire sur des valeurs globales déconnectées du terrain du projet. Les systèmes français proposent parfois des approches plus spécifiques (par exemple, utilisation de l'équation du projet EMERGE pour les méthodes du Label Bas Carbone).



Recommandations du WWF

L'exactitude scientifique semble illusoire en matière de carbone forestier. Quelles que soient les formules utilisées, il est important d'utiliser les données les plus locales possibles, dans la mesure où leur fiabilité est avérée (tables de production locales, répartition des produits bois établie par le porteur de projet...). Seules les mesures de terrain les plus indispensables doivent être effectuées : il faut par exemple éviter de rendre obligatoire les inventaires en plein ou les analyses de litière en laboratoire mais il peut être judicieux d'estimer les volumes de gros bois morts.

DÉTERMINATION DE L'IMPACT CARBONE TOTAL NET ADDITIONNEL

L'estimation de l'impact carbone total dépend de l'additionnalité du projet. Elle s'obtient en comparant le projet à un scénario de référence. Pour obtenir un impact net, il faut ensuite prendre en compte les risques et appliquer des abattements appropriés.

Le choix du **scénario de référence** est un élément essentiel puisqu'il permet de confirmer l'additionnalité du projet, en comparant le scénario du projet à ce qu'il aurait été susceptible de se produire sans lui. Quelques systèmes ou méthodes ne donnent pas d'indication pour établir le scénario de référence (par exemple Reforest'Action) ; d'autres définissent un ou plusieurs scénarios de référence qui varient peu en fonction du contexte du projet (exemple des méthodes du Label Bas Carbone) ; d'autres enfin définissent le scénario de référence en fonction d'une ou plusieurs approches : historique, légale ou "pratique courante" (par exemple Verra). La modélisation de l'évolution du carbone dans le scénario de référence se fait selon des méthodes très différentes : absence de modélisation (scénario statique pour FSC), modélisation identique pour le scénario du projet et le scénario de référence (La Belle Forêt), ou faisant appel à d'autres logiques complexes (modèles forestiers pour la méthode ERA de Verra, équations complexes pour la méthode REDD du même système).



Recommandations du WWF

Il est recommandé de définir le scénario de référence au cas par cas, en confrontant une approche légale (minimum obligatoire pour des projets forestiers en France hexagonale), aux pratiques courantes et à une approche historique. Il doit impérativement être discuté et défini

collégalement et localement, pour prendre tout son sens et sa légitimité. La modélisation de l'évolution du stock de carbone doit s'adapter à la pluralité possible des scénarios de référence, en veillant à ne pas retenir sans argument le scénario le plus favorable à l'additionnalité du scénario de projet.

L'estimation de l'impact carbone brut additionnel implique la considération des divers compartiments séquestrant du carbone, tenant compte des variations positives comme négatives. On distingue deux approches : la plus courante consiste en une différence entre le stock du scénario de référence choisi et celui du projet sur une période définie. Les méthodes du Label Bas Carbone et EcoTree proposent également de faire la différence de Stock Moyen de Long Terme (SMLT) des deux scénarios.



Recommandations du WWF

Pour une estimation précise de l'impact carbone brut additionnel, il est recommandé de soustraire les impacts carbone brut des scénarios de référence et du projet. L'approche SMLT est un plus.

Les projets forestiers ne sont pas de la science exacte et n'ont d'impacts significatifs qu'à long terme. Ils sont soumis à des pressions et menaces qui évoluent dans le temps et peuvent modifier l'estimation *ex ante* faite en début de projet. Pour garantir au financeur une fiabilité suffisante sur les chiffres avancés, il est nécessaire de se prémunir des **risques potentiels** qui remettraient en cause l'estimation carbone *ex ante*. Cela se fait par l'usage d'abattements appliqués aux métriques d'impact brut estimées. Les systèmes ou méthodes analysés prennent généralement en compte des risques, même si certains n'appliquent aucun abattement (par exemple outil A•CO₂ d'Alcina). Les catégories de risques considérées sont très diverses : risques généraux (incertitude, additionnalité, gouvernance, propriétaire), risques de non-permanence en forêt (incendie, abroustissement, dépérissement, tempête) et dans la filière bois (effet de fuite). Les abattements associés à chaque risque sont compris entre 5% (par exemple, fort risque incendie pour la méthode Balivage du Label Bas Carbone) et 50% (par exemple, fort risque de mortalité pour La Belle Forêt). Le total des abattements théoriques peut atteindre 100% pour La Belle Forêt, mais peut être de seulement 10% (méthodes du Label Bas Carbone) ; il est inconnu pour Verra ou Gold Standard car ne découlant pas d'un simple pourcentage.



Recommandations du WWF

Une typologie des risques est proposée. Le WWF recommande : i) d'appliquer des abattements stricts, définis en fonction de la réalité de chaque risque sur l'impact carbone attendu ; ii) un abattement cumulé strictement expliqué, en toute transparence, ou par défaut supérieur ou égal à 50%. Cela permet, une estimation *ex ante* des impacts relativement fiable. Les abattements doivent être définis en amont, de façon argumentée, et varient en fonction des méthodes, des pratiques et des scénarios.

SUIVI, ÉVALUATION, VÉRIFICATION ET AJUSTEMENTS

Un **mécanisme de suivi et évaluation** doit être mis en place. Il permet la vérification des paramètres sur lesquels s'appuient les estimations carbone réalisées *ex ante*, et d'éventuels ajustements *ex post* en fonction des résultats. Tous les systèmes ou méthodes analysés prévoient l'intervention d'auditeurs, tierces parties indépendantes et accréditées, pour la réalisation d'un suivi-évaluation, avec toutefois des degrés de précision et d'effectivité très différents. Les évaluations réalisées peuvent être ponctuelles, lors d'un audit initial (validation pour FSC par exemple), puis suivies d'audits ultérieurs attestant de l'effectivité des actions menées (vérification). Ces vérifications documentaires et/ou de terrain se répètent à des fréquences variables selon les systèmes ou méthodes (annuelles pour les rapports publics de Gold Standard, bisannuelles pour ART TREES ou quinquennales pour FSC par exemple).



Recommandations du WWF

Si le suivi des projets forestiers doit se faire au moins tous les 5 ans, la révision des paramètres carbone peut se faire à mi-parcours (15 ans) et à la fin du projet (30 ans). Des ajustements peuvent être nécessaires en cas d'événements imprévus (tempêtes, incendies...) et les paramètres d'estimation du carbone doivent être révisés périodiquement pour tenir compte des avancées scientifiques. Les vérifications *ex post* des impacts doivent être effectuées selon une procédure transparente, faisant appel à une tierce partie indépendante et/ou accréditée si la taille du projet et son budget le permettent. Ces audits documentaires et de terrain doivent être complétés par des rapports rendus publics pour accroître la transparence du système. Ces vérifications doivent permettre des ajustements sur les estimations du carbone estimé ou vendu (y compris la révision des contrats de vente).

EN GUISE DE CONCLUSION

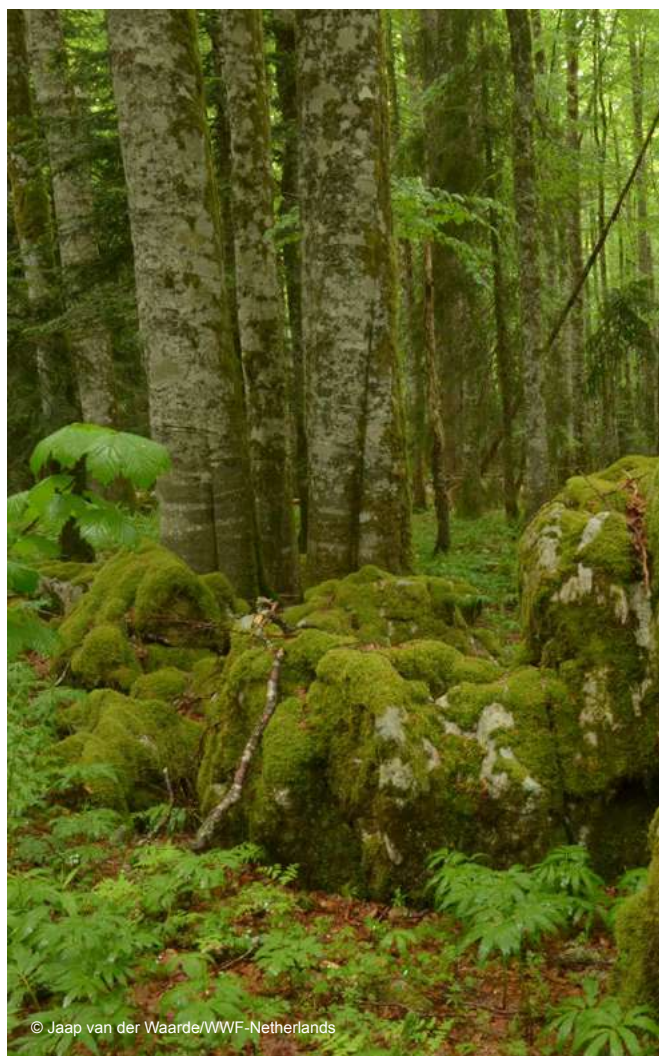
L'estimation de l'impact carbone des choix de la gestion forestière est une entreprise nouvelle et complexe. Elle est indispensable pour justifier des projets aujourd'hui financés par des acteurs publics comme privés. Cette nouvelle source de financements doit profiter à des projets de qualité bénéficiant à tous les services écosystémiques d'intérêt général, qu'il s'agisse de climat (et donc de carbone) mais également de la biodiversité.

EXECUTIVE SUMMARY

SCOPE OF THE REPORT

The carbon impact of forestry projects is increasingly valued, including financially (through carbon credits or voluntary carbon contributions, Payments for Ecosystem Services - PES). Currently, a wide range of systems and methods are being utilized to quantify this impact. Some of these methods are highly structured, rigorous, and precise, while others are relatively opaque in estimating the resulting carbon sequestration.

This report begins by analyzing the parameters chosen by the main systems, methods and tools used to estimate the carbon impact of a forestry project. It then presents recommendations aimed at ensuring a reliable and credible additional carbon assessment of forestry projects in mainland France.



MATERIALS AND METHODS

The analysis focuses on nine systems, nine methods, and five tools. Some of these have already been extensively analyzed by WWF, looking at multiple aspects beyond the carbon assessment that is of interest here: Label Bas Carbone (Ollivier and Vallauri, 2021b) and FSC Ecosystem Services procedure (Ollivier and Vallauri, 2021a). Four French systems developed by private entities were added (EcoTree, Reforest'Action, Alcina, and La Belle Forêt), along with three major international systems (Gold Standard, Verra covering the following methods: Extension of Rotation Age - ERA, Avoided Ecosystem Conversion - REDD, Logged to Protected Forest - LtPF, and Reduced Impact Logging for Climate - RIL-C, as well as ART TREES). Each system frames one or more forestry methods, with some including calculation tools.

GENERAL FRAMEWORK

System governance demonstrates how carbon estimates have been deliberated and validated. Estimating sequestered carbon is a complex field that demands substantial expertise. Some of the systems, methods, and tools analyzed have developed their methodologies independently (without consultation); for instance, Alcina's A•CO₂ tool or the FSC Carbon Monitoring Tool. In contrast, others adopt a robust approach that combines expertise and public consultation (such as Verra or Gold Standard).



WWF recommendations

The collaborative development of methods among the system's experts, engagement of external experts, and public consultation are assurances of credibility. This is also imperative to establish the legitimacy of systems, methods, and tools within a specific geographical context.

Transparency and clarity in the process that led to the choices and trade-offs involved in the carbon estimate are crucial. Most systems or methods (such as Verra, Gold Standard, Label Bas Carbone, etc.) offer easy access to documents explaining carbon estimate methodologies, although some are only available upon request (e.g., Reforest'Action) or are currently confidential (La Belle Forêt). Some systems are highly detailed (e.g., Verra, with certain methodology documents exceeding 300 pages), while others provide only partial or incomplete information (e.g., Alcina's internal and confidential A•CO₂ tool). The most comprehensive systems are not necessarily the easiest to understand (e.g., due to the complexity of the Verra system), while others are challenging due to limited availability of information (e.g.,

Reforest'Action, which only refers to generic global equations of the Clean Development Mechanism or European Commission recommendations).



WWF recommendations

Systems, methods, and tools should be user-friendly and accessible, enabling easy comprehension and use by an informed public without specific training (e.g., project managers, sponsors). Methods within the same system should be organized consistently to facilitate learning and understanding.

The diversity of practices for estimating carbon impact is significant. Estimation approaches need to vary based on the silvicultural operations chosen. The analysis reveals that few systems offer multiple forestry techniques (Label Bas Carbone, Verra), and furthermore, few (except FSC or Alcina's A•CO₂ tool) provide access to complex projects involving multiple practices within the same forestry project. Almost all methods are specific to particular technical approaches: often focused on planting (e.g., Label Bas Carbone's Afforestation and Reforestation methods, EcoTree, Gold Standard, Reforest'Action), other productive silvicultural techniques (e.g., Label Bas Carbone's "Balivage"² method, La Belle Forêt, Verra's ERA and RIL-C methods), reducing deforestation and forest degradation (e.g., Verra's REDD method, ART TREES), and finally, forest conservation (e.g., Verra's LtPF method).



WWF recommendations

Systems are advised not to limit (voluntarily or due to lack of technical investment) the carbon assessment of the wide range of silvicultural alternatives that sequester carbon in forests. To achieve this, as Label Bas Carbone is starting to do albeit with some delay, it is necessary to invest by mobilizing relevant stakeholders in developing the most useful methods for estimating carbon³.

OPERATIONALIZATION OF CARBON ESTIMATES

In terms of frequency, **the forest carbon pools** considered are: i) above-ground tree biomass (included in 100% of systems, methods, or tools), ii) root biomass (100%, often optional), iii) standing or lying dead wood (86%), iv) soil organic matter (57%), v) litter (50%), and vi) understory biomass (29%). Some pools are compulsory, while others are optional.



WWF recommendations

Only above-ground tree biomass can always be estimated in a credible and statistically reliable way, without requiring extremely cumbersome measurements. Even though the other pools sequester carbon, it is primarily the above-ground tree biomass that foresters can influence through their management. Data is generally available to estimate it relatively accurately. Estimates of dead wood

are particularly useful if the manager's choice involves maintaining substantial volumes, as in the case of forest conservation. Carbon of the understory, roots, litter, and soil organic matter are difficult to estimate reliably and show little variation - except in cases of exceptional circumstances or extreme management practices - over the typical period considered for forestry projects (resulting in low to negligible additionality over 30 years). Estimating these pools is of little interest in our context, despite their importance as components of the forest ecosystem.

The consideration of **carbon from wood products** is optional for almost all systems or methods. It is based on the carbon equivalence of wood products, as well as on the substitution effect (never mandatory, sometimes clearly excluded). All systems or methods account for timber and industrial wood. The claim of a substitution effect is possible under the three Label Bas Carbone methods and under Alcina's A•CO₂ tool. Fuelwood is never included in the carbon stocks of wood products, but its substitution effect can be accounted for in the Label Bas Carbone methods.



WWF recommendations

The carbon from wood products must be considered carefully. This implies, for example: i) considering only the portion of products that sequester carbon on a long-term basis, i.e., genuinely over a long period (> 25 years); ii) excluding short-lived products (such as fuelwood or pulpwood for paper) from the estimation; iii) absolutely excluding all claims and sales of carbon resulting from the substitution effect associated with wood placed on the market. Beyond the calculation difficulties and the indirect nature of substitution, labeling it as "indirect emissions reductions" appears to be a serious misuse, since the forester cannot in any way claim this supposed impact. While foresters are responsible for the silvicultural choices that lead to the production of long-lived wood products, they have no control over what is done with the wood they sell.

The carbon footprint of forestry operations is estimated based on the use of nitrogen fertilizers, fossil fuel combustion, and biomass burning. Their inclusion is rarely mandatory (except in Verra's REDD and ERA methods for biomass burning, and Gold Standard for nitrogen fertilizers), as they are often considered insignificant.



WWF recommendations

WWF advises against including the footprint of forestry operations, as they are only significant in extreme cases of poor management (which should not lead to PES and carbon credit projects), and their estimation currently suffers from methodological weaknesses.

Choosing the **time periods** for carbon estimates is an important consideration. These periods can be fixed or variable and range in duration from 5 years (ART TREES) to 100 years (EcoTree). Some systems or methods do not specify a specific duration (FSC, Alcina's A•CO₂ tool). Certain systems or methods allow for a time lag between the carbon estimate start date and

² "Balivage" is the action of identifying and selecting the finest trees to transform a coppice into a high forest.

³ See Table 2, page 20 in Vallauri, Ollivier, and Laurans, 2021.

the project start date, enabling retroactive carbon estimates. For example, Gold Standard allows for retroactivity up to 2 years prior to project registration, whereas Verra's REDD method can start up to 10 years after the project start date to allow for implementation of activities and ensure *ex post* impacts.



WWF recommendations

Carbon impacts should be estimated over a period of no more than 30 years, as estimates beyond this timeframe carry a higher risk of non-permanence. On the other hand, the duration of the project and the permanence of the carbon sequestered by the project should be at least 20 years, and preferably longer than 30 years. In addition to quantifying additional carbon sequestered, a qualitative assessment of the permanence of its storage beyond the duration of carbon estimates can be considered. Retroactivity should be limited to a maximum of 2 years.

Regarding **the spatial scope** of projects and estimates of their carbon impact, most systems or methods do not specify a minimum or maximum surface area. However, Label Bas Carbone methods set a minimum project size of 0.5 hectares; no system or method sets a maximum surface area limit.



WWF recommendations

The scale of a project must be sufficiently large to ensure economies of scale, but more importantly, it must be ecologically coherent with the actions undertaken. WWF recommends estimating carbon impact using data as close as possible to the project parcels and with sufficient sampling. While the formulas for carbon estimates can be generic or national, the input parameters for estimation should be the best information available at the national or sub-national level, or from the project forest itself. Choices in this regard aim to strike a balance between accuracy, adjusted by appropriate discount rates, and the cost of data mobilization.

CARBON ESTIMATES BY POOL

The **formulas used** to estimate the carbon sequestered by each pool are primarily based on general equations (such as recommendations from the IPCC or the Clean Development Mechanism) for most systems or methods, meaning they rely on global values that are disconnected from the specific project field. French systems sometimes offer more specific approaches (e.g., using the EMERGE project equation for Label Bas Carbone methods).



WWF recommendations

Achieving scientific accuracy in forest carbon estimate presents challenges. Regardless of the formulas used, it is crucial to utilize the most local data available, ensuring their reliability is proven (e.g., local production tables, distribution of wood products established by the project developer, etc.). Only essential field measurements should be conducted; for instance, large-scale inventories or laboratory litter analyses should be avoided, although estimating the volumes of large dead wood may be beneficial.

DETERMINATION OF THE TOTAL NET ADDITIONAL CARBON IMPACT

Estimating the total carbon impact depends on the project's additionality. This is achieved by comparing the project scenario with a baseline scenario. To calculate a net impact, risks must then be taken into account and appropriate discount rates applied.

The choice of **the baseline scenario** is an essential element, as it enables confirmation of the project's additionality by comparing the project scenario with what would likely have occurred without it. Some systems or methods provide no indication of how to establish the baseline scenario (e.g., Reforest'Action); others define one or more baseline scenarios that vary little according to the project context (e.g., Label Bas Carbone methods); finally, others define the baseline scenario according to one or more approaches: historical, legal or common practice (e.g., Verra). Modeling the evolution of carbon in the baseline scenario is achieved using very different methods: no modeling (static scenario for FSC), identical modeling for the project scenario and the baseline scenario (La Belle Forêt), or employing other complex logics (forest models for Verra's ERA method, complex equations for the REDD method of the same system).



WWF recommendations

It is recommended to define the baseline scenario on a case-by-case basis by comparing a legal approach (the minimum requirement for forestry projects in mainland France) with common practice and a historical approach. The baseline scenario should be discussed and defined collectively and locally to fully convey its meaning and legitimacy. Modeling the evolution of carbon stocks should be adapted to accommodate potential diversity in baseline scenarios, ensuring that the baseline scenario most favorable to project additionality is not selected without justification.

Estimating **the additional gross carbon impact** involves considering the various carbon pools and accounting for both positive and negative variations. Two approaches can be distinguished: the most common one involves calculating the difference between the carbon stock in the chosen baseline scenario and that in the project over a defined period. The Label Bas Carbone and EcoTree methods also propose calculating the difference between the Long-Term Average carbon stock (LTA) of the two scenarios.



WWF recommendations

For an accurate estimate of the additional gross carbon impact, it is recommended to subtract the gross carbon impacts of the baseline and project scenarios. The LTA approach is an added benefit.

Forestry projects are not an exact science and only have a significant impact over the long term. They are subject to evolving pressures and threats that can alter the *ex ante* estimates made at the project's outset. To ensure sufficient reliability of the carbon estimates presented to sponsors, it is necessary to mitigate

potential risks that could challenge the *ex ante* carbon estimate. This is achieved through the application of discount rates to the estimated additional gross carbon impact. The systems or methods analyzed generally account for risks, although some do not apply any discount rate (e.g., Alcina’s A•CO₂ tool). The considered risk categories are diverse, including general risks (uncertainty, additionality, governance, ownership), non-permanence risks in the forest (fire, browsing, dieback, storms), and in the timber industry (leakage effect). The discount rates associated with each risk range from 5% (e.g., high fire risk for the Label Bas Carbone “Balivage” method) to 50% (e.g., high dieback risk for La Belle Forêt). The total theoretical discount rate may be as high as 100% for La Belle Forêt but may be as low as 10% for Label Bas Carbone methods; it is unknown for Verra or Gold Standard, as it does not derive from a simple percentage.

WWF recommendations

A typology of risks is proposed. WWF recommends: i) applying strict discount rates defined according to the reality of each risk on the expected carbon impact; ii) a transparently explained cumulative discount rate, ideally greater than or equal to 50%. This enables a relatively reliable *ex ante* estimation of impacts. Discount rates must be predefined, well-justified, and varied according to methods, practices and scenarios.

independent, accredited third-party auditors for monitoring and evaluation, although with varying levels of precision and effectiveness. Initial audits (e.g. validation for FSC) are conducted, followed by subsequent audits to verify the effectiveness of actions taken (verification). The frequency of documentary and/or field verifications varies depending on the system or method (annual for Gold Standard public reports, biennial for ART TREES, or five-yearly for FSC, for example).

WWF recommendations

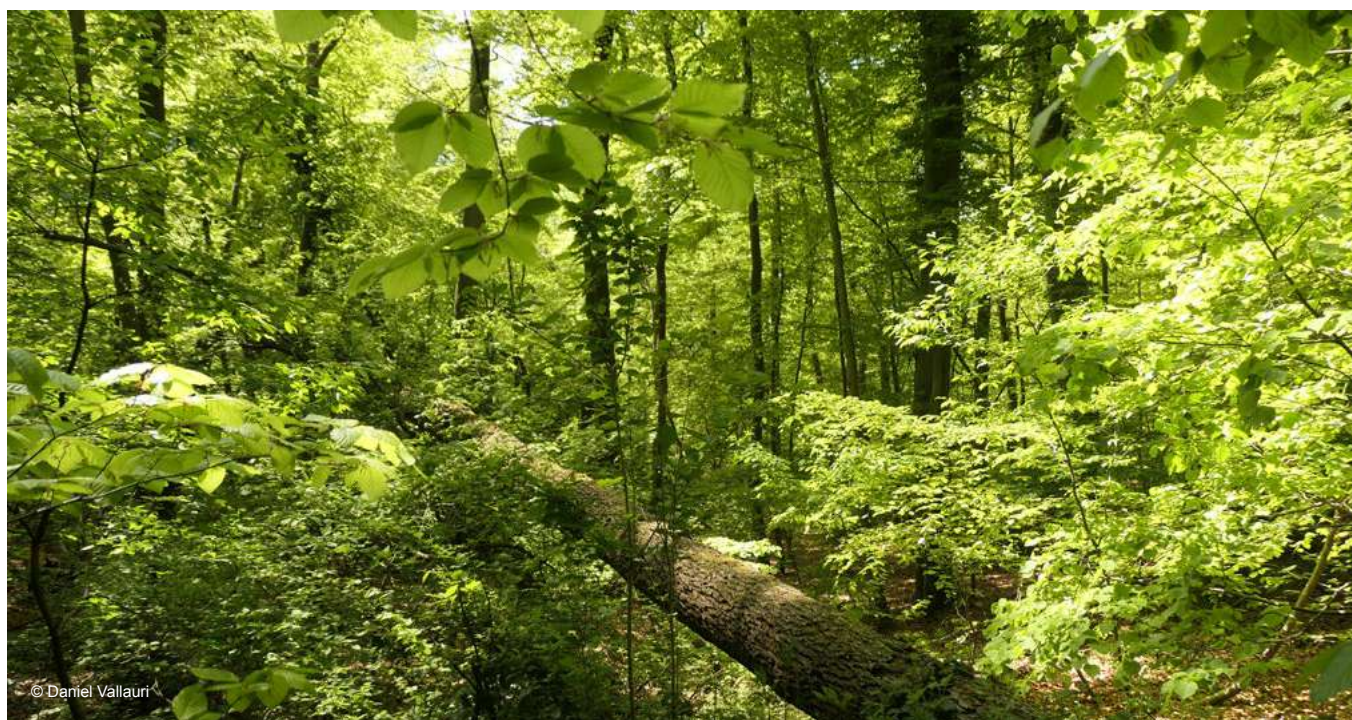
Forestry projects should be monitored at least every 5 years, with carbon parameters reviewed at mid-term (15 years) and at the end of the project (30 years). Adjustments may be necessary due to unforeseen events such as storms or fires, and carbon estimate parameters should be periodically revised to incorporate scientific advances. *Ex post* verifications of impacts must follow a transparent procedure, using an independent and/or accredited third party if the project’s size and budget permit. These documentary and field audits should be accompanied by publicly available reports to enhance system transparency. These verifications should facilitate adjustments to carbon estimates used or sold (including review of sales contracts).

MONITORING, EVALUATION, VERIFICATION, AND ADJUSTMENTS

A **monitoring and evaluation mechanism** should be established to verify the parameters used for *ex ante* carbon estimates and to make any necessary adjustments based on the results. All the systems and methods analyzed involve

IN CONCLUSION

Estimating the carbon impact of forest management choices is a new and complex endeavor. It is crucial to justify projects that are now eligible for funding from both public and private sources. This new funding opportunity should support high-quality projects that enhance all ecosystem services of public interest, including those related to climate (and thus carbon) and biodiversity.



© Daniel Vallauri

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AFOLU - *Agriculture, Forestry and Other Land Use* (Agriculture, foresterie et autres utilisations des terres)

ART - *Architecture for REDD+ Transactions*

BE - Bois Énergie

BI - Bois d'Industrie

BO - Bois d'Œuvre

CCNUCC (UNFCCC) - Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (*United Nations Framework Convention on Climate Change*)

CNPF - Centre National de la Propriété Forestière

DFCI - Défense de la Forêt contre les Incendies

DGEC - Direction Générale de l'Énergie et du Climat

ERA - *Extension of Rotation Age* (extension de la durée de révolution)

ERC - Éviter, Réduire, Compenser

FAO - *Food and Agriculture Organization* (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture)

FCBA - Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement

FNE - France Nature Environnement

FSC - *Forest Stewardship Council*

GES - Gaz à Effet de Serre

GIEC (IPCC) - Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)

GRECO - Grande Région Écologique

HFLD - *High Forest / Low Deforestation*

HVC - Haute Valeur de Conservation

I4CE - *Institute for Climate Economics* (Institut de l'économie pour le climat)

IBP - Indice de Biodiversité Potentielle

IFN - Inventaire Forestier National

IGN - Institut Géographique National

INRAE - Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement

LtPF - *Logged to Protected Forest* (Protection d'une forêt anciennement exploitée)

MDP (CDM) - Mécanisme de Développement Propre (*Clean Development Mechanism*)

MTE - Ministère de la Transition Écologique

PSE - Paiement de pratiques bénéficiant aux Services Écosystémiques d'intérêt général

REDD - *Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation* (réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts). Sigle utilisé pour la méthode *Avoided Ecosystem Conversion* (Conversion des écosystèmes évitée)

RIL-C - *Reduced Impact Logging for Climate* (Exploitation forestière à faible impact sur le climat)

RSE - Responsabilité Sociétale des Entreprises

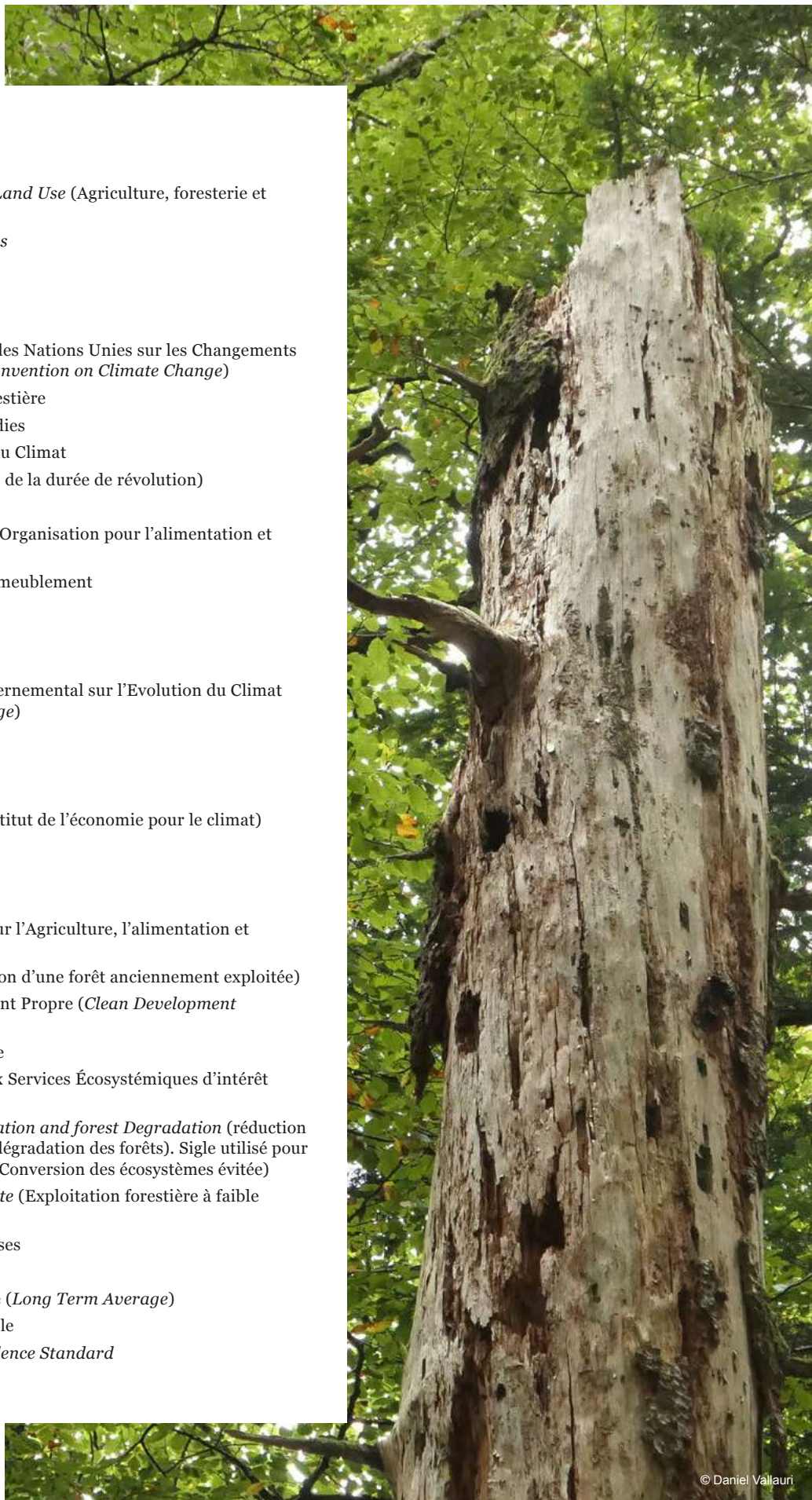
SE - Services Écosystémiques

SMLT (LTA) - Stock Moyen de Long Terme (*Long Term Average*)

SRGS - Schéma Régional de Gestion Sylvicole

TREES - *The REDD+ Environmental Excellence Standard*

VCS - *Verified Carbon Standard*



© Daniel Vallauri

INTRODUCTION

LES FORÊTS ET LA CRISE CLIMATIQUE

La crise climatique et l'urgence qui l'accompagne placent de plus en plus la problématique de l'empreinte carbone de nos activités au centre des débats socio-économiques et politiques. En moins de deux décennies, la séquestration du CO₂ par les écosystèmes forestiers est devenue un service écosystémique d'intérêt général. Traditionnellement non monétarisée par la gestion forestière du XX^e siècle, elle est ainsi devenue un enjeu et une préoccupation à la fois de toutes les organisations (gouvernement, collectivités, entreprises), des citoyens et des gestionnaires forestiers.

En effet, les projets forestiers sont identifiés comme un moyen important de séquestration du carbone. Ces dernières années, le développement de projets dans ce but donne lieu à d'innombrables initiatives, petites comme grandes, locales comme internationales, conçues comme des contributions volontaires désintéressées ou participant à un marché actif de crédits carbone volontaire ou régulé.

A LA RECHERCHE D'UN OUTIL FIABLE POUR ESTIMER LE CARBONE D'UN PROJET FORESTIER

Ces développements posent de multiples questions, éthiques, scientifiques, pratiques et financières. Une partie d'entre elles est analysée dans la "boîte à outils carbone forestier" du WWF. Cette boîte à outils est constituée de différents livrables permettant de : (i) comprendre le carbone en forêt et dans la filière bois ; (ii) analyser les méthodologies estimant le carbone des projets forestiers vendus ; (iii) proposer un outil pratique pour estimer le carbone additionnel de projets de PSE forestiers ; (iv) définir les éléments d'un marketing et d'une communication responsable sur le carbone forestier.

Parmi les notions clés, l'estimation de la séquestration de carbone par un projet forestier est un point essentiel. En effet, en fonction des nombreux systèmes ou méthodes existants, les résultats du carbone stocké par un même projet peuvent être très variables, puisque les compartiments séquestrant du carbone considérés, la durée ou les équations utilisées peuvent être très différents. Le WWF a donc souhaité faire et partager un "état de l'art" sur les différentes approches et paramètres carbone considérés dans les principaux systèmes, méthodes et outils existants, en France et dans le monde.

OBJECTIF DU RAPPORT : ANALYSER L'EXISTANT

Le présent rapport vise à apporter un éclairage sur les questions suivantes :

- Quels sont les différents paramètres et approches utilisés pour estimer l'impact carbone d'un projet forestier ?
- Quelle analyse critique et quel retour d'expérience peut-on en tirer ?
- Quelles bonnes pratiques recommander pour s'assurer d'une estimation du carbone fiable et crédible dans le cadre de paiements de pratiques bénéficiant aux services écosystémiques d'intérêt général (PSE) ?

Pour répondre à ces questions, le rapport consiste en une analyse factuelle des paramètres, suivie de recommandations. Il ne s'agit pas pour les auteurs de statuer sur la qualité des systèmes analysés mais de comprendre, réfléchir et s'inspirer de l'existant pour proposer une approche qui nous semble pertinente, crédible et fiable pour l'estimation du carbone additionnel dans le cadre de projets de PSE forestiers en France hexagonale.

UN RAPPORT EN SIX PARTIES

Dans une première partie, les choix méthodologiques effectués sont présentés. Neuf systèmes, neuf méthodes et cinq outils sont analysés du point de vue de leur réflexion carbone, uniquement sous l'angle du mode d'estimation, bien que d'autres aspects doivent impérativement être pris en considération pour des projets hautement qualitatifs, notamment liés aux co-bénéfices sociaux et environnementaux.

La seconde partie présente les cadrages généraux choisis par les systèmes, méthodes et outils d'estimation du carbone forestier, à travers la façon dont les choix sont faits (gouvernance), écrits (transparence et clarté), mais également la diversité des pratiques sylvicoles sur lesquels ils s'appliquent.

La troisième partie aborde l'opérationnalisation des estimations carbone. Il s'agit des compartiments séquestrant du carbone dans l'écosystème forestier, du carbone issu des usages du bois et de l'empreinte carbone des opérations forestières. Les plages de temps ainsi que l'emprise spatiale sur lesquelles les projets sont développés et les estimations du carbone réalisées sont présentées.

La quatrième partie détaille les estimations par compartiment, afin d'appréhender la diversité des formules permettant d'es-

timer le carbone en forêt, l’empreinte carbone des opérations de gestion, mobilisation et transformation du bois, ainsi que le carbone des usages du bois (stock de carbone dans les produits bois et effet substitution).

La cinquième partie présente les approches pour parvenir au résultat de l’estimation, à savoir le carbone total net et additionnel séquestré par un projet forestier. Ce carbone additionnel est évalué au regard d’un scénario de référence, dont la définition et la modélisation de son évolution sont cruciales, et doit déduire une partie du carbone à travers le choix d’abattements de façon à prendre en compte les risques d’une estimation carbone d’un projet forestier à long terme.

Enfin, la sixième et dernière partie expose les mécanismes de suivi et évaluation mis en œuvre pour vérifier la réalité des impacts au fil d’un projet forestier.



© Bogomaz Conservation Photography/WWF-Ukraine

PARTIE 1.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dans le cadre de la présente étude, divers organisations, systèmes, méthodes et outils ont été analysés. La logique entre organisations, systèmes, méthodes et outils est illustrée sur la figure 1. Pour chaque niveau, il est consigné les choix relatifs à l'estimation du carbone dans les projets forestiers. Ce sont uniquement eux qui nous intéressent dans cette étude.

On entend par **système** un ensemble disposant d'une même gouvernance, et qui définit des procédures pour développer des projets forestiers précisant notamment les conditions d'éligibilité des projets ou les règles de contrôle. Ce système peut être mis en place par une **organisation** (par exemple, la DGEC a créé le système Label Bas Carbone, ou FSC a mis en place la procédure Services Écosystémiques - SE).

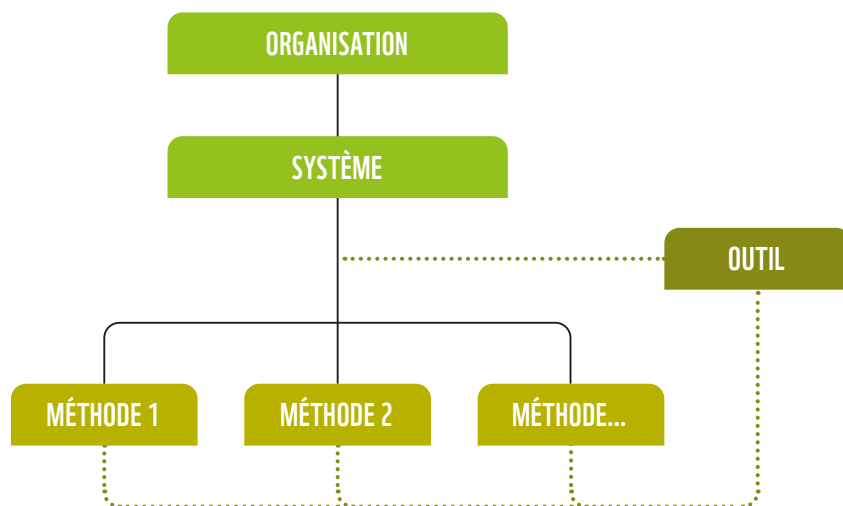
Il existe ainsi plusieurs cas de figure :

- Une organisation seule peut définir les paramètres carbone de ses projets forestiers. Les notions d'organisation et de système se confondent alors. Par exemple, EcoTree est une organisation qui propose d'investir dans des arbres et qui dispose de sa propre méthodologie pour estimer le carbone de ses projets de plantation ;
- Une organisation peut définir un système. Par exemple, Verra est une organisation américaine créée en 2007, dont la direc-

tion stratégique est définie par un Conseil d'Administration, et qui s'appuie sur une norme de certification de réduction des émissions carbone à travers le *Verified Carbon Standard* - VCS.

En tout, ce sont neuf organisations ou systèmes qui ont été analysés.

Un système peut se décliner en différentes **méthodes**, qui sont des écritures, discutées par un panel d'experts et/ou d'acteurs d'un territoire d'application, résultant d'une identification partagée d'un problème à résoudre et des changements de pratiques souhaitables. Une méthode doit définir un itinéraire technique mais également ce qui est vendu, la façon dont cela doit être mis en œuvre, les barèmes, les éco-conditionnalités etc. Par exemple, la méthode «Reconstitution de peuplements forestiers dégradés» du Label Bas Carbone (souvent appelée "Reboisement" par le système lui-même par simplification) identifie une problématique de dégradation de "terres forestières ayant subi des dégâts lourds" et développe une approche pour leur reconstitution. Elle détaille entre autres : l'itinéraire technique, le choix du scénario de référence, l'intégration du risque de non-permanence, les voies pour la quantification carbone etc. Seuls deux systèmes sont déclinés en différentes méthodes (quatre méthodes



↑ **Figure 1.** Schématisation de la relation entre organisation, système, méthodes et outils

pour Verra, trois méthodes pour le Label Bas Carbone) et deux systèmes ne proposent qu'une seule méthode (méthode Boisement / Reboisement pour Gold Standard, méthode "Gestion forestière optimisée" pour La Belle Forêt) pour un total de neuf méthodes analysées.

Les systèmes ou méthodes peuvent développer des **outils** d'estimation du carbone, dans le but d'aider ceux qui doivent mettre en œuvre les projets. Ces "calculateurs" de l'impact carbone des projets forestiers reprennent les éléments du système ou de la méthode et permettent au porteur de projet d'entrer facilement ses données et obtenir un résultat. Cinq outils ou notices d'outils confidentiels ont pu être analysés : celui proposé à l'échelle mondiale par FSC, le calculateur élaboré en octobre 2021 par le CNPF pour les projets des méthodes Boisement et Reboisement du Label Bas Carbone ; et les notices explicatives des outils d'Alcina, EcoTree et Reforest'Action.

Dans la suite de l'analyse, la distinction entre organisation ou système, méthode et outil n'est plus opérée. Seuls comptent les principes et modes d'estimation du carbone, qu'ils soient définis au niveau de l'organisation ou du système (par exemple, pour Reforest'Action ou EcoTree), au niveau de la méthode (par exemple, pour les méthodes du Label Bas Carbone) ou au niveau de l'outil (par exemple, pour l'outil A•CO2 d'Alcina).

Les organisations ou systèmes, méthodes et outils analysés sont présentés dans le tableau 1. Leur sélection s'est opérée sur plusieurs critères :

- Certains systèmes ont déjà été analysés par le WWF en 2021 : le Label Bas Carbone (Ollivier et Vallauri, 2021b) et la procédure SE de FSC (Ollivier et Vallauri, 2021a). Ces analyses avaient été opérées sur le fonctionnement global de ces systèmes de PSE. L'analyse proposée ici s'attarde uniquement sur les principes et paramètres utilisés dans les estimations carbone ;
- D'autres organisations ou systèmes français (même si tous les projets n'ont pas nécessairement lieu en France) ont été ajoutés à l'analyse : EcoTree, Reforest'Action et La Belle Forêt. L'outil développé par Alcina (A•CO2) a également été intégré ;
- Enfin, les trois grands systèmes internationaux qui font référence aujourd'hui en la matière ont été analysés : Gold Standard, Verra et ART TREES. Plus éloignés des réalités du carbone forestier en France hexagonale, ils demeurent néanmoins importants pour comprendre les principes et les paramètres clés à retenir, ainsi que les choix et arbitrages réalisés pour estimer le carbone d'un projet forestier. Pour le système Verra, de nombreuses méthodes existent et il n'était pas possible d'en faire une analyse exhaustive ; une sélection a donc été opérée pour explorer la diversité des approches possibles les plus en relation avec les pratiques forestières qui nous intéressent.

⬇ **Tableau 1.** Les neuf organisations ou systèmes, neuf méthodes et cinq outils analysés. **En vert** ce qui a été analysé.
Note : seuls les documents et outils qui ont pu être consultés par les auteurs sont inclus dans l'analyse, les éléments déclaratifs sans preuve associée n'ont pas été intégrés.

ORGANISATION	SYSTÈME	MÉTHODE	OUTIL OU PRINCIPES DE L'OUTIL	PRODUCTION
DGEC	Label Bas Carbone	Balivage	-	Méthode conversion de taillis en futaie sur souches - Version 2 du 27/07/2020
		Boisement	Tableur de calcul des réductions d'émissions V15/10/2021 <i>(disponible uniquement en créant un compte puis un dossier Boisement ou Reboisement sur demarches-simplifiees.fr)</i>	Méthode boisement - Version 2 du 27/07/2020
		Reconstitution de peuplements forestiers dégradés (ou reboisement)		Méthode reconstitution de peuplements forestiers dégradés - Version 2 du 27/07/2020
EcoTree		-	Méthodologie de quantification CO₂	Méthodologie de quantification CO₂ EcoTree - Version 4.3 du 30/01/2024
Reforest'Action		-	Principes du Carbon storage simulator	Carbon storage simulator - Principes and methods - Novembre 2023 <i>(pas en ligne, à solliciter auprès de Reforest'Action)</i> Cahier des charges des projets de plantation SAISON 2023-2024 V26.07.2023
Gold Standard		Boisement / Reboisement	-	The Gold Standard Afforestation/Reforestation (A/R) Requirements - Version 0.9 d'août 2013



ORGANISATION	SYSTÈME	MÉTHODE	OUTIL OU PRINCIPES DE L'OUTIL	PRODUCTION
FSC	Procédure pour les Services Éco-systémiques	-	FSC Forest Carbon Monitoring Tool	<p>Procédure pour les Services Écosystémiques : Démonstration des bénéfices et outils de marché - FSC-PRO-30-006 V1-2 - FR - Version 1-2 entrée en vigueur en avril 2021</p> <p>Guide pour démontrer les bénéfices de la gestion forestière FSC pour les services écosystémiques - FSC-GUI-30-006 V1-1 FR - Version 1-1 approuvée le 1^{er} octobre 2021</p> <p>User's Manual for FSC Forest Carbon Monitoring Tool - FSC-MAN-30-006 V1-0 EN - Version 1-0 entrée en vigueur le 14 août 2020</p>
Alcina		-	Notice de l'outil A•CO2	A•CO2 : outils d'évaluation des stocks et flux de carbone en forêt par comparaison d'itinéraires - 2022 (<i>pas en ligne, à solliciter auprès d'Alcina</i>)
Verra	Verified Carbon Standard (VCS)	Déforestation évitée (<i>Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation - REDD</i>)	-	VM0009 Methodology for Avoided Ecosystem Conversion, v3.0 - Version 3.0 du 6 juin 2014 ⁴
		Amélioration par extension de la durée de révolution (<i>Extension of Rotation Age - ERA</i>)	-	VM0003 Methodology for Improved Forest Management through Extension of Rotation Age, v1.3 - Version 1.3 du 16 mai 2023 ⁵
		Protection d'une forêt anciennement exploitée (<i>Logged to Protected Forest - LtPF</i>)	-	VM0010 Methodology for Improved Forest Management: Conversion from Logged to Protected Forest, v1.3 - Version 1.3 du 26 avril 2016 ⁵
		Exploitation à impact réduit (<i>Reduced Impact Logging for Climate - RIL-C</i>)	-	VM0010 Methodology for Improved Forest Management: Conversion from Logged to Protected Forest, v1.3 - Version 1.3 du 26 avril 2016 ⁵
La Belle Forêt		Méthodologie « Gestion Forestière Optimisée »	-	<p>Notice technique - Méthodologie « Gestion Forestière Optimisée » - Novembre 2023 (<i>confidentiel</i>)</p> <p>Référentiel technique - Quantification carbone et notation des co-bénéfices et Annexe France - Juin 2022 (<i>confidentiel</i>)</p> <p>Grille de co-bénéfices - Septembre 2022 (<i>confidentiel</i>)</p>
Architecture for REDD+ Transactions (ART)	The REDD+ Environmental Excellence Standard (TREES)	-	-	<p>The REDD+ Environmental Excellence Standard (TREES) - Version 2.0 d'août 2021</p> <p>TREES Validation and Verification Standard - Version 2.0 de décembre 2021</p>

⁴ Les projets REDD peuvent entrer dans 5 méthodologies de Verra : [VM0006 Methodology for Carbon Accounting for Mosaic and Landscape-scale REDD Projects, v2.2](#) ; [VM0007 REDD+ Methodology Framework \(REDD-MF\), v1.7](#) ; [VM0009 Methodology for Avoided Ecosystem Conversion, v3.0](#) (inactive depuis le 27 novembre 2023) ; [VM0015 Methodology for Avoided Unplanned Deforestation, v1.2](#) ; [VM0037 Methodology for Implementation of REDD+ Activities in Landscapes Affected by Mosaic Deforestation and Degradation, v1.0](#) (inactive depuis le 27 novembre 2023). En date du 27 novembre 2023, Verra a diffusé sa nouvelle méthode REDD consolidée : [VM0048 Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, v1.0](#). Les principaux changements concernent les données qui sont utilisées pour projeter la déforestation future ainsi que les risques de déforestation. La nouvelle méthodologie REDD consolidée devait remplacer toutes les méthodologies REDD existantes mais à ce jour, seules deux sont inactives (dont celle analysée dans le cadre du présent rapport, conservée car incluse avant publication de la méthode REDD consolidée).

⁵ Comme pour les projets REDD, les projets de gestion forestière améliorée (*Improved Forest Management - IFM*) peuvent entrer dans 7 méthodologies distinctes, dont 3 ont été analysées dans le présent rapport : ERA (VM0003), LtPF (VM0010) et RIL-C (VM0035). En date du 16 juin 2023, Verra a annoncé être en train d'examiner ces méthodologies, afin de les réviser et d'éliminer les éventuels doublons.

PARTIE 2.

CADRAGES GÉNÉRAUX DES SYSTÈMES, MÉTHODES ET OUTILS

GOUVERNANCE

Qui décide des paramètres des estimations carbone du système, d'une méthode, d'un projet ? Quelle gouvernance pilote et légitime les choix ?

Synthèse de l'analyse

L'objet de cette partie de l'analyse n'est pas d'évaluer le système de gouvernance générale des systèmes précités, mais bien d'analyser la manière dont les estimations carbone ont été définies, discutées et validées. On peut distinguer, parmi les systèmes, méthodes et outils (cf. tableau 2) :

1. Ceux qui ont développé leurs méthodologies d'estimation carbone sans consultation

Parmi les outils élaborés sans consultation, on peut citer l'outil A•CO₂ d'Alcina. Ayant vocation à être utilisé par Alcina uniquement, il a exclusivement été développé par Alcina.

L'outil de suivi du carbone forestier de FSC a été développé par le cabinet de conseil allemand UNIQUE forestry and land use GmbH. Cet outil n'a pas fait l'objet d'une consultation ouverte, contrairement aux procédures habituelles de FSC ; les experts de FSC impliqués dans le développement de la procédure SE eux-mêmes sont peu informés du contenu et des choix méthodologiques effectués. FSC précise par ailleurs dans l'outil que "les choix de calcul effectués dans cet outil sont ceux des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les opinions et les choix du FSC". L'usage de cet outil est facultatif dans le montage de projet selon la procédure SE de FSC.

2. Ceux s'appuyant sur une approche solide combinant expertise et consultation publique

Les grands systèmes internationaux sont ceux dont la gouvernance est la plus solide pour l'approbation de nouvelles méthodes.

Les approches de Verra et Gold Standard sont assez similaires et sont cadrées par des documents spécifiques. Elles débutent par la soumission d'une proposition par un développeur de méthode, dont l'éligibilité est vérifiée par les secrétariats des organisations. La première version de la méthode est ensuite soumise pour révision au système, qui sélectionne un nombre variable d'évaluateurs internes ou externes. La version révisée, suite aux commentaires de ces évaluateurs, est soumise à consultation publique pour une durée d'environ un mois. La seconde version de la méthode peut alors être soumise soit au comité technique consultatif (*Technical Advisory Committee*, organisme d'experts techniques indépendants) du Gold Standard, soit à un organisme certificateur (*validation/verification body*) pour Verra qui va évaluer la conformité de la méthode au Standard VCS. C'est sur la base des derniers commentaires formulés que la version finale de la méthode peut être élaborée.

Dans le système ART TREES, c'est le Secrétariat qui élabore et révisé le standard (au minimum tous les 3 ans), avec l'appui de divers comités composés d'experts indépendants (comités *TREES Standards, Verification, Safeguards, HFLD, Removals*). Les révisions sont ouvertes à la consultation publique pour une durée de 60 jours, avant révision par le Secrétariat et le Conseil d'Administration. Les réponses apportées aux différents commentaires sont rendues publiques sur le site internet d'ART. C'est le Conseil d'Administration qui valide le Standard à la fin du processus.

On peut noter que le Label Bas Carbone s'approche de ce type de gouvernance, ayant récemment renforcé le processus d'élaboration et validation de ses méthodes (cf. encart 1). Les principes de l'estimation carbone sont inclus dans chaque méthode.

3. Et certains cas intermédiaires

Certains systèmes et méthodes font appel de manière variable à des experts, à la consultation publique, et à un audit des méthodes par un bureau certificateur.

EcoTree et Reforest'Action ont présenté leur approche à un panel d'experts ; sans liste ni compte-rendu sur les modifications intégrées publiquement disponibles, il est difficile de statuer sur

⬇ **Tableau 2.** Élaboration et processus de validation des principes d'estimation du carbone forestier selon les systèmes, méthodes ou outils.

SYSTÈME / MÉTHODE / OUTIL	PHASE D'ÉLABORATION		PROCESSUS DE VALIDATION		
	Interne	Externe	Consultation d'experts	Consultation publique ouverte	Tierce partie indépendante
Verra		X	OUI (internes et externes)	OUI	OUI
Gold Standard		X	OUI (internes et externes)	OUI	OUI
Label Bas Carbone		X	OUI	OUI (depuis 2022)	NON
La Belle Forêt	X		OUI (internes et externes)	NON	OUI
ART TREES	X		OUI	OUI	NON
EcoTree	X		OUI	NON	OUI
Reforest'Action	X		OUI	NON	OUI
FSC Carbon Monitoring Tool		X	Inconnu	NON	NON
Alcina - A•CO2	X		Inconnu	NON	NON

ENCART 1 L'évolution de la gouvernance du Label Bas Carbone



En 2021, le WWF insistait sur la nécessité d'élargir et renforcer la gouvernance de la définition des méthodes dans le Label Bas Carbone. Les méthodes Balivage, Boisement et Reboisement ont en effet été élaborées par le CNPF sans consultation publique large et avec une implication technique limitée de toute la diversité des acteurs intéressés (ONG notamment). Les critiques soulevées par certains acteurs participant à la définition des méthodes n'avaient de plus pas été entendues (par exemple par FNE sur les co-bénéfices biodiversité).

Depuis la fin de l'année 2022, le Label Bas Carbone a renforcé le processus d'élaboration et de validation des nouvelles méthodes. Les méthodes sont développées par des promoteurs, soumises à l'autorité du valideur (la DGEC du MTE) puis ouverte à la consultation publique (pour une durée de 3 semaines). La méthode est ensuite revue par un groupe scientifique et technique qui émet des commentaires rapportés au promoteur de la méthode. Ce groupe est constitué de représentants des établissements publics de l'Etat, d'experts de la société civile et de personnalités qualifiées. Ces experts ne sont pas distincts en fonction des domaines des méthodes concernées mais des experts externes peuvent être mobilisés selon les méthodes. Seule l'autorité approuve ensuite la méthode.

la solidité de l'expertise des personnes sollicitées et sur sa prise en compte. Leur méthodologie carbone est auditée par Bureau Veritas qui accompagne le processus de validation.

La Belle Forêt a fait appel à des experts techniques (des experts forestiers, des spécialistes du carbone, des spécialistes de la biodiversité...) et a fait reconnaître sa méthode par Bureau Veritas en suivant une procédure de consultation privée mais formelle.

Points de vigilance et recommandations

Choisir les paramètres des estimations carbone, quand il s'agit de vendre un crédit ou une contribution carbone, est complexe et demande une expertise sérieuse.

Pour cela, de la gouvernance des choix découle une certaine légitimité qui est primordiale. Ils doivent être discutés largement, avec consultation d'un panel d'experts représentatif des sujets, dont la liste est rendue publique et dont l'expertise est reconnue, et une mise en débat avec les parties prenantes. Il faut distinguer l'intervention des tierces parties indépendantes (organismes certificateurs) en fonction du rôle qui leur est attribué. Dans certains cas, il s'agit d'un audit ayant pour objectif de vérifier la conformité d'une méthode vis-à-vis d'un système (par exemple pour les méthodes Verra qui doivent se conformer au VCS). Dans d'autres, l'organisme certificateur ne fait qu'accompagner l'organisation dans le processus d'élaboration et validation ; il ne témoigne en aucun cas de la qualité des principes d'estimation du carbone forestier.

Pour apporter au financeur d'un PSE carbone une estimation carbone fiable et non remise en cause, la question d'une gouvernance légitimante et partagée nous semble l'un des points essentiels d'un bon système (Vallauri *et al.*, 2021). Ainsi, le WWF recommande la co-construction de méthodes entre les experts du système, au fait des exigences spécifiques de ce système, et la mobilisation ou consultation de spécialistes externes du carbone forestier, et bien sûr du sujet abordé par la méthode. Une consultation publique est recommandée ; il devrait a minima s'agir d'une consultation des principales parties prenantes concernées. Pour plus de transparence, il est recommandé que les résultats de la consultation publique et les réponses apportées par le système soient publiés. L'audit des processus de validation par un organisme certificateur, s'il est essentiel à l'échelle d'un système, ne semble pas indispensable ici.

TRANSPARENCE ET CLARTÉ

Quel est le niveau de transparence ? Permet-il de comprendre les choix et arbitrages réalisés par un système, une méthode, un projet pour l'estimation carbone ?

Synthèse de l'analyse

Les niveaux de transparence et de clarté des systèmes, méthodes ou outils analysés peuvent s'appréhender au regard :

1. De la facilité d'accès à l'information permettant d'évaluer les paramètres carbone

La plupart des systèmes ou méthodes permettent d'accéder facilement aux documents permettant de comprendre les choix et arbitrages réalisés pour l'estimation du carbone. Par exemple, Verra met à disposition tous ses modules, méthodologies et outils en ligne.

Le système ART TREES met à disposition tous ses documents et permet en théorie d'accéder de manière transparente à l'information, néanmoins les documents du registre ne sont accessibles qu'aux détenteurs d'un compte, qui ne peuvent être que des entités gouvernementales, une entité qui souhaite acheter des crédits ART ou des organismes agréés de validation et vérification.

Deux systèmes ou organisations (Reforest'Action, Alcina) mettent à disposition des documents de présentation de leur méthodologie ou de leur outil sur demande, mais ne permettent pas leur libre téléchargement sur leur site internet. En effet, l'outil A•CO₂ d'Alcina est confidentiel et a été déposé sous enveloppe (protection juridique de la création). Reforest'Action dispose également d'un outil digital interne pour sa projection carbone, qui pour des raisons de concurrence n'est pas public. Le système La Belle Forêt est confidentiel, en date de rédaction de ce rapport, mais devrait être prochainement rendu public. Ce rapport s'appuie sur l'analyse des documents qui sont publics ou ont été fournis par les organisations sollicitées. Les éléments déclaratifs, qui n'ont pas pu être vérifiés, ne sont pas inclus.

2. Du niveau de détail des informations auxquelles il est possible d'accéder

Ils sont variables. Ainsi, les grands systèmes internationaux comme Verra, Gold Standard ou ART TREES sont très précis et renvoient souvent vers d'autres outils : standard général, outil de démonstration de l'additionnalité, modèle de rapport, outil de détermination du risque de non-permanence... D'autres systèmes ou méthodes fournissent des informations très partielles, comme par exemple la fiche de présentation de l'outil A•CO₂ d'Alcina qui présente les orientations méthodologiques sans fournir les détails de l'outil, qui est confidentiel.

3. Et de la facilité de compréhension de ces informations

Les niveaux de précision ne sont pas directement liés à la facilité de compréhension de l'information qui y est contenue.

Les systèmes les plus complets ne sont ainsi pas les plus facilement compréhensibles, en témoignent les méthodes de Verra et plus particulièrement la méthode REDD qui, avec ses plus

de 300 pages, ses multiples sigles et ses nombreux renvois aux équations et variables en annexe, est un document austère et beaucoup trop complexe pour de nombreux porteurs de projets. La technicité des méthodes carbone peut être la porte ouverte à un usage détourné par des utilisateurs souhaitant en exploiter les failles à leur avantage. Il est d'autant plus difficile de détecter les abus que les méthodes sont complexes (Carbon Market Watch, 2023).

D'autres systèmes ou méthodes sont difficiles à aborder par le peu d'informations qu'ils veulent bien fournir. C'est le cas par exemple de la notice explicative de l'outil de projection carbone de Reforest'Action, qui afin de vulgariser l'approche et répondre aux interrogations des contributeurs, ne précise pas clairement son approche mais renvoie vers des équations très générales du Mécanisme de Développement Propre (MDP) ou des recommandations de la Commission Européenne, ce qui ne facilite pas la lecture et la compréhension des choix réels. Il en est de même pour l'outil de FSC, qui déclare s'appuyer sur des recommandations du GIEC, mais sans présenter les sources de données ou les modes de calcul exacts, et sans possibilité de comprendre les calculs réalisés automatiquement dans l'outil Excel. Ces renvois sur des documents ou paramètres mondiaux laissent dubitatifs quant au caractère pratique et concret de l'estimation fiable de la diversité des situations sur le terrain.

Points de vigilance et recommandations

La transparence est l'un des points essentiels d'un système de PSE fiable et légitime. Cela est d'autant plus important pour les estimations carbone en forêt qui sont sujettes à de nombreuses controverses. Aussi, il est important d'accéder facilement à une information pour comprendre les choix et arbitrages réalisés pour l'estimation carbone des projets forestiers. Cette information doit par ailleurs être claire, concise mais suffisamment précise et étayée.

Les principales recommandations du WWF relatives à la transparence des modes d'estimation du carbone forestier sont les suivantes :

- Les systèmes ou méthodes doivent faciliter la mise en œuvre par les porteurs de projets en proposant des outils fiables. Ces outils doivent être faciles d'utilisation et accessibles au plus grand nombre sans formation scientifique sur le carbone. Une notice explicative claire et concise, justifiant des choix techniques effectués et détaillant les étapes pour l'utilisation de l'outil, doit être développée ;
- Les éléments permettant de comprendre les choix méthodologiques des systèmes ou méthodes doivent être facilement accessibles à tous, dans un langage permettant la compréhension par les porteurs de projet et les financeurs ;
- Les différentes méthodes d'un même système doivent suivre une même organisation, un même plan, présenter les mêmes éléments, pour faciliter leur comparaison et la navigation d'une méthode à l'autre.

DIVERSITÉ DES PRATIQUES MOBILISÉES

Les méthodes d'estimations couvrent-elles toute la diversité des actions possibles en forêt ? Quels sont les itinéraires techniques les plus fréquemment traduits en impact carbone ?

Synthèse de l'analyse

La diversité des pratiques mobilisées par les systèmes ou méthodes analysés est illustrée dans le tableau 3. On peut distinguer deux cas de figure :

1. La quasi-totalité des systèmes ou méthodes sont spécifiques à un itinéraire sylvicole

Verra et le Label Bas Carbone font la distinction entre différentes méthodes, associées à un itinéraire sylvicole donné.

Le Label Bas Carbone avec ses trois méthodes (Balivage, Boisement, Reboisement) a été conçu dès le départ comme un système multi-méthodes. Selon la liste des projets de méthodes en cours de développement pour le Label Bas Carbone (version de mai 2023), il existe cinq autres méthodes en cours d'écriture : Sylviculture à couvert continu / futaie irrégulière / allongement des cycles de production, Préservation des vieilles forêts / îlots de sénescence, Plantation d'arbre en ville⁶, Amélioration de peuplements en impasse sylvicole et Restauration des terres agricoles dégradées en Guyane.

Verra, avec sa grande diversité de méthodes, présente le panel d'alternatives de gestion le plus large. Quatre méthodes ont été analysées (ERA, REDD, LtPF et RIL-C). Verra dispose par ailleurs de plusieurs autres méthodes mais un choix a été opéré devant la multiplicité des méthodes disponibles.

Parmi les systèmes et méthodes analysés, les itinéraires sylvicoles dont le carbone peut être estimé sont les suivants :

- Cinq concernent la **plantation**, itinéraire très en vogue pour la captation du carbone (méthodes Boisement et Reboisement du Label Bas Carbone, EcoTree, Gold Standard, Reforest'Action).
- Quatre sont relatives à des **sylvicultures productives** : conversion de taillis en futaie pour la méthode Balivage du Label Bas Carbone, sylviculture proche de la nature pour La Belle Forêt (avec une distinction dans certains paramètres entre feuillus et résineux), extension de la durée de la révolution pour la méthode ERA de Verra, exploitation à impact réduit pour la méthode RIL-C du même système.
- La méthode REDD de Verra et le système ART TREES concernent la **réduction de la déforestation**, plutôt applicable dans des contextes tropicaux.
- Seule la méthode LtPF de Verra aborde la question de la mise en **libre évolution** d'une forêt. Aucun autre itinéraire de protection stricte ou de conservation d'éléments clé pour la biodiversité de la forêt (arbres habitat par exemple) n'est proposé.

2. Deux outils seulement permettent de faire des estimations pour tous types d'itinéraires sylvicoles

L'outil A•CO₂ d'Alcina qui est mis en place sous la mention FSC SE et l'outil de ce dernier système permettent de calculer des stocks et flux, en fonction d'un itinéraire sylvicole de référence et d'un itinéraire sylvicole de projet, librement choisis par l'utilisateur de l'outil.

⁶ Cette méthode, approuvée le 7 décembre 2023 durant la phase de consultation du présent rapport, n'a pas été intégrée à l'analyse.

Points de vigilance et recommandations

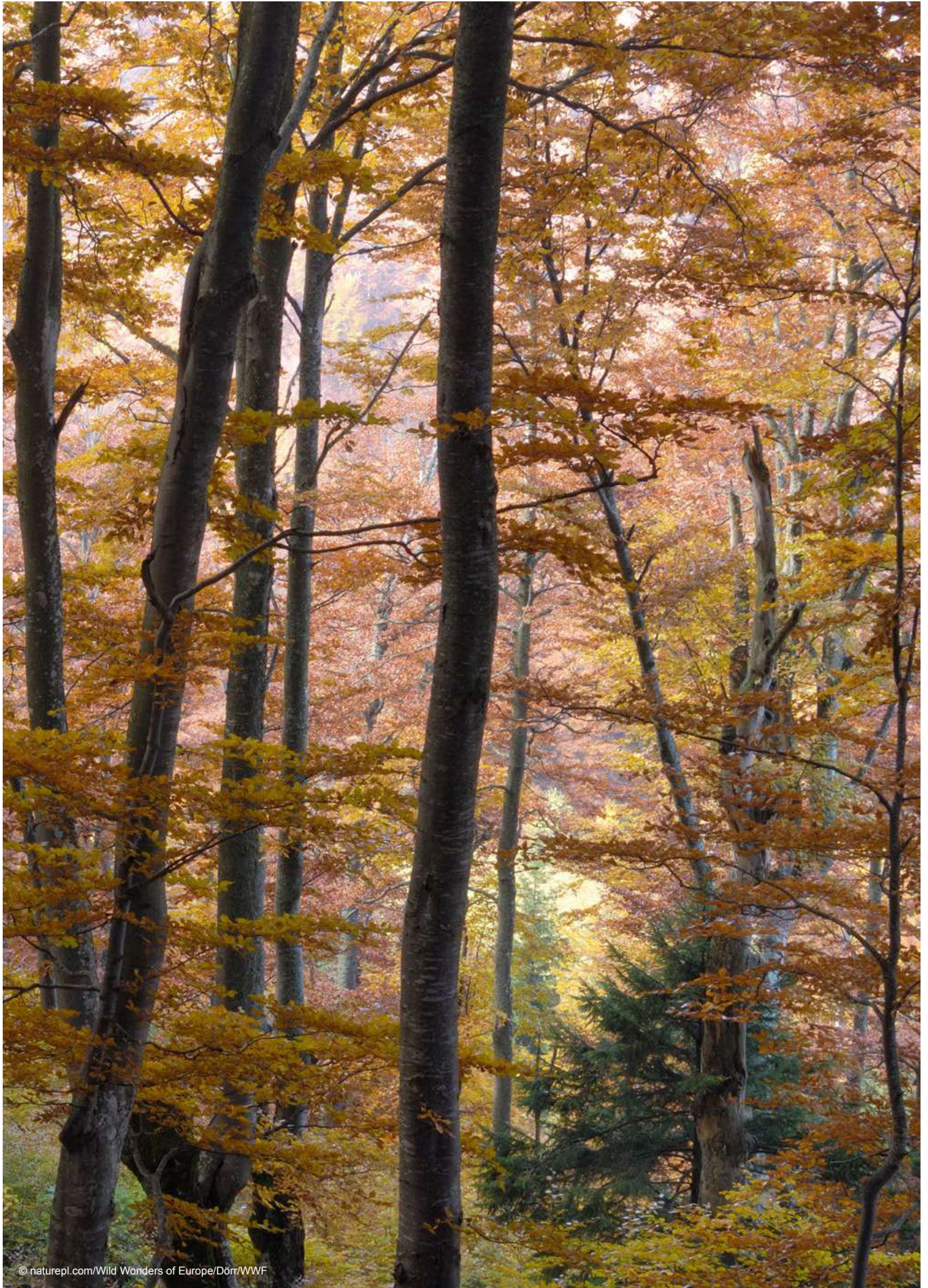
Les points de vigilance principaux concernent :

- La diversité d'actions possibles, notamment en termes de conservation. La palette des outils du forestier permettant de générer de l'impact carbone comme biodiversité est large. Les estimations carbone de ces actions (conservation d'arbres habitats, libre évolution...) doivent pouvoir être appréciées de façon fiable ;
- La variabilité des manières d'estimer le carbone en fonction de l'itinéraire technique choisi par le porteur de projet. A titre d'exemple, on n'estime pas le carbone de la même manière pour de la mise en place d'îlots de sénescence que pour du boisement d'une terre agricole : pour le premier itinéraire, l'évolution du carbone contenu dans la biomasse souterraine entre le scénario de référence et celui du projet sera faible et le risque de dépérissement des arbres importe peu ; pour le second, ce sera l'inverse.

Le WWF recommande de conserver une certaine souplesse dans les outils carbone, afin de décliner les modes d'estimation en fonction des pratiques sylvicoles. Il n'existe pas une unique et parfaite manière d'estimer le carbone, mais tous les choix doivent être explicités et justifiés en fonction des pratiques dont on veut estimer l'impact carbone.

 **Tableau 3.** Diversité technique mobilisée selon les systèmes ou méthodes

SYSTÈMES / MÉTHODES / OUTILS	PROTECTION	GESTION PRODUCTIVE DE PEUPELEMENTS EXISTANTS	RESTAURATION	RÉDUCTION DE LA DÉFORESTATION
FSC	Tout itinéraire			
Alcina - A • CO2	Tout itinéraire			
Verra	Absence d'exploitation	Allongement de la période de rotation Exploitation à impact réduit		Evitement de la déforestation
Label Bas Carbone		Balivage	Reboisement Boisement	
Gold Standard			Reboisement Boisement	
Reforest'Action			Reboisement Boisement	
La Belle Forêt		Sylviculture proche de la nature		
EcoTree			Boisement	
ART TREES				Réduction de la déforestation



PARTIE 3.

OPÉRATIONNALISATION DES ESTIMATIONS CARBONE

COMPARTIMENTS SÉQUESTRANT DU CARBONE CONSIDÉRÉS

Quels sont les compartiments séquestrant du carbone estimés par les principaux systèmes, méthodes et outils ?

Les différents compartiments de séquestrant du carbone considérés dans ce chapitre sont définis dans un "B.a.-ba du carbone en forêt et dans la filière bois" (Darteyron et Vallauri, en préparation). Après une analyse de l'importance relative des compartiments séquestrant du carbone, des recommandations sont formulées pour l'inclusion de certains compartiments dans les estimations d'un projet forestier.

AVERTISSEMENT : Dans le cadre de projets pouvant bénéficier de PSE, il s'agit de se questionner sur la légitimité de comptabiliser tout ou partie de ces compartiments dans l'estimation du carbone afin de solliciter un paiement pour des pratiques additionnelles. Il doit y avoir une différence significative de séquestration dans le compartiment entre le scénario de référence et le scénario du projet. Même si un compartiment séquestre une part importante de carbone, il n'y a pas toujours d'utilité pratique à le comptabiliser en vue de le vendre, s'il n'y a pas d'évolution significative de ce stock entre l'itinéraire de référence et l'itinéraire du projet (cas des sols pour beaucoup des pratiques sylvicoles). Une "estimation inutile" pour un projet de PSE signifie donc que le WWF considère qu'il ne faut pas valoriser financièrement le carbone additionnel de ce compartiment ; ce qui ne signifie pas que ce compartiment n'a pas de valeur en termes de carbone de manière absolue.

• Compartiments séquestrant du carbone dans l'écosystème forestier

Synthèse de l'analyse

La prise en compte des compartiments séquestrant du carbone dans l'écosystème forestier selon les systèmes ou méthodes est résumée dans le tableau 4 :

- **La biomasse aérienne des arbres** est incluse dans tous les systèmes, tant dans l'estimation des stocks que dans l'estimation des flux ;
- **La biomasse du sous-étage** est recommandée par EcoTree mais non implémentée. L'estimation du carbone des arbustes est facultative pour FSC et ART TREES (avec valeurs ou approche par défaut du GIEC) ou Reforest'Action (méthodologie MDP) ou incluse par l'outil A•CO2 d'Alcina ;
- **La biomasse ligneuse racinaire** est incluse dans les estimations de presque tous les systèmes hormis dans les méthodes REDD et LtPF de Verra car Verra considère qu'il y a peu d'évolution de la biomasse racinaire entre deux scénarios maintenant l'état boisé. Ce compartiment est également facultatif pour ART TREES.
- **Le bois mort** au sol ou sur pied est généralement exclu de l'estimation sous prétexte du peu d'évolution selon le GIEC (2006b) qui fonde son analyse sur des forêts naturelles. Il est généralement non-inclus dans les méthodes qui visent le boisement, le peuplement étant considéré comme trop jeune pour que le carbone du bois mort ait une valeur significative sur la durée de l'estimation carbone (cas de la méthode Boisement du Label Bas Carbone). Le bois mort est parfois considéré facultatif (par exemple : dans l'estimation de FSC, il est fait référence à des valeurs par défaut de GIEC, 2006b ; ART TREES le classe en tant que compartiment secondaire, sans justification spécifique). Dans la méthode LtPF de Verra, seuls les rémanents d'exploitation sont comptabilisés dans le scénario de référence ; tandis que dans la méthode RIL-C du même système, seul le bois mort sur pied et à terre

causé par les dégâts de l'exploitation forestière est considéré (les changements dans les stocks du bois mort déjà existant ne sont pas pris en compte, de manière conservatrice, en raison des pratiques à impact réduit sur le carbone dans le scénario de projet).

- **La litière** est incluse de manière obligatoire ou facultative dans l'estimation carbone de huit systèmes ou méthodes (par exemple, dans FSC, les valeurs sont données par défaut en suivant les données du GIEC, 2006b). Elle est non incluse dans six autres (dont Verra qui explique l'absence de changement

significatif dans ce compartiment du fait des activités couvertes par ses méthodes) ;

- **La matière organique** du sol est incluse dans l'estimation carbone de six systèmes ou méthodes, et facultative pour une méthode. ART TREES inclut ce compartiment de manière obligatoire pour les sols tourbeux, tandis qu'il est facultatif pour les sols minéraux. La matière organique du sol est non incluse dans six autres, estimant négligeable les valeurs dans le cas d'une comparaison entre deux scénarios maintenant tous les deux l'état boisé.

⬇ **Tableau 4.** Prise en compte des compartiments de l'écosystème forestier séquestrant du carbone selon les systèmes ou méthodes.

Note : En l'absence d'information sur l'un des compartiments, aucune information n'est renseignée ("–") puisqu'on considère que le compartiment n'est ni clairement inclus, ni clairement exclu. Un compartiment est considéré inclus à partir du moment où il est recommandé de le prendre en considération dans l'estimation carbone ; sans présager de l'estimation faite par la suite ou de l'éventuelle annulation du compartiment entre le scénario de référence et le scénario de projet.

SYSTÈMES / MÉTHODES / OUTILS	COMPARTIMENTS DE L'ÉCOSYSTÈME FORESTIER SÉQUESTRANT DU CARBONE					
	Biomasse aérienne des arbres	Biomasse du sous-étage	Biomasse racinaire	Bois mort au sol ou sur pied	Litière	Matière organique du sol
Alcina - A • CO2	Inclus	Inclus	Inclus	Inclus	Inclus	Inclus
Reforest'Action	Inclus	Facultatif	Inclus	Facultatif	Facultatif	Inclus
Label Bas Carbone - Balivage	Inclus	–	Inclus	Facultatif	Inclus	Inclus
Label Bas Carbone - Reboisement	Inclus	–	Inclus	Facultatif	Inclus	Inclus
Label Bas Carbone - Boisement	Inclus	–	Inclus	Non-inclus	Inclus	Inclus
EcoTree	Inclus	Recommandé mais non-implémenté	Inclus	Inclus	Inclus	Inclus
FSC - Procédure SE et Carbon Monitoring Tool	Inclus	Facultatif	Inclus	Facultatif	Facultatif	Non-inclus
ART TREES	Inclus	Facultatif	Facultatif	Facultatif	Facultatif	Inclus (sols tourbeux) ou Facultatif (sols minéraux)
Gold Standard - Boisement / Reboisement	Inclus	–	Inclus	Inclus (bois mort sur pied) ou Non-inclus (bois mort au sol)	Non-inclus	Non-inclus
Verra - RIL-C	Inclus	–	Inclus	Inclus (dégâts d'exploitation) ou Non-inclus (accumulé naturellement)	Non-inclus	Non-inclus
Verra - ERA	Inclus	–	Inclus	Facultatif	Non-inclus	Non-inclus
Verra - REDD	Inclus	–	Facultatif	Facultatif	Non-inclus	Facultatif
Verra - LtPF	Inclus	–	Facultatif	Inclus (rémanents d'exploitation) ou Non-inclus (accumulé naturellement)	Non-inclus	Non-inclus
La Belle Forêt	Inclus	–	Inclus	Non-inclus	Non-inclus	Non-inclus

Points de vigilance et recommandations

Les estimations cherchent souvent à être exhaustives quitte à utiliser des formules floues, des coefficients non spécifiques à la forêt considérée, faisant souvent référence à des travaux mondiaux (comme GIEC, 2006a) ou au mieux nationaux. Cela conduit à une fausse impression de précision.

Le tableau 5 résume les recommandations du WWF concernant les compartiments de l'écosystème forestier séquestrant du carbone à considérer pour une estimation du carbone additionnel d'un projet forestier. La biomasse aérienne doit toujours être estimée car i) elle a une forte importance, ii) les données sont généralement disponibles pour l'estimer, et iii) les choix de gestion sylvicole ont un fort impact sur ce compartiment. Le bois mort doit être estimé si la donnée est disponible et si le choix du gestionnaire implique une diminution substantielle de son volume dans le scénario de référence (scénario peu acceptable de purge de l'intégralité du bois mort après tempête, par exemple) ou le maintien de volumes substantiels dans le scénario du projet (par exemple, libre évolution ou engagement à maintenir les rémanents lors des activités sylvicoles). Les biomasses du sous-étage, racinaire, la litière et la matière organique du sol ne peuvent que difficilement être estimées et varient peu sur le pas de temps de l'estimation, sauf exception (augmentation potentiellement importante lors d'un boisement, diminution substantielle dans le cas d'une coupe rase selon l'expertise CRREF de 2023, etc.).

• Carbone considéré issu des usages du bois

Synthèse de l'analyse

La prise en compte du carbone dans les produits forestiers selon les systèmes, méthodes ou outils est résumée dans le tableau 6 :

- Presque tous les systèmes ou méthodes rendent possible la prise en considération du carbone stocké dans **les produits bois** issus de l'exploitation de la forêt. Cela est généralement inclus ou facultatif (11 systèmes, méthodes ou outils) dans les cas où une exploitation forestière est réalisée. Reforest'Action ne considère le carbone des produits bois que dans le scénario de projet. Il est non inclus dans la méthode boisement/reboisement de Gold Standard, dans les méthode REDD (si absence d'exploitation) et RIL-C de Verra (car l'exploitation forestière à impact réduit ne peut pas inclure de réduction délibérée du volume exploité), et dans le système ART TREES. Tous les systèmes ou méthodes qui estiment le carbone des produits bois appliquent des méthodes de calcul différenciées en fonction de leur durée de vie.
- **L'effet substitution** supposé n'est jamais estimé de façon obligatoire. La plupart des systèmes ou méthodes ne l'évoquent même pas. Il est sinon facultatif (méthodes du Label Bas Carbone et outil A•CO₂ d'Alcina) ou clairement exclu (par exemple : EcoTree qui affiche l'effet substitution uniquement dans une visée pédagogique, pour expliquer l'importance d'utiliser des produits bois).
- Tous les systèmes ou méthodes qui considèrent le carbone issu des usages du bois comptabilisent **le bois d'œuvre** et **le bois d'industrie** (hors outil A•CO₂ d'Alcina, qui exclut le bois à destination de la papeterie) dans le stock des produits bois et, le cas échéant, dans l'effet substitution. **Le bois énergie** n'est jamais comptabilisé dans les stocks de carbone des produits bois mais l'est dans le cadre de l'effet substitution.

 **Tableau 5.** Recommandations du WWF concernant les compartiments de l'écosystème forestier séquestrant du carbone à inclure pour une estimation du carbone additionnel d'un projet forestier.

COMPARTIMENT	Importance dans le carbone forestier	Recommandation pour l'estimation du carbone additionnel d'un projet forestier	COMMENTAIRES
Biomasse aérienne des arbres	+++	A estimer	Fort impact des choix de gestion sylvicole et données généralement disponibles pour l'estimation.
Bois mort au sol ou sur pied	++	A estimer	A estimer si les données sont disponibles ; peut être omis quand il s'agit de valeurs (de mortalité et de volumes) par défaut. Choix du gestionnaire décisif en la matière. Plus-value variable en fonction de l'âge du peuplement, de l'itinéraire technique et de la durée considérée.
Biomasse du sous-étage	++	Estimation facultative (carbone peu additionnel et estimations peu fiables)	Estimations peu fiables, données généralement non disponibles et utilisation de valeurs par défaut.
Biomasse racinaire	+++		La gestion peut faire disparaître ce compartiment dans des cas caricaturaux (dessouchage, nettoyage compulsif...), mais n'a généralement pas d'influence significative pouvant être considérée additionnelle sur une durée de 30 ans (hors boisement sur terres agricoles).
Litière	+		
Matière organique du sol	+++		

⬇ **Tableau 6.** Prise en compte du carbone dans les produits forestiers selon les systèmes ou méthodes.

Note : en l'absence d'information sur l'un des compartiments, aucune information n'est renseignée ("–"), puisqu'on considère que le compartiment n'est ni clairement inclus, ni clairement exclu.

SYSTÈME / MÉTHODE / OUTIL	CARBONE ISSU DES USAGES DU BOIS							
	STOCK DANS LES PRODUITS BOIS	EFFET SUBSTITUTION	TYPE DE PRODUITS BOIS CONSIDÉRÉS					
			Bois d'œuvre		Bois d'industrie		Bois énergie	
			dans le stock des produits bois	dans l'effet substitution	dans le stock des produits bois	dans l'effet substitution	dans le stock des produits bois	dans l'effet substitution
Label Bas Carbone - Balivage	Facultatif	Facultatif	Inclus (sciage / bois d'œuvre)		Inclus (piquets)		Inclus (bois de feu mais n'ouvrant pas à un volume éligible à la vente)	Inclus
Label Bas Carbone - Boisement	Facultatif	Facultatif	Inclus (sciage / bois d'œuvre)		Inclus (panneaux / bois d'industrie, pâte à papier / trituration)		Non-inclus	Inclus
Label Bas Carbone - Reboisement	Facultatif	Facultatif	Inclus (sciage / bois d'œuvre)		Inclus (panneaux / bois d'industrie, pâte à papier / trituration)		Non-inclus	Inclus
Alcina - A•CO2	Inclus	Facultatif	Inclus		Inclus (sauf bois utilisé en papeterie)		Non-inclus	Inclus
EcoTree	Inclus	Non-inclus (estimé à visée pédagogique)	Inclus		Inclus (pâte à papier, panneaux)		Non-inclus	Inclus
Reforest'Action	Inclus	–	Inclus	–	Inclus (bois d'industrie, bois papier)	–	Non-inclus	–
Verra - LtPF	Inclus	–	Inclus (bois de sciage)	–	Inclus (panneaux à base de bois, autres bois ronds industriels, papier et carton)	–	Possiblement (dans la catégorie "autres")	–



Tableau 5 (suite)

SYSTÈME / MÉTHODE / OUTIL	CARBONE ISSU DES USAGES DU BOIS							
	STOCK DANS LES PRODUITS BOIS	EFFET SUBSTITUTION	TYPE DE PRODUITS BOIS CONSIDÉRÉS					
			Bois d'œuvre		Bois d'industrie		Bois énergie	
			dans le stock des produits bois	dans l'effet substitution	dans le stock des produits bois	dans l'effet substitution	dans le stock des produits bois	dans l'effet substitution
La Belle Forêt	Inclus	-	Inclus (bois d'œuvre sciages, petits sciages et panneaux de bois)	-	Inclus (trituration et pâte à papier, autres bois d'industrie)	-	Non-inclus	-
Verra - REDD	Inclus (si exploitation) ou Non-inclus (si absence d'exploitation)	-	Inclus (bois de sciage)	-	Inclus (panneaux à base de bois, autres bois ronds industriels, papier et carton)	-	-	-
FSC - Procédure SE et Carbon Monitoring Tool	Facultatif	-	Inclus (bois de sciage)	-	Inclus (panneaux, autres bois ronds industriels, papier et carton)	-	Possible (dans la catégorie "autres")	-
Verra - ERA	Facultatif	-	Inclus (bois de sciage)	-	Inclus (panneaux à base de bois, autres bois ronds industriels, papier et carton)	-	Possible (dans la catégorie "autres")	-
Gold Standard - Boisement / Reboisement	Non-inclus	-	-	-	-	-	-	-
Verra - RIL-C	Non-inclus	-	-	-	-	-	-	-
ART TREES	Non-inclus	-	-	-	-	-	-	-



Points de vigilance et recommandations

Plusieurs points de vigilance importants sont à rappeler ici :

- Tout d'abord, conformément au constat que partagent tous les systèmes ou méthodes analysés, il semble essentiel de faire la différence entre les produits quant à leur capacité à stocker durablement du carbone. Si tout usage du bois est utile, une hiérarchisation des usages selon leur empreinte carbone est à introduire dans les estimations. Les estimations carbone découlant de l'usage du bois sont sujettes à débat. Carbon Market Watch (2023) prône de ne pas les considérer comme des absorptions réelles et permanentes, même pour les produits bois de longue durée qui perdraient la moitié de leur potentiel de séquestration après 35 ans ;
- Il est de plus important de noter que des fluctuations du marché peuvent découler des demandes plus ou moins importantes pour certains types de produits bois. Le gestionnaire, s'il met sur le marché une qualité de bois qui a un usage potentiel, n'est en revanche pas maître de l'usage final qui en est fait. Du bois d'œuvre peut servir à des usages de bois énergie dans certains contextes particuliers, tandis que des usages nouveaux du bois d'industrie se développent et croissent (par exemple, la laine de bois pour l'isolation) et pourraient changer leur durée de vie à l'avenir ;
- Enfin, le gestionnaire n'a aucun contrôle ou influence, par ses choix sylvicoles, sur l'effet de substitution. Paramètre macro-économique, le carbone issu de cet effet ne peut pas être ni estimé de façon fiable, ni compté ni vendu par le

forestier. Cette position est étayée dans la partie "[Estimation de l'effet substitution](#)".

Le tableau 7 résume les recommandations du WWF :

- Le gestionnaire a une influence clé, par ses choix sylvicoles, pour augmenter la part et durée du stock de carbone des produits bois. Il est donc juste de prendre en compte de façon exigeante le carbone des produits bois de longue durée de vie (>25 ans). Des exclusions (ex. bois énergie ou bois-papier) et des paramètres peuvent résoudre les problèmes évoqués ;
- Comptabiliser le carbone de l'effet substitution du bois mis sur le marché est donc un abus conduisant à du greenwashing et à un risque de double comptage. Cela doit être exclu.

• Empreinte carbone des opérations forestières

Synthèse de l'analyse

Le tableau 8 analyse comment est estimée l'empreinte carbone des opérations forestières selon les systèmes ou méthodes. Les éléments suivants peuvent être pris en compte :

- L'empreinte carbone de **la combustion de combustibles fossiles** n'est presque jamais incluse car jugée insignifiante.

 **Tableau 7.** Recommandations du WWF concernant le carbone dans les produits forestiers à inclure pour une estimation du carbone additionnel d'un projet forestier.

Note : BO = bois d'œuvre ; BI = bois d'industrie ; BE = bois énergie.

COMPARTIMENT		Importance dans le carbone des produits forestiers	Recommandation pour l'estimation du carbone additionnel d'un projet forestier	COMMENTAIRES
Produits bois	BO	+++	A estimer	A estimer uniquement dans les itinéraires d'amélioration de la gestion (conversion en futaie continue ou futaie de gros bois, balivage...) ; inutile dans les scénarios de projet prévoyant des itinéraires de restauration ou de protection sans exploitation (libre évolution, maintien d'arbres habitats...)
	BI	++	A estimer partiellement	Uniquement les panneaux dont la durée de demi-vie est de 25 ans devraient être pris en considération, dans les mêmes conditions que le bois d'œuvre (cf. commentaire ci-dessus).
	BE	-	A proscrire	Le carbone du bois énergie est destiné à être relargué immédiatement et ne doit donc pas être considéré dans le stock des produits forestiers ; il doit en revanche bien être pris en compte dans le déstockage de la biomasse aérienne.
Effet substitution supposé	BO	++	A proscrire	Exclusion totale de l'effet substitution car il n'est ni maîtrisé ni garanti par le forestier, le devenir du carbone du bois vendu ne lui appartenant plus.
	BI	+		
	BE	0		

FSC ou la méthode LtPF de Verra rendent possible son inclusion si elle est significative ;

- L’empreinte carbone de la chimie de synthèse est prise en compte de façon différente selon qu’il s’agit des pesticides (jamais inclus) ou d’**engrais azotés**. Les engrais azotés ne sont presque jamais inclus car jugés insignifiants. Dans l’outil développé par FSC, la méthode REDD de Verra ou Gold Standard, l’empreinte carbone des engrais azotés peut être incluse ;
- L’empreinte carbone du **brûlage de biomasse** est incluse dans deux méthodes de Verra (ERA, REDD). Elle est facultative pour deux systèmes ou méthodes qui distinguent

différents cas de figure : brûlage relatif à la préparation du site avant plantation, brûlage des rémanents d’exploitation et feux de forêt (uniquement en *ex post*). Reforest’Action ne prend en compte ce compartiment que dans le scénario de projet.



Points de vigilance et recommandations

Le tableau 9 résume les recommandations du WWF pour la prise en compte de l’empreinte carbone des opérations forestières. Il est recommandé de ne pas les inclure car non significatifs sauf cas caricaturaux.

Tableau 8. Estimation de l’empreinte carbone des opérations forestières selon les systèmes ou méthodes.

SYSTÈMES / MÉTHODES / OUTILS	COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES	ENGRAIS AZOTÉS	BRÛLAGE DE BIOMASSE
Verra - REDD	–	Facultatif	Inclus
Gold Standard - Boisement / Reboisement	Non-inclus	Inclus	Facultatif
Verra - ERA	Non-inclus	Non-inclus	Inclus
FSC - Procédure SE et Carbon Monitoring Tool	Facultatif	Facultatif	–
Verra - LtPF	Facultatif	Non-inclus	–
Reforest’Action	–	–	Facultatif
Label Bas Carbone - Balivage	Non-inclus	Non-inclus	–
Label Bas Carbone - Boisement	Non-inclus	Non-inclus	–
Label Bas Carbone - Reboisement	Non-inclus	Non-inclus	–
La Belle Forêt	Non-inclus	Non-inclus	–
Alcina - A • CO2	Non-inclus	Non-inclus	–
Verra - RIL-C	Non-inclus	–	–
EcoTree	–	–	–
ART TREES	–	–	–

Tableau 9. Recommandations du WWF concernant l’empreinte carbone des opérations forestières à inclure pour une estimation du carbone additionnel d’un projet forestier.

COMPARTIMENT	Importance dans le carbone des opérations forestières	Recommandation pour l’estimation du carbone additionnel d’un projet forestier	COMMENTAIRES
Combustibles fossiles	+	Estimation facultative	Non significatif mais peut être estimé sur la base des données de certains gestionnaires dans une approche ERC pour mettre en évidence la nécessité de d’abord réduire l’impact de l’exploitation forestière avant de développer des projets pour capter du carbone.
Engrais azotés	0	Pas d’estimation	Non significatif, peu pertinent en France hexagonale au vu des dosages autorisés à ce jour.
Brûlage de biomasse	++	Pas d’estimation	Non significatif et pratique marginale en France métropolitaine

PLAGES DE TEMPS ET EMPRISE SPATIALE

Quelles sont les plages de temps des projets et des estimations du carbone séquestré ? Quel est le territoire des projets et des estimations de l’impact carbone ?

• Les plages de temps

Synthèse de l’analyse

La période d’estimation de l’impact carbone correspond à la durée sur laquelle le carbone peut être comptabilisé, vendu et suivi. Selon les systèmes et les méthodes, la période d’estimation carbone diffère : il s’agit d’un choix. Elle peut être fixe (entre 5 ans pour ART TREES et 100 ans pour EcoTree) ou variable (entre 30 et 50 ans pour Gold Standard ; entre 20 et 100 ans pour Verra). FSC et Alcina (à travers son outil A•CO2) ne précisent théoriquement aucune durée minimale ou maximale, mais dans la pratique il s’agit de la durée de révolution, de l’aménagement ou du plan de gestion qui est appliquée.

Reforest’Action ne précise pas explicitement la durée de l’estimation carbone mais exige la gestion et la conservation du peuplement sur une durée minimale de 30 ans.

Pour les méthodes Boisement et Reboisement du Label Bas Carbone, la période d’estimation du carbone est de 30 ans sauf cas particulier : elle peut être inférieure à 30 ans en fonction de la durée de révolution de l’essence plantée (par exemple pour du peuplier récolté avant 25 ans).

Dans tous les systèmes, la **durée du projet est au minimum la même que la durée de l’estimation carbone**. Ces durées sont résumées dans la figure 2.

Plusieurs systèmes ou méthodes proposent un **décalage temporel entre la date de début de l’estimation car-**

bone et la date de début du projet. Dans le système Gold Standard, la période de l’estimation carbone débute avec la plantation, qui peut remonter jusqu’à 2 ans avant que le projet n’ait atteint le statut “enregistrement” (après pré-faisabilité, audits et vérification). La méthode ERA de Verra prévoit également la possibilité que les pratiques démarrent avant la date de validation du projet, si les preuves adéquates sont fournies (notamment la preuve que l’incitation de vente des crédits carbone a appuyé la démarche générale, dans un souci d’additionnalité) ; sans précision sur la rétroactivité possible de l’estimation carbone. Enfin, pour le système ART TREES, la période de crédit sélectionnée peut commencer jusqu’à 4 ans avant l’année de soumission du projet. La méthode REDD de Verra prévoit quant à elle que la période de l’estimation carbone puisse démarrer jusqu’à 10 ans après la date de départ du projet, le temps que les activités se mettent en place.

Points de vigilance et recommandations

Des points de vigilance importants sont à rappeler ici :

- Les PSE s’appuient sur un concept essentiel : celui de l’additionnalité. Cela signifie qu’il existe une différence d’impact entre le projet et le scénario de référence, et donc que, sans financement, les actions n’auraient pas été menées (absence d’effet d’aubaine). En conséquence, la date de démarrage des activités ne devrait jamais précéder la date d’obtention des financements, puisque les mesures ont été prises sans financement (ou dans cette perspective, mais cela sera très difficile à prouver).
- Le temps forestier est un temps long, et les projets forestiers doivent donc s’imaginer sur le long terme. Pour autant, il semble illusoire d’effectuer des estimations carbone *ex ante* sur des périodes supérieures à 30 ans, durée au-delà de laquelle les incertitudes sont trop fortes même si la pérennité du projet est probable et démontrée au-delà. Ce point est par ailleurs repris dans les recommandations de Favrel *et al.* (2022), proposant à la Commission européenne de limiter l’estimation carbone à 30 ans après le début du

projet, durée classique d'un engagement forestier (fiscalité, Natura 2000...), période suffisante pour garantir que les avantages climatiques se produisent dans la période critique (d'ici 2050).

Les principales recommandations du WWF relatives aux plages de temps des projets et des estimations du carbone sont les suivantes :

- La durée du projet doit être au minimum égale à la durée de la période de l'estimation carbone ;
- Quelle que soit la durée du projet, celui-ci doit démontrer la pérennité de son impact sur au moins 20 ans. En dessous, le projet est estimé ne pas être sûr de produire des impacts carbone suffisamment durables dans le temps et devient moins prioritaire pour l'atténuation du changement climatique ;
- L'estimation *ex ante* de l'impact carbone doit s'effectuer sur une période égale au maximum à 30 ans. Au-delà de 30 ans, les risques de non-permanence sont trop élevés. Même si la durée du projet atteint 99 ans (exemple de la durée maximale d'une signature d'Obligation Réelle Environnementale), l'estimation *ex ante* du carbone additionnel ne doit pas s'effectuer au-delà des 30 ans maximum ;
- Même en ne valorisant l'impact carbone que sur un maximum de 30 ans, il est utile de simuler l'impact sur un terme plus long à titre informatif, afin de s'assurer qu'il ne sera pas inférieur dans le futur. Une notation qualitative de la pérennité de l'impact peut être ajoutée à la métrique carbone ;
- Le projet ne doit pas avoir démarré avant le début de l'estimation carbone (sauf cas particulier où le porteur de projet pourrait prouver qu'il a mené ces actions dans l'objectif d'obtenir un financement et afin de soutenir la pérennisation de bonnes pratiques, avec une rétroactivité de maximum 2 ans).

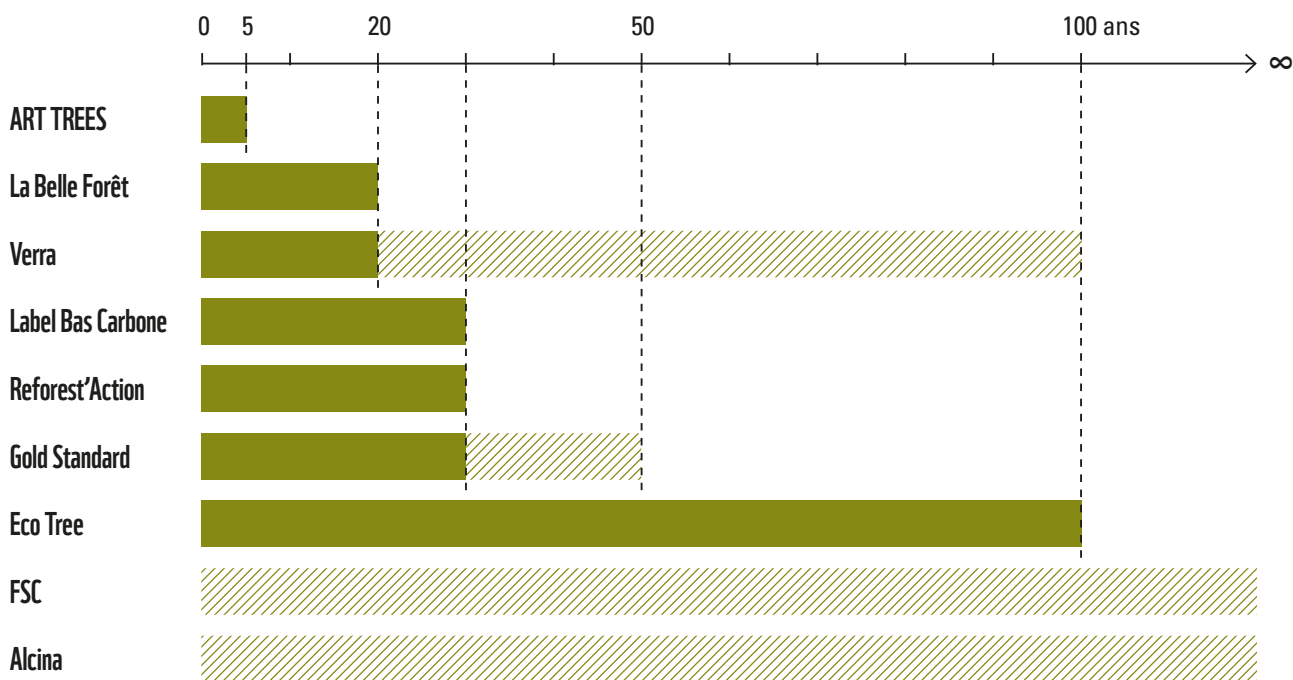
• L'emprise spatiale


Synthèse de l'analyse

L'emprise spatiale des projets et des estimations de l'impact carbone, pour les différents systèmes ou méthodes analysés, est résumée dans le tableau 10.

Concernant la localisation des projets concernés :

- La plupart des systèmes ou méthodes analysés n'ont **pas de restriction spatiale** pour les estimations de l'impact carbone des projets. Par exemple, EcoTree ne fixe aucune limite géographique dans sa méthodologie de quantification du CO₂, bien que seuls des projets localisés en France et au Danemark soient présentés sur son site internet. Verra ne permet pas de superposition possible avec un autre projet VCS AFOLU, tandis que FSC impose que l'organisation concernée soit déjà certifiée selon son référentiel de gestion forestière durable. Certains systèmes ou méthodes semblent néanmoins plutôt orientés vers les écosystèmes tropicaux, comme Gold Standard (par exemple avec un critère requérant un Indice de Développement Humain inférieur à 0.8, excluant de fait une majorité de pays européens) ;
- Deux systèmes ou méthodes ciblent spécifiquement les pays **participant à REDD+** : la méthode REDD de Verra et le système ART TREES qui concernent tous deux le mécanisme REDD+, par définition orienté vers des actions de réduction de la déforestation et de la dégradation des forêts tropicales et subtropicales des pays en développement ;
- Seuls trois systèmes ou méthodes sont exclusivement centrés sur le **territoire français** : le Label Bas Carbone, La Belle Forêt (système adapté à l'Europe tempérée mais présentant une seule annexe pays pour le moment) et l'outil A•CO2 d'Alcina (théoriquement sans limitation spatiale mais relations allométriques adaptées à la France hexagonale).



 **Figure 2.** Durées des estimations de l'impact carbone des projets selon les systèmes ou méthodes.

Note : La durée d'estimation de l'impact carbone correspond aux barres vertes ; les barres hachurées montre l'intervalle supérieur possible

Tableau 10. Echelle spatiale des projets et des estimations de l'impact carbone selon les systèmes ou méthodes

SYSTÈMES / MÉTHODES / OUTILS	ÉCHELLE SPATIALE	
	LOCALISATION	SUPERFICIE
Label Bas Carbone - Balivage, Boisement et Reboisement	France hexagonale	Minimum 0,5 ha Aucun maximum
Alcina - A • CO2	France hexagonale	Aucun minimum ni maximum
La Belle Forêt	France hexagonale	Aucun minimum ni maximum
ART TREES	Pays REDD+	Projets nationaux : > 90% de la superficie forestière nationale Projets infranationaux : > 2,5 millions d'ha
Verra - REDD	Pays REDD+	Aucun minimum ni maximum
FSC - Procédure SE et Carbon Monitoring Tool	Pas de restriction spatiale	Minimum 1 ha Aucun maximum
EcoTree	Pas de restriction spatiale	Aucun minimum ni maximum
Reforest'Action	Pas de restriction spatiale	Aucun minimum ni maximum
Gold Standard - Boisement / Reboisement	Pas de restriction spatiale	Aucun minimum ni maximum
Verra - ERA, LtPF et RIL-C	Pas de restriction spatiale	Aucun minimum ni maximum

Concernant la superficie des projets :

- Presque tous les systèmes ou méthodes ne fixent **ni superficie minimale ni superficie maximale** aux projets. Dans la pratique, les coûts fixes de transaction entraînent de fait des surfaces minimales importantes pour les standards internationaux. Pour FSC, la superficie du projet doit nécessairement être identique à l'intégralité de l'unité de gestion forestière. Les méthodes du Label Bas Carbone fixent un minimum de 0,5 hectare pour une parcelle ou un groupe de parcelles attenantes. Pour les projets de plantation en France de Reforest'Action, il s'agit d'un nombre de plants minimum, sans information sur la densité de plantation. Pour le système ART TREES, l'échelle spatiale doit être nationale ; il est possible de comptabiliser une zone infranationale, mais il ne doit s'agir que d'une étape vers la comptabilisation de niveau national, et la superficie totale soit être d'au moins 2,5 millions d'hectares.
- Il faut noter qu'il peut parfois y avoir une **distinction entre l'aire totale d'influence du projet et l'aire utilisée pour les estimations carbone**. C'est le cas des projets REDD (Verra), qui permettent la conservation du carbone sur une aire délimitée, mais qui peuvent avoir des impacts à proximité (par exemple, augmentation de l'exploitation forestière dans une zone voisine pour compenser le bois qui ne peut plus être coupé dans cette zone-là ; on parle alors de risque de fuite). C'est le cas aussi pour les projets La Belle Forêt : la quantification carbone n'est faite que sur les peuplements forestiers récoltables et pérennes alors que l'aire du projet correspond à la totalité de la surface de la propriété forestière (surface du document de gestion).



Points de vigilance et recommandations

Les recommandations concernant l'emprise spatiale des projets et de l'estimation de leur impact carbone sont les suivantes :

- L'échelle d'un projet doit être suffisamment grande dans un souci d'économie d'échelle pour le porteur de projet (certains coûts comme ceux d'ingénierie ou de suivi d'un projet étant incompressibles, quelle que soit la superficie concernée) ;
- L'échelle du projet doit être en cohérence écologique avec les actions menées (à titre d'exemple, la taille minimum d'un îlot de sénescence pour la préservation de l'habitat de la Barbastelle est de 3 hectares selon la boîte à outils HVC⁷ élaborée par FSC, Sylvamo et le WWF).

Au-delà de l'emprise spatiale au sens strict, il est important de noter que d'un pays à l'autre, voire entre deux régions au sein d'un même pays, les paramètres d'estimation de l'impact carbone d'un projet peuvent grandement varier. Des systèmes globaux, s'appuyant sur des équations générales ou des valeurs par défaut du GIEC, peuvent manquer de précisions. L'estimation de l'impact carbone doit donc se faire à partir de données concernant des parcelles du projet, suffisamment homogènes pour que les itinéraires aient un sens et que les hypothèses de calcul puissent être fixées. Si les formules permettant les estimations carbone peuvent être générales ou nationales, dans la mesure où elles sont éprouvées et validées par des experts nationaux et/ou locaux, les paramètres d'entrée de l'estimation doivent être la meilleure information disponible et à l'échelle nationale ou infra.

7 Boîte à outils HVC : <https://fr.fsc.org/fr-fr/hautes-valeurs-de-conservation/boite-a-outils-hvc>



© Michel Gunther/WWF

PARTIE 4.

ESTIMATIONS DU CARBONE PAR COMPARTIMENT

Quelles sont les données de base et formules utilisées afin d'estimer le carbone de chaque compartiment ?

La partie suivante présente les différentes approches suivies par les systèmes ou méthodes pour estimer le carbone de chacun des compartiments évoqué dans la partie précédente. La manière dont le stock est estimé est d'abord présentée, puis la façon dont est modélisée l'évolution de ce stock (c'est-à-dire le flux) dans le temps. Des recommandations sont ensuite formulées pour estimer ces stocks et flux.

LE CARBONE EN FORÊT

• Estimation du stock de carbone dans la biomasse aérienne

Synthèse de l'analyse

Pour estimer le stock de carbone dans la biomasse aérienne, il est nécessaire de :

1. Estimer le volume aérien (en m³)

Pour estimer le volume de la biomasse aérienne, les données utilisées sont majoritairement des données d'inventaire forestier, en plein ou statistique. Ces inventaires estiment le **volume de bois fort tige**, a minima à partir de la mesure des diamètres à hauteur de poitrine, voire également de la hauteur totale moyenne par essence et par classe de diamètre. La Belle Forêt s'appuie sur les données précises relevées sur les placettes permanentes de la forêt du projet. Le plus souvent, les données sont en France issues de statistiques de l'IGN. Le volume de bois est ensuite obtenu grâce à l'utilisation de tables de production ou par une formule librement choisie par le porteur de projet pour les méthodes du Label Bas Carbone, Gold Standard, la méthode ERA de Verra, ART TREES et EcoTree.

⁸ Selon les systèmes, on parle de bois fort tige, de *stem volume* ou *commercial (merchantable) component of trees* ; ces volumes peuvent varier et il s'agit donc de se référer au volume exact pour lequel le facteur d'expansion des branches est élaboré.

On distingue trois approches pour passer à une **estimation du volume total**, dont les deux premières sont illustrées dans l'équation 1 :

- **Approche 1** : l'estimation à partir du produit entre un facteur d'expansion des branches et un volume de bois ;
- **Approche 2** : l'utilisation d'une équation allométrique spécifiquement élaborée pour les essences forestières françaises métropolitaines, à travers le projet EMERGE (Deleuze *et al.*, 2014), pour les méthodes du Label Bas Carbone et l'outil A•CO₂ ;
- **Approche 3** : l'utilisation d'autres équations allométriques librement définies par le porteur de projet mais adaptées au contexte local, pour les méthodes ERA, REDD et LTPF de Verra et ART TREES.

2. Calculer son équivalent en matière sèche (biomasse aérienne en tMS)

Le volume total aérien est transformé en biomasse aérienne (en tonne de matière sèche - tMS) par la multiplication par un coefficient d'infradensité variable selon les essences. L'infradensité d'une essence de bois représente le rapport entre la masse du bois et son volume saturé en eau, comme illustré dans l'équation 1.

Equation 1 Formules de calcul de la biomasse aérienne selon les systèmes ou méthodes, en fonction du volume total aérien

$$BA = V_{total\ aérien} \times Id$$

Avec : - BA : biomasse aérienne (en tMS)
- V_{total aérien} : volume total aérien (en m³)
- Id : infradensité (en tMS/m³)

Approche 1 :

$$V_{total\ aérien} = V_{bois} \times FEB$$

Avec : - V_{total aérien} : volume total aérien (en m³)
- V_{bois} : volume de bois⁸ (en m³)
- FEB : facteur d'expansion des branches sans unité

Approche 2 :

$$V_{total\ aérien} = 0,496 \times \frac{h_{tot} \times c_{130}^2}{4\pi \times \left(1 - \frac{1,3}{h_{tot}}\right)^2}$$

Avec : - V_{total aérien} : volume total aérien (en m³)
- h_{tot} : hauteur totale (en m)
- c₁₃₀ : circonférence à 1,30 m (en m)

3. Calculer son équivalent carbone (en tC)

La quasi-totalité des systèmes ou méthodes utilisent la même approche et équation pour l'estimation du stock de carbone dans la biomasse aérienne. Il s'agit d'un produit entre la biomasse aérienne et le taux de carbone dans la matière sèche (constante de 0,475 tonne de carbone par tonne de matière sèche - tC/tMS, selon le GIEC, 2006b), comme détaillé dans l'équation 2.

Equation 2 Formule de calcul du stock de carbone dans la biomasse aérienne utilisée par tous les systèmes ou méthodes

$$C_{BA} = BA \times tC$$

Avec : - C_{BA} : stock de carbone dans la biomasse aérienne (en tC)
- BA : biomasse aérienne (en tMS)
- tC : taux de carbone dans la matière sèche (en tC/tMS)

Seul le système Verra se distingue de l'approche précédemment présentée :

- la méthode LtPF n'estime pas le stock total de carbone dans la biomasse aérienne. Puisque la méthode consiste en une absence d'exploitation de la forêt, seul le volume des arbres qui auraient dû être exploités dans le scénario de référence est pris en considération ;
- la méthode RIL-C n'estime pas non plus le stock total de carbone dans la biomasse aérienne, mais fait uniquement une estimation des réductions d'émissions dues à la modification des activités d'abattage, de débardage et de transport, et leur influence directe sur la biomasse aérienne.

4. Convertir en tCO₂e

L'unité couramment utilisée pour les estimations carbone des projets forestiers vendus est la tonne de dioxyde de carbone équivalent (tCO₂e). La conversion entre la tonne de carbone et la tCO₂e se fait en multipliant les résultats par un facteur égal à 44/12 (c'est-à-dire que 1 tC ≈ 3,67 tCO₂e).

La **modélisation de l'évolution du stock de carbone dans la biomasse aérienne** est généralement effectuée grâce à des tables de production ou des modèles de croissance.

Points de vigilance et recommandations

Les points de vigilance à rappeler pour l'estimation du stock de carbone dans la biomasse aérienne sont les suivants :

- toutes les méthodologies dépendent avant tout de la qualité des données d'entrée, et donc de la précision des inventaires forestiers. Un degré de précision trop faible biaiserait les résultats, tandis qu'un degré de précision trop élevé pourrait demander un effort d'inventaire trop coûteux au porteur de projet ;
- la fiabilité des données fournies par les tables de production ou certaines équations allométriques est à relativiser. S'il s'agit d'outils précieux pour estimer les volumes de bois ou de biomasse pour une essence donnée, ces modèles sont basés sur des hypothèses qui ne peuvent prendre en compte l'hétérogénéité d'une forêt. Elles pourraient par ailleurs être rapidement dépassées par

les changements climatiques imprévisibles auxquels la forêt française fait face ;

- le facteur d'expansion des branches, permettant de convertir un volume de bois en volume aérien total (tiges, branches et houppiers), est un paramètre qui présente une grande variabilité en fonction de l'essence, de la taille et de la forme de l'arbre, mais aussi en fonction des conditions environnementales et de la maturité des peuplements. Plusieurs systèmes ou méthodes utilisent des facteurs par défaut, qui ne peuvent pas traduire cette grande variabilité et posent question pour la fiabilité des résultats finaux.

Partant du postulat que les estimations ne visent pas l'exactitude scientifique, il n'est pas obligatoire de réaliser un inventaire total des parcelles, afin de ne pas imputer une charge trop lourde au porteur de projet. L'équation du projet EMERGE, qui peut facilement être appliquée avec la hauteur dominante et la surface terrière du peuplement (données de base que tout gestionnaire forestier peut obtenir sans travail excessif supplémentaire), est adaptée aux essences forestières de France hexagonale. Dans le cas d'un peuplement mélangé, il faut appliquer l'équation par essence et grandes classes de diamètre.

Si des tables de production ou des inventaires terrain sont utilisés afin d'estimer les volumes de bois, il faut s'assurer de leur puissance statistique et tenter de trouver les données les plus locales possibles, dans la mesure où elles sont fiables et vérifiables.

• Estimation du stock de carbone dans la biomasse racinaire

Synthèse de l'analyse

L'estimation du **stock de carbone dans la biomasse racinaire** se fait par le produit entre la biomasse racinaire et le taux de carbone dans la matière sèche (cf. équation 3). Le taux de carbone dans la matière sèche est le même que celui utilisé pour la biomasse aérienne.

Equation 3 Formule de calcul du stock de carbone dans la biomasse racinaire selon les systèmes ou méthodes

$$C_{BR} = BR \times tC$$

Avec : - C_{BR} : stock de carbone dans la biomasse racinaire (en tC, à multiplier par 44/12 pour obtenir un résultat en tCO₂e)
- BR : biomasse racinaire (en tMS)
- tC : taux de carbone dans la matière sèche (en tC/tMS)

La biomasse racinaire s'estime en rapport avec la biomasse aérienne. Il existe deux approches illustrées dans l'équation 4 :

- **Approche 1** : la majorité des systèmes et méthodes utilisent l'équation de Cairns *et al.* (1997) définie pour les forêts tempérées ;
- **Approche 2** : certains proposent d'appliquer directement à la biomasse aérienne un "taux d'expansion des racines" (*root-to-shoot ratio*) (Gold Standard, outil A•CO₂ d'Alcina, méthodes

ERA et REDD de Verra, ART TREES) ; la valeur de ce ratio doit être trouvée dans la bibliographie ou une valeur par défaut du GIEC est proposée.

La méthode ERA de Verra évoque la possibilité d'appliquer une équation directe permettant d'avoir la biomasse souterraine à partir des diamètres à hauteur de poitrine. La méthode RIL-C de Verra quant à elle n'estime pas plus le stock total de carbone dans la biomasse racinaire qu'aérienne, mais fait uniquement une estimation des réductions d'émissions des activités d'abatage, de débardage et de transport, influant directement la biomasse racinaire.

Equation 4 Formules de calcul de la biomasse racinaire selon les systèmes ou méthodes

Approche 1 :

$$BR = e^{-1,0587 + 0,8836 \times \ln(BA) + 0,2840}$$

Avec : - BR : biomasse racinaire (en tMS)
- BA : biomasse aérienne (en tMS)

Approche 2 :

$$BR = BA \times R:S$$

Avec : - BR : biomasse racinaire (en tMS)
- BA : biomasse aérienne (en tMS)
- R:S : root:shoot ratio (sans unité)

Puisque les systèmes et méthodes considèrent que le stock de carbone dans la biomasse racinaire dépend de la biomasse aérienne, la **modélisation de son évolution** suit la même logique : l'évolution de la biomasse aérienne est projetée grâce à des tables de production ou des modèles de croissance, puis la biomasse racinaire est estimée en fonction de la biomasse aérienne.

Points de vigilance et recommandations

L'estimation du stock de carbone dans la biomasse racinaire est peu fiable car dépendant uniquement de la biomasse aérienne et de facteurs par défaut. L'équation de Cairns *et al.* (1997) n'est pas le modèle le plus récent prédisant la biomasse racinaire d'un peuplement : le modèle de Mokany *et al.* (2006) est une alternative plus récente et a priori plus robuste afin de rendre compte de la part importante de la biomasse racinaire dans le stock total de carbone d'un écosystème forestier et de l'impératif que représente sa conservation.

Dans le cadre d'un projet de PSE, où il s'agit de valoriser financièrement le carbone additionnel de certaines pratiques, son estimation n'apparaît pas utile. Hors itinéraire de boisement, son estimation ne présente pas de valeur ajoutée significative, hors gestion caricaturale dans le scénario de référence entraînant un fort déstockage racinaire via le dessouchage ou le nettoyage compulsif des rémanents par exemple (projet à exclure et à ne pas financer).

Le stock de carbone dans la biomasse racinaire peut être abordé de manière qualitative à des fins pédagogiques.

• Estimation du stock de carbone dans le bois mort

Synthèse de l'analyse

L'approche pour estimer le stock de carbone dans le bois mort suit deux approches différentes qui sont présentées dans l'équation 5 :

- **Approche 1 :** il s'agit généralement d'une méthode similaire à celle pour estimer le stock de carbone dans la biomasse aérienne, c'est-à-dire qu'il faut calculer des volumes, à multiplier par l'infradensité et le taux de carbone dans la matière sèche. Les méthodes ERA et REDD distinguent les infradensités du bois vivant (valable pour le bois mort sur pied) des infradensités du bois mort (spécifique pour le bois mort à terre, selon la classe de dégradation du bois : sain, intermédiaire ou pourri) ;
- **Approche 2 :** une approche différente est adoptée par Reforest'Action, suivant celle du MDP. Elle consiste à estimer le carbone dans le bois mort à partir du stock de carbone dans la biomasse des arbres (biomasses aérienne et racinaire), en le multipliant par un facteur exprimant le stock de carbone dans le bois mort en pourcentage du stock de carbone dans la biomasse de l'arbre (8 % par défaut sous les climats tempérés, MDP, 2007). Le niveau de ce taux et l'absence de variation posent question.

Le système ART TREES recommande simplement de se référer aux recommandations de premier niveau du GIEC (2006b), lesquelles précisent qu'il est possible de considérer que les stocks de bois mort sont à l'équilibre et donc que ce compartiment peut être considéré nul. Si cela pourrait se concevoir dans des forêts primaires (bien que discutable), il est évident que cela est faux dans 99,9 % des forêts tempérées ouest-européennes.

La méthode RIL-C de Verra n'estime pas le stock de carbone dans le bois mort préexistant sur pied ou au sol, mais ne considère que le bois mort produit durant l'exploitation. Elle utilise pour cela un taux de décomposition du bois mort pour pondérer la biomasse aérienne, en se basant sur des valeurs issues de la littérature.

Equation 5 Formule de calcul du stock de carbone dans le bois mort selon les systèmes ou méthodes

Approche 1 :

$$C_{BM} = V_{BM} \times Id \times tC$$

Avec : - C_{BM} : stock de carbone dans le bois mort (en tC, à multiplier par 44/12 pour obtenir un résultat en tCO₂e)
- V_{BM} : volume total de bois mort (en m³)
- Id : infradensité (en tMS/m³)
- tC : taux de carbone dans la matière sèche (en tC/tMS)

Approche 2 :

$$C_{BM} = (C_{BA} + C_{BR}) \times DF_{DW}$$

Avec : - C_{BM} : stock de carbone dans le bois mort (en tC, à multiplier par 44/12 pour obtenir un résultat en tCO₂e)
- C_{BA} : stock de carbone dans la biomasse aérienne (en tC)
- C_{BR} : stock de carbone dans la biomasse racinaire (en tC)
- DF_{DW} : facteur bois mort (default factor expressing carbon stock in dead wood as a percentage of carbon stock in tree biomass) (en %)



© Daniel Vallauri

Pour la première approche, la plus largement utilisée, il est d'abord nécessaire d'estimer le **volume total de bois mort**, selon différentes méthodologies :

- les méthodes Balivage et Reboisement du Label Bas Carbone préconisent d'inventorier et cuber respectivement les gros bois morts (au sol, sur pied ou chablis ; sans précision de diamètre) ou ceux dont les stocks présentent un intérêt écologique au travers d'IBP préalable. L'une et l'autre amènent à des données radicalement différentes pour la même forêt ;
- les méthodes ERA et REDD de Verra distinguent les bois morts sur pied et à terre. Pour les bois morts sur pied, les mesures doivent se faire selon les mêmes critères que les arbres vivants : application d'équations allométriques sur la base des diamètres à hauteur de poitrine pour les arbres les moins décomposés ; estimation du volume du tronc uniquement à partir des mêmes diamètres pour les arbres plus décomposés. Pour les bois morts à terre, un échantillonnage selon la méthode de transect en ligne (Harmon et Sexton, 1996) est préconisé et l'équation 6 doit être appliquée (Warren et Olsen, 1964 tel que modifié par Van Wagner, 1968).

Seule la méthode ERA de Verra donne des précisions sur la **modélisation de l'évolution du stock de carbone dans le bois mort** : elle inclut une décomposition linéaire sur 10 ans ou une alternative plus conservatrice reflétant un modèle de perte de carbone dans le temps.

Equation 6 Formule de calcul du volume de bois mort à terre selon les méthodes ERA et REDD de Verra

$$V_{BMT} = \frac{\pi^2 \times \left(\sum_{n=1}^N D_{BM,n}^2 \right)}{8 \times L}$$

Avec : - V_{BMT} : volume de bois mort à terre⁹
 - N : nombre de morceaux de bois mort sur le transect (sans unité)
 - D_{BM} : diamètre du morceau de bois mort à terre
 - L : longueur du transect

Points de vigilance et recommandations

Le rythme de dégradation dans le bois mort est encore souvent mal appréhendé et documenté en France. Il dépend de plusieurs facteurs tels que le climat, la température, l'humidité, l'essence ou encore la taille du morceau de bois mort. Ces relations sont peu documentées et la destination de carbone (part relarguée dans l'atmosphère, versus part séquestrée dans la litière puis le sol) est mal connue. Les résultats de la recherche suggèrent que le carbone dans le bois mort est décomposé sur plusieurs décennies mais sont pour le moment lacunaires sur le sujet.

Le bois mort peut représenter des volumes de carbone conséquents pour certaines pratiques de gestion ou méthodes que l'on sait de surcroît très favorables à la biodiversité (par exemple, le référentiel de certification de gestion forestière durable FSC exige en France hexagonale le maintien de tous les arbres morts sur pied ou au sol). Les recommandations du WWF varient selon les pratiques :

- ne pas l'estimer pour la pratique de boisement ;
- ne l'estimer pour la pratique de reboisement que si une partie significative du peuplement dégradé antérieur est conservée sur la parcelle avant reboisement, par exemple après tempête ;
- l'estimer pour toutes les autres pratiques (à partir d'un diamètre > 22,5 cm) et y appliquer une décomposition basée sur la durée de demi-vie du bois mort s'il est connu. La modélisation de l'évolution du stock de carbone dans le bois mort doit également inclure la mortalité des arbres et leur maintien (ou non) au sol ;
- ne pas chercher une estimation plus précise notamment de la valeur carbone des rémanents (c'est-à-dire de diamètres < 7 cm), ceux-ci devant principalement rester en forêt pour préserver la fertilité des sols. Chercher à les faire financer reviendrait à financer une action non additionnelle (pratique couramment adoptée de conservation des rémanents en France hexagonale) ou critiquable.

⁹ Cette équation ne peut être utilisée directement que si toutes ses composantes sont exprimées dans des unités compatibles, ce qui n'est en général pas le cas dans la pratique. Van Wagner (1982) propose une constante k qui permet de gérer les combinaisons d'unités (par exemple, si DBM est en cm et L en m, le volume de bois mort à terre peut s'exprimer en m³/ha avec une constante de 1.234).

• Estimation du stock de carbone dans la litière

Synthèse de l'analyse

Peu de systèmes ou méthodes estiment et modélisent le **stock de carbone dans la litière** :

- Les méthodes du Label Bas Carbone et EcoTree utilisent une valeur d'équilibre par défaut, telle que le préconisent Arrouays *et al.* (2002). Cette valeur est supposée atteinte dès le démarrage du projet pour la méthode Balivage du Label Bas Carbone ; elle ne sera atteinte qu'au bout de 30 ans puis à l'équilibre par la suite dans les méthodes Boisement et Reboisement du Label Bas Carbone et d'EcoTree. Cette hypothèse semble curieuse et peu fondée dans le cas du reboisement, sauf à concevoir que la méthode Reboisement consiste à planter après suppression totale de la litière et des rémanents, puis le labour et la déstructuration de la surface du sol de la parcelle (monoculture intensive). Le reboisement se conçoit dans bien des cas plus favorables (et plus souhaitables) que celui-ci ;
- L'outil A•CO₂ d'Alcina propose de mesurer l'épaisseur de la litière et d'y appliquer une relation allométrique (sans citer la source de celle-ci). Il n'y a pas de précision sur la manière dont la modélisation est effectuée ;
- Reforest'Action suit, comme pour l'estimation du stock de carbone dans le bois mort, les recommandations du MDP, en multipliant le stock de carbone dans la biomasse des arbres par un facteur exprimant le stock de carbone dans la litière en pourcentage du stock de carbone dans la biomasse de l'arbre (4% par défaut sous les climats tempérés) ;
- ART TREES, quant à lui, suit également la même approche que pour le bois mort, et recommande simplement de suivre les recommandations de premier niveau du GIEC (2006b) qui précisent que ce compartiment peut être considéré nul.

Points de vigilance et recommandations

Le stock du carbone dans la litière d'un projet forestier, souvent considéré comme négligeable par de nombreux systèmes ou méthodes, ne peut pas être estimé de manière fiable à l'aide de formules générales. Une estimation plus précise pourrait être obtenue par des études en laboratoire. Il n'est cependant pas recommandé de l'estimer étant donné la faible plus-value que cela représenterait pour l'estimation du carbone séquestré par un projet de PSE et au regard des coûts que cela représente par ailleurs.

• Estimation du stock de carbone dans le sol

Synthèse de l'analyse

Comme pour le carbone de la litière, peu de systèmes ou méthodes estiment et modélisent le stock de carbone dans le sol. On distingue deux approches dans l'équation 7 :

- **Approche 1** : les méthodes du Label Bas Carbone et EcoTree utilisent les valeurs par défaut variant selon le type de nature du sol de Arrouays *et al.* (2002). Les méthodes Reboisement

et Balivage du Label Bas Carbone considèrent le stock de carbone du sol à l'équilibre, tandis que la méthode Boisement du Label Bas Carbone (cas de boisement sur sol agricole) et EcoTree modélisent une évolution du stock de carbone dans le sol selon l'équation d'Arrouays *et al.* (2002) ;

- **Approche 2** : Reforest'Action utilise les valeurs par défaut et l'approche du MDP, qui distingue l'année de préparation du sol (où il y a une perte de stock de carbone du sol) des années suivantes, jusqu'à un équilibre atteint au bout de 20 ans.

Les autres approches proposées sont les suivantes :

- ART TREES recommande de suivre les approches du GIEC (2006b), de niveau 1 pour les sols minéraux (compartiment facultatif, puisque ce niveau considère que les stocks de carbone des sols forestiers ne varient pas en fonction des pratiques d'exploitation) et des niveaux 2 et 3 pour les sols tourbeux (compartiment obligatoire) ;
- l'outil A•CO₂ d'Alcina propose d'évaluer le stock du carbone dans le sol grâce à des valeurs par défaut, données par la carte nationale des stocks de carbone des sols intégrée dans la carte mondiale de la FAO ;
- une autre option proposée par l'outil A•CO₂ d'Alcina et partagée par la méthode REDD de Verra est de faire des mesures de sols en laboratoire. Aucun protocole précisant l'échantillonnage nécessaire n'a pu être consulté et il n'a donc pas été possible d'estimer ni la fiabilité ni les coûts engendrés par de telles mesures.

Equation 7 Formule de calcul de l'évolution du stock de carbone dans le sol dans un itinéraire de boisement selon les systèmes ou méthodes

Approche 1 :

$$C_{sol} = C_{sol\ initial} + (C_{sol\ réf} - C_{sol\ initial}) \times (1 - e^{-0,0175 \times t})$$

- Avec : - C_{sol} : stock de carbone du sol (en tC/ha, à multiplier par 44/12 pour obtenir un résultat en tCO₂e/ha)
 - $C_{sol\ initial}$: stock initial de carbone du sol¹⁰ (en tC/ha)
 - $C_{sol\ réf}$: stock de carbone dans un sol de référence¹¹ (en tC/ha)
 - t : année (sans unité)

Approche 2 :

Année antérieure à la préparation du sol : $\Delta C_{sol} = 0$

Année de la préparation du sol : $\Delta C_{sol} = - \frac{C_{sol\ perte}}{1}$

Années suivant la préparation du sol : $\Delta C_{sol} = \frac{C_{sol\ réf} - (C_{sol\ initial} - C_{sol\ perte})}{20}$

- Avec : - ΔC_{sol} : taux de changement du stock de carbone dans le sol (en tC/ha/an, à multiplier par 44/12 pour obtenir un résultat en tCO₂e/ha/an)
 - $C_{sol\ perte}$: perte de carbone du sol causée par la perturbation du sol attribuée au projet¹² (en tC/ha)
 - $C_{sol\ initial}$: stock initial de carbone du sol¹³ (en tC/ha)
 - $C_{sol\ réf}$: stock de carbone dans un sol de référence¹⁴ (en tC/ha)

¹⁰ Les méthodes du Label Bas Carbone et EcoTree utilisent la valeur de 45 tC/ha en culture.

¹¹ Attention, le sens de "référence" est différent du scénario de référence ; il s'agit de la valeur de référence correspondant à ce qui peut s'observer dans des conditions normales dans une forêt non dégradée d'essences autochtones. Les méthodes du Label Bas Carbone et EcoTree utilisent la valeur de 70 tC/ha pour une forêt tempérée.

¹² Cette perte de carbone du sol correspond à 10 % de $C_{sol\ initial}$ si la superficie totale perturbée est supérieure à 10 % et à 0 sinon.

¹³ Ce stock initial est un produit de $C_{sol\ réf}$ et de différents facteurs par défaut : facteurs dépendant de l'utilisation de la terre, du type de gestion et de l'apport d'éléments nutritifs sur les terres cultivées.

¹⁴ Les valeurs de référence dépendent du climat et du type de sol et sont données par le MDP (2011) ; à titre d'exemple, les valeurs en climat tempéré sont comprises entre 19 et 95 tC/ha.

Points de vigilance et recommandations

Le carbone du sol, souvent non-inclus dans les estimations en raison d'une faiblesse de données fiables pour chaque projet, représente une part importante du carbone forestier (plus de la moitié). Les formules générales ne peuvent permettre une estimation fiable de ce stock, mais donne un ordre de grandeur pédagogique.

Dans le cadre de projets de PSE, son estimation et la modélisation de son évolution sont par ailleurs peu pertinentes en raison de la faible additionnalité de ce compartiment dans le scénario du projet vis-à-vis du scénario de référence. Il est donc recommandé de ne pas estimer le carbone du sol séquestré par un projet de PSE, sauf dans le cas d'un boisement sur sol agricole ou sur sol tourbeux.

L'EMPREINTE CARBONE DES OPÉRATIONS DE GESTION, MOBILISATION ET TRANSFORMATION DU BOIS

Synthèse de l'analyse

Pour estimer l'empreinte carbone des opérations forestières, plusieurs facteurs sont pris en compte : usage de la chimie de synthèse ; combustion de combustibles fossiles ; brûlage de la biomasse (brûlis, rémanents, feux).

1. La chimie de synthèse est uniquement prise en compte sous l'angle des **engrais azotés** par quelques systèmes ou méthodes :

- Gold Standard adopte une valeur fixe par kilogramme d'engrais azoté, qu'il s'agisse d'engrais synthétique ou organique. La source de cette valeur par défaut n'est pas donnée ;
- La méthode REDD de Verra préconise l'approche du MDP (2007), dépendant des masses d'engrais azoté (de synthèse ou organique), d'un facteur d'émission de l'azote (N), du rapport des poids moléculaires du protoxyde d'azote (N₂O) et de l'azote, et du potentiel de réchauffement planétaire du N₂O (cf. équation 8)¹⁵. Les trois derniers paramètres étant des valeurs fixes ou définies par défaut par les lignes directrices du GIEC, l'empreinte carbone de l'utilisation des engrais azotés ne dépend que des masses d'engrais effectivement utilisées (comme pour Gold Standard).

2. L'empreinte carbone de la combustion de combustibles fossiles n'est détaillée que pour la méthode LtPF de Verra. Les consommations sont détaillées en fonction de l'opération de gestion, mobilisation et transformation : exploitation, débarquement, transport, transformation. Quelle que soit l'opération, il s'agit d'estimer un volume de carburant utilisé, qu'il faut multiplier par un facteur d'émission du carburant (valeurs par défaut du GIEC, 2006a). Pour les opérations d'exploitation et de débarquement, la méthode considère la consommation directe des équipements. Pour les opérations de transport, la méthode propose d'estimer la consommation en fonction du volume de bois extrait, de la capacité des camions (afin de déterminer le nombre de camions nécessaires), de la distance à parcourir par les camions de la zone d'exploitation à l'usine, à diviser par le rendement énergétique des véhicules. Pour la transformation, il s'agit de considérer la consommation du générateur utilisé à la scierie, dans le cas où il n'y a pas d'électricité (dans le cas où il y a de l'électricité, ce sont des facteurs par défaut de demande en électricité qui s'appliquent).

3. L'empreinte carbone du brûlage de la biomasse peut être divisée en trois catégories :

- Le brûlage préparatoire à la plantation est estimé par Reforest'Action selon la méthodologie préconisée par le MDP (2011). Cela concerne le brûlage de biomasse pour la préparation du site (quand la pratique de défriche et brûlis n'est pas une pratique habituelle). Les émissions dépendent de plusieurs facteurs par défaut, de la valeur moyenne de la biomasse des arbres et de la proportion de couvert arbustif (obtenue par une mesure sur le terrain et/ou par télédétection).
- Le brûlage des rémanents d'exploitation est estimé dans la méthode ERA de Verra comme le produit du stock de carbone dans les rémanents d'exploitation soumis au brûlage, du ratio d'émission pour le méthane, du rapport des poids moléculaires entre le méthane et le carbone, et du potentiel de réchauffement planétaire pour le méthane. Les trois derniers paramètres étant des valeurs fixes ou définies par défaut par les lignes directrices du GIEC (2006a), l'empreinte carbone liée au brûlage des rémanents d'exploitation ne dépend que du stock de carbone dans ces rémanents, estimés par la différence entre le volume commercialisable de l'arbre récolté et le volume de biomasse aérienne. La méthode REDD de Verra estime quant à elle les émissions du brûlage des rémanents en fonction de la biomasse brûlée, multipliée par un ratio évaluant la proportion de biomasse supposée être de l'eau. La méthode du MDP (2011) suivie par Reforest'Action estime

Equation 8 Formule de calcul de l'empreinte carbone liée à l'utilisation des engrais azotés dans la méthode REDD de Verra

$$C_{N_2O} = (M_{engrais\ synthétique} + M_{engrais\ organique}) \times EF_N \times MW_{N_2O/N} \times GWP_{N_2O}$$

Avec : - C_{N₂O} : stock de carbone résultant de l'utilisation d'engrais azotés (en tCO₂e)

- M_{engrais synthétique} : masse d'engrais azoté synthétique (en tN)

- M_{engrais organique} : masse d'engrais azoté organique (en tN)

- EF_N : facteur d'émission (*emission factor*) de l'azote (en %)

- MW_{N₂O/N} : rapport des masses moléculaires (*molecular weights*) de N₂O et de N (en tN₂O/tN)

- GWP_{N₂O} : potentiel de réchauffement planétaire (*global warming potential*) du N₂O (en tCO₂e/tN₂O)

¹⁵ Il faut noter que l'outil méthodologique du MDP n'est plus valide depuis le 3 octobre 2013, date pourtant antérieure à la méthode REDD de Verra (en date du 6 juin 2014).

que le brûlage des rémanents d'exploitation dépend uniquement de la biomasse exploitée dans la zone soumise à l'utilisation du feu, qui peut être obtenue en divisant la valeur par défaut de la biomasse aérienne dans la zone géographique du projet par un facteur d'expansion de la biomasse (valeur par défaut) et en la multipliant par l'aire brûlée. Il faut noter que Reforest'Action considère les produits bois énergie comme faisant partie de cette catégorie.

- Enfin, les autres feux de forêt qui peuvent intervenir au cours du projet sont estimés uniquement par Reforest'Action (selon la méthodologie MDP, 2011) et servent pour l'alignement *ex post*. L'estimation correspond au produit de l'aire incendiée, de la biomasse moyenne des arbres, des facteurs d'émission du méthane et du protoxyde d'azote, et des potentiels de réchauffement planétaire pour ces deux GES.

Points de vigilance et recommandations

L'empreinte carbone des opérations de gestion, mobilisation et transformation du bois est toujours estimée par un nombre très restreint de systèmes ou méthodes, et sur la base d'équations et de valeurs par défaut (généralement issues du GIEC ou du MDP). L'estimation de cette empreinte carbone, par ailleurs souvent jugée négligeable, peut être omise pour un projet PSE, sauf dans une visée pédagogique ou afin de valoriser certaines pratiques comme le bûcheronnage manuel ou le débardage à cheval.



© Sofia Theodoridou/WWF-Sweden

LE CARBONE DES USAGES DU BOIS

• Estimation du stock de carbone dans les produits bois

Synthèse de l'analyse

La quasi-totalité des systèmes ou méthodes rendent possible la prise en considération du stock de carbone contenu dans les produits bois issus de l'exploitation de la forêt, grâce à des méthodes de calcul différenciées en fonction de leur durée de vie. Les produits bois considérés éligibles sont généralement le bois d'œuvre dans sa totalité et le bois d'industrie parfois partiellement. Le bois énergie n'est jamais comptabilisé dans les stocks de carbone des produits bois.

La répartition entre les types de produits bois peut être déterminée de plusieurs manières. Elle se fait :

- à dire d'experts, sur la base d'une répartition probable évaluée par le porteur de projet (méthodes du Label Bas Carbone, outil A•CO₂ d'Alcina) ;
- ou avec des informations de la bibliographie (données de l'IFN, 2009, déterminant des pourcentages de qualité de bois par essence, pour EcoTree et La Belle Forêt ; données des pratiques locales et des marchés pour la méthode LtPF de Verra).

L'estimation du stock de carbone dans les produits bois est obtenue par le produit du volume de bois, de l'infradensité et du taux de carbone dans la matière sèche (cf. équation 9). On applique aux volumes de bois un rendement de scierie, dont les chiffres sont assez variables selon les méthodes ou systèmes. La fraction de déchets selon le rendement sciage est comprise entre 19 % (toutes méthodes Verra, hors RIL-C ; valeur par défaut pour les pays développés établie par Winjum *et al.*, 1998) et 50 % (méthodes du Label Bas Carbone, outil A•CO₂ d'Alcina ; valeur moyenne prudente). La Belle Forêt applique les rendements de sciage définis par essence dans le mémento FCBA (2020) qui varient de 41 (minimum du chêne) à 58 % (maximum du sapin ou épicéa).

Equation 9 Formule de calcul du stock de carbone dans les produits bois selon les systèmes ou méthodes

$$C_{PB} = (V_{PB} \times Id \times tC) \times (1 - WW)$$

Avec : - C_{PB} : stock de carbone dans les produits bois (en tC, à multiplier par 44/12 pour obtenir un résultat en tCO₂e/ha)
 - V_{PB} : volume des produits bois (en m³)
 - Id : infradensité (en tMS/m³)
 - tC : taux de carbone dans la matière sèche (en tC/tMS)
 - WW : fraction de déchets (*wood waste*) selon le rendement sciage (en %)

Ces stocks de carbone dans les produits bois ne sont pas constants puisqu'une partie du bois se dégrade au cours des années. On distingue deux approches distinctes pour l'estimation de l'évolution des stocks de carbone des produits bois en fonction de leur durée de vie, qui sont présentées dans l'équation 10 :

- **Approche 1** : Celle du GIEC (2006c) (elle-même issue de Pingoud et Wagner, 2006 ; méthode actuellement suggérée par la CCNUCC)

Equation 10 Formules de calcul de l'évolution des stocks de carbone dans le temps dans les produits bois selon les systèmes ou méthodes

Approche 1 :

$$C_{PB}(i+1) = e^{-\frac{\ln(2)}{HL}} \times C_{PB}(i) + \left[\frac{\left(1 - e^{-\frac{\ln(2)}{HL}}\right)}{\frac{\ln(2)}{HL}} \right] \times \Delta C_{PB}(i)$$

Avec : - i : année (sans unité)

- C_{PB} : stocks de carbone dans les produits bois (en tC)

- HL : temps de demi-vie (*half life*) (en an)

- $\Delta C_{PB}(i)$: flux entrant dans le stock de carbone des produits bois récoltés au cours de l'année i (en tC/an)

Approche 2 :

$$C_{PB}(i) = C_{CD}(i) + C_{MD}(i) + C_{LD}(i)$$

Sachant que :

- Pour $i = 0$: $C_{CD}(i) = C_{PB} \times f_{CD}$ et pour $i > 0$: $C_{CD}(i) = 0$

- Pour $i < 20$: $C_{MD}(i) = \left(C_{PB} \times f_{MD}\right) \times \frac{20-i}{20}$ et pour $i \geq 20$: $C_{MD}(i) = 0$

- Pour tout i : $C_{LD} = C_{PB} \times f_{LD}$

Avec : - i : année (sans unité)

- C_{PB} : stocks de carbone dans les produits bois (en tC)

- C_{CD} : stocks de carbone de courte durée de vie dans les produits bois (en tC)

- f_{CD} : fraction des produits bois de courte durée de vie (en %)

- C_{MD} : stocks de carbone de moyenne durée de vie dans les produits bois (en tC)

- f_{MD} : fraction des produits bois de moyenne durée de vie (en %)

- C_{LD} : stocks de carbone de longue durée de vie dans les produits bois (en tC)

- f_{LD} : fraction des produits bois de longue durée de vie (en %)

est celle adoptée par les méthodes du Label Bas Carbone, EcoTree, FSC et Reforest'Action. Elle consiste à faire la somme des stocks de carbone dans les produits bois, avec actualisation des valeurs en fonction du temps de demi-vie. Les temps de demi-vie correspondent au nombre d'années nécessaires pour perdre la moitié du carbone actuellement dans les produits bois. Il s'agit de valeurs préconisées par la Commission européenne (et issues des recommandations du GIEC, 2006c) en fonction du type de produits bois : 35 ans pour le bois de sciage, 25 ans pour les panneaux de bois, 2 ans pour le papier.

- **Approche 2** : Celle de Winjum *et al.* (1998) est suivie par les méthodes Verra (hors RIL-C) et La Belle Forêt. Pour une année donnée, le stock de carbone correspond à la somme des stocks de carbone de durée de vie courte (< 3 ans), moyenne (comprise entre 3 et 100 ans) ou longue (> 100 ans). Ces stocks sont estimés grâce aux proportions de courte, moyenne et longue durée de vie données par défaut en fonction du type de produit bois. Par exemple, pour le bois de sciage, la part de courte durée est estimée à 12 %, de moyenne durée à 55 % et de longue durée à 33 %. Il est ensuite considéré que le stock de carbone de courte durée s'oxyde immédiatement après la récolte, tandis que le stock de carbone de moyenne durée subit une dégradation linéaire sur 20 ans. Les systèmes ou méthodes font l'hypothèse que le stock de carbone de longue durée de vie est constant et permanent. Cette approche est illustrée dans la figure 3.

Les simulations de l'évolution des stocks de carbone dans différents types de produits bois montrent qu'aucune des deux approches n'est globalement plus conservatrice que l'autre (cf. figure 4). On peut néanmoins noter que l'évolution des stocks selon l'approche de Winjum *et al.* (1998) fait peu de différence entre les types de produits bois. Ainsi, si le stockage du carbone dans le papier connaît une chute initiale due à la

portion de courte durée de vie, la décroissance est ensuite peu marquée et la courbe du papier rejoint rapidement celles des panneaux. A stockage de carbone initial identique, l'approche de Winjum *et al.* (1998) semble moins discriminante ; tandis que l'approche du GIEC (2006c) fait plus clairement la distinction entre papier, panneaux et sciage.



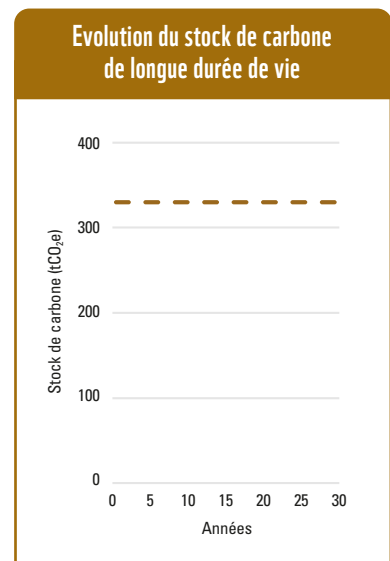
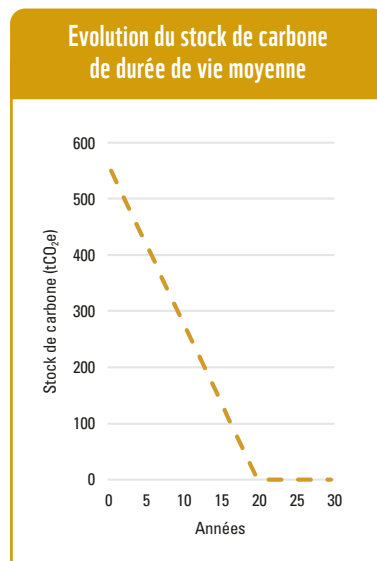
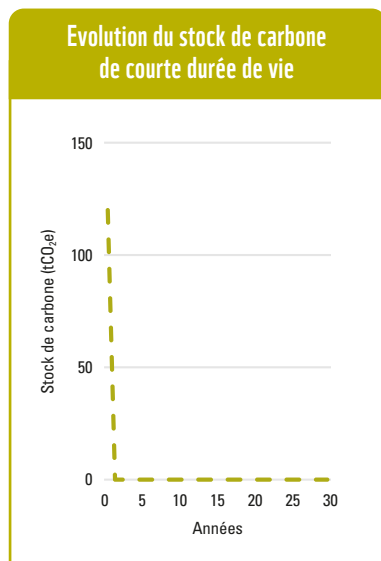
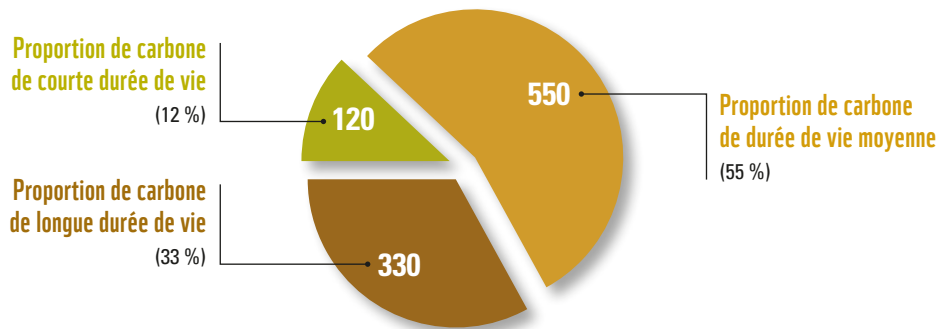
Points de vigilance et recommandations

Ces équations permettent une estimation générale du carbone des produits bois, basée sur des pourcentages ou des durées de vie très estimatifs, élaborés au niveau international. Les estimations obtenues grâce à ces calculs doivent être prises avec prudence et il faut garder à l'esprit que tout bois exploité correspond à un déstockage du carbone en forêt.

L'estimation du stock de carbone dans les produits bois doit s'appuyer sur les éléments suivants :

- une répartition établie par le porteur de projet, seul à connaître la potentialité de sa forêt et ce qu'il est en capacité de vendre sur son marché local. Le raisonnement du porteur de projet devrait néanmoins être crédible (il n'est par exemple pas réaliste d'annoncer faire 50% de BO sur de jeunes peuplements), logique avec le contexte de la forêt concernée, et vérifiable, ce qui nécessite une véritable instruction du projet. Tout écart anormal aux données de l'IFN devrait être justifié ;
- une fraction de déchet selon un rendement de transformation conservateur, qui peut être établi à 50%, en cohérence avec le Mémento FCBA 2020 (qui n'évoque que le rendement sciage, auquel il faut ajouter le rendement de seconde transformation).

Répartition des fractions de courte, moyenne et longue durée de vie
Exemple pour illustration : 1 000 tCO₂e séquestrées dans du bois de sciage



Evolution du stock de 1 000 tCO₂e séquestrées dans du bois de sciage
selon l'approche Winjum *et al.* (1998)

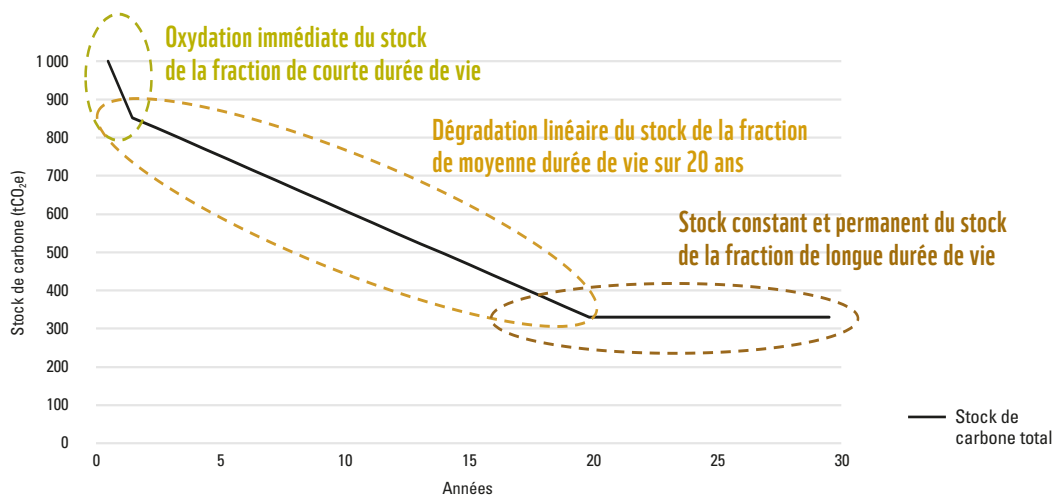
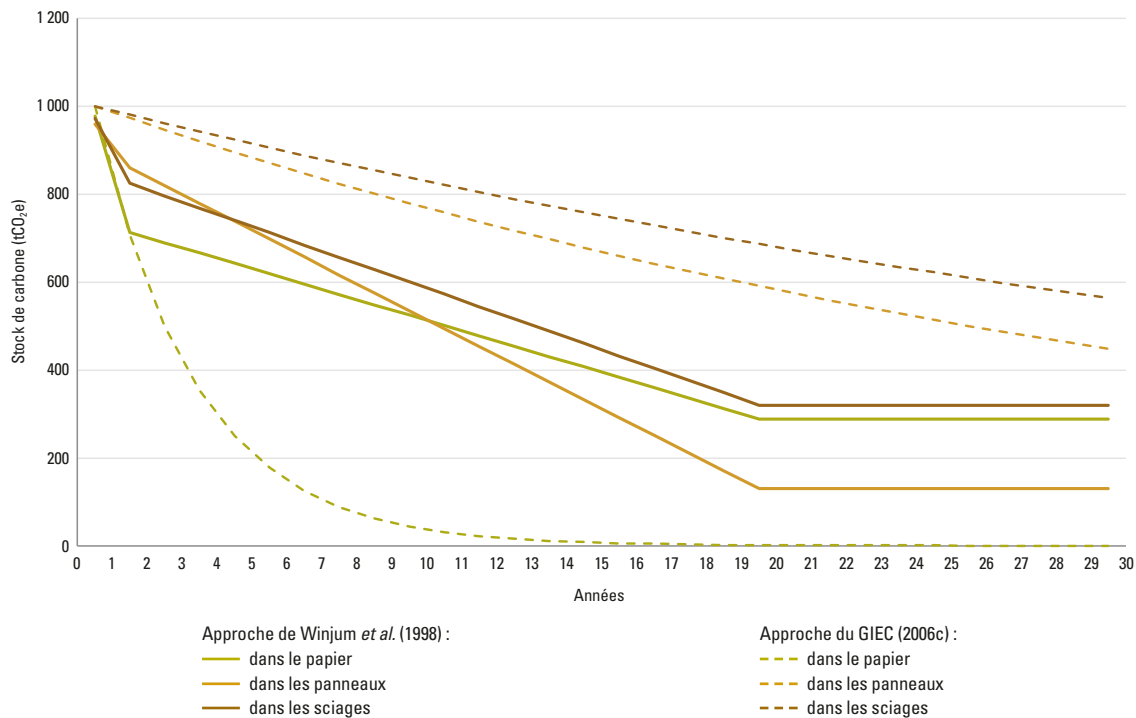


Figure 3. Modélisation de l'évolution du stock de carbone dans les produits bois selon l'approche de Winjum *et al.* (1998)

**Modélisation de l'évolution des stocks de carbone dans les produits bois
selon les deux approches adoptées par les systèmes et méthodes**
Exemple pour illustration : 1 000 tCO₂e séquestrées dans du papier, des panneaux et des sciages



↑ **Figure 4.** Modélisation de l'évolution des stocks de carbone dans les produits bois selon les approches de Winjum *et al.* (1998) et du GIEC (2006c)

L'évolution de ce stock de carbone dans les produits bois ne devrait jamais être estimée sur une durée infinie, étant donné que même la conservation du stock de carbone dans le bois d'œuvre ne peut être pleinement assurée ; à plus forte raison, il ne semble pas correct de considérer près d'un quart du stock de carbone contenu dans les papiers et cartons comme étant constant et permanent (hypothèse de Winjum *et al.*, 1998). A ce titre, il est préconisé d'adopter l'approche du GIEC (2006c), en l'appliquant uniquement pour les bois de sciage et les panneaux de bois, dont la durée de demi-vie est de respectivement 35 et 25 ans. Il faut néanmoins garder en tête que ces approches s'appuient sur un relativement faible nombre d'études, avec une variabilité des durées de vie très forte, montrant l'enjeu de travailler davantage sur ce sujet et la nécessité d'associer des abattements aux estimations du stock de carbone dans les produits bois.

• Estimation de l'effet substitution

Synthèse de l'analyse

La quantification de l'effet substitution est obtenue par la différence entre les volumes de produits bois récoltés dans le scénario du projet et dans le scénario de référence, multipliée par des coefficients de substitution variables selon la méthode

et l'essence. Le coefficient de substitution correspond à des tonnes de CO₂ supposées évitées par m³ de bois récolté. Ce coefficient atteint 1,03 tCO₂ évitées par m³ pour le boisement en peuplier, pour la méthode Boisement du Label Bas Carbone. L'effet substitution du bois énergie est estimé, avec un coefficient de substitution compris entre 0,25 et 0,5 tCO₂ évitées par m³ de bois récolté, en fonction des méthodes du Label Bas Carbone.

Points de vigilance et recommandations

Utile dans la comptabilité carbone d'une nation, l'effet substitution n'est pas maîtrisé ou garanti par le porteur du projet forestier. La propriété et le devenir du bois (et donc de son carbone) ne lui appartiennent plus une fois le bois hors forêt et vendu. L'usage de la notion est fortement critiquable en raison de l'incertitude sur les facteurs de substitution, sur l'additionnalité des émissions évitées par les usages du bois et la crédibilité du scénario de référence pour les produits, ainsi que les effets rebond potentiels (Valade, 2022). Les "réductions d'émissions indirectes" estimées par l'effet substitution doivent être absolument exclues de toute estimation du carbone additionnel d'un projet forestier sérieux.



© Bernard Boisson

PARTIE 5.

DÉTERMINATION DE L'IMPACT CARBONE TOTAL NET ADDITIONNEL

Comment la quantité totale additionnelle nette de carbone séquestrée par un projet forestier est-elle déterminée ? Comment choisir un scénario de référence crédible ? Sur quelle base sont modélisés les impacts carbone brut du scénario de référence et du projet ? Comment déterminer les abattements nécessaires à une estimation fiable ?

Les projets forestiers séquestrent du carbone dont l'estimation peut permettre à des financeurs de contribuer à l'effort global de lutte contre la crise climatique et de développer une politique RSE innovante. Cette estimation de l'impact carbone total net additionnel (cf. figure 5), pour être fiable et crédible, doit être guidée par :

- un principe d'additionnalité, c'est-à-dire que le scénario du projet doit être comparé à un scénario de référence contextualisé ;
- une prise en compte des risques d'erreur et de non-permanence via l'application d'abattements clairement expliqués et suffisants.

CHOIX DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE

• Définition du scénario de référence

Synthèse de l'analyse

Un scénario de référence est le scénario de gestion le plus probable en l'absence du projet. Il n'existe pas un scénario de référence unique, mais des éléments à débattre pour obtenir un scénario de référence explicite, crédible et légitime.

Le tableau 11 synthétise comment est défini le scénario de référence selon les systèmes ou méthodes. Leur définition suit trois grandes approches :

1. Absence d'indication pour établir le scénario de référence

Deux systèmes ou méthodes (Gold Standard et Reforest'Action) ne donnent pas d'indication spécifique pour établir le scénario

de référence à partir duquel estimer le carbone additionnel séquestré par le projet. Gold Standard précise néanmoins qu'il ne doit pas montrer une augmentation significative de la biomasse de référence (ce qui correspond à plus de 50% de la fixation de CO₂ à long-terme visée par le projet).

2. Définition d'un ou plusieurs scénarios de référence qui varient peu en fonction du contexte du projet

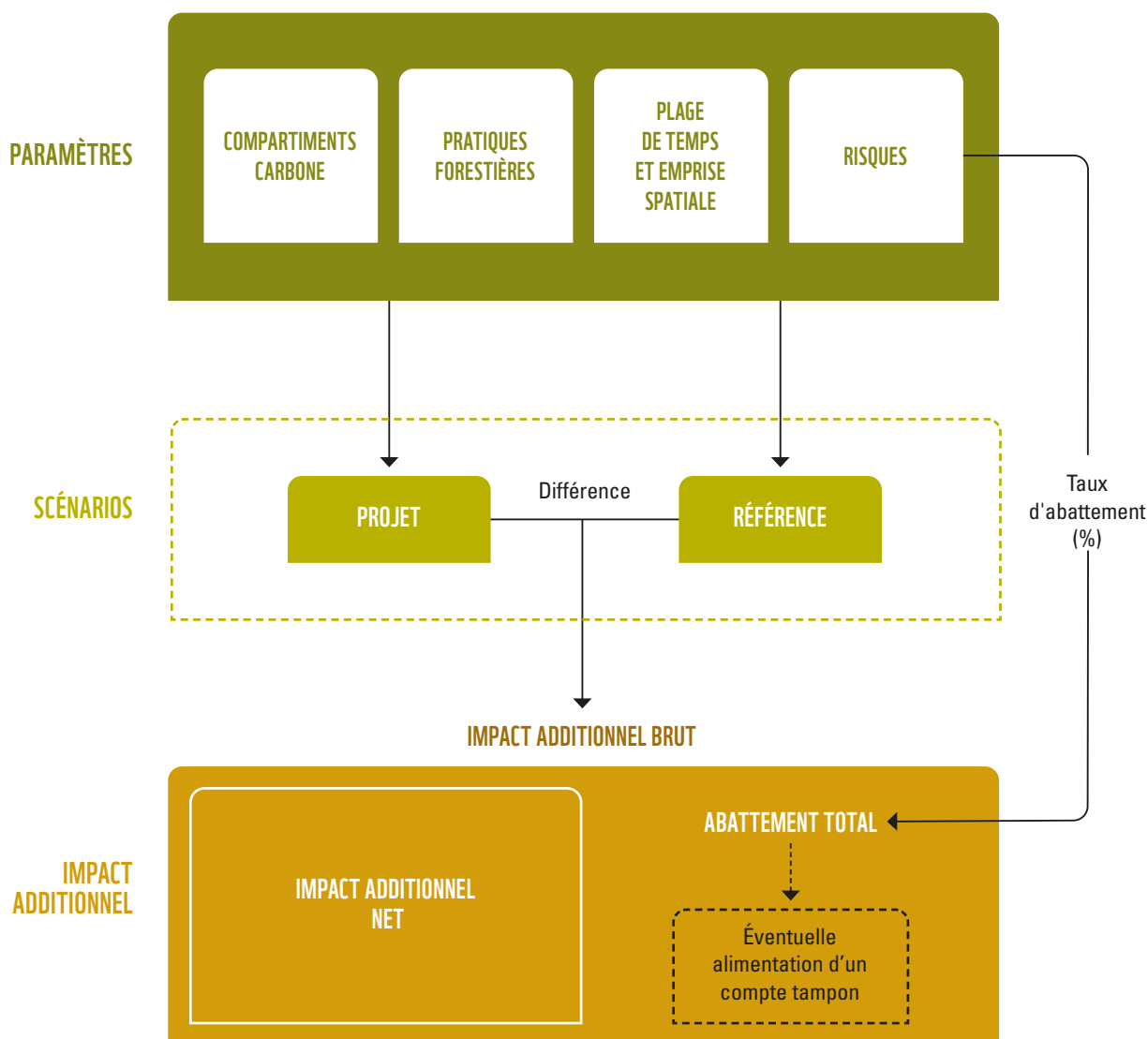
Les méthodes du Label Bas Carbone et EcoTree sont concernées :

- pour la méthode Balivage du Label Bas Carbone, il s'agit du maintien en taillis simple par une coupe à blanc du taillis intervenant à l'âge d'exploitabilité ;
- pour la méthode Boisement du Label Carbone et EcoTree, il peut s'agir d'une évolution naturelle des parcelles par embroussaillage ou colonisation naturelle, ou d'une poursuite de l'activité agricole ;
- pour la méthode Reboisement du Label Bas Carbone, cela dépend des dégâts subis par le peuplement forestier (tempête, incendie ou dépérissement), mais cela comprend dans tous les cas la vidange ou récolte et commercialisation des bois (dont le carbone n'est donc pas soustrait du bilan du projet à venir), puis une colonisation par des accrus.

3. Définition du scénario de référence sur des bases explicites

Huit systèmes ou méthodes mélangent différentes approches afin de définir leur scénario de référence : i) une approche historique (*historical baseline*) qui consiste en une poursuite de la gestion forestière telle qu'elle était pratiquée avant le début du projet ; ii) une approche légale (*legal baseline*) qui représente les exigences légales pour la gestion forestière dans la région ; iii) une approche de "pratiques courantes" (*common practice baseline*) qui correspond à ce qui se fait habituellement dans la région.

Pour la méthode REDD de Verra, six types de scénarios de référence sont définis pour chaque forêt, en fonction du type de conversion des forêts et de l'origine de la déforestation (planifiée ou non, pour une récolte commerciale légalement autorisée ou pour une conversion illégale en plantation, etc.), entre autres. Il s'agit donc de s'appuyer partiellement sur



⬆ **Figure 5.** Processus simplifié permettant de déterminer l'impact carbone total net additionnel, à partir des paramètres d'estimation de l'impact carbone

toutes les approches, pour parvenir au scénario de référence le plus plausible. A noter que c'est cette "plausibilité" qui est le sujet de nombreuses controverses sur le mécanisme REDD+ ou les crédits carbone Verra. En effet, sans validation au plus près du terrain par des acteurs experts challengeant les porteurs de projet, ceux-ci peuvent avoir tendance à sélectionner un scénario de référence particulièrement pessimiste afin de revendiquer un impact plus grand.

Pour les méthodes ERA et LtPF de Verra, il s'agit de l'identification d'alternatives crédibles au scénario du projet puis de la sélection d'un seul scénario de référence, justifié par des éléments de preuves (plan d'aménagement, évaluations par des consultants...), prioritairement selon l'approche historique, puis légale (uniquement pour la méthode ERA), puis de "pratiques courantes". Les scénarios de référence ne peuvent pas être sans exploitation forestière.

Pour la méthode RIL-C de Verra, l'approche fondée sur les "pratiques courantes" est utilisée via le calcul de moyennes

des valeurs du scénario de référence sur différentes concessions comparables¹⁶.

FSC demande une comparaison des valeurs du projet avec au moins une mesure antérieure ou un niveau de référence historique dans l'unité de gestion (*historical baseline*), ou avec un niveau de référence régional (*common practice baseline*). Ce scénario de référence est réévalué au bout de 10 ans.

Pour La Belle Forêt, le scénario de référence est basé sur la typologie des peuplements (structure régulière ou irrégulière). L'itinéraire de référence est basé sur la réglementation qui définit le seuil de récolte et est nuancé par les pratiques usuelles.

L'outil A•CO₂ d'Alcina détermine un scénario de référence au cas par cas en fonction des informations des SRGS, des guides de sylvicultures, Schéma d'Accès à la Ressource Forestière

¹⁶ En date d'écriture du présent rapport, seul le module "[VMD0047 - Performance Method for Reduced Impact Logging in East and North Kalimantan](#)" est disponible sur le site de Verra.

et autre bibliographie. Il s'agit donc d'une approche légale ou de pratique courante à la fois.

Enfin, ART TREES propose une approche uniquement historique, puisqu'il s'agit d'un "niveau de crédit historique prudent". A noter que pour les pays considérés "High Forest/Low Deforestation" (HFLD) à l'échelle internationale, il n'existe pas de scénario de référence à proprement parler (cf. encart 2).

ENCART 2 Le cas particulier des pays HFLD

Une approche originale proposée par ART TREES consiste à faire la distinction entre additionnalité et scénario de référence pour les pays à forte densité forestière et à faible déforestation (*High Forest Low Deforestation* - HFLD).

En effet, des pays comme le Gabon ou le Costa-Rica protègent déjà de vastes zones de forêts intactes depuis de nombreuses années. En conséquence, ces pays ne peuvent généralement pas profiter des financements internationaux de type REDD+, car le stock de carbone présent dans les forêts et protégé de longue date n'est pas reconnu additionnel et n'est donc pas finançable.

ART TREES considère néanmoins qu'il n'existe aucune garantie que ces zones HFLD resteront protégées à long terme, et estime que tout projet en pays HFLD est automatiquement additionnel, puisque les projections prévoient une forte augmentation de la déforestation dans les 15 prochaines années dans tous les pays tropicaux. Cela semble une idée intéressante, sous réserve impérative que la forêt soit alors juridiquement protégée à long terme et de façon non réversible. Cela conduit ainsi à donner une valeur à la pérennité de la bonne gestion pratiquée. Plus facile à manipuler en termes de contribution biodiversité (via des outils juridiques tels que les Obligations Réelles Environnementales en France par exemple), cette approche pourrait être utilisée aussi en regard de son impact carbone (maintien d'un stock) dans des cas très limités.

Points de vigilance et recommandations

La notion de scénario de référence est essentielle puisqu'elle permet de comparer le scénario du projet à ce qu'il aurait été susceptible de se passer sans cela. La qualité de cette étape est l'un des déterminants majeurs de la démonstration de la réelle additionnalité d'un projet forestier et doit donc faire l'objet d'une attention particulière. Sa définition explicite est indispensable.

Carbon Market Watch (2023) recommande de ne pas baser la définition du scénario de référence sur la performance moyenne d'un secteur, qui ne créerait pas d'incitation suffisamment forte à l'amélioration. Favrel *et al.* d'I4CE (2022) renforcent cet avis en signalant que les recherches économiques montrent qu'un scénario de référence strict et exigeant est plus efficace pour préserver l'intégrité environnementale à moindre coût que l'introduction d'abatteurs forts.

Le WWF recommande de proscrire la définition d'un scénario de référence théorique unique pour un itinéraire donné, car il n'est pas en mesure de traduire la pluralité des cas de figure pouvant se présenter sur le terrain. Il faut définir un scénario de référence au cas par cas, en confrontant des approches variées, en les mixant si nécessaire et en les hiérarchisant. Le scénario de référence doit être discuté et validé par les parties prenantes constitutives de la gouvernance du projet. Cela s'accompagne ainsi d'un besoin de documentation et de justification. Cette approche est essentielle pour la crédibilité du scénario de référence et donc de l'ensemble de l'estimation carbone.

Pour la définition de ce scénario de référence :

- l'approche légale est bien sûr obligatoire. Par exemple : exploitation selon les diamètres minimaux définis dans les documents d'aménagements ou les SRGS ;
- une approche historique des pratiques appliquées dans la forêt doit permettre par exemple d'éviter le chantage à la coupe rase lorsque le PSG ou autres documents de gestion



© Daniel Vallauri

Tableau 11. Définition du scénario de référence selon les systèmes ou méthodes

SYSTÈMES / MÉTHODES / OUTILS	LOGIQUE DE DÉFINITION DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE			
	Un ou plusieurs scénarios de référence variant peu	Historique poursuite de la gestion forestière précédemment appliquée	Légale exigences légales pour la gestion forestière dans la région	“Pratique courante” ce qui se fait habituellement dans la région
Verra - ERA		OUI	OUI	OUI
FSC		OUI	NON	OUI
Verra - LtPF		OUI	NON	OUI
La Belle Forêt		NON	OUI	OUI
Alcina - A • CO2		NON	OUI	OUI
Verra - RIL-C		NON	NON	OUI
Verra - REDD		Partiellement (variable parmi 6 types)		
ART TREES	Pour les pays non HFLD	OUI	NON	NON
	Pour les pays HFLD	Pas de scénario de référence		
Label Bas Carbone - Balivage	Maintien en taillis simple			
Label Bas Carbone - Boisement	- Evolution naturelle - Poursuite de l'activité agricole			
EcoTree				
Label Bas Carbone - Reboisement	Evolution naturelle			
Gold Standard		Absence d'indication		
Reforest'Action		Absence d'indication		

laissent penser que le propriétaire n'a aucun intérêt ni intention de la mettre en œuvre si le projet alternatif n'est pas financé. Cela ne veut pas dire ne pas financer le projet, mais refléter son vrai impact carbone sans l'exagérer ;

- les pratiques courantes dans les propriétés voisines ou dans la région proche (sylvoécocorégion) permettent de visualiser la gestion forestière la plus probable en l'absence de projet. Par exemple : pression d'exploitation forte du fait d'industries proches demandant des petits bois résineux calibrés dans une zone qui pourrait être protégée en tant qu'ilot de sénescence dans le cadre d'un projet de PSE forestier.

Pour WWF, les projets de PSE visent à renforcer une gestion déjà responsable. La qualité du scénario de référence peut être décrite et notée de manière qualitative (note qualifiant la qualité de l'antécédent du projet). Au-delà du carbone séquestré, le financeur peut être intéressé par cette information pour choisir les projets qu'il va décider de financer.

• Modélisation de l'évolution du carbone dans les scénarios de référence

Synthèse de l'analyse

A partir de cet état de référence, les systèmes ou méthodes modélisent l'évolution du scénario de référence sur une durée donnée. L'estimation de la séquestration additionnelle permise par le projet consiste en la différence entre le scénario du projet et le scénario de référence sur cette durée. Elle peut se faire de quatre grandes façons :

1. Modélisation selon des paramètres identiques au scénario du projet

Trois systèmes, méthodes ou outils modélisent le scénario de référence de la même manière que le scénario du projet.

Alcina fait tourner son outil A•CO2 avec les mêmes informations que pour le scénario du projet et avec le même mode de modélisation. Les informations qui sont modifiées concernent

les volumes prélevés, les volumes de produits bois et donc le carbone stocké dans ces produits, et le déstockage du carbone du sol en cas de coupe rase.

La Belle Forêt suit la même approche puisque la modélisation du scénario de référence suit les mêmes équations que le scénario du projet. La seule distinction est qu'il y a une récolte de 100 % du volume éligible initial dans le scénario de référence. S'il existe des variations pluriannuelles dans la modélisation du scénario de référence, celles-ci doivent être annualisées.

La méthode RIL-C de Verra ne fait quant à elle pas de distinction entre la modélisation de l'évolution du carbone dans le scénario de référence et dans le scénario de projet, puisque leurs estimations sont faites simultanément (étant donné que la méthode RIL-C fait uniquement une estimation des réductions d'émissions des activités d'abattage, de débardage et de transport).

2. Modélisation selon des paramètres spécifiques au scénario de référence

Une méthode de Verra (LtPF), les méthodes du Label Bas Carbone et EcoTree modélisent le scénario de référence selon des paramètres spécifiques.

Pour la méthode LtPF de Verra :

- La modélisation de l'évolution du carbone dans le scénario de référence se fait en considérant d'une part les stocks séquestrés permis par l'exploitation (dans les produits bois de moyenne durée de vie et grâce à la repousse de la forêt après récolte) et d'autre part les sources d'émissions si la forêt avait continué à être exploitée (résidus et dégâts d'exploitation, exploitation des produits bois de courte durée de vie, combustion des combustibles fossiles). Le stock de carbone est modélisé selon une distinction faite en première année, puis jusqu'à 10 et enfin 20 ans.
- Le carbone dans les produits bois est estimé selon l'approche décrite dans la partie [Estimation du stock de carbone dans les produits bois](#) ; les stocks de courte durée de vie étant déduits en première année après exploitation et les stocks de moyenne durée de vie étant ajoutés en tant que stock lissé sur les 20 premières années. La repousse de la forêt après récolte est quant à elle estimée selon des valeurs par défaut issues des lignes directrices du GIEC (2006).
- Les émissions dues à la combustion des combustibles fossiles (cf. partie [L'empreinte carbone des opérations de gestion, mobilisation et transformation du bois](#)) sont aussi déduites la première année. Les émissions dues aux résidus et dégâts d'exploitation sont définies comme la différence entre le stock de carbone de la biomasse exploitée et le stock de carbone du bois extrait (donnant le stock de carbone dans les rémanents d'exploitations), à laquelle il faut ajouter les émissions de carbone dues aux dégâts d'exploitation (dépendant d'un facteur de dommages résiduels, à trouver dans la littérature) et à la création d'infrastructures forestières, lissées sur les 10 premières années.

Pour les méthodes du Label Bas Carbone et EcoTree, l'évolution du carbone dans la référence se fait par stock de carbone, selon les méthodes et le type de scénario de référence :

- Les modélisations concernent exclusivement l'évolution de la biomasse aérienne (la biomasse racinaire en dépendant) : pour la méthode Balivage du Label Bas Carbone, il s'agit de la modéliser à partir de la table de production du taillis ; pour

les méthodes Boisement et Reboisement du Label Carbone, ainsi que pour EcoTree dans le cas d'une colonisation naturelle, il est estimé un accroissement égal à seulement 1 m³/ha/an (et 0,5 m³/ha/an pour les GRECO Méditerranée et Corse pour le Label Bas Carbone ; plafonnée à une valeur stationnaire de 75 m³/ha atteinte au bout de 75 ans pour EcoTree). Ce chiffre faible semble très discutable.

- Les méthodes Balivage et Reboisement du Label Bas Carbone considèrent une absence d'évolution des stocks de carbone dans le sol et la litière entre le scénario de projet et le scénario de référence. Pour la méthode Boisement du Label Bas Carbone et EcoTree, lorsqu'il s'agit d'un boisement sur friche, prairie ou pâture, il est considéré qu'il n'y a pas de changement dans le stock de carbone du sol. En revanche, pour un boisement sur culture agricole dans la méthode Boisement du Label Bas Carbone et EcoTree, le stock de carbone du sol reste constant à 45 tC/ha dans le scénario de référence de maintien de l'activité agricole. De plus, le stock de carbone de la litière est estimé nul et constant dans quel que soit le scénario de référence pour toutes les méthodes du Label Bas Carbone et pour EcoTree.
- Le stock de carbone dans le bois mort (facultatif uniquement pour les méthodes Balivage et Reboisement du Label Bas Carbone) est négligé dans les scénarios de référence.
- Enfin, en ce qui concerne l'évolution du carbone stocké dans les produits bois dans les scénarios de référence, les méthodes du Label Bas Carbone ne donnent pas de précision mais EcoTree précise que dans le cas d'une colonisation naturelle, il n'y a pas de stockage en produits bois (hors bois de chauffe dans les friches feuillues et bois de trituration dans les friches résineuses) ; a fortiori pour les reprises de terres agricoles, de prairie ou pâturage.

3. Modélisation complexe

Deux méthodes de Verra (ERA et REDD) font appel à des équations et modèles très complexes pour modéliser l'évolution du carbone dans le scénario de référence :

- la méthode ERA de Verra préconise de le modéliser sur la base d'un modèle forestier vérifié par des pairs et tiré d'une moyenne sur les 100 dernières années permettant de s'affranchir des fluctuations. Le carbone des produits bois et du bois mort, facultatifs, peuvent être exclus de manière conservatrice dans le scénario de référence ;
- la méthode REDD de Verra fait appel à des équations extrêmement complexes et dont la compréhension est presque impossible par le non-scientifique. Elles sont fonction du scénario de référence et de très nombreux paramètres dont l'estimation peut être questionnée, comme par exemple : le temps d'arrivée des agents secondaires après le début de l'exploitation forestière commerciale ; la dégradation commerciale par an ; la surface convertie ou le périmètre menacé dans la zone du projet à la date de début du projet ; etc.

On touche là la volonté de tout vouloir réguler par des équations, sous prétexte d'éviter les arrangements localement. Cela aboutit, au sens du WWF, à des propositions technocratiques globales qui ne peuvent être pertinentes dans aucun des cas de terrain. Pour régler le vrai problème évoqué, il vaut mieux une gouvernance pertinente localement que des règles mondiales, suivant des principes de subsidiarité et de gouvernance ouverte bien connus des experts des PSE.

4. Absence de modélisation

Trois systèmes ou méthodes ne modélisent pas l'évolution du carbone dans le scénario de référence. Ils mettent en œuvre deux approches distinctes :

- Gold Standard et Reforest'Action considèrent que les valeurs initiales estimées du carbone sont ensuite constantes. Ces valeurs initiales sont uniquement déduites en première année du projet. La note explicative de Reforest'Action précise que cette valeur est estimée selon la couverture végétale et la dynamique de croissance, et considère donc un stock à maturité ;
- L'outil de FSC ne prévoit pas la modélisation de l'évolution du stock de carbone dans le scénario de référence. La procédure SE de FSC impose une description de l'état antérieur du service écosystémique, et il faut comparer la valeur actuelle du carbone avec une valeur de référence (mesure antérieure, niveau de référence régional ou historique dans l'unité de gestion). En ce qui concerne le bénéfice "conservation des stocks de carbone forestier", il s'agit alors de prouver que "les stocks de carbone forestier dans l'unité de gestion sont équivalents ou supérieurs à la/aux mesures antérieures [ou] au niveau de référence" ou que "les pertes de carbone sont inférieures au niveau de référence régional ou historique". Le système considère ainsi que tant que le gestionnaire ne fait pas quelque chose de négatif

impactant le stock ou la séquestration du carbone, alors le projet peut tout de même être éligible.

Sans modélisation de l'évolution du stock de carbone dans le scénario de référence, il n'est cependant pas possible de savoir si l'absence d'intervention du porteur de projet ne permettrait pas de stocker autant ou plus de carbone. On ne peut dans ce cas parler de stockage de carbone additionnel.



Points de vigilance et recommandations

La modélisation de l'itinéraire de référence est essentielle pour assurer la fiabilité des estimations du carbone additionnel dont le stockage est permis par un projet forestier. A ce titre, il faut exclure l'absence de modélisation (et donc d'évolution) de l'estimation carbone dans le scénario de référence.

Le WWF recommande que cette modélisation suive la même logique que pour le scénario du projet. En fonction du type de méthode, les itinéraires de références peuvent grandement varier ; les modélisations doivent donc s'adapter à la pluralité des scénarios de référence en se basant sur la même appréhension opérationnelle des compartiments séquestrant du carbone.



© Daniel Vallauri

ESTIMATION DE L'IMPACT CARBONE BRUT ADDITIONNEL

Synthèse de l'analyse

Le résultat de l'estimation carbone d'un projet forestier est la différence entre le stock du scénario de référence choisi et celui du projet. Cette estimation est faite *ex ante* sur une certaine période de temps. Cette différence peut être une soustraction simple ou plus complexe (notion de Stock Moyen de Long Terme - SMLT) (cf. encart 3).

EcoTree et les méthodes Boisement et Reboisement du Label Bas Carbone calculent leur impact carbone comme étant la valeur la plus faible entre :

- d'une part, la différence entre le stock du scénario du projet et du scénario de référence sur la durée du projet n (30 ans pour les méthodes du LBC, 100 ans pour EcoTree) ;
- d'autre part, la différence sur les SMLT dans les scénarios de projet ($SMLT_{projet}$) et de référence ($SMLT_{réf}$). Ces SMLT correspondent à la différence entre les stockages dans la référence et du projet (respectivement $C_{réf}$ et C_{projet}) à l'issue des durées de révolution des essences de la référence et du

projet (respectivement R' et R) et les stockages en début de projet. Les méthodes Boisement et Reboisement du Label Bas Carbone précisent qu'en présence d'accrus dans la référence, cette durée est établie par défaut comme étant la même que celle de l'essence dans le scénario du projet, donc $R = R'$.

Cette approche est illustrée dans la figure 6.

Points de vigilance et recommandations

L'impact carbone brut additionnel s'obtient par la différence entre les impacts carbone brut des scénarios de référence et du projet.

L'approche SMLT semble intéressante dans la mesure où elle permet de se questionner sur une durée plus longue que celle de l'estimation carbone, et donc de favoriser des projets permettant une plus grande pérennité du carbone. Les modélisations à long terme étant risquées, cette approche peut être utilisée si elle permet de parvenir à un résultat plus prudent ou conservateur (minimum entre la différence à un instant t et la différence des SMLT).

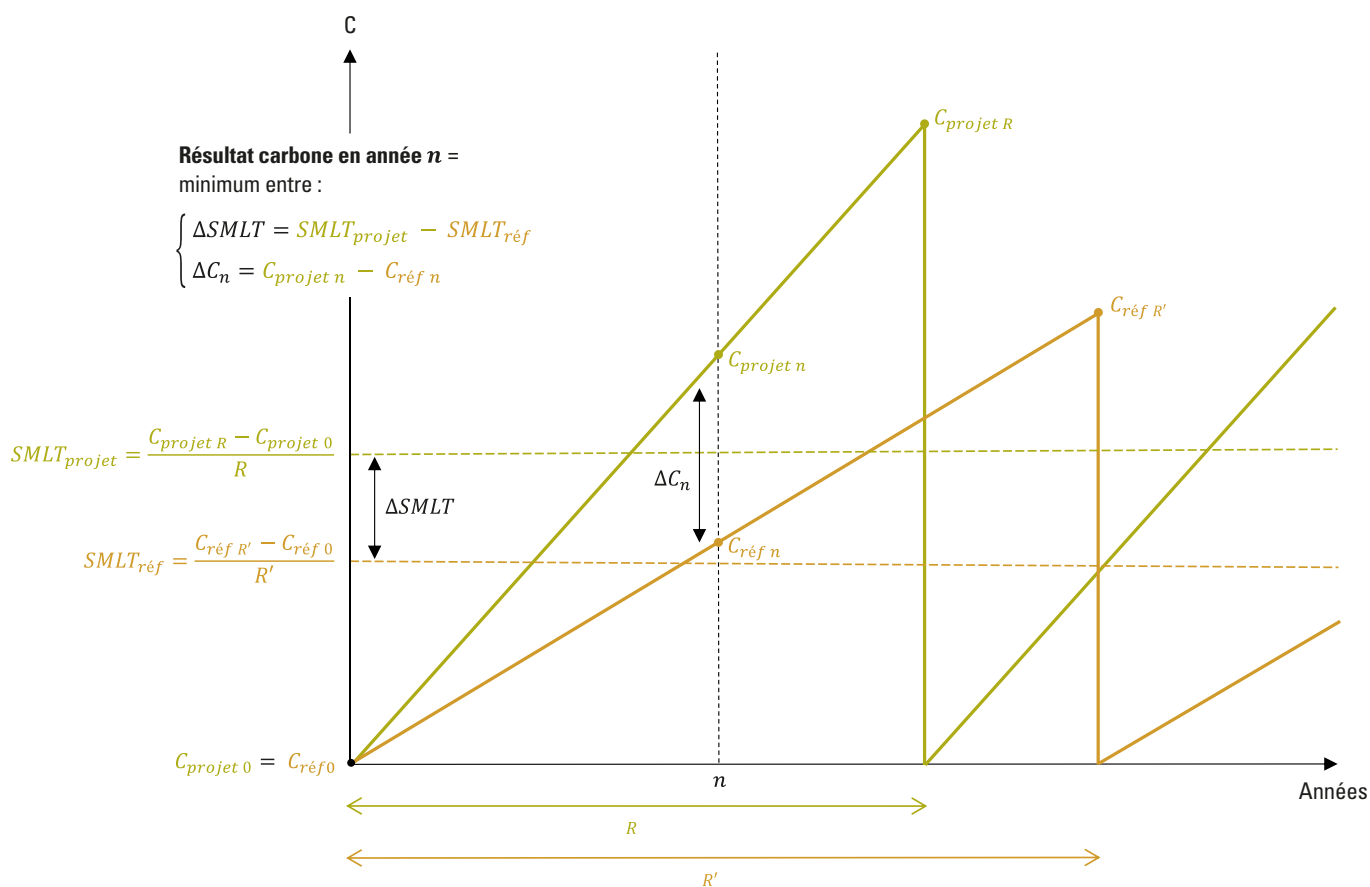


Figure 6. Résultat attendu en terme d'impact carbone en fonction de l'année et illustrant la distinction entre la différence des SMLT et la différence de stockage à l'année n

ENCART 3 Le Stock Moyen de Long Terme

La notion de SMLT a été introduite par Verra et consiste en la valeur moyenne du stock sur le long terme, c'est-à-dire sur la durée de révolution d'une essence donnée. Le concept est défini par Verra (2011) essentiellement pour une sylviculture régulière (cf. figure 7).

Dans le VCS Standard v4.5 de 2023, Verra précise néanmoins que pour les projets de conservation ou sans récolte (où la notion de révolution n'aurait pas de sens), la période sur laquelle le

SMLT doit être calculé correspond à la durée de la période de l'estimation carbone du projet.

EcoTree s'est emparé de la proposition de Verra afin de définir le SMLT pour un système irrégulier. Il est précisé que, étant donné que la sylviculture irrégulière vise un état stable où tout le volume qui est extrait de la forêt est remplacé par la croissance et la régénération naturelle, on tend vers un état stationnaire sur lequel le SMLT équivaut à un capital d'équilibre et peut être estimé (cf. figure 8).

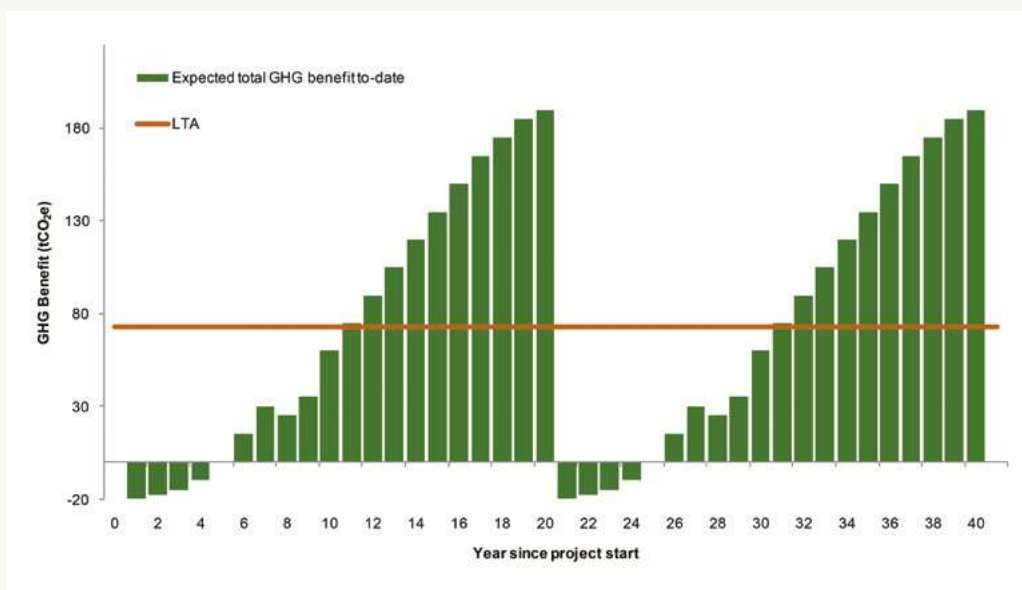


Figure 7. Résultat attendu en terme d'impact carbone en fonction de l'année en appliquant le concept de SMLT (LTA) pour un projet de boisement avec deux cycles de récolte (Verra, 2011)

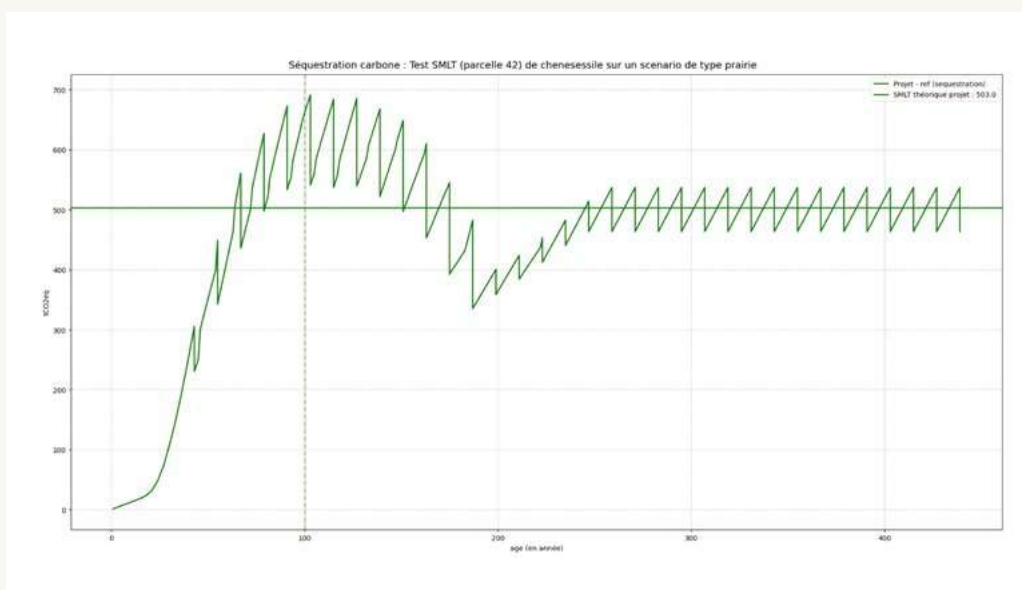


Figure 8. Résultat attendu en terme d'impact carbone en fonction de l'année en appliquant le concept de SMLT (LTA) pour un projet de boisement sur prairie avec traitement en irrégulier (EcoTree, 2023)

GESTION DES RISQUES : CHOIX DES ABATTEMENTS

Comment les risques et incertitudes classiques sont-ils pris en compte dans l'estimation d'un minimum d'impacts carbone garantis notamment au financeur du projet ? Quels sont les abattements ou le mécanisme utilisés pour garantir une estimation fiable du carbone séquestré ?

Les projets forestiers ne relèvent pas de la science exacte. Ils n'ont des impacts significatifs qu'à long terme et sont soumis à des pressions et menaces qui peuvent modifier les impacts estimés *ex ante*. Pour garantir robustesse et fiabilité de l'impact carbone du projet au financeur, les risques principaux doivent être identifiés et discutés. Cela doit permettre au porteur de projet de se prémunir d'une estimation carbone exagérée, via l'application d'abattements explicites. Exprimés généralement en pourcentages ou en règles à suivre, les abattements s'appliquent aux métriques d'impact brut estimées *ex ante* pour le projet. Dans le cas d'une estimation *ex post*, certains rabais doivent quand même s'appliquer mais peuvent être ajustés en fonction de la durée restante du projet.

Synthèse de l'analyse

La tableau 12 fait la synthèse de la prise en compte des risques et abattements selon les systèmes ou méthodes, appliqués à l'estimation *ex ante*. Les abattements sont nombreux et exprimés en pourcentage par risque. S'appliquant parfois à des compartiments différents, il n'est pas toujours possible de les additionner simplement pour parvenir au total d'abattement théorique. On peut néanmoins noter que les abattements sont généralement de minimum 10 % (par exemple pour les méthodes du Label Bas Carbone ou EcoTree) et peuvent aller jusqu'à 100 % (cas particulier de La Belle Forêt où un trop fort risque essence entraîne son exclusion des calculs de crédits carbone).

Il existe des systèmes et méthodes qui tiennent compte :

1. D'aucun risque, et donc n'appliquent aucun abattement

Certains systèmes ou méthodes ne prennent en compte aucun risque ou n'appliquent aucun abattement en relation avec l'incertitude que ces risques font peser sur les impacts visés ou vendus. C'est le cas par exemple d'Alcina, qui justifie ce choix par le fait que l'outil A•CO₂ permet uniquement une estimation de stocks et de flux, sans orientation vers la commercialisation. La gestion des risques par le choix d'abattements serait l'objet de négociations ultérieures. Jusqu'à la révision en octobre 2022 de sa méthodologie de quantification CO₂, c'était également le cas d'EcoTree qui n'appliquait aucune décote sous prétexte que "travailler avec le vivant sur des projets à long terme implique [...] d'en accepter les risques inhérents".

2. Des risques généraux

Huit systèmes ou méthodes appliquent des abattements pour des risques généraux, qui incluent divers risques sur le montage du projet et la réalisation des calculs :

- sept systèmes ou méthodes appliquent un abattement relatif au **risque d'incertitude**, c'est-à-dire le risque lié à la réalisation des estimations carbone *ex ante*, dont les résultats sont par nature incertains, basés sur des estimations et des valeurs par défaut. Ce risque d'incertitude se traduit par l'estimation de la marge d'erreur des inventaires forestiers pour La Belle Forêt (intervalle de confiance à 90 % en pourcentage de la moyenne pour chaque compartiment ou type de données), la méthode REDD de Verra (combinaison linéaire des erreurs types pondérées) et le système ART TREES. Les méthodes ERA et LtPF de Verra appliquent la même approche, mais seulement si la marge d'erreur dépasse respectivement 10 ou 15 %. Les méthodes Boisement et Reboisement du Label Bas Carbone appliquent une décote de 10 % si le porteur de projet ne justifie pas la classe de fertilité du sol.
- les méthodes du Label Bas Carbone appliquent également des pénalités si le porteur n'apporte pas certains éléments nécessaires à justifier de l'**additionnalité** (20 % si le porteur de projet n'apporte pas l'analyse économique démontrant que le projet est moins rentable que le scénario de référence).
- le système La Belle Forêt considère également le risque de **gouvernance**, qui traduit l'instabilité politique et le risque de corruption, défini par défaut à 0 % pour la France et un risque "**propriétaire**", qui traduit la stabilité de son engagement, défini à 0% pour les forêts publiques et à 3 % en forêt privée.

3. Des risques de non-permanence en forêt

Neuf systèmes ou méthodes prennent en considération les **risques de non-permanence en forêt**, c'est-à-dire le risque que le carbone stocké grâce au projet soit réémis dans l'atmosphère en raison d'un événement imprévu (par exemple un incendie).

Certains systèmes ou méthodes **ne détaillent pas les différents types de risques de non-permanence en forêt** :

- les méthodes du Label Bas Carbone appliquent un abattement de 10 % (fourchette basse des valeurs observées dans les labels internationaux, qui sont de 10 à 40 %) comprenant les risques sanitaires, les tempêtes, et une décision de déboisement anticipée liée ou non à ce type de catastrophe naturelle. Seul le risque incendie est pris en considération de manière distincte (cf. paragraphe suivant) ;
- les autres systèmes ou méthodes déduisent un pourcentage global de crédits carbone qui alimentent un "compte tampon" (*buffer account*), pour prendre en considération les risques de non-permanence. EcoTree applique ainsi une décote de 10% (sur le stock de carbone en forêt et dans les produits bois) uniquement au scénario du projet (pas sur le scénario de référence afin d'avoir une estimation plus conservatrice). Les méthodes LtPF et RIL-C de Verra se basent sur un outil de l'estimation du risque (*VCS AFOLU Non-Permanence Risk Tool*). Le système ART TREES évoque un "risque d'inversion" (c'est-à-dire le risque que le solde net de GES ne devienne négatif), qui a un niveau initial de 25% et qui peut être diminué en fonction de la mise en œuvre de mesures d'atténuation (législations ou décrets en faveur de REDD+, faible variabilité interannuelle des émissions forestières, démonstration d'actions et de plans d'atténuation des inversions).

Les différents types de risque de non-permanence en forêt détaillés sont les suivants :

- le **risque incendie** est pris en considération par les méthodes du Label Bas Carbone et La Belle Forêt. Il est

Tableau 12. Prise en compte des risques et abattements selon les systèmes ou méthodes.

Note : lorsque le risque est clairement exclu du système, méthode ou outil, celui-ci est renseigné en tant que "Non inclus". En l'absence d'information (pas d'exclusion clairement mentionnée), la case demeure vide.

SYSTÈME / MÉTHODE / OUTIL	RISQUES GÉNÉRAUX				RISQUES DE NON-PERMANENCE EN FORÊT				RISQUES DE NON-PERMANENCE DANS LA FILIÈRE BOIS
	Incertitudes sur les données	Absence de démonstration de l'additionnalité	Instabilité politique et corruption	Stabilité de l'engagement du propriétaire	Incendie	Abrouissement	Tempête	Autres menaces	Fuites
La Belle Forêt	Inclus % en fonction de l'erreur (généralement 9-15 %)		Inclus 0 %	Inclus 0-3 %	Inclus 0-30 %		Inclus 5-13%	Éventuel ajout pour atteindre minimum 10 % de risque de non-permanence	Inclus 5-25 %
Label Bas Carbone - Boisement	Inclus (si absence de justification de la classe de fertilité) 10 %	Inclus 20 %			Inclus 0-15 %	Non inclus		Inclus (tous risques de non- permanence en forêt hors incendie) 10 %	
Label Bas Carbone - Reboisement	Inclus (si absence de justification de la classe de fertilité) 10 %	Inclus 20 %			Inclus 0-15 %	Non inclus		Inclus (tous risques de non- permanence en forêt hors incendie) 10 %	
ART TREES	Inclus % en fonction de l'erreur	Inclus Déduction de 5-25 % des crédits dans un "compte tampon"							Inclus 0-20 %
Label Bas Carbone - Balivage		Inclus 20 %			Inclus 0-5 %			Inclus (tous risques de non- permanence en forêt hors incendie) 10 %	
Reforest'Action					Décote de 20 % (buffer)				



Tableau 12 (suite)

SYSTÈME / MÉTHODE / OUTIL	RISQUES GÉNÉRAUX				RISQUES DE NON-PERMANENCE EN FORÊT				RISQUES DE NON-PERMANENCE DANS LA FILIÈRE BOIS
	Incertitudes sur les données	Absence de démonstration de l'additionnalité	Instabilité politique et corruption	Stabilité de l'engagement du propriétaire	Incendie	Abrouissement	Tempête	Autres menaces	Fuites
EcoTree					Décote de 10 % (buffer)				
Verra - ERA	Inclus (si erreur > 10 %) % en fonction de l'erreur								Inclus 0-70 %
Verra - LtPF	Inclus (si erreur > 15 %) % en fonction de l'erreur				Dédution d'un nombre de crédits dans un "compte tampon"				Inclus 0-70 %
Gold Standard									Inclus
Verra - RIL-C					Dédution d'un nombre de crédits dans un "compte tampon"				
Verra - REDD	Inclus % en fonction de l'erreur								
FSC	Non inclus Aucun abattement								
Alcina - A • CO2	Non inclus Aucun abattement								

estimé en fonction des classements dans les Plans Régionaux ou Départementaux de Protection des Forêts Contre les Incendies et est compris entre 0 % (par exemple, pour les méthodes du Label Bas Carbone, dans les départements non-concernés par l'obligation DFCI) et 30 % (par exemple, pour La Belle Forêt, si le niveau d'exposition de la commune principale du projet est classé comme "très élevé") ;

- le risque gibier (**risque d'abrouissement**) n'est généralement pas évoqué par les systèmes ou méthodes, sauf par le Label Bas Carbone (méthodes Boisement et Reboisement) qui ne prévoit pas d'abattement mais indique qu'il est nécessaire de prévoir les coûts de protection des plants en cas de risque avéré ;
- Le **risque tempête** est pris en compte uniquement par La Belle Forêt. Il est basé sur la composition (feuillus ou résineux) et la structure (régularisée ou irrégularisée) des peuplements éligibles ;
- Enfin, La Belle Forêt définit un dernier type de risque : le **risque de mortalité** (ou risque essence). Il traduit la résistance de l'essence vis-à-vis du changement climatique et des risques sanitaires, et qui est déterminé en fonction des caractéristiques de la propriété et du contexte local. Au-delà de 50 %, l'essence est considérée comme trop risquée et n'est pas retenue pour les estimations. Contrairement aux autres risques, il ne s'agit pas d'un abattement déduit de l'estimation carbone brute, mais d'une déduction faite en amont sur le "volume récoltable", qui permet de ne considérer qu'un "volume éligible" ne présentant pas de forts risques pour les calculs carbone. Cette approche est judicieuse et prudente dans un contexte de changement climatique.

4. Des risques de non-permanence dans la filière bois

Le risque de non-permanence dans la filière bois codifie le fait que le carbone qui pourrait être stocké dans les produits bois grâce au projet ne le soit finalement pas. Les systèmes ou méthodes analysés considèrent uniquement le **risque de fuite**, qui consiste en la prise en compte du déplacement des pressions du fait du projet. Par exemple, la réduction de l'exploitation du bois dans une propriété peut causer un déficit d'approvisionnement de la filière et donc une augmentation de l'exploitation ailleurs. Il est à prendre en compte à l'échelle de la propriété mais surtout de la région d'approvisionnement.

Les cinq systèmes et méthodes suivants en tiennent compte :

- pour Gold Standard, le risque de fuite correspond au produit de l'aire affectée, du pourcentage de changement d'activité et du stock de carbone dans la biomasse des arbres sur l'aire où l'activité va être déplacée ;
- pour les méthodes ERA et LtPF de Verra ainsi que pour La Belle Forêt, la différence entre les estimations de stock de carbone dans le scénario du projet et de référence est multipliée par un facteur de fuite (variant entre 5 et 25 % pour La Belle Forêt, et entre 0 et 70 % pour Verra) ;
- pour ART TREES, le risque de fuite ne s'applique que s'il ne s'agit pas d'un projet national : il est compris entre 0% (si plus de 90 % de la zone forestière nationale est incluse dans TREES) et 20 % (si moins de 25 % de la zone forestière nationale est incluse).



Points de vigilance et recommandations

La gestion des risques, notamment par le choix d'abattements rigoureux, est essentielle pour traduire l'incertitude liée aux estimations des stocks et flux de carbone dans les différents compartiments d'un projet forestier. Elle est la garantie d'un système fiable pour le financeur.

Pour les déterminer, les points de vigilance à prendre en considération sont les suivants :

- ils ne doivent pas servir de pénalités à certains porteurs de projet ne répondant pas aux critères d'éligibilité, ce qui est un autre sujet. Les abattements associés à un manque d'information ou à des choix sylvicoles discutables doivent être proscrits ;
- le calcul des abattements par des équations alambiquées induit une complexité inutile. En effet, il semble curieux d'appliquer des calculs très précis sur des risques dont on n'a par définition aucune mesure exacte.

Favrel *et al.* (2022) recommandent de faire un choix entre un scénario de référence très rigoureux sans rabais, et une option moins restrictive (comme par exemple une moyenne régionale) à laquelle seraient ensuite appliqués d'importants rabais. La position du WWF est que ces deux approches sont possibles. Toutefois, la seule façon de rendre compte que les impacts annoncés sont bien au rendez-vous passe par un suivi validant pour une période de temps l'impact atteint (suivi du calendrier des impacts estimés voire remesure *ex post*).

Les recommandations du WWF relatives au choix des abattements sont présentées dans le tableau 13 et synthétisées ci-après :

- les risques sont inhérents à tous projets forestiers et doivent être appliqués afin de ne pas surestimer des estimations *ex ante*. Les projets de PSE permettent la rémunération de pratiques en faveur de la conservation ou de la restauration des services écosystémiques, mais ne doivent pas être réalisés dans un objectif de spéculation sur le plus grand stockage de carbone virtuel possible. Il est donc recommandé d'appliquer des abattements simples mais importants, traduisant la grande incertitude liée aux projets forestiers. Le WWF recommande de réfléchir et documenter les abattements de chaque projet selon une typologie précise. En l'absence ou dans l'impossibilité d'un calcul simple, l'abattement général appliqué (différence entre les impacts carbone net et brut additionnels) doit être au moins égal à 50 % ;
- les abattements doivent être définis en amont, de façon argumentée. Ils doivent être discutés à l'échelle du projet par les différentes parties prenantes constitutives de la gouvernance du projet ;
- les abattements associés aux risques doivent varier en fonction des pratiques, des compartiments et du scénario. Par exemple, le risque incendie semble moins pertinent à considérer dans des itinéraires de restauration de certains habitats forestiers (ripisylves, mares forestières...) que dans d'autres itinéraires ; le risque de dépérissement porte essentiellement sur la biomasse aérienne mais pas sur les autres compartiments ; le risque tempête ne serait pas le même dans un scénario de référence prévoyant un boise-

ment monocultural de résineux que dans un scénario de projet envisageant une plantation diversifiée.

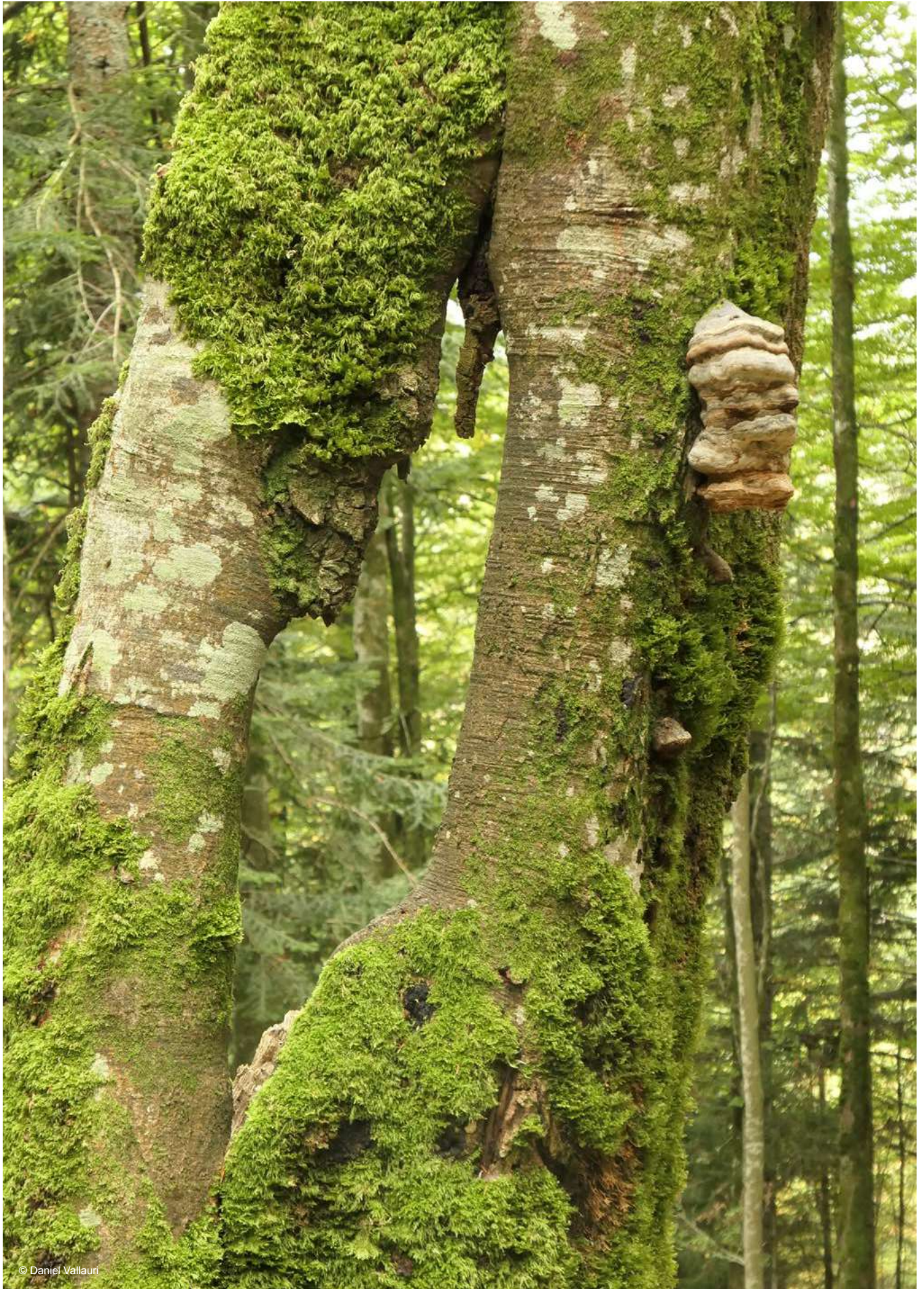
- les marchés du bois évoluent rapidement, notamment au regard d'une demande de plus en plus grande en bois énergie. Le propriétaire n'a pas d'influence directe sur l'usage effectif qui sera fait de son bois ensuite. Un risque "marché" devrait donc être inclus dès lors que le carbone des usages du bois est pris en compte, de façon à traduire l'incertitude sur la séquestration durable du carbone selon la répartition entre les usages BO/BI/BE ;

- dans tous les cas, abattements et risques sont à évaluer suivant la probabilité d'occurrence et l'intensité de l'aléa qui met en cause la séquestration du compartiment considéré sur la période de l'estimation carbone. Ils pourraient ainsi être révisés en *ex post* : certains risques peuvent diminuer (par exemple : diminution du risque incendie en l'absence d'événement durant les 15 premières années) tandis que d'autres peuvent augmenter (par exemple : augmentation du risque tempête au fil de la maturation d'une plantation).

⬇ **Tableau 13.** Recommandations du WWF concernant les risques à considérer et les abattements à appliquer pour garantir les estimations de l'impact carbone .

Note : la décision d'inclusion dépend de la méthode le plus souvent. L'abattement final minimum devrait être de 25 %. L'abattement final maximum théorique est égal à 100 %, signifiant que le projet présente des risques trop élevés pour une estimation du carbone fiable et positive ; dans ce cas il vaut mieux abandonner la revendication carbone de ce projet.

TYPE DE RISQUE		RECOMMANDATIONS		
		Inclusion	Abattement conseillé sur 30 ans	Commentaires
Risques généraux	Incertitudes sur les données	OUI	10 à 25 %	Prend en compte les multiples incertitudes liées à l'utilisation de facteurs, modèles de croissance, données forestières etc. Variable selon la qualité des données de départ.
	Absence de démonstration de l'additionnalité	NON	–	Tout projet doit démontrer de façon non critiquable son additionnalité, par la définition d'un scénario de référence discuté et décidé collégalement
	Instabilité politique et corruption	NON	–	Peu pertinent dans le contexte de la France.
	Stabilité de l'engagement du propriétaire	OUI	1 à 25 %	Peut être réduit par les garanties de durabilité du projet (PSG, ORE...)
Risques de non-permanence en forêt	Incendie	OUI	1 à 30 %	En fonction de la région (niveau de risques estimé) et des pratiques.
	Abrouissement	OUI	0 à 25 %	Pour réduire les risques et donc l'abattement, il est recommandé d'utiliser les protections nécessaires, si le risque d'abrouissement est élevé, dans les pratiques "plantation".
	Dépérissement	OUI	5 à 40 %	Dépend de la vulnérabilité climatique de l'essence et des risques sanitaires. Peut être cadré par les critères d'éligibilité définis dans les pratiques.
	Tempête	OUI	0 à 15 %	Indispensable pour certaines pratiques (ex. sylvicultures productives), plus faible pour d'autres (plantation, libre évolution).
	Autres menaces	OUI	selon la menace	
Risques de non-permanence dans la filière bois	Fuites	NON	0 %	Dépend de la méthode, de la taille des projets et du contexte régional. Négligeable dans un contexte français, à moins de protéger strictement plusieurs centaines de milliers d'hectares.
	Usage du bois	OUI	0 à 20 %	Traduit le risque qu'un type de produits bois soit utilisé pour un autre usage que celui initialement prévu (par exemple : zones de pression sur le BE) et l'incertitude des autres paramètres (par exemple : durées de demi-vie).



© Daniel Vallauri

PARTIE 6.

SUIVI, ÉVALUATION, VÉRIFICATION ET AJUSTEMENTS

Quel est le mode de suivi, évaluation et vérification mis en place ? Quels ajustements de l'estimation sur le carbone vendu sont réalisés sur la base du suivi ?

Les estimations de chaque compartiment séquestrant du carbone sont généralement faites *ex ante*, c'est-à-dire qu'elles sont basées sur des estimations, projections et suppositions sur la manière dont le peuplement va évoluer dans le temps. On ne peut cependant se satisfaire uniquement de ces estimations pour vendre des projets. Des vérifications *ex post* doivent être réalisées afin éventuellement ajuster, à la hausse ou à la baisse, les contributions carbone au plus proche de la réalité.

Synthèse de l'analyse

Tous les systèmes ou méthodes analysés envisagent de faire appel à des auditeurs, tierces parties indépendantes et accréditées, pour la réalisation du suivi-évaluation, avec des degrés de mise en œuvre toutefois très différents. A titre d'exemple, le système ART TREES dispose d'une liste de "Validation and Verification Bodies", qui comprend en mai 2023 seulement une organisation, tandis que deux le sont de manière provisoire.

Plusieurs étapes dans l'évaluation sont généralement identifiées : les évaluations réalisées peuvent être ponctuelles, lors d'un audit initial (certains systèmes parlent alors de validation, qui permet d'obtenir un financement avant que le bénéfice carbone ne soit effectif, par exemple dans le cas de la restauration de stocks de carbone), puis d'une vérification qui atteste de l'effectivité des actions menées.

Trois systèmes ou méthodes suivent cette approche en deux temps : FSC, ART TREES et la méthode LtPF de Verra. La plupart des autres systèmes ou méthodes ne précisent pas ces deux termes, mais tous prévoient un audit initial (qui correspond à la "validation") puis d'éventuelles vérifications.

Le tableau 14 résume les modalités de suivi, évaluation et vérification du carbone estimé selon les systèmes et méthodes.

1. La fréquence des contrôles

Les suivis se répètent à des fréquences variables :

- Cinq systèmes ou méthodes ne donnent **pas de précisions sur la fréquence** des vérifications qui doivent être réalisées. Les méthodes du Label Bas Carbone n'évoquent pas de répétition des vérifications au-delà des 5 premières années. Le cahier des charges de Reforest'Action prévoit "la réalisation de [...] potentiellement 2 visites dans les 5 premières années" et cela par l'organisation elle-même, bien que le suivi de l'impact des projets soit normalement prévu sur 30 ans. Les méthodes ERA et LtPF de Verra ne précisent pas d'exigence de fréquence mais le plan de Suivi & Évaluation doit être établi par le porteur de projet ;
- La majorité des autres systèmes ou méthodes prévoit des vérifications **au moins tous les 5 ans** (Gold Standard, FSC, méthode REDD de Verra, EcoTree). La Belle Forêt prévoit des audits de suivi tous les 4 à 6 ans. La méthode RIL-C de Verra se base également sur un suivi 5 ans après chaque récolte ;
- Le système ART TREES prévoit des vérifications **bisannuelles** : après une vérification initiale à la fin de la première année de la période de crédit, des vérifications obligatoires sont nécessaires en fin d'années 3 et 5. Des vérifications optionnelles peuvent également avoir lieu en années 2 et 4 ;
- Trois systèmes sollicitent même des vérifications **annuelles**. Il est ainsi obligatoire, dans le système Gold Standard, de produire des rapports annuels qui sont partagés dans un registre en ligne et envoyés aux différentes parties prenantes intéressées par le projet. Les projets développés dans le cadre du système La Belle Forêt doivent réaliser une déclaration annuelle sur la gestion menée dans la propriété, tandis que ceux de Reforest'Action doivent informer l'organisation de l'avancée des travaux et de l'évolution de la plantation tous les ans pendant 5 années à compter de la fin de la plantation ;
- Enfin, FSC prévoit également la possibilité de réaliser **ponctuellement un audit de surveillance** pour évaluer si la correction des non-conformités identifiées lors de précédents audits a été faite ou pour évaluer les modifications importantes apportées au projet. Les projets étant dans des forêts certifiées, celles-ci sont aussi soumises à audit annuel de la gestion de la forêt certifiée.

Tableau 14. Suivi, évaluation et vérification du carbone estimé ou vendu selon les systèmes, méthodes ou outils

SYSTÈMES / MÉTHODES / OUTILS	FRÉQUENCE DU SUIVI-ÉVALUATION	TYPE DE VÉRIFICATION	
		Documentaire	De terrain
Gold Standard - Boisement / Reboisement	Au moins tous les 5 ans (audits) + Annuel (rapports publics)	OUI	OUI
ART TREES	Au moins tous les 2 ans (en années 1, 3 et 5) + Annuel (optionnel)	OUI	OUI
La Belle Forêt	Tous les 4 à 6 ans (audits) + Annuel (déclaration sur la gestion)	OUI (pas de distinction entre vérification documentaire et de terrain)	
FSC - Procédure SE et Carbon Monitoring Tool	Au moins tous les 5 ans + N'importe quand pour évaluer la correction des non-conformités identifiées	OUI	Facultatif
Verra - REDD	Au moins tous les 5 ans	OUI (pas de distinction entre vérification documentaire et de terrain)	
Verra - RIL-C	5 ans après chaque récolte		
EcoTree	Tous les 5 ans	OUI	?
Reforest'Action	Pas de précisions sur la fréquence (ponctuel dans les 5 ans) + Annuel (information sur l'avancée des travaux)	OUI	OUI
Verra - LtPF	Pas de précisions sur la fréquence (selon le plan de monitoring établi)	OUI (pas de distinction entre vérification documentaire et de terrain)	
Verra - ERA			
Label Bas Carbone - Boisement	Pas de précisions sur la fréquence (ponctuel dans les 5 ans)	OUI	OUI
Label Bas Carbone - Reboisement		OUI	OUI
Label Bas Carbone - Balivage		OUI	NON
Alcina - A • CO2	Pas une méthode à proprement parler donc N/A Idem FSC sur les projets reconnus par la procédure Services Écosystémiques		

2. Le type de vérification (documentaire et/ou de terrain)

On peut distinguer lors des audits deux types de vérification :

- **La vérification documentaire** consiste en une analyse des éléments de preuves qui montrent que le projet a été réalisé selon les règles fixées par les systèmes ou méthodes. Les documents vérifiés peuvent être des factures, des attestations de réalisation, des photographies, des avis de l'autorité environnementale (dans le cas particulier de la méthode Boisement du Label Bas Carbone, pour tout boisement supérieur à 0,5 ha), les rapports des audits précédents etc. Il peut également s'agir de la vérification du respect de la méthodologie de quantification carbone et de la bonne application des calculs selon l'itinéraire sylvicole.
- Une **vérification de terrain** peut être réalisée de façon autonome ou en complément de la vérification documentaire. Il s'agit d'observations de terrains (par exemple : vérification

de la réussite d'une plantation à l'aide de densités minimales de plants vivants par hectare pour les méthodes Boisement et Reboisement du Label Bas Carbone ; mesure des données dendrométriques de tout ou partie du réseau de placette permanentes pour les audits de suivi de La Belle Forêt) ou d'entretiens avec les différentes parties prenantes (par exemple, pour Gold Standard).

Certains systèmes ou méthodes ne font **pas de distinction claire entre vérification documentaire et de terrain** : dans la mesure où les éléments sollicités sont vérifiés, l'auditeur est libre d'organiser sa vérification. Pour la procédure SE de FSC, l'approche est la même que pour le système FSC dans sa globalité, avec des audits permettant d'évaluer d'éventuelles non conformités et d'exiger leur correction dans un délai imparti. Il peut s'agir d'un audit uniquement documentaire, si une visite de terrain ne permet pas d'obtenir de nouvelles informations ou si l'auditeur connaît déjà bien la

forêt qui doit être auditée par exemple (FSC, 2020a). Pour chaque bénéficiaire (conservation ou restauration des stocks de carbone forestier), le porteur de projet doit sélectionner un ou plusieurs indicateurs de résultats (sur la base des exemples donnés par FSC, ou autres en justifiant). Pour Verra, il s'agit du suivi des données et paramètres listés dans les méthodes, sur la base d'un échantillonnage soit déterminé en fonction d'une méthodologie du MDP (méthode ERA - MDP, 2010), soit dépendant du scénario de référence (méthode REDD et LtPF), soit arrêté dans un module de performance spécifique à une région (méthode RIL-C).

Notons enfin qu'à ce jour aucun système ne s'appuie en routine sur un suivi du carbone forestier fondées sur des solutions technologiques (type Lidar aéroporté ou satellitaire). Ces données étant amenées à se développer et démocratiser, le suivi des projets pourrait en bénéficier.

3. Les éventuels ajustements prévus en fonction des résultats

Le seul système à ne pas réaliser d'estimation *ex ante* est ART TREES. En effet, ce système ne délivre aucun crédit si l'action n'est pas encore réalisée, ou si celle-ci n'a pas encore été vérifiée par un organisme habilité¹⁷.

Pour les autres systèmes, une estimation *ex ante* est faite et sert à la contractualisation du projet. Mais comment sont prévus les ajustements des estimations du carbone additionnel séquestré ? On parle alors d'alignement *ex post* des estimations carbone.

Si la plupart des systèmes prévoit une vérification, peu évoquent comment le porteur de projet doit rectifier les éventuels écarts sur l'impact carbone vendu.

Pour Gold Standard, en cas d'incident ou évènement affectant le projet, le porteur de projet doit justifier comment il va pouvoir rétablir le niveau de stock de carbone ; si ce n'est pas le cas, il existe plusieurs possibilités : retrait de certificats, achat de certificats d'un autre projet, replantation ou plantation d'une nouvelle aire.

Quelques autres systèmes multi-projets constituent un stock carbone tampon non contractualisé pour pallier cela (exemple de La Belle Forêt).



Points de vigilance et recommandations

Les vérifications *ex post* sont essentielles pour ajuster les estimations carbone à la réalité de la vie des projets forestiers. Il est cependant important de noter que si le carbone estimé pour un projet forestier a déjà été vendu à un financeur, il est peu probable que ledit financeur revienne sur ses précédentes déclarations ou que le porteur de projet rembourse le financeur (cela n'est envisageable que pour des porteurs de multiples projets). D'où l'importance d'abattements suffisants, basés sur une prise en compte rigoureuse des risques, dès l'estimation *ex ante*, afin d'éviter que des ajustements à la baisse des impacts du projet ne soient nécessaires. Des ajustements à la hausse pourront toujours être valorisés.

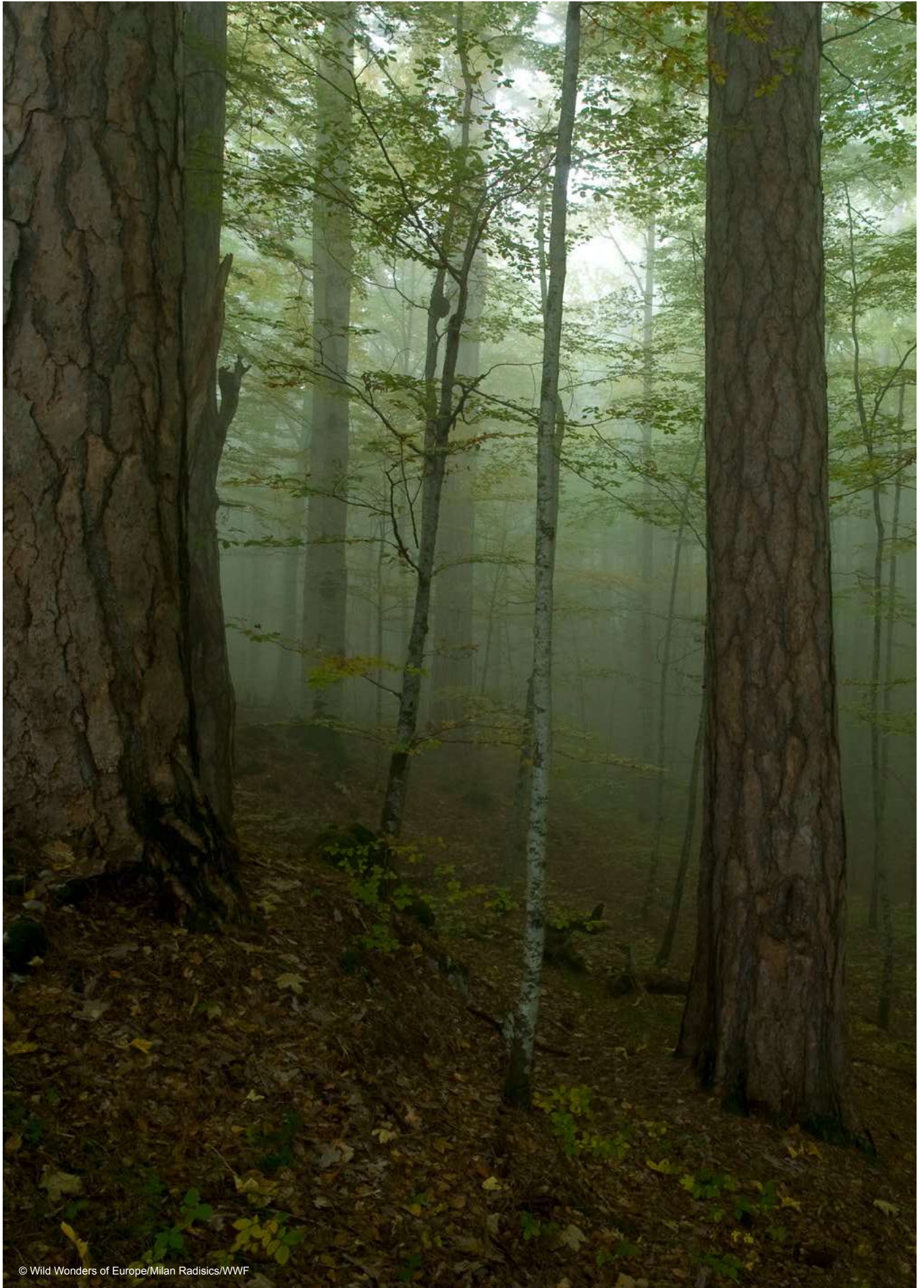
La réalisation des audits gagne à être effectuée par une tierce partie indépendante et accréditée, garante du bon respect des éléments méthodologiques définis par le système ou la méthode. Cela n'est pas souhaitable, pour des raisons de coûts et d'économie d'échelle (notion de l'efficacité de l'euro investi), pour les plus petits projets (<100 k€).

Le pas de temps de 5 ans, couramment adopté par les systèmes ou méthodes analysés, semble le bon pour suivre la mise en place d'un projet. Néanmoins, les paramètres carbone à proprement parler (croissance, mortalité, abattements...) peuvent être suivis à une temporalité plus large : à mi-parcours (au bout de 15 ans) puis à la fin du projet (en *ex post* au bout de 30 ans). Cela n'empêche pas un ajustement ponctuel en cas d'évènement (tempête, incendie...) ou si une non-conformité a été détectée et nécessite un audit ponctuel. Il faut par ailleurs noter que la science évolue rapidement sur le sujet du carbone, les paramètres de l'estimation carbone ne doivent donc pas être figés dans le temps et doivent être réévalués périodiquement en fonction de l'évolution des connaissances.

Les audits de suivi doivent être complétés par des déclarations (idéalement annuelles) du porteur de projet justifiant et documentant la vie du projet. La publication de ces éléments est recommandée pour la transparence du système.

Les vérifications documentaires et de terrain, complémentaires, doivent faire partie d'un plan d'échantillonnage logique et connu dès le début du projet. Les ajustements des estimations du carbone additionnel séquestré ou vendu sont essentielles.

¹⁷ La méthode Label Bas Carbone sur la libre évolution des vieilles forêts prévoit également de ne réaliser que des estimations *ex post*. Cette méthode est en cours d'élaboration en date d'écriture du présent rapport.



© Wild Wonders of Europe/Milan Radisics/WWF

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'estimation de l'impact carbone des projets forestiers est une entreprise nouvelle et complexe. Elle est indispensable pour justifier des projets aujourd'hui finançables par des acteurs publics comme privés, mais peut être utile également pour renseigner d'une façon plus générale l'impact carbone des choix de gestion.

Cette nouvelle source de financements doit profiter à des projets de qualité soutenant une gestion bénéficiant à tous les services écosystémiques d'intérêt général, qu'il s'agisse de climat (et donc de carbone) ou de la biodiversité.

En développant une boîte à outils sur le carbone forestier, le WWF souhaite que la communauté forestière désireuse d'agir au profit du climat puisse le faire de façon efficace et crédible.

La boîte à outil vise à partager les informations disponibles, fournir les clés d'une bonne compréhension de la problématique complexe qu'est le carbone forestier et réfléchir au montage de projets favorables à ce service écosystémique d'intérêt général.

En se basant sur les recommandations distillées au fil de ce rapport (et synthétisées en annexe 1), la boîte à outils comprend un calculateur qui est en cours de développement. Il permet l'estimation de l'impact carbone d'un nombre important de pratiques sylvicoles productives et d'actions de conservation des forêts. Comme ce rapport, tous les outils de la boîte à outils carbone forestier de WWF seront publics et soumis, préalablement à leur publication, à une consultation d'un nombre important d'experts des divers sujets.



© Wild Wonders of Europe/Cornelia Doerr/WWF

RÉFÉRENCES

Alcina 2022. A•CO₂ : outils d'évaluation des stocks et flux de carbone en forêt par comparaison d'itinéraires. 5 pages. *Non disponible en ligne, à solliciter auprès d'Alcina.*

Arrouays D., Balesdent J., Germon J.-C., Jayet P.-A., Soussana J.-F., Stengel P. 2002. Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? INRA, 334 pages
<https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/68275e3e215a23960ecd5e1b21e5e861.pdf>

ART 2021a. The REDD+ Environmental Excellence Standard (TREES). 92 pages.
<https://www.artredd.org/wp-content/uploads/2021/12/TREES-2.0-August-2021-Clean.pdf>

ART 2021b. TREES Validation and Verification Standard - Architecture for REDD+ Transactions (ART) Program. 20 pages.
<https://www.artredd.org/wp-content/uploads/2022/01/TREES-Val-and-Ver-Standard-v2-Dec-2021.pdf>

Cairns, M., Brown, S., Helmer, E., Baumgardner G. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1–11.
https://www.researchgate.net/publication/225488798_Root_biomass_allocation_in_the_world's_upland_forests

Carbon Market Watch 2023. How to make carbon removals work for climate action in the EU - Six priorities to improve the European Commission's proposal for a Regulation establishing a Union framework for carbon removals. 14 pages.
<https://carbonmarketwatch.org/publications/how-to-make-carbon-removals-work-for-climate-action-in-the-eu/>

CDM 2011a. A/R Methodological Tool "Estimation of non-CO₂ GHG emissions resulting from burning of biomass attributable to an A/R CDM project activity" (Version 04.0.0). 10 pages.
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-08-v4.0.0.pdf>

CDM 2011b. A/R Methodological Tool "Tool for estimation of change in soil organic carbon stocks due to the implementation of A/R CDM project activities" (Version 01.1.0). 11 pages.
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-16-v1.1.0.pdf>

CDM 2015. Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks in dead wood and litter in A/R CDM project activities - Version 03.1. 24 pages.
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-12-v3.1.pdf>

Deleuze C., Morneau F., Constant T., Saint André L., Bouvet A., Colin A., Vallet P., Gauthier E., Jaeger M. 2013. Le projet EMERGE pour des tarifs cohérents de volumes et biomasses des essences forestières françaises métropolitaines. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2013, 39-40:32-36.
<https://hal.science/hal-00934771>

EcoTree 2024. Méthodologie de quantification CO₂ EcoTree. 20 pages.
https://cdn.ecotree.green/documents/FR_methodologie_EcoTree_v4.3_30012024.pdf

Favrel A., Foucherot C., Grimault J., Bellassen V. 2022. Recommendations for the European Carbon Certification Framework. I4CE, 20 pages.
<https://www.i4ce.org/en/publication/recommendations-european-carbon-certification-framework/>

FCBA 2020. Memento FCBA 2020. 48 pages.
https://www.fcba.fr/wp-content/uploads/2020/10/memento_2020.pdf

FSC 2020a. Interpretations of the normative framework - Ecosystem Services - 01 October 2020 - INT-PRO-30-006_01. Bonn, 6 pages.
<https://open.fsc.org/server/api/core/bitstreams/885bc092-f89a-41ec-93bf-0fe9e26e7289/content>

FSC 2020b. User's Manual for FSC Forest Carbon Monitoring Tool - FSC-MAN-30-006 V1-0 EN. Bonn, 34 pages.
<https://fsc.org/sites/default/files/2020-08/FSC-MAN-30-006%20V1-0%20EN%20User%27s%20Manual%20for%20FSC%20Forest%20Carbon%20Monitoring%20Tool.pdf>

FSC 2021a. Guide pour démontrer les bénéfices de la gestion forestière FSC pour les services écosystémiques - FSC-GUI-30-006 V1-1 FR. Bonn, 62 pages.
<https://connect.fsc.org/document-centre/documents/resource/336>

FSC 2021b. Procédure pour les Services Écosystémiques : Démonstration des bénéfices et outils de marché. FSC-PRO-30-006 V1-2 - FR. Bonn, 75 pages
<https://fr.fsc.org/sites/default/files/2021-03/Proc%3A%20G%20Services%20%20%3A%20cosyst%3A%20miques.pdf>

GIEC 2006a. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/index.html>

GIEC 2006b. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 4 : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres. Chapitre 4 : Terres forestières. 93 pages.
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf

GIEC 2006c. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 4 : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres. Chapitre 12 : Produits ligneux récoltés. 37 pages.
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/pdf/4_Volume4/V4_12_Ch12_HWP.pdf

Gold Standard 2013. The Gold Standard Afforestation/Reforestation (A/R) Requirements. 48 pages.
https://globalgoals.goldstandard.org/standards/PRE-GS4GG-AF/ar-requirements_vo-9.pdf

Gold Standard 2015. Methodology Approval Process Guideline for 'Land Use & Forests'. 7 pages.
<https://globalgoals.goldstandard.org/standards/PRE-GS4GG-AF/guideline-methodology-approval-process.pdf>

Harmon M., Sexton J. 1996. Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. Seattle, University of Washington, 74 pages.
<https://andrewsforest.oregonstate.edu/sites/default/files/liter/pubs/webdocs/reports/detritus/publications/Guidelines%20for%20Measurements%20of%20Woody%20Detritus%20in%20Forest%20Ecosystems.pdf>

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 - RAPPORT FINAL. Cemagref, IFN, 62 pages.
https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/rapport_biomasse-2009vf.pdf

La Belle Forêt 2022a. Grille de co-bénéfices. 9 pages. *Confidentiel.*

La Belle Forêt 2022b. Référentiel technique - Annexe France. 40 pages. *Confidentiel.*

La Belle Forêt 2022c. Référentiel technique - Quantification carbone et notation des co-bénéfices. 45 pages. *Confidentiel.*

- La Belle Forêt 2023. Notice technique - Méthodologie « Gestion Forestière Optimisée ». 26 pages. *Confidentiel*.
- Label Bas Carbone 2020a. Méthode boisement - Version 2 du 27/07/2020. 42 pages.
https://www.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/methode_boisement_v2.pdf
- Label Bas Carbone 2020b. Méthode conversion de taillis en futaie sur souches - Version 2 du 27/07/2020. 37 pages.
https://www.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/methode_balivage_v2.pdf
- Label Bas Carbone 2020c. Méthode reconstitution de peuplements forestiers dégradés - Version 2 du 27/07/2020. 48 pages.
https://www.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/methode_reconstitution_de_forets_degradees_v2.pdf
- Label Bas Carbone 2023. Présentation des méthodes du Label bas-carbone.
<https://label-bas-carbone.ecologie.gouv.fr/presentation-des-methodes-du-label-bas-carbone>
- Landmann G., Delay M., Marquet G. (Coord.), Bergès L., Collet C., Deuffic P., Gosselin M., Marage D., Ogée J., Ose K., Perrier C. (Pilotes), Agro C., Akroume E., Aubert M., Augusto L., Baubet O., Becquey J., Belouard T., Boulanger V., Bourdin A., Boutte B., Bouwen K., Brault S., Brunet Y., Bureau F., Castro A., Chaumet M., Conche J., Darboux F., Depeige L., Desgroux A., Dokhlar T., Domec J.-C., Dumas Y., Duprez M., Frappart F., Garcia S., Gardiner B., Girard S., Gosselin F., Husson C., Jacomet E., Jactel H., Joyeau C., Lacombe E., Laurent L., Legout A., Lelasseur L., Lousteau D., Meredieu C., Moreaux L., Orazio C., Peyron J.-L., Pilard-Landeau B., Pitaud J., Planells M., Plat N., Ponette Q., Pousse N., Prévosto B., Puisieux J., Puyal M., Ranger J., Richou E., Rigolot E., Riou-Nivert P., Saïd S., Saintonge F.-X., Serra Diaz J. -M., Stemmel A., Touthkov M., van Halder I., Vincenot L., Wurpillot S. (Experts). 2023. Expertise collective CRREF « Coupes Rases et RENouvellement des peuplements Forestiers en contexte de changement climatique », Synthèse de l'expertise, Paris : GIP ECOFOR, RMT AFORCE. 128 pages.
<http://www.gip-ecofor.org/wp-content/uploads/2023/10/rapport-synthese-corrige.pdf>
- MDP 2007. Annex 16 - A/R Methodological tool "Estimation of direct nitrous oxide emission from nitrogen fertilization" (Version 01). 6 pages.
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-07-v1.pdf>
- MDP 2010. Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities, V 2.1.0. 7 pages.
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-03-v2.1.0.pdf>
- MDP 2011. Estimation of non-CO2 GHG emissions resulting from burning of biomass attributable to an A/R CDM project activity, V 4.0.0. 10 pages.
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-08-v4.0.0.pdf>
- Ollivier L., Vallauri D. 2021a. La procédure Services Écosystémiques de FSC. Analyse factuelle et voies d'amélioration. Paris, WWF France, 44 pages.
https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2023-01/20211206_Rapport_la_procedure_ecosystemique_de_FSC_WWF_o.pdf
- Ollivier L., Vallauri D. 2021b. Les projets forestiers du label bas carbone. Analyse factuelle et voies d'amélioration. Paris, WWF France, 32 pages.
https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2021-10/20211028_Rapport_Analyse-projets-forestiers-label-bas-carbone_WWF.pdf
- Pingoud K., Wagner F. 2006. Methane Emissions from Landfills and Carbon Dynamics of Harvested Wood Products: The First-Order Decay Revisited. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Volume 11, pages 961-978.
https://www.researchgate.net/publication/227201541_Methane_Emissions_from_Landfills_and_Carbon_Dynamics_of_Harvested_Wood_Products_The_First-Order_Decay_Revisited
- Reforest'Action 2023a. Cahier des charges des projets de plantation, Saison 2023-2024 V26.07.2023. 9 pages.
https://backoffice.reforestation.com/uploads/Cahier_des_charges_Plantation_2022_23_9ff7b7da71.pdf?updated_at=2023-07-11T09:25:42.596Z
- Reforest'Action 2023b. Carbon storage simulator - Principles and methods. 8 pages. *Non disponible en ligne, à solliciter auprès de Reforest'Action.*
- République française 2022. Décision du 15 septembre 2022 portant création du groupe scientifique et technique du label Bas-Carbone NOR : ENER2226837S. 3 pages.
<https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/documents/Bulletinofficiel-0032640/ENER2226837S.pdf>
- Union Européenne 2018. Règlement (UE) 2018/841 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 relatif à la prise en compte des émissions et des absorptions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie dans le cadre d'action en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030, et modifiant le règlement (UE) no 525/2013 et la décision (UE) no 529/2013. 38 pages.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/>
- Valade A. 2022. Du bon usage du concept de substitution carbone par la filière forêt bois. Angers : Canopée Forêts Vivantes-CIRAD, 24 pages.
<https://www.canopee.org/wp-content/uploads/2023/07/canopee-substitution-carbone-filiere-bois.pdf>
- Vallauri D., Ollivier L., Laurans Y. 2021. Payer les forestiers pour services rendus ? Principes pour des projets contribuant au stockage du carbone et à la conservation de la biodiversité. Paris, WWF France, 44 pages.
https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2021-09/20210901_Rapport_Payer-les-forestiers-pour-services-rendus_WWF.pdf
- Van Wagner C.E. 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. Forest Science 14 : pages 20-26.
<https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/14/1/20/4709615?redirectedFrom=fulltext>
- Van Wagner C.E. 1982. Practical aspects of the line intersect method. Canadian Forestry Service, Maritimes Forest Research Centre, Fredericton, New Brunswick. Information Report PI-X-12E, 11 pages.
<https://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/6862.pdf>
- VCS 2011. AFOLU Guidance: Example for Calculating the Long-Term Average Carbon Stock for ARR Projects with Harvesting. 9 pages.
<https://verra.org/wp-content/uploads/imported/methodologies/VM0009-Methodology-for-Avoided-Ecosystem-Conversion-v3.0.pdf>
- VCS 2014. VM0009 Methodology for Avoided Ecosystem Conversion, v3.0. 305 pages.
<https://verra.org/wp-content/uploads/imported/methodologies/VM0009-Methodology-for-Avoided-Ecosystem-Conversion-v3.0.pdf>

VCS 2016a. VM0010 Methodology for Improved Forest Management: Conversion from Logged to Protected Forest, v1.3. 89 pages.
https://verra.org/wp-content/uploads/imported/methodologies/VM0010-Methodology-for-IMF-LtPF-v1.3_o.pdf

VCS 2016b. VM0035 Methodology for Improved Forest Management through Reduced Impact Logging v1.0. 28 pages.
<https://verra.org/wp-content/uploads/imported/methodologies/VM0035-RIL-C-Methodology-v1.0.pdf>

VCS 2019. Methodology Approval Process. 37 pages.
https://verra.org/wp-content/uploads/2019/09/Methodology_Approval_Process_v4.0.pdf

VCS 2023a. AFOLU Non-Permanence Risk Tool, v 4.2. 32 pages.
<https://verra.org/wp-content/uploads/2023/10/AFOLU-Non-Permanence-Risk-Tool-v4.2-FINAL.pdf>

VCS 2023b. VCS Standard, v4.5. 90 pages.
<https://verra.org/wp-content/uploads/2023/08/VCS-Standard-v4.5-updated-11-Dec-2023.pdf>

VCS 2023c. VM0003 Methodology for Improved Forest Management through Extension of Rotation Age, v1.3. 60 pages.
<https://verra.org/wp-content/uploads/2023/05/VM0003-IFM-Through-Extension-Of-Rotation-Age-v1.3.pdf>

Warren W.G., Olsen P.F. 1964. A line intersect technique for assessing logging waste. *Forest Science* 10:267-276.
<https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/10/3/267/4746187>

Winjum J. K., Brown S., Schlamadinger B. 1998. Forest Harvests and Wood Products: Sources and Sinks of Atmospheric Carbon Dioxide. *Forest Science*, 44: 272–284.
https://www.researchgate.net/publication/233619799_Forest_Harvests_and_Wood_Products_Sources_and_Sinks_of_Atmospheric_Carbon

ANNEXE 1. Synthèse, points de vigilance et recommandations du WWF sur les paramètres carbone des projets forestiers à partir de l'analyse de 9 organisations ou systèmes, 9 méthodes et 5 outils

ÉLÉMENT DU RAPPORT		SYNTHÈSE DE L'ANALYSE	POINTS DE VIGILANCE	RECOMMANDATIONS
CADRAGES GÉNÉRAUX	Gouvernance	<ul style="list-style-type: none"> - 22 % élaborés sans consultation (<i>A•CO2, FSC Carbon Monitoring Tool</i>) - 33 % à la gouvernance solide avec élaboration externe et validation par des experts, avec consultation publique et audit par un organisme certificateur (<i>Verra, Gold Standard ; Label Bas Carbone depuis peu</i>) - 45 % intermédiaires : validation par des experts mais consultation publique et audits variables (<i>La Belle Forêt, ART TREES, EcoTree, Reforest'Action</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexité des paramètres des estimations carbone nécessitant une expertise sérieuse - Gouvernance légitimante et partagée essentielle pour un bon système de PSE carbone - Tierce partie indépendante pas forcément garante de la qualité des principes d'estimation du carbone 	<ul style="list-style-type: none"> - Co-construire les méthodes entre les experts du système et un panel de spécialistes - Réaliser une consultation dont les résultats doivent être rendus publics
	Transparence et clarté	<p>Accès à l'information :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 67 % facilement accessibles (<i>FSC, Verra, Gold Standard, EcoTree, Label Bas Carbone, ART TREES</i>) - 11 % accessible sur demande (<i>Reforest'Action</i>) - 22 % confidentiels (<i>A•CO2, La Belle Forêt</i>) <p>Niveaux de précisions et facilité de compréhension très variables</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transparence essentielle pour un système de PSE fiable et légitime - Importance d'une information claire, concise et précise 	<ul style="list-style-type: none"> - Proposer des outils fiables et abordables pour faciliter la mise en œuvre par les porteurs de projets - Rendre accessibles les éléments permettant de comprendre les choix méthodologiques - Uniformiser les différentes méthodes d'un même système
	Diversité technique mobilisée	<ul style="list-style-type: none"> - 22 % applicables à tout itinéraire technique (<i>FSC, A•CO2</i>) - 22 % faisant la distinction entre différentes méthodes (<i>Verra, Label Bas Carbone</i>) - 56 % spécifiques à un itinéraire technique : plantation (<i>Gold Standard, Reforest'Action, EcoTree</i>), sylviculture productive (<i>La Belle Forêt</i>), réduction de la déforestation et de la dégradation des forêts (<i>ART TREES</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Diversité des actions possibles permettant de générer de l'impact carbone - Variabilité des manières d'estimer le carbone en fonction de l'itinéraire technique 	<ul style="list-style-type: none"> - Conserver de la souplesse dans les outils carbone, afin de décliner les modes d'estimation en fonction des méthodes - Expliciter et justifier les choix en fonction des pratiques dont on veut estimer l'impact carbone
OPÉRATIONNALISATION DES ESTIMATIONS CARBONE - COMPARTIMENTS SÉQUESTRANT DU CARBONE	Compartiments séquestrant du carbone dans l'écosystème forestier	<ul style="list-style-type: none"> - Biomasse aérienne des arbres : inclus dans 100% des systèmes, méthodes et outils - Biomasse du sous-étage : inclus pour 7 % (<i>A•CO2</i>) ; facultatif pour 21 % (<i>Reforest'Action, FSC, ART TREES</i>) - Biomasse racinaire : inclus pour 79 % (<i>A•CO2, Reforest'Action, Label Bas Carbone - toutes méthodes, EcoTree, FSC, Gold Standard, Verra - RIL-C et ERA, La Belle Forêt</i>) ; facultatif pour 21 % (<i>Verra - REDD et LtPF, ART TREES</i>) - Bois mort : inclus pour 20 % (<i>A•CO2, Verra - RIL-C, EcoTree</i>) ; facultatif pour 47 % (<i>Reforest'Action, Label Bas Carbone - Balivage et Reboisement, FSC, ART TREES, Verra - ERA et REDD</i>) ; inclus ou non, selon le type de bois mort, pour 13 % (<i>Gold Standard, Verra - LtPF</i>) - Litière : inclus pour 36 % (<i>A•CO2, Label Bas Carbone - toutes méthodes, EcoTree</i>) ; facultatif pour 21 % (<i>Reforest'Action, FSC, ART TREES</i>) - Sol : inclus pour 43 % (<i>A•CO2, Reforest'Action, Label Bas Carbone - toutes méthodes, EcoTree</i>) ; facultatif pour 7% (<i>Verra - REDD</i>) ; inclus ou facultatif, selon le type de sol, pour 7 % (<i>ART TREES</i>) 	<p>Fausse impression de précision donnée par une recherche d'exhaustivité, quitte à utiliser des formules floues et coefficients non spécifiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Toujours estimer la biomasse aérienne - Estimer le bois mort si la donnée est disponible et si le choix du gestionnaire implique une diminution ou le maintien de volumes substantiels - Ne pas estimer les biomasses du sous-étage, racinaire, de la litière et de la manière organique du sol (sauf exception)

ÉLÉMENT DU RAPPORT		SYNTHÈSE DE L'ANALYSE	POINTS DE VIGILANCE	RECOMMANDATIONS
(suite) OPÉRATIONNALISATION DES ESTIMATIONS CARBONE - COMPARTIMENTS SÉQUESTRANT DU CARBONE	Carbone considéré issu des usages du bois	<ul style="list-style-type: none"> - Stock dans les produits bois : inclus pour 36 % (<i>A•CO2, Reforest'Action, EcoTree, Verra - LtPF, La Belle Forêt</i>) ; facultatif pour 36 % (<i>Label Bas Carbone - toutes méthodes, FSC, Verra - ERA</i>) ; inclus ou non, s'il y a de l'exploitation, pour 7 % (<i>Verra - REDD</i>) ; non-inclus pour 21 % (<i>Gold Standard, Verra - RIL-C, ART TREES</i>) - Effet substitution : facultatif pour 29 % (<i>Label Bas Carbone - toutes méthodes, A•CO2</i>) - Type de produits bois considérés : BO et BI hors papier pour 79 % (<i>Label Bas Carbone - toutes méthodes, A•CO2, Reforest'Action, EcoTree, Verra - LtPF, REDD et ERA, La Belle Forêt, FSC</i>) ; BI papier pour 64 % (<i>Label Bas Carbone - Boisement et Reboisement, Reforest'Action, EcoTree, Verra - LtPF, REDD et ERA, La Belle Forêt, FSC</i>) ; BE pour l'effet substitution dans 21 % (<i>Label Bas Carbone - Boisement et Reboisement, EcoTree</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Importance de la hiérarchie des usages et de faire la distinction entre les produits quant à leur capacité à stocker durablement du carbone - Fluctuations du marché pouvant influencer les répartitions estimées entre les types de produits bois 	<ul style="list-style-type: none"> - Prendre en compte de façon exigeante le carbone des produits bois de longue durée de vie et exclure ceux de courte durée de vie (bois énergie et bois papier) - Exclure tout effet substitution
	Empreinte carbone des opérations forestières	<ul style="list-style-type: none"> - Combustion de combustibles fossiles : facultatif pour 14 % (<i>FSC, Verra - LtPF</i>) - Brûlage de biomasse : inclus pour 14 % (<i>Verra - REDD et ERA</i>) ; facultatif pour 14 % (<i>Gold Standard, Reforest'Action</i>) - Engrais azotés : inclus pour 7 % (<i>Gold Standard</i>) ; facultatif pour 14% (<i>Verra - REDD, FSC</i>) 	Non significatif sauf cas caricaturaux	<ul style="list-style-type: none"> - Estimer de manière facultative uniquement la combustion de combustibles fossiles dans une approche ERC - Ne pas estimer l'empreinte carbone des opérations forestières pour la vente d'un projet forestier
OPÉRATIONNALISATION DES ESTIMATIONS CARBONE - AUTRES ÉLÉMENTS OPÉRATIONNELS	Plages de temps	<ul style="list-style-type: none"> - Période fixe d'estimation carbone pour 56 % (entre 5 et 100 ans) (<i>ART TREES, La Belle Forêt, Label Bas Carbone - toutes méthodes, Reforest'Action, EcoTree</i>) - Période variable d'estimation carbone pour 22 % (entre 20 et 100 ans ou entre 30 et 50 ans) (<i>Verra, Gold Standard</i>) - Ni durée minimale ni durée maximale pour 22 % (<i>FSC, A•CO2</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Importance du concept d'additionnalité dans les PSE, ce qui se traduit par une rétroactivité de l'estimation carbone qui ne devrait pas exister - Projets forestiers devant s'envisager sur le long terme - Fortes incertitudes quand les estimations sont sur des périodes trop longues 	<ul style="list-style-type: none"> - Fixer une durée du projet au minimum égale à la durée de la période de l'estimation carbone - Estimer l'impact carbone sur minimum 20 ans (objectif de pérennité des impacts) et maximum 30 ans (durée au-delà de laquelle les risques de non-permanence sont trop élevés) - Simuler l'impact sur le plus long terme à titre informatif ; possibilité d'ajouter une notation qualitative de la pérennité de l'impact à la métrique carbone - Exclure les projets ayant démarré avant le début de l'estimation carbone, sauf cas particulier, avec rétroactivité de maximum 2 ans
	Emprise spatiale	<p>Localisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 50% sans restriction spatiale (<i>FSC, EcoTree, Reforest'Action, Gold Standard, Verra - ERA, LtPF et RIL-C</i>) - 14 % ciblant les pays REDD+ (<i>ART TREES, Verra - REDD</i>) - 36 % centrés sur le territoire français (<i>Label Bas Carbone - toutes méthodes, A•CO2, La Belle Forêt</i>) <p>Superficie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 29 % ont une superficie minimale (entre 0,5 ha et plusieurs millions d'ha) (<i>Label Bas Carbone - toutes méthodes, ART TREES</i>) - Aucune superficie maximale 	Importance de la variation des paramètres d'estimation de l'impact carbone d'un projet d'une localisation à l'autre	<ul style="list-style-type: none"> - Fixer une échelle du projet suffisamment grande dans un souci d'économie d'échelle - Penser l'échelle du projet en cohérence écologique avec les actions menées



ÉLÉMENT DU RAPPORT

SYNTHÈSE DE L'ANALYSE

POINTS DE VIGILANCE

RECOMMANDATIONS

ÉLÉMENT DU RAPPORT	SYNTHÈSE DE L'ANALYSE	POINTS DE VIGILANCE	RECOMMANDATIONS	
ESTIMATIONS DU CARBONE PAR COMPARTIMENT	Biomasse aérienne	<ul style="list-style-type: none"> - Estimation du volume total aérien grâce au volume de bois et à une formule dépendant du facteur d'expansion des branches, ou via l'équation EMERGE ou d'autres équations allométriques - Estimation de la biomasse aérienne par le produit du volume total aérien et de l'infradensité - Estimation du stock de carbone grâce à la biomasse aérienne et au taux de carbone dans la matière sèche - Modélisation de l'évolution du stock par tables de production ou modèles de croissance 	<ul style="list-style-type: none"> - Importance de la qualité des données d'entrées dans les résultats - Modèles dont la fiabilité est à relativiser - Forte variabilité du facteur d'expansion des branches, dont l'utilisation d'une valeur par défaut peut fausser les résultats 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas obligatoirement réaliser un inventaire total des parcelles afin de ne pas imputer une charge trop lourde au porteur de projet - Possibilité d'utiliser l'équation EMERGE adaptée au contexte en France hexagonale - Utiliser les tables de production les plus locales possibles, si elles sont statistiquement fiables et vérifiables
	Biomasse racinaire	<ul style="list-style-type: none"> - Estimation du stock de carbone grâce à la biomasse racinaire et au taux de carbone dans la matière sèche - Biomasse racinaire dépendant de la biomasse aérienne selon : équation de Cairns <i>et al.</i> (1997) ou formule dépendant d'un taux d'expansion des racines - Modélisation de l'évolution du stock par tables de production ou modèles de croissance 	Estimation peu fiable et valeur ajoutée peu significative dans le cadre d'un projet de PSE (hors gestion caricaturale ou plantation)	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas estimer la biomasse racinaire dans le cadre d'un projet de PSE - Possibilité d'utiliser les équations de Cairns <i>et al.</i> (1997) ou Mokany <i>et al.</i> (2006) à des fins pédagogiques
	Bois mort	<ul style="list-style-type: none"> - Estimation du stock de carbone grâce : au volume de bois mort, à l'infradensité et au taux de carbone dans la matière sèche ; ou formule dépendant des biomasses aérienne et racinaire et d'un facteur de stock de carbone dans le bois mort - Volume de bois mort selon les inventaires et cubages ou utilisation d'équations allométriques - Modélisation de l'évolution du stock par décomposition du bois mort 	<ul style="list-style-type: none"> - Rythmes de dégradation du bois mort très variables selon l'humidité, la température, etc. - Volume de bois mort potentiellement conséquent en fonction des choix des gestionnaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas estimer le bois mort pour la pratique boisement - Ne l'estimer pour la pratique reboisement que si une partie significative du peuplement dégradé antérieur est conservée - L'estimer pour toutes les autres pratiques pour un diamètre > 22,5 cm - Modéliser l'évolution du stock par l'inclusion de la mortalité (maintien du bois mort) et la décomposition basée sur la durée de demi-vie du bois mort
	Litière	Valeurs par défaut puis modélisation jusqu'à un point d'équilibre ou mesures d'épaisseur de litière et relation allométrique ou formule dépendant de la biomasse aérienne	Estimation peu fiable et faible additionnalité dans le cadre d'un projet de PSE (sauf boisement sur sol agricole)	Ne pas estimer le carbone de la litière
	Sol	Valeurs par défaut puis modélisation jusqu'à un point d'équilibre ou analyses de sol en laboratoire	<ul style="list-style-type: none"> - Importance relative du carbone du sol dans le carbone forestier - Estimation peu fiable et faible additionnalité dans le cadre d'un projet de PSE (sauf boisement sur sol agricole) 	Ne pas estimer le carbone dans le sol

ÉLÉMENT DU RAPPORT		SYNTHÈSE DE L'ANALYSE	POINTS DE VIGILANCE	RECOMMANDATIONS
(suite) ESTIMATIONS DU CARBONE PAR COMPARTIMENT	Opérations de gestion, mobilisation et transformation du bois	<ul style="list-style-type: none"> - Engrais azotés : estimations dépendant des masses d'engrais utilisées - Combustion de combustibles fossiles : estimation dépendant du volume de carburant utilisé - Brûlage de biomasse : estimations dépendant du volume de biomasse brûlée 	Estimation peu fiable et faible additionnalité dans le cadre d'un projet de PSE	Ne pas estimer le carbone des opérations de gestion, mobilisation et transformation du bois
	Stock de carbone dans les produits bois	<ul style="list-style-type: none"> - Estimation du stock de carbone grâce : au volume de produits bois, à l'infradensité, au taux de carbone dans la matière sèche, et à la fraction de déchets selon le rendement sciage - Volume de produits bois par type de produits selon : dires d'experts, répartition probable évaluée par le porteur de projet, ou issue de la bibliographie - Modélisation de l'évolution du stock en fonction de leur durée de vie : la moitié utilisant l'équation du GIEC (2006c), l'autre moitié l'équation de Winjum <i>et al.</i> (1998) 	Estimations devant être prises avec prudence, en gardant à l'esprit que tout bois exploité correspond à un déstockage du carbone en forêt	<ul style="list-style-type: none"> - Choisir une répartition entre les types de produits bois établie par le porteur de projet, sous réserve d'un raisonnement crédible, vérifiable et logique avec le contexte d'une forêt donnée - Sélectionner un rendement de transformation conservateur de 50 % - Adopter l'approche du GIEC (2006c), plus conservatrice
	Effet substitution	Estimation de l'effet substitution supposé par le volume additionnel de produits bois multiplié par des coefficients variables	Coefficients de substitution questionnant la fiabilité des résultats	Exclure les réductions d'émissions indirectes estimées par l'effet substitution
DÉTERMINATION DE L'IMPACT CARBONE TOTAL NET ADDITIONNEL	Scénario de référence	<p>Définition du scénario de référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 14 % avec absence d'indication (<i>Gold Standard, Reforest'Action</i>) - 29 % définissent un ou plusieurs scénarios de référence variant peu en fonction du contexte (<i>Label Bas Carbone - toutes méthodes, EcoTree</i>) - 57 % en fonction d'une ou plusieurs approches (de la plus à la moins utilisée : "pratique courante", historique puis légale) (<i>Verra - toutes méthodes, FSC, La Belle Forêt, A*CO2, ART TREES pour les pays non HFLD</i>) <p>Modélisation de l'évolution du carbone dans le scénario de référence : absence de modélisation ou modélisation identique au scénario de projet ou modélisation selon des approches distinctes du scénario de projet</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Importance du scénario de référence pour assurer l'additionnalité - Modélisation essentielle pour assurer la fiabilité des estimations du carbone additionnel dont le stockage est permis par un projet forestier 	<ul style="list-style-type: none"> - Proscrire la définition d'un scénario de référence unique - Discuter et valider le scénario de référence avec les parties prenantes - Définir le scénario de référence au cas par cas, selon une approche légale (obligatoire), historique et de "pratiques courantes" - Possibilité de noter qualitativement le scénario de référence en fonction de l'antécédent du projet - Modéliser l'évolution du stock de carbone dans le scénario de référence selon la même logique que le scénario du projet
	Estimation de l'impact carbone brut additionnel	Différence entre le stock du scénario de référence choisi et celui du projet ou différence des SMLT des deux scénarios	–	<ul style="list-style-type: none"> - Estimer l'impact carbone brut additionnel par la différence entre les impacts carbone brut des scénarios de référence et du projet - Utiliser la différence des SMLT si elle permet de parvenir à un résultat plus conservateur



ÉLÉMENT DU RAPPORT		SYNTHÈSE DE L'ANALYSE	POINTS DE VIGILANCE	RECOMMANDATIONS
(suite) DÉTERMINATION DE L'IMPACT CARBONE TOTAL NET ADDITIONNEL	Risques et abattements	<ul style="list-style-type: none"> - 14 % n'appliquent aucun abattement (<i>FSC, A•CO2</i>) - Nombreux abattements liés aux risques généraux (incertitude, additionnalité, gouvernance, propriétaire), risques de non-permanence alimentant un "compte tampon" ou clairement différenciés entre risques de non-permanence en forêt (incendie, abrutissement, mortalité, tempête) et dans la filière bois (fuites) - Total des abattements compris entre 10 et 100 % 	<ul style="list-style-type: none"> - Choix d'abattements rigoureux essentiel pour traduire l'incertitude liée aux estimations des stocks et flux de carbone - Excès d'abattement aux calculs alambiqués induisant une complexité inutile 	<ul style="list-style-type: none"> - Proscrire les abattements associés à un manque d'information ou à des choix sylvicoles discutables (qui doivent se traduire par une inéligibilité du projet) - Appliquer des abattements stricts, dont le total doit être supérieur ou égal à 50 %, et peut atteindre 100 % - Définir en amont, de façon argumentée et collégiale (consultation des parties prenantes) les abattements et les faire varier en fonction des pratiques, des compartiments et du scénario - Inclure un risque "marché" traduisant l'incertitude sur la séquestration durable selon les usages BO/BI/BE - Évaluer les abattements suivant la probabilité d'occurrence et l'intensité de l'aléa et les réviser <i>ex post</i>
	Suivi et évaluation	<ul style="list-style-type: none"> - Intervention d'auditeurs, tierces parties indépendantes et accréditées - Vérifications documentaires et/ou de terrain - Évaluations ponctuelles lors d'audits initiaux (validations) - Évaluations lors d'audits de suivi (vérification) à fréquence variable : annuelles (<i>Gold Standard, La Belle Forêt, Reforest'Action</i>), bisannuelles (<i>ART TREES</i>), quinquennales (<i>Gold Standard, FSC, Verra - REDD et RIL-C, La Belle Forêt, EcoTree</i>) - Ajustements par un alignement <i>ex post</i> en fonction des résultats des audits 	Vérifications <i>ex post</i> essentielles pour ajuster les estimations carbone à la réalité de terrain des projets forestiers	<ul style="list-style-type: none"> - Faire réaliser les audits par une tierce partie indépendante et accréditée (hors projets de trop petite taille) - Réaliser des audits documentaires et de terrain tous les 5 ans pour suivre le projet, mais ne réviser les paramètres carbone que tous les 15 ans (hors ajustements ponctuels) - Compléter les audits par des rapports publics (idéalement annuels) - Ajuster les estimations du carbone estimé ou vendu en fonction des résultats des audits

Citation :

Darteyron L.-E., Vallauri D. 2024. Estimer l'impact carbone d'un projet forestier. Analyse des approches existantes et recommandations. Marseille, WWF, 74 pages.

À propos des auteurs :

© L.E. Darteyron

Luce-Eline Darteyron,

est ingénieure en agro-développement international (ISTOM), spécialisée sur les forêts, et chargée du programme Gestion durable des forêts du WWF en France.



© D. Vallauri

Daniel Vallauri,

est Dr en écologie forestière et responsable de l'équipe Forêts du WWF en France.

**FAIRE ŒUVRE DE PRUDENCE,
TRANSPARENCE ET CLARTÉ SUR
LES APPROCHES ET PARAMÈTRES
CHOISIS EST CRUCIAL POUR ASSURER
AU FINANCEUR DES ESTIMATIONS
CARBONE CRÉDIBLES.**



Notre raison d'être

Arrêter la dégradation de l'environnement dans le monde et construire un avenir où les êtres humains pourront vivre en harmonie avec la nature.

ensemble, nous sommes la solution. www.wwf.fr

© 1986 Panda symbol WWF – World Wide Fund for Nature
(Formerly World Wildlife Fund)

® “WWF” & “Pour une planète vivante” sont des marques déposées.

WWF France, 35-37 rue Baudin, 93310 Le Pré-Saint-Gervais.