



BOÎTE À OUTILS CARBONE FORESTIER

DÉFINIR DES MARGES DE SÉCURITÉ POUR FIABILISER L'ESTIMATION DE L'IMPACT CARBONE D'UN PROJET FORESTIER

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.

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), prolongé par le contrat 25096 (2025-2027). 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 tiennent à remercier chaleureusement les experts ayant participé à la consultation de ce rapport. Leurs remarques n'ont pas nécessairement été toutes retenues : certaines ont pu susciter des divergences d'opinion, conduisant soit à faire évoluer certaines positions, soit à les conforter. Dans tous les cas, ces contributions ont nourri utilement la réflexion.

Les personnes suivantes sont ainsi remerciées pour leur lecture critique attentive et leurs nombreuses suggestions d'amélioration du texte : Arnaud de Grave (EcoTree au moment de la consultation), Aude Valade (CIRAD), Charles Tissot (DGECD/CEEA/SDAC/BAFCC), Christophe Chauvin (France Nature Environnement), Elodie Vanhal (Sylvamo), Fanny Rouxelin (WWF), Julien Chesnel (Fédération des PNR au moment de la consultation), Kevin Brice (Société forestière de la Caisse des dépôts), Laurent Augusto (INRAE), Laurent Saint-Andre (INRAE), Magali Rossi (FSC France), Nicolas Bijon (Solagro), Nicolas Goux (CEN Occitanie), Sabine Barets (La Belle Forêt au moment de la consultation), Simon Bailly (WWF), Valentin Bellassen (INRAE).

Auteurs : Luce-Eline Darteyron et Daniel Vallauri

Mise en page : Sambou-Dubois

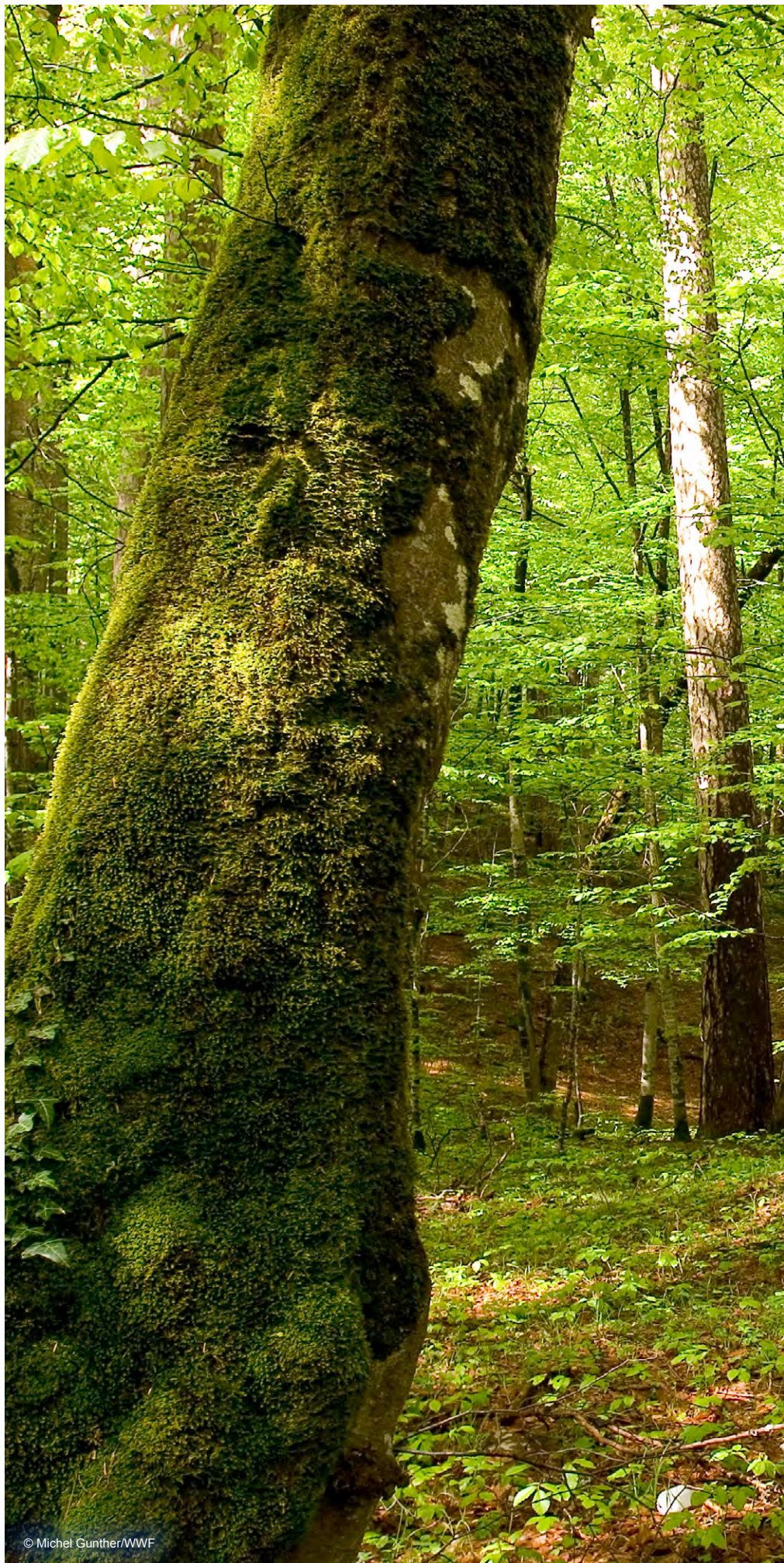
Photo de couverture : © Milan Radisics/Wild Wonders of Europe/WWF

Publié en 2026 par le WWF-France, 35/37 rue Baudin, 93310 Le Pré-Saint-Gervais.

© Texte WWF. Tous droits réservés.

Toute reproduction totale ou partielle doit mentionner le titre et créditer l'éditeur susvisé comme titulaire du droit d'auteur.

Les marques WWF® et World Wide Fund for Nature® et le Symbole du panda 1986® sont la propriété de WWF-World Wide Fund for Nature (anciennement World Wildlife Fund). Tous droits réservés.



© Michel Gunther/WWF



SOMMAIRE

Résumé exécutif	4
Executive summary	6
INTRODUCTION	8
DE QUOI PARLE-T-ON ?	10
Définitions	10
Principaux risques à prendre en compte	10
Comment en déduire les marges de sécurité ?	11
TROIS PRINCIPES POUR UNE MISE EN ŒUVRE EFFICACE	12
Définir et valider collégialement risques et marges	12
Réviser l'impact au fil du projet si nécessaire	12
Différencier objectivement les risques	12
Par scénario	13
Par compartiment carbone	14
Par pratique forestière	14
DÉTERMINER LES MARGES DE SÉCURITÉ EN PRATIQUE	16
Une marge apparente totale qui reste négative par précaution	16
Fiches pratiques	18
Risques généraux	19
• Incertitude sur les données et modèles	19
Risques de non-permanence de l'engagement	20
• Instabilité des choix de gestion du propriétaire	20
Risques de non-permanence en forêt	21
• Incendie	21
• Dépérissement	22
• Tempête	23
• Réduction de la croissance	24
• Abroutissement des plantations	25
Risque de non-permanence dans la filière bois	26
• Non-permanence dans la filière bois	26
Vue synthétique	27
CONCLUSION	28
Références	30

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

INTRODUCTION

Les projets forestiers peuvent jouer un rôle important dans l'atténuation du changement climatique, mais leur impact carbone doit être estimé de façon crédible. Cette estimation repose sur des paramètres techniques, dont les marges de sécurité (parfois dénommées « abattements ») qui sont essentielles pour prendre en compte les incertitudes inhérentes à la séquestration de carbone par un projet forestier. Or, ces marges sont souvent réduites à une règle arbitraire, alors que la crédibilité de la vente et des allégations de l'impact carbone des projets exige qu'elles soient prudentes et clairement expliquées. Ce rapport propose une approche originale et objective des notions de risques associés à un projet forestier ainsi que des marges de sécurité adaptées pour garantir une estimation fiable.

DE QUOI PARLE-T-ON ?

Un risque est l'éventualité qu'un aléa, comme un incendie ou un changement de propriétaire, compromette la réalisation de l'impact carbone initialement estimé d'un projet forestier. Se prémunir du risque dans l'estimation de cet impact suppose d'appliquer des marges de sécurité, réductions prudentes qui traduisent une démarche de précaution face à l'incertitude. Cette réduction peut être mise en attente et réévaluée au fil du projet (compte tampon d'impact carbone) ou être définitive.

Les principaux risques à prendre en compte, dans le cadre de l'estimation de l'impact carbone d'un projet forestier, sont les risques généraux (incertitude sur les données et modèles), de non-permanence de l'engagement (instabilité des choix de gestion du propriétaire), en forêt (incendie, dépérissement, tempête, réduction de la croissance, abrutissement des plantations) et spécifiques à la filière bois.

Les marges de sécurité doivent être définies avec prudence à partir de deux facteurs : la probabilité d'occurrence d'un aléa au cours de la période d'estimation de l'impact carbone d'un projet (jusqu'à 30 ans) et les conséquences de cet aléa sur la séquestration carbone. Le croisement de ces deux paramètres permet d'aboutir à une marge chiffrée, exprimée en pourcentage, traduisant de façon concrète le niveau de risque supporté par le projet.

TROIS PRINCIPES POUR UNE MISE EN ŒUVRE EFFICACE

Le WWF propose trois grands principes pour une application rigoureuse, pragmatique et innovante de la question des marges de sécurité. Tout d'abord, les marges de sécurité doivent être définies de manière justifiée, non par le porteur de projet uniquement, mais si possible collégialement avec l'ensemble des parties prenantes du projet ou experts du sujet carbone afin de garantir la crédibilité des choix. Ensuite, les marges de sécurité doivent être régulièrement révisées au fil du projet, afin d'ajuster prudemment l'estimation de l'impact carbone en fonction de l'évolution réelle des risques. Cela permet, dans le cas positif d'une absence d'occurrence de risque, de remobiliser une part du compte tampon. Enfin, les marges de sécurité doivent être différenciées de façon objective selon les scénarios (de référence et de projet), les compartiments carbone et les pratiques mises en œuvre, afin d'éviter l'attribution arbitraire d'une valeur unique pour tous les projets, ce qui est très peu vraisemblable.

En l'absence d'approche justifiée collectivement, le WWF recommande d'appliquer une marge générique d'au moins - 50 %, tandis qu'une évaluation précise et documentée doit conduire à une estimation de la marge la plus « exacte » possible. Cependant, le WWF conseille une marge minimum irréductible de l'impact carbone d'un projet forestier (- 10 à - 25 %) justifiée par les incertitudes sur les données et formules d'estimation.

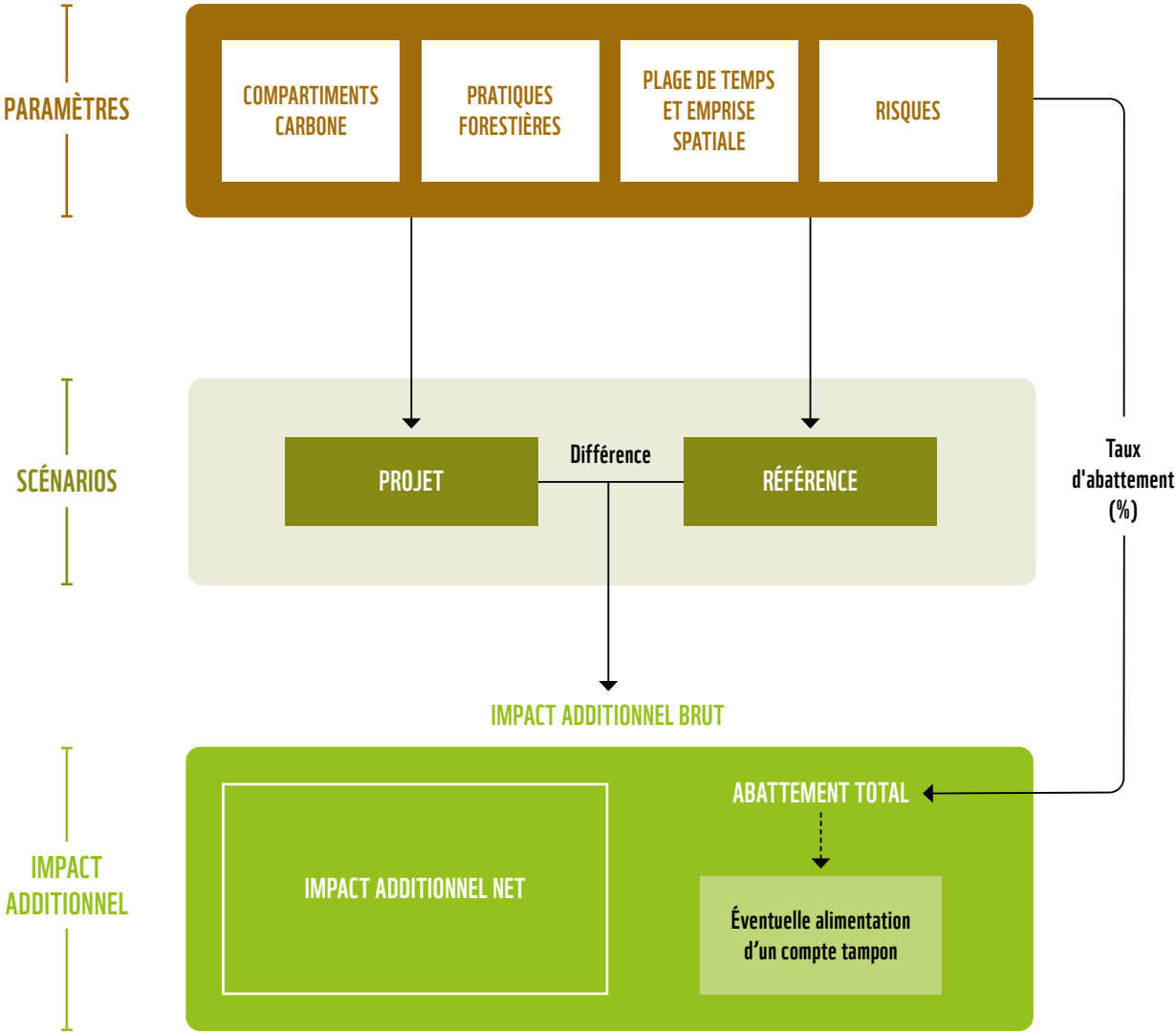
DÉTERMINER LES MARGES DE SÉCURITÉ EN PRATIQUE

Dans ce rapport, des fiches pratiques présentent, pour chaque risque ou aléa possibles dans un projet forestier dans l'Hexagone, une définition, les pratiques concernées, les compartiments carbone affectés, la conduite de l'analyse selon le scénario, ainsi que les marges de sécurité minimales et maximales et les critères justifiant leur détermination.

L'ESSENTIEL EN UN SCHÉMA

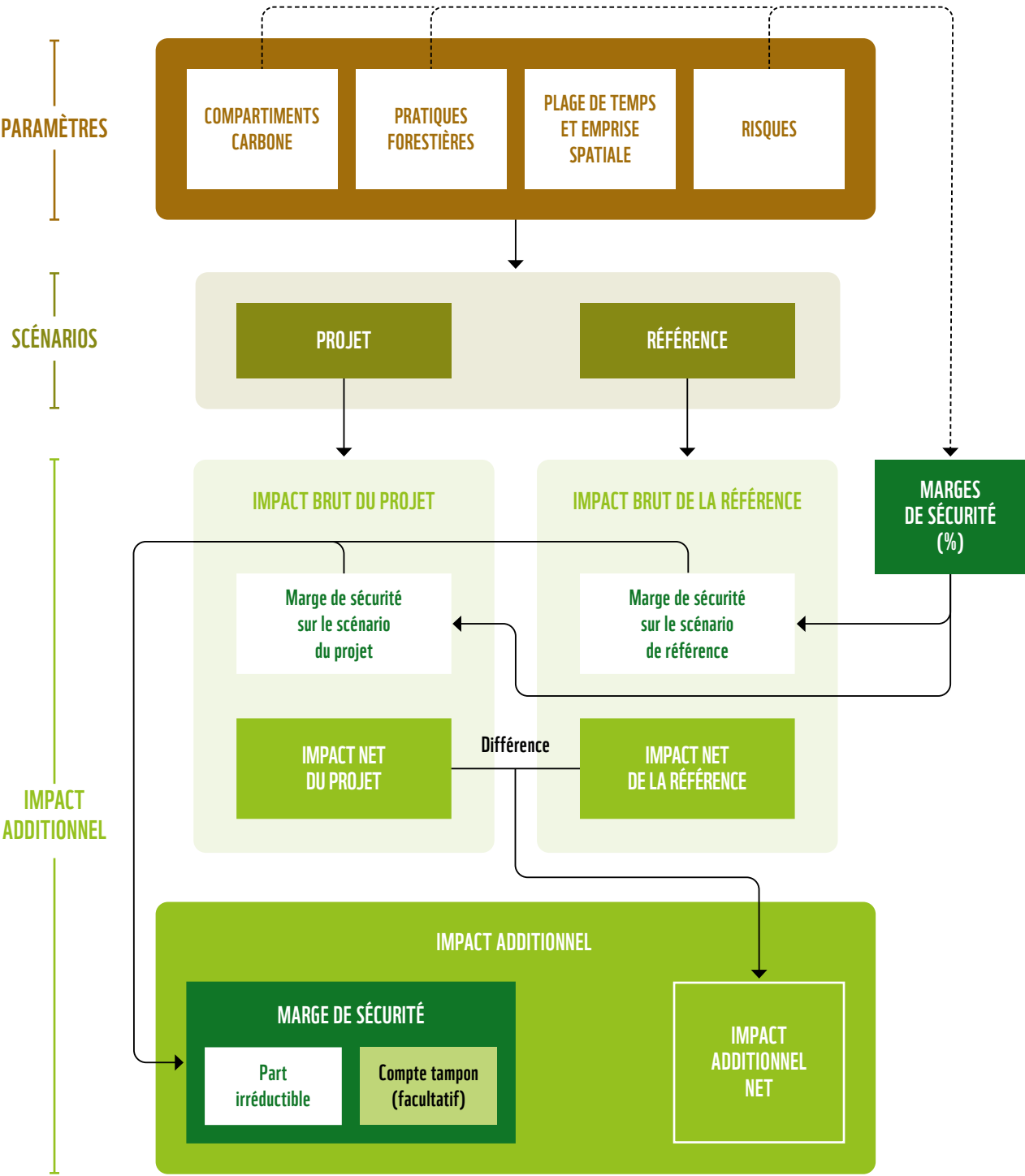
APPROCHE CLASSIQUE

Application d'un taux d'abattement sur l'impact additionnel brut



APPROCHE PROPOSÉE PAR LE WWF

Application d'une marge de sécurité découlant des risques spécifiques associés au scénario de référence et au scénario de projet



EXECUTIVE SUMMARY

INTRODUCTION

Forestry projects can play an important role in mitigating climate change, but their carbon impact must be estimated credibly. This estimation is based on technical parameters, including “safety margins” (also known as “discount rates”), which are essential for accounting for the uncertainties inherent in carbon sequestration by a forestry project. However, these safety margins are often reduced to an arbitrary rule, whereas the credibility of the sales and claims of the carbon impact of projects require them to be conservative and clearly explained. This report proposes an original and objective approach to the concepts of risks associated with a forestry project and appropriate safety margins to ensure a reliable estimate.

WHAT ARE WE TALKING ABOUT?

A risk is the possibility that an unforeseen event (hazard), such as a fire or a change of ownership, could compromise the achievement of a forestry project’s initially estimated carbon impact. To guard against risk in estimating this impact, safety margins must be applied, i.e., conservative reductions that reflect a precautionary approach to uncertainty. This reduction can be temporary and reassessed over time (carbon impact buffer pool) or be definitive.

The main risks to be considered when estimating the carbon impact of a forestry project are general risks (uncertainty about data and models), non-permanence of commitment (instability of the owner’s forest management choices), non-permanence risks in the forest (fire, dieback, storms, reduced growth, browsing of plantations), and risks specific to the timber industry.

Safety margins must be defined cautiously based on two factors: the probability of a hazard occurring during the period used for estimating a project’s carbon impact (up to 30 years) and the consequences of this hazard on carbon sequestration. Combining these two parameters produces a quantified rate, expressed as a percentage, which concretely reflects the level of risk borne by the project.

THREE PRINCIPLES FOR EFFECTIVE IMPLEMENTATION

WWF proposes three main principles for a rigorous, pragmatic and innovative application of carbon safety margins. First, safety margins must be defined in a justified manner, not only by the project leader but, if possible, collectively with all project stakeholders or carbon experts to ensure the credibility of the choices. Second, safety margins must be regularly reviewed throughout the project to prudently adjust the carbon impact estimate based on actual risk developments. This allows, in the positive case of no risk occurrence, for the remobilization of part of the buffer pool. Finally, safety margins must be differentiated objectively according to scenarios (baseline and project), carbon pools, and forestry practices implemented, to avoid arbitrarily assigning a single value to all projects, which is highly unlikely.

In the absence of a collectively justified approach, WWF recommends applying a generic safety margin of at least -50%, while a precise and documented assessment should lead to the most “accurate” estimate possible. However, WWF advises a minimum irreducible safety margin for the carbon impact of a forestry project (-10 to -25%) justified by uncertainties in the data and estimation formulas.

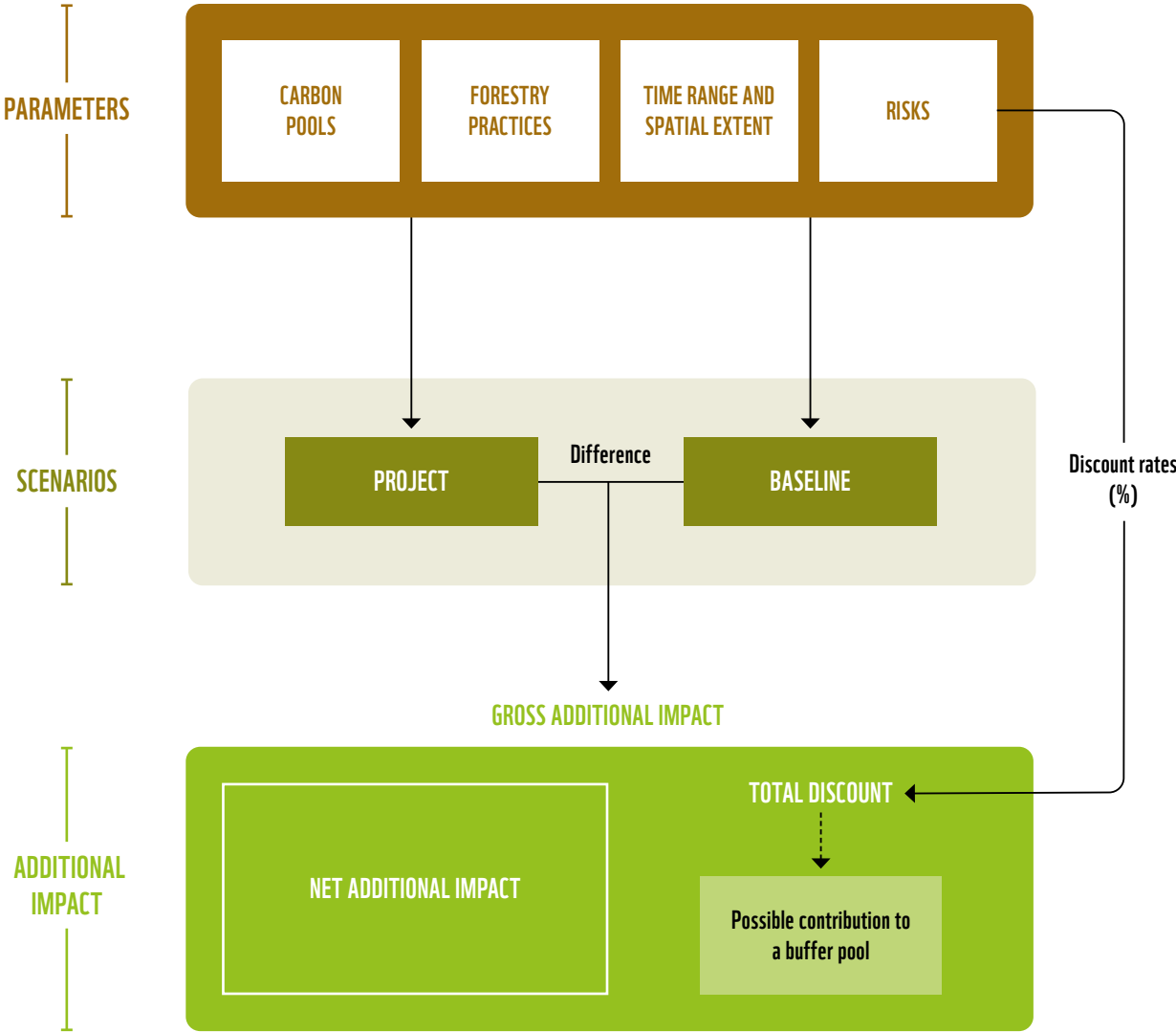
DETERMINING SAFETY MARGINS IN PRACTICE

In this report, practical factsheets present a definition, the forestry practices concerned, the carbon pools affected, the analysis conducted according to the scenario, as well as the minimum and maximum safety margins and the criteria justifying their determination for each possible risk or hazard in a forestry project in France.

THE ESSENTIALS IN ONE DIAGRAM

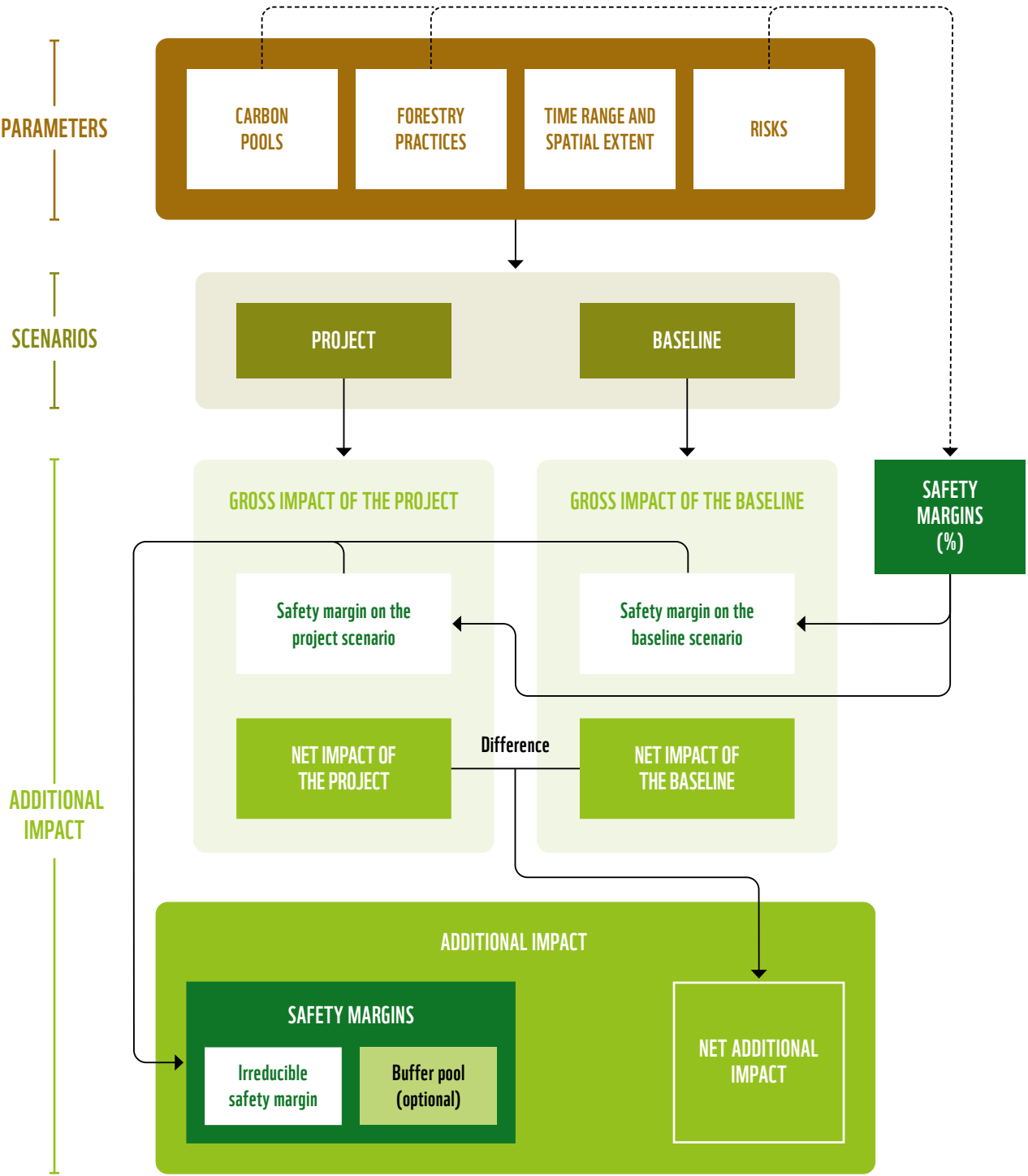
TRADITIONAL APPROACH

Application of a discount rate to the gross additional impact



APPROACH PROPOSED BY WWF

Application of safety margins based on the specific risks associated with the baseline scenario and the project scenario



INTRODUCTION

Les projets forestiers peuvent stocker du carbone dans l'écosystème forestier et dans les produits bois* et ainsi contribuer efficacement à l'atténuation du changement climatique. Estimer leur impact carbone permet de les valoriser, ce qui ouvre la voie à de possibles financements et fournit une métrique clé pour les acheteurs : le prix du projet en €/tCO₂e.

Mais encore faut-il que l'estimation *ex ante* du carbone séquestré de façon additionnelle soit fiable. Darteyron & Vallauri (2024) définissent plusieurs principes et paramètres décisifs pour estimer sérieusement la contribution carbone d'un projet forestier. L'un d'entre eux est le choix des marges de sécurité (couramment appelés abattements ou rabais), qui visent à garantir des estimations prudentes du carbone dès la phase de conception d'un projet. Ces marges sont indispensables car les projets forestiers sont par nature exposés à des incertitudes multiples et l'estimation carbone est loin d'être une science exacte (Marland *et al.*, 2014 ; Anderegg *et al.*, 2025 ; Sanders-DeMott *et al.*, 2025).

Il est néanmoins crucial de tenter d'éviter toute surestimation de l'impact carbone d'un projet forestier. Une fois contractualisé, dans la quasi-totalité des cas, le porteur de projet ne peut plus réviser à la baisse les engagements pris, même si les résultats sont moindres que prévu. De plus, certains projets ne font pas l'objet de vérifications, ce qui confère à l'estimation initiale le statut de seule base reconnue sur laquelle le

financeur va communiquer, sans certitude sur l'impact réel. Estimer prudemment permet donc de rassurer les financeurs sur la réalisation effective des impacts annoncés, de protéger le porteur de projet contre une surestimation risquée et d'ainsi garantir sa crédibilité, et enfin d'éviter une distorsion du prix lorsque celui-ci dépend directement de l'impact carbone (courant mais non recommandé selon Darteyron & Vallauri, 2025).

C'est pourquoi la question des marges de sécurité appliquées lors de l'estimation de l'impact carbone d'un projet est décisive. Mais parce qu'elle est très technique et qu'elle conduit à une baisse de l'estimation, elle est souvent passée sous silence ou gérée par une proportion fixe non argumentée, généralement inférieure à celle recommandée par Darteyron & Vallauri (2024) dans ce cas de figure, à savoir - 50 %.

Il est proposé dans ce rapport d'agir autrement. Les bases d'une analyse objective, claire et adaptée à chaque projet, sont proposées. Après une clarification des définitions et concepts, cette note propose une typologie des risques adaptée aux projets forestiers dans l'Hexagone et une réflexion pour définir des marges de sécurité chiffrées. Trois principes pour une mise en œuvre efficace sont détaillés. Enfin, des fiches techniques pour déterminer des marges de sécurité différenciées selon les scénarios, les compartiments carbone et les pratiques mobilisées sont présentées.

* Pour rappel, le WWF recommande de ne pas compatibiliser le carbone de l'effet substitution du bois mis sur le marché. En effet, l'effet substitution peut être utile dans la comptabilité carbone d'une nation mais n'est pas maîtrisé par le gestionnaire forestier. Il ne peut donc être estimé de manière fiable ni comptabilisé sans risque de greenwashing ou de double comptage (Darteyron & Vallauri, 2024).



© Wijd Wonders of Europe, Cornelia Doerr, WWF

DE QUOI PARLE-T-ON ?

DÉFINITIONS

Un **risque** est l'éventualité qu'un événement imprévisible (ou **aléa**) puisse causer un certain niveau de dommages et de préjudices à un **enjeu**. Dans le cadre de l'estimation de l'impact carbone d'un projet forestier, l'aléa peut prendre la forme d'un changement de propriétaire ou de la survenue d'un incendie, tandis que l'enjeu réside dans la bonne estimation du niveau de la séquestration carbone du projet.

Se prémunir du risque dans l'estimation de l'impact carbone demande une analyse objective et l'application de **marges de sécurité**, c'est-à-dire une réduction prudente de l'estimation de l'impact carbone afin d'anticiper l'éventualité que tout ou partie de cet impact ne se réalise pas. D'autres auteurs parlent d'« abattement » ou de « rabais ». Ces termes, empruntés au vocabulaire économique (abattement fiscal, réduction commerciale...), ont une connotation plutôt négative, évoquant un manque de qualité ou une non-conformité. Le WWF privilégie le terme de « marge de sécurité », qui reflète davantage une démarche de précaution face à l'incertitude inhérente à l'estimation du carbone des projets forestiers.

PRINCIPAUX RISQUES À PRENDRE EN COMPTE

Diverses typologies de risques sont proposées par les systèmes d'estimation de l'impact carbone d'un projet forestier : risques internes, externes et naturels pour VCS (2024) ; risques politiques, financiers ou encore liés au marché pour Gold Standard (2017) ; etc. Darteyron & Vallauri (2024) proposent, sur la base de l'analyse de ces systèmes et d'autres, une liste non exhaustive des risques et aléas. Cette liste, complétée par de nouveaux aléas, est reprise dans le tableau 1 et se décompose comme suit :

- **les risques généraux**, qui rassemblent les aléas liés aux erreurs ou à l'incertitude, en lien avec la capacité à estimer précisément les impacts carbone ;
- **les risques de non-permanence de l'engagement**, pouvant se traduire par une instabilité dans les choix de gestion du propriétaire ;
- **les risques de non-permanence de tout ou partie des impacts en forêt**, qui sont liés à des aléas naturels, tels que les conséquences du changement climatique ;
- **les risques spécifiques à la filière bois**, traduisant l'incertitude de la répartition entre les usages du bois (bois d'œuvre, bois d'industrie et bois énergie).

Ces aléas sont définis plus précisément dans la dernière partie du rapport.

Tableau 1. Typologie non-exhaustive des risques et aléas d'un projet forestier

TYPE DE RISQUE	ALÉAS
Risques généraux	 Incertitude sur les données et modèles
Risques de non-permanence de l'engagement	 Instabilité des choix de gestion du propriétaire
Risques de non-permanence en forêt	 Incendie
	 Dépérissement
	 Tempête
	 Réduction de la croissance
	 Abroutissement des plantations
 Risques de non-permanence dans la filière bois	

Darteyron & Vallauri (2024) notent que d'autres « risques » évoqués par certains systèmes de certification carbone sont à exclure dans notre contexte :

- Risque associé à l'absence de démonstration de l'additionnalité : tout projet crédible doit impérativement démontrer son additionnalité de façon irréfutable et non discutable, pour éviter tout effet d'aubaine (Martel *et al.*, 2025) ; ce risque ne doit ainsi pas être considéré ;
- Risque d'instabilité politique et corruption ou risque de fuites (déplacement de l'impact négatif en dehors du projet) : ces risques ne sont pas considérés comme pertinents ou jugés négligeables pour la France.

Il est en revanche possible d'ajouter de nouveaux risques en fonction du contexte spécifique à chaque projet (par exemple : risque de vol de bois).

COMMENT EN DÉDUIRE LES MARGES DE SÉCURITÉ ?

La détermination de la marge de sécurité pour un aléa donné varie selon les systèmes, chacun ayant sa propre logique d'évaluation des risques. Darteyron & Vallauri (2024) proposent une synthèse mettant en évidence les types de risques considérés ainsi que les pourcentages retranchés à l'estimation carbone ex ante selon différents systèmes ou méthodes. L'examen plus approfondi de trois systèmes internationaux qui présentent une approche particulièrement détaillée de la gestion des risques met en lumière les spécificités suivantes :

- Gold Standard applique une grille de notation simple où la probabilité, l'impact et l'échelle du risque sont évalués respectivement comme haut (3), moyen (2), faible (1) ou non applicable, puis multipliés pour obtenir un score total. Au-delà d'un score total de 7, des mesures d'atténuation sont obligatoires, mais ce résultat ne semble pas influencer directement la marge de sécurité alimentant le compte tampon (Gold Standard, 2017).
- Le *Verified Carbon Standard* (VCS) de Verra propose une série de questions pour chaque type de risque, attribuant des points selon les affirmations vérifiées. Plus le score est bas, moins le risque est estimé élevé. Les mesures d'atténuation peuvent réduire le score (par exemple : le risque « longévité du projet » est réduit lorsqu'une zone est protégée juridiquement comme réserve naturelle). Le score total correspond à la somme des scores des risques et est converti en pourcentage de déduction vers le compte tampon (par exemple : un score de 35 implique que 35 % du carbone brut est alloué au compte tampon), tandis qu'un score supérieur à 60 fait échouer l'analyse de risque (non-labellisation du projet) (VCS, 2024).
- L'*American Carbon Registry* (ACR) recourt à des équations spécifiques et complexes par type de risque, faisant appel à divers facteurs et des pondérations peu justifiées. La somme des scores obtenus pour chaque type de risque aboutit au pourcentage final de déduction destiné au compte tampon (ACR, 2024).

Le WWF recommande de déterminer des marges de sécurité claires, simples et conservatrices, traduisant la grande prudence nécessaire face aux incertitudes inhérentes aux projets forestiers. Elles doivent résulter d'une réflexion issue de la prise en compte de deux facteurs essentiels :

- i) **La probabilité d'occurrence ou fréquence de l'aléa** au cours de la période de l'estimation de l'impact carbone du projet (au maximum 30 ans comme recommandé par Darteyron & Vallauri, 2024). Par exemple, pour l'aléa « stabilité de l'engagement du propriétaire », combien de fois un changement de propriétaire peut-il raisonnablement se produire sur la période considérée, en ayant pour conséquence la possible révision des orientations de gestion ? Cela dépend notamment du statut de la propriété, du type de propriétaire (privé ou public, individuel ou collectif, institutionnel, associatif, citoyen, etc.) ou de son âge ;
- ii) **Les conséquences de cet aléa sur la séquestration carbone** estimée dans les différents compartiments, c'est-à-dire la part de l'enjeu concerné ou les répercussions concrètes sur la séquestration carbone. En d'autres termes : lorsque l'aléa survient, qu'est-ce qui est perdu ? Et dans quelle proportion ? Les conséquences varient selon les compartiments concernés, la nature de l'aléa et la pratique de gestion. En effet, l'aléa peut causer une perte totale ou partielle de carbone (par exemple : lors d'un incendie, la majeure partie du carbone de la biomasse aérienne sort irrémédiablement de l'écosystème forestier) ou un transfert entre compartiments (par exemple : un dépérissement exceptionnel causera un transfert de carbone de la biomasse aérienne vers le bois mort mais reste dans l'écosystème forestier, au moins temporairement avant sa décomposition, s'il n'est pas évacué de la parcelle).

En croisant la fréquence estimée et l'ampleur des conséquences, on peut déduire une marge de sécurité chiffrée, exprimée en pourcentage. Par exemple, une marge de sécurité de - 50 % peut signifier soit qu'il existe une chance sur deux que l'ensemble du carbone soit perdu pendant la durée de l'estimation, soit qu'il y a 100 % de chance de perdre la moitié du carbone estimé.

TROIS PRINCIPES POUR UNE MISE EN ŒUVRE EFFICACE

Le WWF propose trois grands principes pour une application rigoureuse, pragmatique et innovante des marges de sécurité :

1. **Discuter** collégialement les marges de sécurité et l'estimation carbone d'un projet avec toutes les parties prenantes impliquées ;
2. **Réévaluer** ces marges de sécurité comme l'impact carbone du projet en général au fil de son déroulement ;
3. **Adapter** les marges de sécurité en fonction des scénarios, des compartiments considérés dans l'estimation carbone et des pratiques forestières mises en œuvre.

De manière transversale, il est recommandé d'assurer une transparence du processus afin de rendre explicites les choix effectués en matière de marges de sécurité.

1. DÉFINIR ET VALIDER COLLÉGIALEMENT RISQUES ET MARGES

Il ne suffit plus d'appliquer un abattement global arbitraire et peu justifié. Les marges de sécurité doivent au contraire faire l'objet d'une réflexion approfondie. À titre d'exemple, Gold Standard (2017) attribue au porteur de projet la responsabilité d'évaluer et de justifier les niveaux de risque. Or, cette évaluation ne peut être réalisée de manière pleinement fiable par le seul porteur de projet, comme l'illustrent les nombreux scandales liés aux estimations carbone, y compris celles ayant fait l'objet d'une certification (notamment la controverse autour de Verra révélée par Greenfield, 2023).

Pour éviter cela, le WWF recommande que **les marges soient déterminées après discussion et justification collective**, à l'échelle du projet, par l'ensemble des parties prenantes impliquées dans sa gouvernance et capables de juger de la crédibilité des choix de celles-ci (par exemple : gestionnaire, association naturaliste impliquée, association d'usagers locaux, etc.).

2. RÉVISER L'IMPACT AU FIL DU PROJET SI NÉCESSAIRE

L'évaluation du risque est généralement faite en amont de la réalisation du projet, au moment des estimations *ex ante* de l'impact carbone. Il s'agit d'estimer le carbone en tenant compte de tous les aléas, par nature difficiles à prévoir, qui peuvent se produire durant la période d'estimation carbone. À ce titre, l'estimation doit donc être prudente et conservatrice. Pour limiter les risques et les incertitudes liés à la durabilité des projets forestiers, le WWF recommande de limiter à 30 ans la durée d'évaluation de leur impact carbone (Darteyron & Vallauri, 2024). Cela signifie qu'estimer l'impact carbone d'un projet forestier sur plus de 30 ans reviendrait à faire des hypothèses trop incertaines.

Pour autant, réviser *ex post* la définition *ex ante* du risque sur le scénario du projet est possible et souhaitable. Certains risques peuvent diminuer (par exemple : diminution du risque de mortalité d'une plantation après les 5 premières années) tandis que d'autres peuvent augmenter (par exemple : si les évolutions climatiques s'aggravent plus vite que prévu). Les marges de sécurité gagnent donc à être révisées au fil du projet grâce à un mécanisme adapté (Sanders-DeMott *et al.*, 2025). Au moment de la vérification finale, à la fin du projet, les marges de sécurité peuvent même être entièrement levées (sauf l'incertitude sur les données et modèles qui demeure).

Sur une durée de 30 ans, il est recommandé de **réviser les marges de sécurité** qui s'appliquent au scénario de projet à chaque vérification des impacts carbone soit, si la taille du projet le permet, **au moins à mi-parcours** (au bout de 15 ans pour les 15 ans à venir). En revanche, il n'est dans la majorité des cas pas possible de réviser les marges de sécurité appliquées au scénario de référence, celui-ci ne s'étant par définition pas réalisé, sauf dans certains cas particuliers (par exemple : un incendie qui aurait affecté de manière similaire le scénario de référence).

3. DIFFÉRENCIER OBJECTIVEMENT LES RISQUES

Il est courant que les marges de sécurité soient appliquées à l'estimation de l'impact carbone brut. Pour les projets forestiers, ces marges varient de 0 à -100 % selon les forêts, systèmes et méthodes analysés par Darteyron & Vallauri (2024). Toutefois, il s'agit le plus souvent d'une valeur unique et générique, rarement justifiée de manière rigoureuse, et dans la majorité des cas très faible (par exemple -10 % quel que soit le contexte forestier ou le projet concerné). Le risque est ainsi caractérisé par une marge



de sécurité (pourcentage négatif) appliquée à l'impact additionnel brut (c'est-à-dire à la différence entre l'impact carbone du scénario de projet et du scénario de référence).

Cette approche semble simpliste et peu fiable, et conduit à attribuer une marge unique et très hypothétique. Le plus souvent elle n'est pas révisée et des doutes peuvent être émis sur la réalité de la séquestration carbone estimée.

L'approche proposée par le WWF se distingue par une **analyse différenciée des risques**, et donc des marges de sécurité associées, selon :

- **le scénario (de référence ou du projet)** : par exemple, le risque de changement de gestion est réduit dans un scénario de projet encadré par une Obligation Réelle Environnementale (ORE), comparé à un scénario de référence reposant uniquement sur un Plan Simple de Gestion (PSG) ;
- **les compartiments carbone concernés** : par exemple, un dépérissement affecte principalement la biomasse aérienne (et la biomasse souterraine par extension), sans nécessairement impacter les autres compartiments ;
- **et les pratiques mises en œuvre** : par exemple, le risque incendie semble moins pertinent à considérer dans des itinéraires de restauration de certains habitats forestiers spécifiques (ripisylves, mares forestières...) que dans d'autres pratiques forestières.

Par scénario

Il est important de prendre en compte les risques en fonction du scénario envisagé. Pour rappel, le scénario de référence correspond au mode de gestion le plus probable en l'absence du projet, qu'il soit fondé sur la poursuite des pratiques antérieures de gestion forestière, les obligations légales ou la gestion forestière

courante dans un contexte géographique donné. Le scénario de projet correspond quant à lui aux pratiques additionnelles mises en œuvre grâce au financement perçu via le projet.

Etant donné que les pratiques diffèrent entre les deux scénarios, les risques associés sont en conséquence dissemblables :

- Parmi les risques généraux, l'incertitude sur les données et modèles est similaire, puisque les estimations reposent généralement sur les mêmes hypothèses et données.
- Les risques de non-permanence de l'engagement peuvent varier entre le scénario de référence (généralement gestion inscrite dans un PSG ou un aménagement forestier) et le scénario de projet (par exemple : contractualisation avec le financeur ou inscription des engagements dans le temps plus long via une ORE).
- Les risques de non-permanence en forêt doivent généralement être distingués selon le scénario, car c'est à ce niveau que se manifeste l'impact des choix de gestion du propriétaire. Par exemple, en cas de tempête, le maintien du bois mort dans la parcelle peut limiter la perte de carbone par rapport à un scénario de référence prévoyant son exploitation ; ainsi, même si la probabilité de survenue d'une tempête est identique dans les deux scénarios, les conséquences sur les estimations carbone diffèrent. En revanche, la réduction de la croissance du fait du changement climatique peut avoir les mêmes conséquences quel que soit le scénario.
- Les risques de non-permanence dans la filière bois doivent également être différenciés : le scénario de projet peut impliquer l'arrêt de l'exploitation (par exemple : dans le cas de la libre évolution) ou une modification qualitative des produits bois (par exemple : potentiel accroissement de la proportion de bois d'œuvre grâce à des pratiques forestières favorisant le vieillissement des peuplements).

Par compartiment carbone

La prise en compte des risques par compartiment est illustrée dans le tableau 2. Les compartiments considérés suivent les recommandations de Darteyron & Vallauri (2024) :

- **la biomasse aérienne**, sur laquelle les choix de gestion forestière ont un fort impact et qui représente l'essentiel de l'impact carbone additionnel d'un projet forestier ;
- **le bois mort**, qui 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 ;
- **les produits bois** séquestrant durablement du carbone (bois d'œuvre et panneaux) ;
- **la biomasse racinaire, le sol et la litière** varient peu sur le pas de temps de l'estimation mais peuvent être considérés dans certains cas exceptionnels (augmentation potentiellement importante lors du boisement d'une terre agricole, diminution substantielle dans le cas d'une coupe rase, etc.).

Par pratique forestière

La prise en compte des risques en fonction de chaque pratique forestière est illustrée dans le tableau 3. Bien que la liste des pratiques présentées ne soit pas exhaustive, elle reflète la diversité d'actions possibles pour lesquelles l'estimation du carbone peut être relativement fiable. Ces pratiques sont détaillées dans le livrable « Pratiques favorables au climat et à la biodiversité et définition de paramètres pour en estimer l'impact carbone » de la « Boîte à outils carbone forestier » (Darteyron, 2026).

⬇ **Tableau 2.** Prise en compte des risques et aléas pour chaque compartiment de stockage du carbone dans et hors de l'écosystème forestier

Note : **OUI** signifie que les risques et aléas peuvent avoir un impact sur le carbone séquestré à un instant *t* dans un compartiment donné ; tandis que **NON** signifie que les risques et aléas peuvent être omis car nuls ou négligeables sur ledit compartiment. Ces indications ne présagent pas de l'importance de ce risque ou aléa ni des éventuels mouvements, actuels ou futurs, entre compartiments.

TYPE DES RISQUES ET ALÉAS		COMPARTIMENTS SÉQUESTRANT DU CARBONE CONSIDÉRÉS				
		Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Bois mort	Sol et litière	Produits bois
Risques généraux	 Incertitudes sur les données et modèles	OUI Risques généraux s'appliquant à l'ensemble de l'estimation carbone				
Risques de non-permanence de l'engagement	 Instabilité des choix de gestion du propriétaire					
Risques de non-permanence en forêt	 Incendie	OUI Risques de perte de tout ou partie des parties aériennes ou souterraines des arbres	OUI Risques de perte de tout ou partie du carbone du bois mort si celui-ci brûle au lieu de se dégrader lentement	OUI Fort impact du feu sur la litière mais moindre perte dans le sol (Mayer <i>et al.</i> , 2023)	NON APPLICABLE	
	 Dépérissement		NON Pourrait même être positif sur ce compartiment, mais inestimable car trop aléatoire	NON Pas de risque lié au dépérissement et à la tempête		
	 Tempête					
	 Réduction de la croissance	OUI Risque de moindre augmentation de la biomasse aérienne (et donc racinaire) que prévu	NON Pas d'influence			
	 Abrouissement des plantations					
 Risques de non-permanence dans la filière bois		NON APPLICABLE			OUI	


Tableau 3. Recommandations pour la prise en compte des risques et aléas en fonction des pratiques forestières

Note : **OUI** signifie que les risques et aléas doivent être pris en compte, dans le cadre d'un projet impliquant la mise en place d'une pratique donnée ; tandis que **NON** signifie que les risques et aléas peuvent être omis car nuls ou négligeables dans ce contexte. Certains cas particuliers peuvent amener à réviser ces recommandations ou à prendre en considération de nouveaux risques non indiqués ici. Dans tous les cas, les risques devraient être définis et validés collégialement en fonction des spécificités d'un projet donné.

TYPE DES RISQUES ET ALÉAS		PRATIQUES											
		Conservation d'arbres-habitats vivants	Libre évolution	Maintien de gros et très gros bois vivants	Allongement des durées de révolution	Conversion de taillis en futaie	Conversion de futaie régulière à futaie irrégulière	Boisement	Enrichissement dans des trouées existantes	Reboisement après catastrophe	Enrichissement avec nécessité de créer des trouées	Conservation de bois mort	
Risques généraux	 Incertitudes sur les données et modèles	OUI Obligatoirement inclus pour toutes les pratiques											
Risques de non-permanence de l'engagement	 Instabilité des choix de gestion du propriétaire												
Risques de non-permanence en forêt	 Incendie	OUI Effondrement du stock de carbone dans les arbres vivants et morts		OUI Effondrement du stock de carbone du peuplement			OUI Effondrement du stock de carbone du jeune peuplement			OUI Effondrement du stock de carbone dans le bois mort			
	 Dépérissement	NON Risque d'effondrement du stock du carbone dans les arbres vivants mais maintien obligatoire du stock en place (arbres morts) et engagement du propriétaire de recruter d'autres arbres-habitats vivants	NON Risque d'effondrement du stock du carbone dans le peuplement mais maintien obligatoire du stock en place (arbres morts)							NON Pas d'impact sur le bois déjà mort, voire impact positif par l'augmentation du bois mort naturellement			
	 Tempête	NON Peuplement trop jeune pour être à risque d'une tempête											
	 Réduction de la croissance	OUI Moindre croissance des arbres et peuplements concernés										OUI Moindre croissance du peuplement donc moindre volume de bois mort issu des pratiques de récolte	
	 Abroustissement des plantations	NON Arbres et peuplements matures non concernés par l'abroustissement des plantations ; problématique de régénération naturelle négligeable sur l'estimation carbone sur une période de 30 ans maximum						OUI Disparition des jeunes plants			NON Pas d'impact de l'abroustissement sur le bois mort		
 Risques de non-permanence dans la filière bois		NON APPLICABLE Pas d'exploitation du bois		NON Absence d'exploitation des gros et très gros bois sur la durée de l'engagement		OUI Production de BO/panneaux qui pourraient être valorisés en d'autres types de produits		NON Peuplement trop jeune pour produire des produits bois de longue durée de vie		OUI BO/panneaux issus du prélèvement d'une part du bois sinistré ou de l'exploitation nécessaire à la création des trouées		OUI Production d'une moindre proportion de produits bois de longue durée de vie	

DÉTERMINER LES MARGES DE SÉCURITÉ EN PRATIQUE

UNE MARGE APPARENTE TOTALE QUI RESTE NÉGATIVE PAR PRÉCAUTION

Comme évoqué précédemment, il est proposé d'appliquer des marges différenciées entre le scénario de référence et celui du projet. Cette différenciation permet de calculer une marge de sécurité apparente totale, représentant l'écart entre les deux scénarios, avec et sans application des marges. La différence entre l'approche classique et celle proposée par le WWF est illustrée dans la figure 1.

En l'absence d'approche argumentée et validée de manière collégiale, il est prudent d'appliquer une **marge de sécurité générique d'au moins - 50 %** (Darteyron & Vallauri, 2024).

Lorsque l'évaluation est précise, documentée et justifiée selon la méthode proposée dans ce rapport, il est recommandé que la marge de sécurité apparente totale appliquée soit égale au chiffre précis obtenu. Cette marge de sécurité apparente totale inclut une partie irréductible et une partie pouvant alimenter un **compte tampon**. Le carbone ainsi déduit ne doit pas être inclus dans l'estimation de l'impact carbone faite *ex ante*, mais une portion peut alimenter un compte tampon, dont une partie peut être remise en jeu plus tard si le niveau de risque diminue au fil du temps ou si l'aléa ne se produit pas. Dans tous les cas, une partie de ce carbone constitue une **marge de sécurité irréductible**, traduisant les incertitudes inhérentes aux estimations carbone : cette dernière part doit être égale au minimum à la marge induite par l'incertitude sur les données et modèles (soit - 10 à - 25 % selon les projets).

CAS PARTICULIER



Si la marge de sécurité apparente calculée est positive

Dans certains cas, l'approche différenciée des marges de sécurité peut conduire à une marge de sécurité apparente totale positive. Ce résultat contre-intuitif peut survenir si le scénario de projet réduit fortement certains aléas, par exemple grâce à un engagement juridique fort de long terme du propriétaire, ou grâce à une gestion forestière diminuant la vulnérabilité aux aléas climatiques. Cependant, même si la logique technique est cohérente, il n'est pas recommandé d'utiliser une marge positive. Par prudence, il convient d'appliquer au minimum la marge de sécurité apparente évoquée précédemment.

CAS PARTICULIER

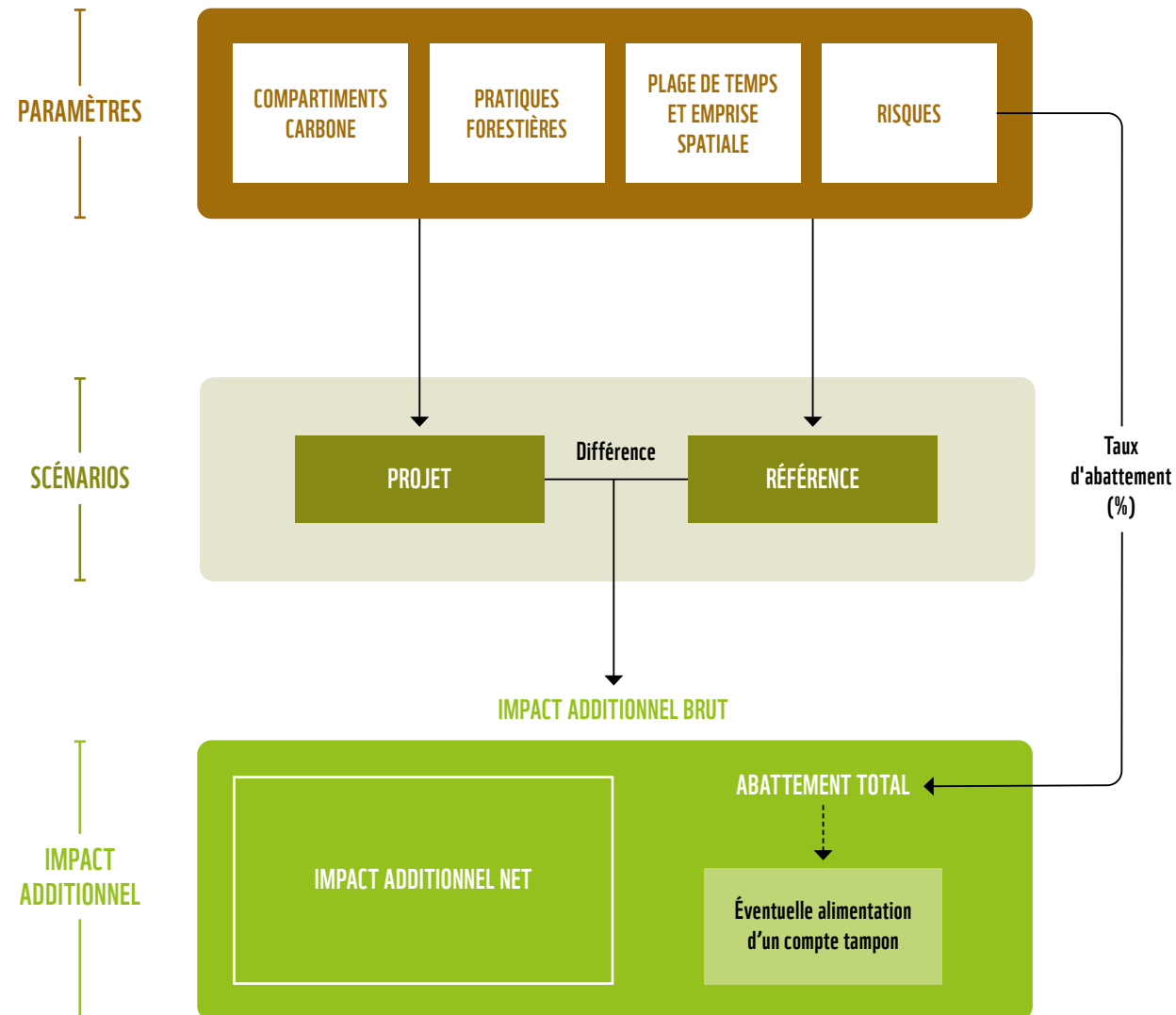


Si la marge de sécurité est négative et s'applique à un résultat négatif

Appliquer une marge de sécurité négative à un résultat déjà négatif peut conduire à un résultat positif, ce qui peut paraître contre-intuitif. Par exemple, un résultat additionnel brut de - 100 tCO₂e (cas particulier d'un scénario de projet moins favorable que le scénario de référence) auquel on appliquerait une marge de sécurité de - 25 % donnera un résultat net de - 75 tCO₂e. Autrement dit, l'impact négatif sur le climat est ainsi atténué. Ce type de situation devrait rester rare, car un projet forestier favorable au climat vise par définition à générer une séquestration additionnelle de carbone positive. Cela peut en revanche se produire si on pense l'application des marges de sécurité de manière annuelle, plutôt qu'à une échéance donnée, comme le proposent Vallauri *et al.* (2025) dans leur approche dynamique de la métrique d'atténuation du changement climatique exprimée en année-tCO₂e.

APPROCHE CLASSIQUE

Application d'un taux d'abattement sur l'impact additionnel brut



APPROCHE PROPOSÉE PAR LE WWF

Application d'une marge de sécurité découlant des risques spécifiques associés au scénario de référence et au scénario de projet

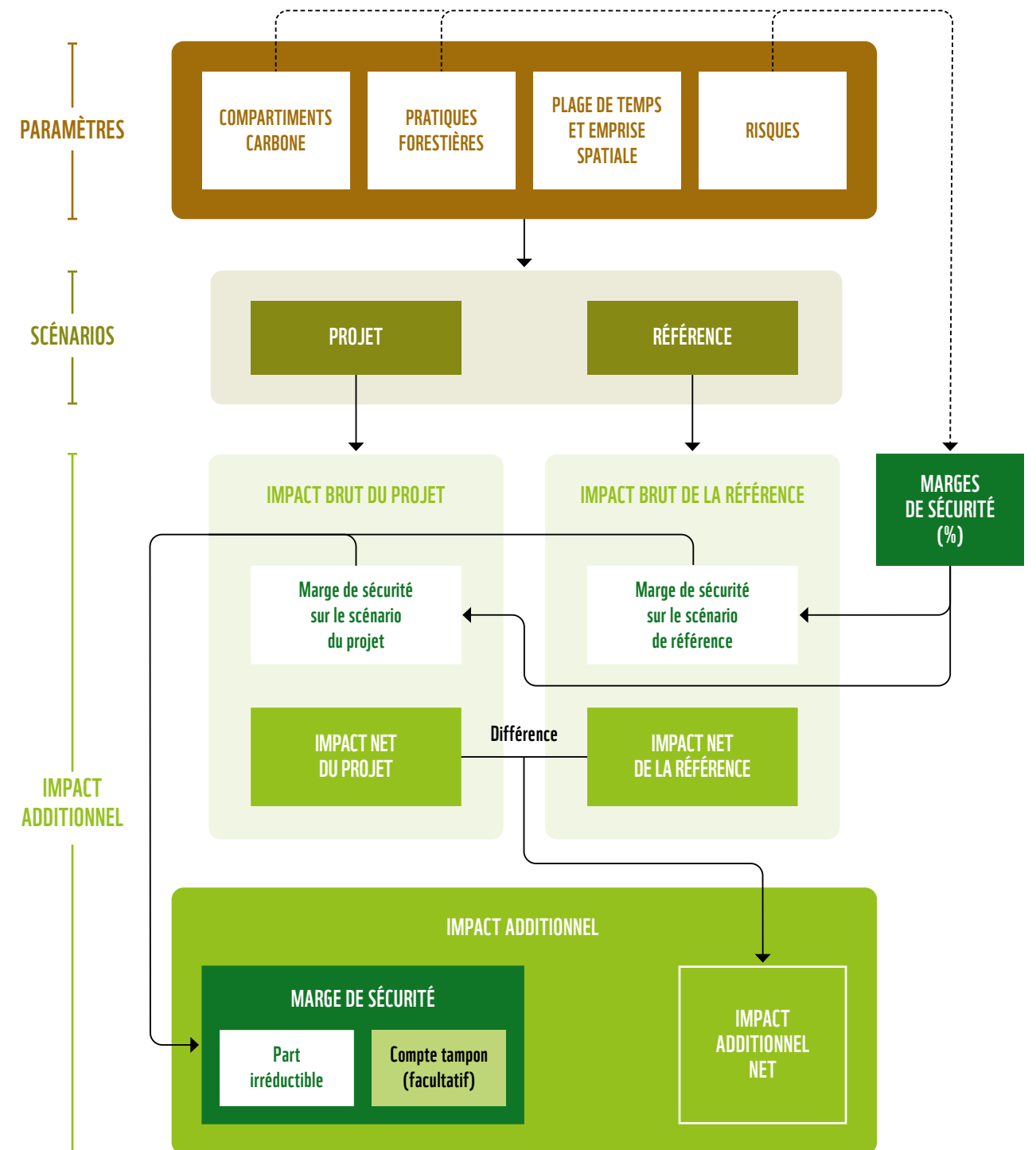


Figure 1. Approche classique et approche proposée par le WWF pour l'application des marges de sécurité afin d'estimer l'impact additionnel net.

FICHES PRATIQUES

Le WWF propose une réflexion originale sur les marges de sécurité, pensée pour :

- les pratiques forestières mises en œuvre dans les projets forestiers situés dans l'Hexagone, qui sont détaillées dans le livrable « Pratiques favorables au climat et à la biodiversité et définition de paramètres pour en estimer l'impact carbone » de la « Boîte à outils carbone forestier » (Darteyron, 2026) ;
- les projets d'une durée de 30 ans. Des modulations peuvent être envisagées pour une durée d'estimation de l'impact carbone plus faible. Comme précédemment évoqué, il est déconseillé de chercher à revendiquer le carbone d'un projet forestier au-delà d'une durée de 30 ans, même en accentuant au-delà de -50 % les marges de sécurité ; compte tenu des fortes incertitudes sur l'impact du changement climatique sur les forêts, cela serait trop hasardeux.

Pour une déclinaison pratique, les paramètres de l'analyse à conduire, pour chaque risque/aléa, sont détaillés dans une fiche technique présentant :

- une définition précise de l'aléa ;
- les pratiques concernées ;
- les compartiments séquestrant du carbone affectés ;
- la manière dont la réflexion doit être menée en fonction du scénario (de référence ou du projet) ;
- les marges de sécurité minimum et maximum conseillées ;
- les critères définissant la logique de définition de la marge de sécurité pour un aléa donné.

Note : Sur la base de l'analyse des systèmes et méthodes d'estimation de l'impact carbone des projets forestiers, Darteyron & Vallauri (2024) ont proposé des recommandations concernant les risques à considérer et les marges de sécurité associées. Certains risques ont été ajoutés ici, ou certaines marges révisées, au regard de la réflexion plus fine présentée dans le présent livrable.

Cette liste des risques et aléas se veut la plus complète possible mais n'est pas exhaustive. En fonction du contexte spécifique à chaque projet forestier, les acteurs du projet doivent se questionner sur les aléas pouvant se produire et peuvent en ajouter.



© Cornelia Doerr/Wild Wonders of Europe/WWF

INCERTITUDE SUR LES DONNÉES ET MODÈLES



DÉFINITION

L'incertitude sur les données et modèles représente un risque majeur et irréductible pour la fiabilité des estimations des impacts carbone *ex ante*. Ces estimations sont basées sur des données estimées, des valeurs par défaut et des équations qui peuvent toujours être améliorées, surtout concernant un écosystème aussi complexe qu'une forêt.

PRATIQUES

Toutes les pratiques sont concernées par l'incertitude sur les estimations carbone.

COMPARTIMENTS CARBONE

Biomasse aérienne



Biomasse racinaire



Bois mort



Sol et litière



Produits bois



SCÉNARIOS

La réflexion est la même pour les scénarios de référence et du projet, puisque la qualité des données fournies et des modèles utilisés est la même dans les deux cas. Si la qualité des données évolue en cours du projet (investissement du projet sur des données d'inventaire terrain pour la forêt par exemple), la révision des estimations se fait avec les mêmes données pour le scénario de référence et le scénario projet.

INTERVALLE DES MARGES DE SÉCURITÉ ET RAISONNEMENT SUR SA DÉFINITION

Minimum : - 10 % Données de placettes permanentes en forte densité (placette AFI ou PSDRF). Les données forestières et les modèles pour estimer le carbone forestier présentent toujours une forte incertitude et les estimations carbone sont par définition des estimations basées sur de nombreuses simulations, hypothèses et données par défaut, d'où une marge de sécurité minimum de -10% quelle que soit la qualité de données utilisées.

Maximum : - 25 % Utilisation de données par défaut (souvent nationales ou par GRECO) ou modèles génériques pour l'estimation carbone, même de bonne qualité (IGN), qui induisent une incertitude plus grande que des données de terrain mesurées suivant un échantillonnage adéquat.

CRITÈRES DÉFINISSANT LA LOGIQUE D'APPLICATION

- Nature des données et modèles (terrain, table de production, modélisation, équation théorique)
- Niveau d'appréhension géographique (local, régional, national)
- Précision de l'échantillonnage

RISQUES DE NON-PERMANENCE DE L'ENGAGEMENT

INSTABILITÉ DES CHOIX DE GESTION DU PROPRIÉTAIRE



DÉFINITION

Le risque lié à l'instabilité des choix de gestion du propriétaire traduit le risque que le propriétaire ne respecte pas les engagements choisis pour la durée du projet et que les pratiques concernées ne soient pas maintenues durant toute la période.

PRATIQUES

Toutes les pratiques sont concernées par le risque que le propriétaire ne respecte pas ses engagements.

COMPARTIMENTS CARBONE

Biomasse aérienne



Biomasse racinaire



Bois mort



Sol et litière



Produits bois



SCÉNARIOS

La réflexion doit être distincte pour le scénario de référence et du projet. L'engagement peut être plus fort dans le scénario de projet que dans le scénario de référence car, en cas de financement, un mécène peut exiger des outils juridiques solides tels qu'une ORE.

INTERVALLE DES MARGES DE SÉCURITÉ ET RAISONNEMENT SUR SA DÉFINITION

Minimum : - 1 %

Assurance forte via la signature d'une ORE de 30 ans ou plus, engagement le plus stable et dans la durée. Durant les 30 ans, le propriétaire peut toujours ne pas respecter une ORE (risque estimable en connaissant le propriétaire actuel) ; ou bien vendre la forêt (en moyenne un changement possible tous les 30 ans). Toutefois, dans les deux cas, les tierces parties environnementales de l'acte signé devant notaire veillent au bon déroulement de l'ORE et cela leur ouvre la possibilité de recours devant un tribunal, ce qui réduit fortement le risque.

Maximum : - 25 %

Engagement peu solide de la part du propriétaire : au minimum contractualisation avec le financeur et inscription des engagements dans le document de gestion durable ; mais un PSG est renouvelé au moins une fois sur la durée du projet et est modifiable facilement par avenant à tout moment. Un propriétaire peu fiable et peu convaincu, susceptible de changer d'avis dans quelques années, devrait être exclu.

CRITÈRES DÉFINISSANT LA LOGIQUE D'APPLICATION

- Nature de la garantie (juridique, contrat privé, avec ou sans tierce partie et durée de celle-ci) ; par exemple, la certification FSC de la forêt et/ou du service se fait avec des contrôles mais pour une durée limitée et avec la possibilité du propriétaire d'en sortir à tout moment
- Type de propriétaire (public, privé) et force de son engagement actuel en faveur de certaines pratiques
- Probabilité de changement de propriétaire ou de gestion durant la période
- Conséquences envisagées en matière de choix de gestion et remise en cause de l'estimation carbone

RISQUES DE NON-PERMANENCE EN FORÊT

INCENDIE



DÉFINITION

Le risque incendie traduit le risque que tout ou partie du carbone en forêt soit perdu du fait d'un feu.

PRATIQUES

Toutes les pratiques sont concernées, l'incendie pouvant causer la destruction du stock du carbone dans les arbres et peuplements concernés ainsi que dans le bois mort.

COMPARTIMENTS CARBONE

Biomasse aérienne



Biomasse racinaire



Bois mort



Sol et litière



Produits bois



SCÉNARIOS

La réflexion peut être distincte entre le scénario de référence et du projet, s'il est documenté que le changement de pratique induit une inflammabilité ou combustibilité différente.

INTERVALLE DES MARGES DE SÉCURITÉ ET RAISONNEMENT SUR SA DÉFINITION

Minimum : - 1 % Zones où le risque incendie est estimé nul ou quasi nul. Étant donné les changements climatiques, le risque zéro n'existe plus vraiment dans l'Hexagone, en témoignent de récents incendies depuis 2020 dans des zones traditionnellement épargnées par ces événements. Toutefois les projets situés dans des zones hors plan départemental de protection des forêts contre les incendies (PDPFCI) peuvent bénéficier de cette marge minimum.

Maximum : - 50 % Cas extrême où les enjeux sont très forts et où plus de la moitié du peuplement brûle en moyenne une fois tous les 30 ans (zone rouge du massif des Maures). Cette fréquence/intensité peut être documentée par l'histoire de la forêt.

CRITÈRES DÉFINISSANT LA LOGIQUE D'APPLICATION

- Probabilité d'un incendie dans les 30 ans maximum de l'estimation carbone
- Niveau de risque local, actuel et futur : pour les départements ayant un PDPFCI, l'estimer en fonction du classement des enjeux (faibles, moyens ou forts) de la commune du projet ; consulter la [Base de Données sur les Incendies de Forêts en France](#) qui centralise les données sur les incendies de forêt sur le territoire français depuis 2006 ; dans tous les cas, consulter la cartographie nationale des zones potentiellement sensibles aux incendies de forêt, modélisée sur la base de projections à 2040 (Chatry *et al.*, 2010)
- Analyse différentielle de l'inflammabilité et de la combustibilité des peuplements visés par chacun des scénarios, dépendant notamment de l'essence (voir fiches essences dans Revertegat *et al.*, 2025) ou du stade de développement, entre autres



DÉFINITION

Le risque de dépérissement correspond à une perte de carbone dans la biomasse aérienne, du fait de conditions climatiques ou édaphiques inadaptées, ou par des ravageurs et/ou maladies.

PRATIQUES

Toutes les pratiques sont concernées, sauf :

- les pratiques Conservation d'arbres-habitats vivants et Libre évolution, car le propriétaire a l'obligation de maintenir le stock en place en cas d'effondrement (stock de carbone de la biomasse aérienne alimentant le stock du carbone du bois mort et régénération compensant l'accroissement perdu de biomasse aérienne) ;
- la pratique Conservation de bois mort (dépérissement pouvant même créer davantage de bois mort).

COMPARTIMENTS CARBONE

Biomasse aérienne



Biomasse racinaire



Bois mort



Sol et litière



Produits bois



SCÉNARIOS

La réflexion doit être distincte entre le scénario de référence et du projet, puisque les risques propres au peuplement, sur lequel le gestionnaire a une influence directe, peuvent varier entre ces deux scénarios.

INTERVALLE DES MARGES DE SÉCURITÉ ET RAISONNEMENT SUR SA DÉFINITION

Minimum : - 5 % Uniquement si l'essence (ou la composition en essences) est considérée comme très bien adaptée à la station, aux conditions climatiques futures (même dans les scénarios les plus pessimistes) et n'est pas sujette à des maladies ou à des ravageurs couramment observés dans la zone du projet. Une marge de sécurité plancher de - 5 % est proposée au regard du contexte actuel d'imprévisibilité du changement climatique, ce qui correspond par exemple au dépérissement d'un arbre sur vingt en 30 ans.

Maximum : - 50 % Forte mortalité des arbres observée dans des stations similaires, c'est-à-dire dépérissement de la moitié des arbres sur une période de 30 ans. A un tel niveau de risque, ou s'il est considéré que les risques de dépérissement sont plus forts, la pratique devrait être abandonnée ou réorientée afin de modifier la composition en essence.

CRITÈRES DÉFINISSANT LA LOGIQUE D'APPLICATION

Risques propres au peuplement :

- Répartition en essences, puisque toutes les essences ne sont pas sensibles de la même manière aux évolutions du climat et aux maladies et ravageurs
- Modes de sylviculture, un peuplement mélangé géré en sylviculture irrégulière étant plus résilient face aux risques sanitaires et climatiques
- Âge du peuplement, puisque des études montrent que certains peuplements matures sont par exemple plus résistants à la sécheresse

Risques extérieurs, indépendants de la volonté du gestionnaire :

- Projections climatiques, notamment grâce à l'outil [ClimEssences](#) permettant d'évaluer la compatibilité d'une essence selon différents scénarios, croisé avec l'application [For-Eval](#) qui permet de quantifier la réserve utile des sols
- Risques sanitaires et autres ravageurs, notamment grâce aux données de la [santé des forêts](#) du Ministère de l'Agriculture ou le portail INRAE [E-phytia](#)



DÉFINITION

Le risque de tempête traduit le risque que le carbone forestier soit perdu du fait d'une destruction partielle ou totale du peuplement en raison de vents violents.

PRATIQUES

Seules les pratiques impliquant une gestion durable de peuplements forestiers matures sont concernées : Maintien de gros et très gros bois vivants, Allongement des durées de révolution, Conversion de taillis en futaie et Conversion de futaie régulière à futaie irrégulière.

COMPARTIMENTS CARBONE

Biomasse aérienne



Biomasse racinaire



Bois mort



Sol et litière



Produits bois



SCÉNARIOS

La réflexion doit être distincte entre le scénario de référence et du projet, puisque les risques propres au peuplement, sur lequel le gestionnaire a une influence directe, peuvent varier en fonction des sylvicultures choisies.

INTERVALLE DES MARGES DE SÉCURITÉ ET RAISONNEMENT SUR SA DÉFINITION

Minimum : 0 % Zone peu venteuse, où la probabilité d'une tempête causant l'effondrement de tout ou partie du peuplement est quasi nulle, et peuplement dont la composition et la structure sont hétérogènes.

Maximum : - 15 % Futaie régulière monoculturelle de résineux, dans une zone très venteuse qui subit en moyenne une forte tempête tous les 15 ans. Résultat : il y a une chance sur deux que cela se produise sur le pas de temps de 30 ans de l'estimation carbone, avec une chute, mortalité et récolte d'environ un tiers des arbres vivants.

CRITÈRES DÉFINISSANT LA LOGIQUE D'APPLICATION

Risques propres au peuplement :

- Répartition en essence, les résineux pouvant avoir une prise au vent plus importante que les feuillus : Colin & Riou-Nivert (2009) proposent un classement de résistance des essences au vent
- Hauteur et coefficient d'élancement* du peuplement, puisque les études montrent que plus les peuplements sont hauts et élancés, moins ils sont résistants (casse ou déracinement)
- Sensibilité de la station et du sol
- Modes de sylviculture, car de fortes éclaircies fragilisent fortement les peuplements surtout si elles ont été réalisées peu de temps avant la tempête (Colin & Riou-Nivert, 2009) ; une sylviculture irrégulière avec des prélèvements modérés peut réduire le risque d'impact de la tempête sur la séquestration carbone, les chablis ou volis étant rares et disséminés

Risques extérieurs, indépendants de la volonté du gestionnaire :

- Vitesse et fréquence des vents : au-delà de 140 km/h, les dégâts s'intensifient fortement (Colin & Riou-Nivert, 2009). [Les fiches climatologiques](#) des stations Météo France donnent le nombre moyen de jours avec rafales supérieures ≥ 100 km/h, mais la variabilité des vents est grande, les stations d'enregistrement peu nombreuses et souvent situées loin des forêts ; le changement climatique est par ailleurs susceptible d'augmenter la fréquence et l'intensité des épisodes venteux extrêmes

* Rapport entre la hauteur dominante du peuplement (H_0) et le diamètre moyen à hauteur de poitrine (D_{130}) : facteur d'élancement = H_0 / D_{130} .

RÉDUCTION DE LA CROISSANCE



DÉFINITION

Le risque de réduction de la croissance correspond à une augmentation plus faible que prévue du carbone, du fait de conditions climatiques ou édaphiques défavorables.

Il ne se limite pas à une erreur dans l'estimation initiale de l'accroissement, mais inclut également les variations possibles des conditions écologiques susceptibles d'influencer la croissance. Ce risque se distingue du dépérissement, dans la mesure où ces conditions ne conduisent pas nécessairement à la mortalité des arbres.

PRATIQUES

Toutes les pratiques sont concernées, car cela peut causer une moindre croissance des arbres et peuplements concernés, y compris ceux permettant la conservation de bois mort.

COMPARTIMENTS CARBONE

Biomasse aérienne



Biomasse racinaire



Bois mort



Sol et litière



Produits bois



SCÉNARIOS

La réflexion est identique entre le scénario de référence et du projet, puisque les conditions climatiques et édaphiques sont les mêmes dans les deux scénarios.

INTERVALLE DES MARGES DE SÉCURITÉ ET RAISONNEMENT SUR SA DÉFINITION

Minimum : 0 % Uniquement si l'essence est considérée comme très bien adaptée à la station et aux conditions climatiques futures (même dans un scénario pessimiste).

Maximum : - 33 % Fort ralentissement de la croissance attendue des arbres, c'est-à-dire augmentation de la biomasse aérienne de seulement deux tiers de ce qui était initialement prévu. S'il est considéré que le risque de réduction de la croissance est plus fort, il faudrait envisager de réviser la donnée d'accroissement renseignée.

CRITÈRES DÉFINISSANT LA LOGIQUE D'APPLICATION

- Projections climatiques, notamment grâce à l'outil [ClimEssences](#) permettant d'évaluer la compatibilité d'une essence selon différents scénarios
- [Outil de visualisation des anomalies de croissance dans les forêts françaises](#) permettant de représenter l'évolution spatio-temporelle des moyennes et tendances de croissance d'une liste de 12 essences et de 10 zones géographiques sur une période choisie (IGN, 2023)
- Si possible, diagnostic stationnel

ABROUTISSEMENT DES PLANTATIONS



DÉFINITION

Le risque d'abrouissement traduit le risque que le stockage de carbone attendu par la croissance des plants mis en terre soit perdu ou amoindri par une pression d'abrouissement des grands ongulés. Il n'inclut pas le risque lié à une problématique de régénération naturelle, ceux-ci étant estimés négligeables pour l'estimation carbone sur une période maximale de 30 ans.

PRATIQUES

Seules les pratiques Boisement, Reboisement après catastrophe, Enrichissement dans des trouées existantes ou avec nécessité de créer des trouées sont concernées car l'abrouissement peut causer la disparition de tout ou partie des jeunes plants.

COMPARTIMENTS CARBONE

Biomasse aérienne



Biomasse racinaire



Bois mort



Sol et litière



Produits bois



SCÉNARIOS

Le risque ne concerne que les pratiques impliquant une plantation d'arbres. La réflexion doit être distincte entre le scénario de référence et du projet.

INTERVALLE DES MARGES DE SÉCURITÉ ET RAISONNEMENT SUR SA DÉFINITION

Minimum : 0 % Absence d'enjeu spécifique identifié ou protection efficace par une clôture ou des protections individuelles.

Maximum : - 25 % Forte pression des grands ongulés causant la perte d'un plant sur quatre sur une période de 30 ans. S'il est considéré que la pression des grands ongulés est supérieure, le choix de la plantation devrait être reconsidéré ou des protections efficaces doivent impérativement être installées.

CRITÈRES DÉFINISSANT LA LOGIQUE D'APPLICATION

Pression d'abrouissement connue. [La méthode de quantification des dégâts de l'initiative "Equilibre forêt-gibier"](#) peut être utilisée pour approcher le risque. Les schémas départements de gestion cynégétiques peuvent également servir de source d'information.

RISQUE DE NON-PERMANENCE DANS LA FILIÈRE BOIS

NON-PERMANENCE DANS LA FILIÈRE BOIS



DÉFINITION

Le risque de non-permanence dans la filière bois traduit le risque qu'un type de produits bois soit utilisé pour un autre usage que celui initialement prévu. En particulier, il s'agit du risque de non-respect de la hiérarchie des usages et d'une utilisation en bois énergie de produits bois qui pourraient être valorisés par des produits de plus longue durée de vie.

PRATIQUES

Seules les pratiques impliquant l'exploitation de produits bois de longue durée de vie sont concernées : Conversion de taillis en futaie, Conversion de futaie régulière à futaie irrégulière, Reboisement après catastrophe, Enrichissement avec nécessité de créer des trouées et Conservation de bois mort.

COMPARTIMENTS CARBONE

Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Bois mort	Sol et litière	Produits bois

SCÉNARIOS

La réflexion doit être distincte entre le scénario de référence et du projet, puisque certains types de sylvicultures favorisent une plus forte proportion de bois d'œuvre stockant plus durablement le carbone.

INTERVALLE DES MARGES DE SÉCURITÉ ET RAISONNEMENT SUR SA DÉFINITION

Minimum : 0 % Correspond à une zone où il n'y a pas de pression d'exploitation du fait du besoin en bois énergie ou en bois d'industrie.

Maximum : - 20 % Par exemple : forte pression locale pour l'exploitation de bois énergie ou de bois d'industrie et peuplement qui s'y prête, subvention aux pratiques susceptibles de compromettre la hiérarchie des usages...

CRITÈRES DÉFINISSANT LA LOGIQUE D'APPLICATION

- Proximité d'une usine sollicitant du bois énergie et du bois d'industrie
- Contexte économique des industries alternatives demandant du bois dans les 200 km alentour

VUE SYNTHÉTIQUE

Le tableau 4 reprend, par type de risque et aléas, les compartiments concernés (plus de détails dans le tableau 2), les pratiques affectées (plus de détails dans le tableau 3) et les marges de sécurité conseillées.

⬇ **Tableau 4.** Synthèse des risques et aléas, associés aux marges de sécurité, nécessaires pour estimer l'impact carbone durant la période de 30 ans d'un projet forestier.

RISQUES ET ALÉAS		PRATIQUES CONCERNÉES	COMPARTIMENTS CONCERNÉS	MARGE DE SÉCURITÉ
Risques généraux	 Incertitude sur les données et modèle	Toutes	Tous	-10 à -25 %
Risques de non-permanence dans la filière bois	 Instabilité des choix de gestion du propriétaire	Toutes	Tous	-1 à -25 %
Risques de non-permanence dans la filière bois	 Incendie	Toutes	Tous sauf les produits bois	-1 à -50 %
	 Dépérissement	Toutes hors Conservation d'arbres-habitats vivants, Libre évolution et Conservation de bois mort	Biomasses aérienne et racinaire	- 5 à - 50 %
	 Réduction de la croissance	Toutes	Biomasses aérienne et racinaire	0 à -33%
	 Tempête	Maintien de gros et très gros bois vivants, Allongement des durées de révolution, Conversion de taillis en futaie et Conversion de futaie régulière à futaie irrégulière	Biomasses aérienne et racinaire	0 à -15 %
	 Abroutissement des plantations	Boisement, Reboisement après catastrophe, Enrichissement dans des trouées existantes et avec nécessité de créer des trouées	Biomasses aérienne et racinaire	0 à -25 %
 Risque de non-permanence dans la filière bois		Conversion de taillis en futaie, Conversion de futaie régulière à futaie irrégulière, Reboisement après catastrophe, Enrichissement avec nécessité de créer des trouées et Conservation de bois mort	Produits bois	0 à -20 %

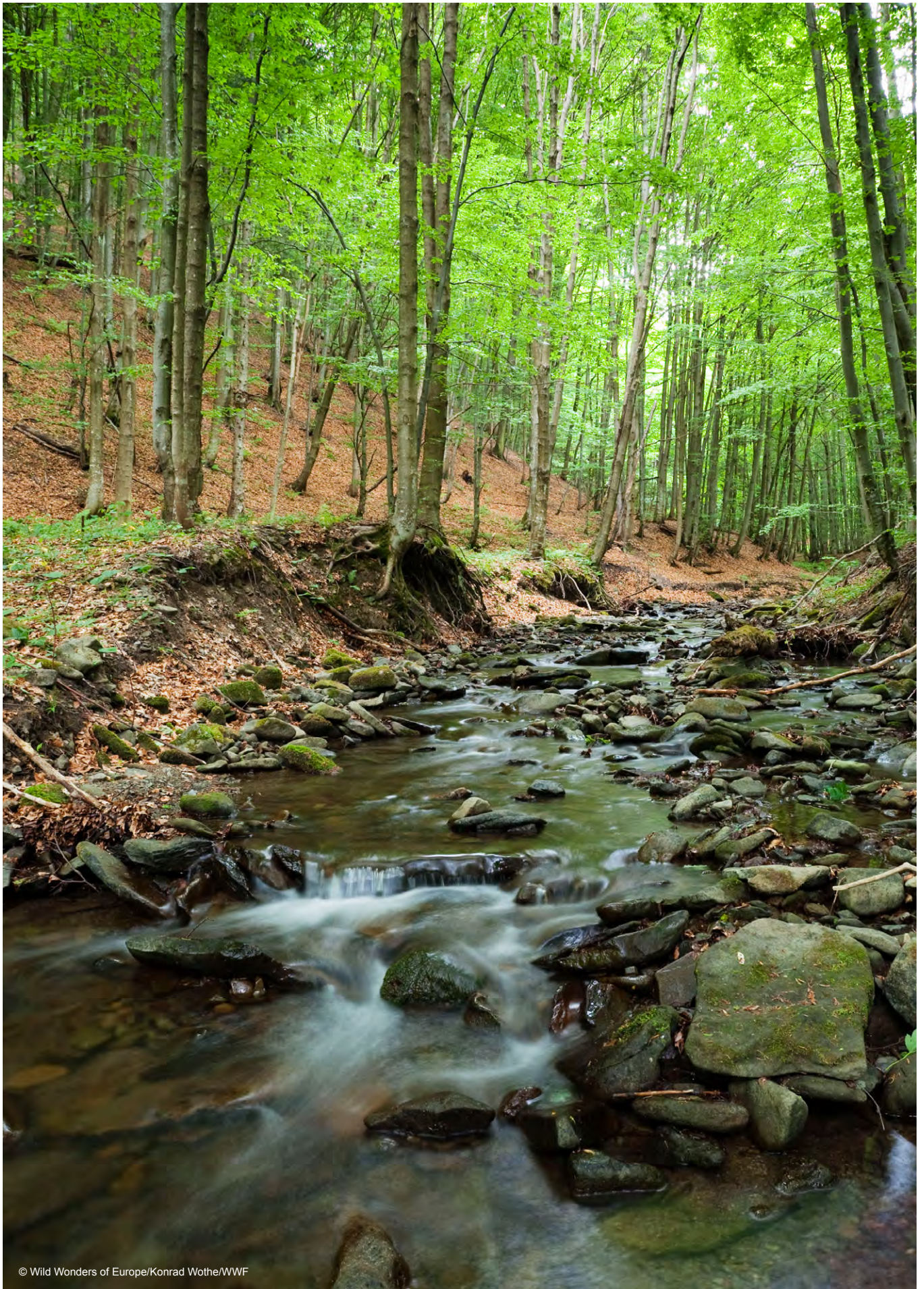
CONCLUSION

Ce rapport propose une approche nouvelle pour mieux réfléchir et prendre en compte les risques inhérents à un projet forestier en vue d'estimer son impact en termes de stockage de carbone additionnel. Cette démarche se veut à la fois plus flexible et plus claire que certaines propositions de systèmes internationaux de crédit carbone jugées trop complexes, tout en restant plus détaillée et réfléchie que les méthodes appliquant un pourcentage de risque arbitraire, sans analyse des aléas réels et de leurs conséquences sur les compartiments carbone de l'écosystème en question. Elle s'inscrit également dans une logique de pragmatisme : l'ambition et le niveau d'analyse doivent rester proportionnés à l'ampleur des projets considérés, une approche plus légère étant légitime pour des projets de petite taille.

L'analyse des risques proposée oriente la détermination des marges de sécurité, qui restent des choix que le WWF juge indispensables de faire collectivement (en s'appuyant sur la gouvernance du projet, ou du territoire, ou en réunissant des experts du sujet carbone forestier). Il s'agit de rechercher un équilibre entre exigence méthodologique, pertinence environnementale et pragmatisme opérationnel, afin de garantir la crédibilité de

l'impact carbone sans alourdir les frais de développement de projet. C'est une condition *sine qua non* afin d'éviter la surestimation artificielle de l'impact carbone, écueil fréquent lorsque la définition est unilatérale.

Par cette proposition, le WWF souhaite ouvrir le débat sur les pratiques en la matière. Celles-ci se résument souvent en France à une faible prise en compte des risques de surestimation du carbone séquestré par les projets forestiers. Cela risque de créer dans quelques années une situation de défiance envers la crédibilité sur la base de l'analyse des résultats des projets forestiers, par exemple vendus via le Label Bas-Carbone. Le WWF espère vivement que les principaux acteurs de projets revendiquant un impact carbone en France répondront à cet appel pour un échange sur l'outillage nécessaire à améliorer la fiabilité de l'estimation carbone des projets forestiers. Cela passe par des solutions pratiques garantissant au financeur l'additionnalité des projets, la définition du scénario de référence, l'absence d'effet d'aubaine, la réalité et la qualité des co-bénéfices du projet... et une approche prudente et fiable de l'estimation carbone d'un projet.



© Wild Wonders of Europe/Konrad Wothe/WWF

RÉFÉRENCES

- ACR. (2024). *Tool for reversal risk analysis and buffer pool contribution determination - Version 2.0*.
<https://acrcarbon.org/wp-content/uploads/2016/01/ACR-Risk-Tool-v2.0-2024-11-19.pdf>
- Anderegg, W., Trugman, A., Vargas Gutierrez, G., Wu, C. & Yang, L. (2025). Current Forest Carbon Offset Buffer Pool Contributions Do Not Adequately Insure Against Disturbance-Driven Carbon Losses. *Global Change Biology*, 31(6).
<https://doi.org/10.1111/gcb.70251>
- Chatry, C., Le Gallou, J.-Y., Le Quentrec, M., Lafitte, J.-J., Laurens, D. & Creuchet, B. (2010). *Rapport de la mission interministérielle : Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts*.
<https://foret.ign.fr/api-obs/upload/Chatry%202010%20Changement%20climatique%20et%20extension%20des%20zones%20sensibles%20aux%20feux%20de%20for%C3%AAts.pdf>
- Colin, F. & Riou-Nivert, P. (2009). Relations entre résistance au vent, descripteurs du peuplement et sylviculture. *Innovations Agronomiques*, 2009(6), 39-49.
<https://doi.org/10.17180/6620-3w53>
- Darteyron, L.-E. (2026). *Pratiques favorables au climat et à la biodiversité et définition de paramètres pour en estimer l'impact carbone*.
<https://www.wwf.fr/rapport-pratiques-favorables-au-climat-et-la-biodiversite>
- Darteyron, L.-E. & Vallauri, D. (2024). *Estimer l'impact carbone d'un projet forestier. Analyse des approches existantes et recommandations*.
<https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2024-07/Estimer%20l%27impact%20carbone%20d%27un%20projet%20forestier.pdf>
- Darteyron, L.-E. & Vallauri, D. (2025). *Guide pratique à l'attention des financeurs de projets carbone dans les forêts de l'Hexagone*.
https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2025-12/Guide_pratique_financeurs_projets_carbone_forestier.pdf
- Gold Standard. (2017). *Risks & Capacities Guideline for Land Use & Forest projects*.
https://globalgoals.goldstandard.org/standards/203G_V1.0_AR_LUF_Risks-Capacities-Guideline.pdf
- Greenfield, P. (2023, janvier 18). Revealed: more than 90% of rainforest carbon offsets by biggest certifier are worthless, analysis shows. *The Guardian*.
<https://www.theguardian.com/environment/2023/jan/18/revealed-forest-carbon-offsets-biggest-provider-worthless-verra-aoc>
- IGN. (2023). Les effets du changement climatique sur la croissance des forêts. *L'IF*, (49), 1-16.
https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/l_if_49_anomalies_v2.pdf
- Marland, G., Marland, E., Shirley, K., Cantrell, J. & Kiser, K. (2014). Valuing uncertainty part II: The impact of risk charges in dealing with time issues in life-cycle analysis and GHG accounting. *Carbon Management*, 5(1), 43-53.
<https://doi.org/10.4155/cmt.13.76>
- Martel, S., Mousset, P., Grimault, J., Bourdareau, H. & Tronquet, C. (2025). *Le Label Bas-Carbone : quel bilan après 6 ans d'existence ?*
https://www.i4ce.org/wp-content/uploads/2025/06/Le-Label-bas-carbone-quel-bilan-apres-6-ans-dexistence_V1.pdf
- Mayer, M., Baltensweiler, A., James, J., Rigling, A. & Hagedorn, F. (2023). A global synthesis and conceptualization of the magnitude and duration of soil carbon losses in response to forest disturbances. *Global Ecology and Biogeography*, 33(1), 141-150.
<https://doi.org/10.1111/geb.13779>
- Revertégat, C., Rigolot, E., Dupuy, J.-L., Dupire, S., Toutchkov, M., Ruffault, J., Deuffic, P., Boutte, B., Pimont, F. (2025). *Synthèse sur la vulnérabilité des peuplements forestiers au feu*.
<https://www.reseau-aforce.fr/sites/reseau-aforce/files/2025-07/Rapport-Vulnefeu04-compressed.pdf>
- Sanders-DeMott, R., Hutyra, L., Hurteau, M., Keeton, W., Fallon, K., Anderegg, W., Hollinger, D., Kuebbing, S., Lucash, M., Ordway, E., Vargas, R. & Walker, W. (2025). Ground-Truth: Can Forest Carbon Protocols Ensure High-Quality Credits? *Earth's Future*, 13(5).
<https://doi.org/10.1029/2024EF005414>
- Vallauri, D., Darteyron, L.-E. & Gentit, A. (2025). *Métriques d'impacts, version 1.2*.
<https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2025-09/Note%20MeCC%81triques%20d'impacts%20-%2020septembre%202025.pdf>
- VCS. (2024). *AFOLU Non-Permanence Risk Tool, v 4.2*.
<https://verra.org/wp-content/uploads/2023/10/AFOLU-Non-Permanence-Risk-Tool-v4.2-last-updated-May-3-2024.pdf>

Citation :

Darteyron L.-E. & Vallauri D. (2026). Définir des marges de sécurité pour fiabiliser l'estimation de l'impact carbone d'un projet forestier. Marseille, WWF, 32 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.

**DÉFINIR DES MARGES DE SÉCURITÉ
EST NÉCESSAIRE POUR GARANTIR
UNE ESTIMATION FIABLE ET
PRUDENTE DES IMPACTS CARBONE
D'UN PROJET FORESTIER.**

**CE RAPPORT PROPOSE UNE
APPROCHE ORIGINALE ET OBJECTIVE
POUR Y PARVENIR.**



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.