

LABEL BAS CARBONE

Méthode boisement

Version du 18/04/2019

Ce document est une Méthode pour des projets volontaires de boisement compatibles avec le label Bas-Carbone français, issu du programme *Vocal* et approuvé par le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). Cette Méthode a été rédigée par le Centre national de la propriété forestière (CNPf) dans le cadre du programme *Vocal*, cofinancé par l'Union européenne via le fonds européen de développement régional en Massif central.

Cette Méthode indique les différentes étapes à suivre pour la réalisation de projets de boisement compatibles avec le label Bas-Carbone, visant à développer les différents leviers d'atténuation du changement climatique dans la filière forêt-bois.

Table des matières

1. APPLICABILITE, DEFINITIONS, DUREE	3
1.1. BOISEMENT	3
1.2. DUREE DE PROJET	3
1.3. LE PORTEUR DE PROJET	4
1.4. SELECTION DES SOURCES/PUITS ET COMPARTIMENTS A PRENDRE EN COMPTE	4
2. CRITERES D'ELIGIBILITE	5
2.1. PIECES ELEMENTAIRES A FOURNIR SYSTEMATIQUEMENT	5
2.2. ELIGIBILITE DES BOISEMENTS	6
3. CHOIX DU SCENARIO DE REFERENCE ET DEMONSTRATION DE L'ADDITIONNALITE	7
3.1. CHOIX DU SCENARIO DE REFERENCE	7
3.2. DEMONSTRATION DE L'ADDITIONNALITE	8
3.2.1. <i>Analyse légale et des aides publiques existantes</i>	8
3.2.2. <i>Analyse économique</i>	9
4. INTEGRITE ENVIRONNEMENTALE.....	11
5. INTEGRATION DU RISQUE DE NON-PERMANENCE	13
5.1. RISQUE DE DEPERISSEMENT/INADEQUATION A LA STATION	13
5.2. RISQUES GENERAUX, DIFFICILEMENT MAITRISABLES.....	13
5.3. RISQUE D'INCENDIE	13
5.4. RISQUE DU AU GIBIER	15
6. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS GENERABLES	16
6.1. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS ANTICIPEES GENERABLES	16
6.1.1. <i>REA générables du fait de la séquestration du carbone par l'écosystème forestier</i>	16
6.1.2. <i>REA générables du fait du stockage du carbone dans les produits bois récoltés</i>	17
6.2. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS DE L'EMPREINTE GENERABLES	18
7. QUANTIFICATION CARBONE DES ITINERAIRES	21
7.1. QUANTIFICATION GENERALE DU CARBONE	21
7.1.1. <i>Estimation de la biomasse aérienne (B_A)</i>	21
7.1.2. <i>Estimation de la biomasse racinaire (B_R)</i>	21
7.1.3. <i>Taux de carbone dans la matière sèche</i>	22
7.1.4. <i>Estimation du stock de carbone dans les sols (S)</i>	22
7.1.5. <i>Estimation du stock de carbone dans la litière (L)</i>	23
7.1.6. <i>Estimation du stock de carbone dans le bois mort (M)</i>	23
7.2. MODELISATION DE L'EVOLUTION DU CARBONE DANS LE SCENARIO DE REFERENCE	23
7.2.1. <i>Cas de la poursuite de l'agriculture</i>	23
7.2.2. <i>Cas de la colonisation naturelle/enfrichement</i>	23
7.3. MODELISATION DE L'EVOLUTION DU CARBONE DANS L'ITINERAIRE DE BOISEMENT	24
8. VERIFICATION.....	25
8.1. VERIFICATION DOCUMENTAIRE PAR UN AUDITEUR	25
8.2. VERIFICATION ADDITIONNELLE DE TERRAIN PAR UN AUDITEUR	25
9. REDUCTIONS D'EMISSIONS ANTICIPEES « FORET » GENERABLES ET GENEREES APRES APPLICATION DES RABAIS ...	27
10. BILAN DES ELEMENTS A FOURNIR	28
ANNEXE 1 : COEFFICIENT DE SUBSTITUTION POUR LE PEUPLIER.....	29
ANNEXE 2 : COEFFICIENT DE SUBSTITUTION POUR LE PIN MARITIME EN GESTION DYNAMIQUE (OU INTENSIVE)	29
ANNEXE 3 : INFRADENSITES RECOMMANDEES POUR LES PRINCIPALES ESSENCES FRANÇAISES	30
ANNEXE 4 : METHODE DE QUANTIFICATION D'UN VOLUME TOTAL	31
ANNEXE 5 : ÉQUATIONS POUR L'ESTIMATION DE LA BIOMASSE RACINAIRE.....	33
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	34

1. Applicabilité, définitions, durée

Cette Méthode s'applique à des projets forestiers ayant vocation à lutter contre le changement climatique, en France (ensemble du territoire français).

Les projets éligibles ne sont pas tenus de suivre la définition de boisement au sens de « terre n'ayant pas porté de forêt pendant au moins 50 ans » des Accords de Marrakech.

De fait, il en découle les définitions suivantes.

1.1. Boisement

On entend par « boisement » la conversion anthropique directe en terres forestières de terres qui ne l'étaient pas 10 ans auparavant. Ce délai permet de s'assurer que les parcelles ne sont pas soumises à l'obligation de reconstitution sous cinq ans (découlant de l'article L124-6 du Code forestier¹).

Si la parcelle est constituée par des accrus ou des broussailles ne dépassant pas un volume bois fort estimé à 15 m³/ha², le projet sera éligible à un boisement. Dans ce cas, le Porteur de projet fournira une estimation du volume ou justifiera que celui-ci est négligeable, photographie et orthophoto à l'appui.

La surface minimale pour un boisement est fixée à **0,5 ha** pour une parcelle ou groupe de parcelles attenantes.

Situation : un Porteur de projet déposant un projet bas-carbone en 2018 pour boiser une parcelle actuellement nue mais qui était forestière en 2015 ne serait donc pas éligible.

➔ *Le Porteur de projet justifiera la nature de ces parcelles par l'utilisation d'orthophotos (avec si possible superposition du fond cadastral) datant d'au moins dix ans en utilisant notamment celles fournies par l'IGN (www.remonterletemps.ign.fr) ou par tout autre moyen de son choix jugé pertinent.*

1.2. Durée de projet

Par dérogation à la partie IV.C du référentiel du label Bas-Carbone, la durée pour un projet de boisement est de **30 années, quels que soient l'essence, la région, la fertilité et l'itinéraire sylvicole**. Cette durée est celle sur laquelle est réalisé le calcul des réductions d'émissions (RE) générables par le projet.

Tous les engagements du Porteur de projet reposent *a minima* sur cette période. Il en découle que le Porteur de projet s'engage à respecter l'état boisé pendant au moins 30 ans et à en informer, le cas échéant, le propriétaire suivant.

¹

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000025245853&cidTexte=LEGITEXT000025244092>

² L'analyse des données d'inventaire forestier de l'IGN sur la période 2009-2013 (en écartant les placettes présentant moins de 5 arbres) montre que le volume correspondant à la moyenne du centile inférieur en termes de circonférence moyenne est de 15 m³/ha. Par conséquent, on considérera la parcelle embroussaillée comme non boisée (donc éligible à la présente Méthode) si le volume bois fort des accrus est inférieur à 15 m³/ha.

1.3. Le Porteur de projet

Le Porteur de projet est l'entité qui porte le projet éligible à la présente Méthode, remplit le document de projet et fait la demande de certification auprès de l'Autorité (entité en charge de la validation).

Toute personne, qu'elle soit de droit privé ou de droit public, peut être un Porteur de projet. Cela peut être un propriétaire en nom propre, une association de regroupement des propriétaires forestiers (ASL, ASLGF...), un groupement forestier (de petits porteurs, familial...), un groupement foncier agricole (GFA), un groupement foncier rural (GFR), une société civile immobilière (SCI), une indivision, une fondation, une association, un organisme, un établissement public, un établissement public de coopération intercommunale (EPCI), une coopérative, une collectivité (propriétaire de forêt communale, départementale, sectionale, etc.), l'État (forêts domaniales)...

Le Porteur de projet peut se faire aider par une tierce entité (GFP, expert forestier...) pour remplir le document de projet.

1.4. Sélection des sources/puits et compartiments à prendre en compte

Les compartiments forestiers pour la quantification du carbone retenus sont les suivants :

- Biomasse aérienne ;
- Biomasse racinaire ;
- Litière ;
- Bois mort ;
- Carbone organique du sol.

Cette Méthode préconise l'intégration systématique des réservoirs de la biomasse aérienne et racinaire de la strate arborée (les autres strates pourront être négligées). Les réservoirs de la litière et du sol seront pris en compte tandis que celui du bois mort sera négligé. L'inclusion du stockage du carbone dans les produits bois espérés ainsi que les effets de substitution énergie et matériau sont facultatifs. Les gaz à effet de serre (GES) dus à l'exploitation forestière seront négligés (cf. tableau 1).

Source/Puits	GES	Inclusion	Justification	Type de RE
Séquestration de carbone dans la biomasse aérienne	CO ₂	Oui		Anticipées
Séquestration de carbone dans la biomasse racinaire	CO ₂	Oui		Anticipées
Séquestration de carbone dans le bois mort	CO ₂	Non	Négligeable (très peu de bois mort dans les 30 premières années suivant un boisement)	Anticipées
Séquestration de carbone dans la litière	CO ₂	Oui		Anticipées
Séquestration de carbone dans le sol	CO ₂	Oui		Anticipées
Séquestration dans les produits bois	CO ₂	Facultatif		Anticipées
Combustion de combustibles fossiles	CO ₂ CH ₄	Non	Source mineure (González-García et al., 2014)	-

Engrais azotés	CO ₂ NO ₂	Non	L'utilisation d'engrais est extrêmement rare en forêt française	-
Substitution à des produits ou énergies plus émetteurs que le bois	CO ₂ CH ₄	Facultatif		Empreinte

TABEAU 1. — Les puits et sources de carbone à inclure selon les compartiments forestiers.

2. Critères d'éligibilité

Cette partie détermine les éléments à fournir pour être éligible.

Si une des conditions sous-mentionnées (identification claire des parcelles cadastrales et de leur propriétaire, document de gestion durable) manque lors du dépôt de dossier, **celui-ci sera systématiquement rejeté par l'Autorité**. Toutefois, le Porteur de projet pourra corriger les éléments manquants de son dossier et faire un nouveau dépôt.

2.1. Pièces élémentaires à fournir systématiquement

Le Porteur de projet doit fournir une **matrice cadastrale** de moins d'un an justifiant la propriété des parcelles objet du projet de boisement ou un **acte notarié**.

Dans le cas d'une structure de regroupement de propriétaires (type ASL) ou de la gérance d'une société (GF, SCI...), une **délibération** datant de moins d'un an et attestant de l'habilitation du représentant ou du gérant doit être jointe.

Le Porteur de projet doit s'engager à doter les parcelles du projet de boisement d'un **document de gestion durable** : aménagement forestier, plan simple de gestion ou règlement type de gestion ou code de bonnes pratiques sylvicoles (L124-1 et L124-2 du Code forestier). Ces documents présentent des garanties de gestion durable (aménagement, PSG, RTG) ou des présomptions de garantie de gestion durable (CBPS). Deux situations sont possibles :

- 1) Le Porteur de projet est déjà propriétaire forestier ;
- 2) Le Porteur de projet n'est pas propriétaire forestier (exemple : un agriculteur souhaitant boiser certains de ses terrains).

Si le Porteur de projet est déjà propriétaire forestier, il devra fournir au moment de la demande de validation :

- Pour une forêt dotée d'un PSG, la décision d'agrément du PSG par le conseil de centre du CRPF ;
- Pour une forêt dotée d'un CBPS, le courrier du CRPF notifiant l'adhésion du propriétaire au code de bonnes pratiques sylvicoles ;
- Pour une forêt dotée d'un RTG, la décision d'agrément du RTG par le conseil de centre du CRPF et l'adhésion du propriétaire au RTG (signée par le propriétaire et le rédacteur) ou, en son absence, la copie du RTG ;

- Pour toute forêt de collectivité, l'arrêté d'aménagement portant approbation du document d'aménagement de la forêt de la collectivité par le préfet de Région ;
- Pour toute forêt domaniale, l'arrêté d'aménagement portant approbation du document d'aménagement de la forêt domaniale par le ministre en charge des forêts.

Le Porteur de projet devra réaliser un **avenant au document de gestion** en cours de validité pour intégrer les parcelles nouvellement boisées, dans les douze mois au plus tard à compter de la date de réception des travaux de boisement. Le Porteur de Projet doit envoyer à l'Autorité cet avenant une fois finalisé.

Si le Porteur de projet n'est pas déjà propriétaire forestier :

- Pour les forêts privées, il devra faire rédiger un PSG, RTG ou CBPS et il enverra les justificatifs susmentionnés à l'Autorité dans les douze mois au plus tard à compter de la date de réception des travaux de boisement.
- Pour les forêts publiques : le Porteur de projet fera rédiger un aménagement et il enverra l'arrêté d'aménagement à l'Autorité dans les douze mois au plus tard à compter de la date de réception des travaux de boisement.

2.2. Eligibilité des boisements

Depuis le 1^{er} janvier 2017, tout projet de boisement de plus de 0,5 ha est soumis à un examen au cas par cas par l'autorité environnementale (article R 122-3 et suivants du Code de l'environnement³) qui décide si le projet nécessite ou non la réalisation d'une évaluation environnementale (l'absence de réponse dans un délai de 35 jours valant obligation de réaliser l'évaluation environnementale). Préalablement à tout dépôt du document de projet auprès du validateur du label Bas-Carbone, le Porteur de projet fournira une **copie de l'arrêté préfectoral** portant décision d'examen au cas par cas en application de l'article R 122-3 du Code de l'environnement. Si une étude d'impact est exigée, le Porteur de projet fournira la décision d'autorisation de l'administration concernant son projet de boisement.

Les projets doivent en outre respecter la réglementation applicable mais aussi suivre les bonnes pratiques recommandées par les politiques publiques, notamment le **respect des arrêtés MFR** (matériels forestiers de reproduction) consultables sur le site internet du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation⁴.

Les travaux prévus (ex : boiser une lande) dans un document de gestion durable sont éligibles à la présente Méthode, à condition qu'ils n'aient pas débuté avant la date de réception de la Notification par l'Autorité (cf. partie III.C.1. de l'arrêté du 28 novembre 2018 définissant le référentiel du label « Bas-Carbone ») et qu'ils respectent les conditions prévues par la Méthode, notamment en ce qui concerne la démonstration de l'additionnalité.

³ Article R122-3 du Code de l'environnement

Instruction technique DGPE/SDFCB/2017-295 : <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2017-295>

⁴ <https://agriculture.gouv.fr/materiels-forestiers-de-reproduction-arretes-regionaux-relatifs-aux-aides-de-letat-linvestissement>

3. Choix du scénario de référence et démonstration de l'additionnalité

3.1. Choix du scénario de référence

Le référentiel du label Bas-Carbone définit le scénario de référence (III.C.1) :

« Le scénario de référence doit correspondre à une situation au moins aussi défavorable que l'application :

- des obligations découlant des textes législatifs et réglementaires en vigueur ;
- des différentes incitations à générer des réductions d'émissions qui existent, autres que celles découlant du Label. Il s'agit notamment des incitations économiques, qu'elle qu'en soit l'origine ;
- des pratiques courantes dans le secteur d'activité correspondant au Projet, à l'échelle nationale ou régionale selon ce qui est pertinent. La Méthode précisera comment ces pratiques ont été déterminées, en se limitant aux données disponibles à la date du dépôt de la demande d'approbation. »

Pour décrire le scénario de référence, le Porteur de projet devra définir l'évolution des terrains sur lesquels sont prévus les boisements.

Deux cas peuvent être envisagés :

- Une évolution naturelle des parcelles par un embroussaillage ou une colonisation arbustive progressive (exemple : jachères, terres de déprise agricole...). Le Porteur de projet devra déterminer un accroissement moyen de cette évolution naturelle, cohérent avec les dynamiques rencontrées dans la région.
- La poursuite de la culture du terrain (grandes cultures, maraîchage, prairie...). Le Porteur de projet, en l'absence d'aide pour le boisement, peut estimer qu'il aurait poursuivi une activité agricole sur son terrain. Dans ce cas-là, le scénario de référence sera la poursuite de l'activité agricole.

Les boisements ne concerneront que ces deux cas (d'éventuels boisements sur terres artificialisées ou sur des stations de skis... ne sont pas éligibles).

Option 1 : embroussaillage, le scénario à l'échelle nationale

Le scénario de référence à l'échelle nationale est un embroussaillage/colonisation lente de la parcelle à boiser. La plupart des boisements se font en effet sur des terres dont l'usage n'était déjà plus agricole 8 ans avant (Agreste, 2014). 20 % des terres en friches en 2006 ont atteint un état boisé en 2014. Il s'agit probablement d'accrus naturels dans la plupart des cas. **Aucun rabais n'est appliqué dans la mesure où c'est le scénario le plus conservateur.**

Option 2 : poursuite de l'activité agricole

La poursuite d'une activité agricole (y compris prairies et pâturages) peut également être un scénario de référence possible. Le cas échéant, elle devra être justifiée par la fourniture de deux photographies récentes (datant d'un an maximum avant la date de dépôt du document de projet) des terrains : vue du sol et vue du ciel (avec si possible fond cadastral superposé).

3.2. Démonstration de l'additionnalité

Le référentiel du label Bas-Carbone définit l'additionnalité (III.C.1) : « *Pour démontrer l'additionnalité des réductions d'émissions, la Méthode définit un scénario de référence. Seules les réductions d'émissions allant au-delà de ce scénario de référence sont reconnues dans le cadre du Label.* »

L'additionnalité consiste à démontrer que le projet va au-delà des obligations légales et des pratiques courantes et qu'en l'absence de participation d'un financeur, via l'achat de réductions d'émissions certifiées, les réductions d'émissions n'auraient pas eu lieu.

3.2.1. Analyse légale et des aides publiques existantes

Le Porteur de projet doit assurer à l'Autorité que son projet de boisement ne fait pas partie d'une mesure compensatoire de boisement, prévue à l'[article L341-6 du Code forestier](#) et qu'il n'entre pas dans le cas d'une obligation réelle environnementale, prévue à l'article L132-3 du Code de l'environnement.

Par ailleurs, si le projet est situé dans une commune faisant partie d'une réglementation de boisements (article L126-1⁵ du Code rural et de la pêche maritime), le Porteur de projet devra s'assurer que la réglementation n'interdit pas le boisement, sinon le projet ne sera pas recevable.

Enfin, le Porteur de projet ne saurait ignorer toutes les réglementations existantes pouvant empêcher ou contraindre un boisement (articles L122-7 et L122-8 du Code forestier).

Le Porteur de projet devra inventorier les aides publiques auxquelles il est potentiellement éligible pour son projet de boisement et démontrer qu'elles sont insuffisantes parce que :

- aucune subvention liée au boisement n'est proposée, qu'elle soit départementale, régionale ou nationale ;
- il ne rentre pas dans les critères d'éligibilité des aides publiques existantes ;
- les aides proposées pour les boisements sont insuffisantes au regard de l'investissement chiffré dans le projet de boisement. À ce titre, une enquête statistiquement significative des comportements des propriétaires du Massif central a démontré qu'en dessous de 50 % d'aide, les propriétaires sont peu enclins à s'engager dans les travaux de boisement (Didot, 2017⁶). On retiendra donc ce seuil comme limite à l'investissement pour le propriétaire.

Exemple 1 : si le coût du boisement du Porteur de projet est estimé à 3 000 €/ha et qu'il existe une aide publique pour le boisement à hauteur de 80 % (soit 2 400 € financés), alors le projet ne sera pas additionnel et sera rejeté car l'aide existante est estimée suffisante pour la réalisation du projet.

Exemple 2 : s'il existe une aide publique à hauteur de 40 % pour réaliser des boisements estimés à 6 000 €/ha (soit 2 400 € financés) alors l'aide existante sera jugée insuffisante pour la réalisation du projet de boisement et l'additionnalité pourra être démontrée.

⁵ [Article L126-1 du Code rural et de la pêche maritime](#) : Afin de favoriser une meilleure répartition des terres entre les productions agricoles, la forêt, les espaces de nature ou de loisirs et les espaces habités en milieu rural et d'assurer la préservation de milieux naturels ou de paysages remarquables, les conseils départementaux peuvent, après avis des chambres d'agriculture et du Centre national de la propriété forestière, définir :

Les zones dans lesquelles des plantations et des semis d'essences forestières ou dans lesquelles la reconstitution après coupe rase peuvent être interdits ou réglementés ; lorsqu'elles s'appliquent à des terrains déjà boisés, les interdictions ou réglementations ne peuvent concerner que des parcelles boisées isolées ou rattachées à un massif dont la superficie est inférieure à un seuil de surface par grande zone forestière homogène défini par le conseil départemental après avis du Centre national de la propriété forestière et de la chambre d'agriculture selon des modalités fixées par décret en Conseil d'Etat, sur la base des motifs visés au premier alinéa. Les interdictions et les réglementations ne sont pas applicables aux parcs ou jardins attenants à une habitation. [...]

⁶ <https://www.cnpf.fr/data/lesforestiersmassifcentral.pdf>

Ainsi, pour un même montant d'aide publique (2 400 € dans ces exemples), deux projets peuvent être jugés éligibles ou non au regard de l'additionnalité.

Les aides autres que les aides publiques ne sont pas prises en compte pour la présente analyse.

L'analyse légale et des aides publiques existantes est obligatoire.

3.2.2. Analyse économique

Pour éviter les effets d'aubaine, il convient d'effectuer une démonstration financière de l'additionnalité, autrement dit il faut démontrer que le projet de boisement n'est pas la solution la plus rentable par rapport au scénario de référence.

Option 1 : le Porteur de projet ne fait pas d'analyse économique

Le Porteur de projet ne fait pas d'autre analyse que celle des aides existantes pré-exposée (3.1.). Un rabais de 5 % est alors appliqué.

Option 2 : un calcul des valeurs actualisées nettes (VAN)

Le Porteur de projet peut opter pour un scénario de référence à l'échelle du projet. Le cas échéant, il réalisera un bilan financier des différentes alternatives possibles (exemples : accru naturel, boisement, poursuite d'une activité agricole, urbanisation...) pour déterminer la plus rentable. L'alternative la plus rentable sera alors le scénario de référence.

Autrement dit, pour que le projet de boisement soit jugé additionnel, il devra être moins rentable que la poursuite de l'agriculture ou que l'embroussaillage/colonisation lente de la parcelle. Pour ce faire, le Porteur de projet utilisera les équations suivantes (1, 2 ou 3) pour les calculs.

Bilan financier d'un accru naturel :

$$VAN_{accru} = \frac{V_f \times P}{(1 + r)^{AM}} \times 1,3$$

Équation 1

Avec :

VAN = valeur actualisée nette (en €) ;

V_f = volume commercialisable à l'âge de la coupe (en m³) ;

P = prix moyen du m³ de bois à l'âge de la coupe (en €/m³) ;

AM = accroissement moyen (en m³/ha/an) ;

r = taux d'actualisation fixé par défaut à 4,5 % ;

1,3 = coefficient moyen d'ajustement pour les revenus des éclaircies.

Bilan financier d'un boisement :

$$VAN_{boisement} = \sum_{i=0}^n \frac{R_i - C_i}{(1 + r)^i}$$

Équation 2

Avec :

VAN = valeur actualisée nette (en €) ;

R_i = recettes liées au projet (en €). Elles concerneront la vente des bois issus des éclaircies jusqu'à la coupe finale ;

C_i = dépenses liées au projet de boisement (en €). Cela comprend le broyage éventuel, l'achat des plants, l'opération de plantation, les dégagements des plants, les coûts liés aux éclaircies...

r = taux d'actualisation fixé par défaut à 4,5 % ;

n = durée de révolution de l'essence plantée (pour la plupart des essences, $n > 30$ ans).

Bilan financier d'une exploitation agricole :

$$VAN_{culture} = B \times \frac{1}{r}$$

Équation 3

Avec :

VAN = valeur actualisée nette ;

B = marge nette moyenne sur les cinq dernières années de l'exploitation agricole précédant le boisement telle que justifiée par son expert-comptable ;

r = taux d'actualisation fixé par défaut à 4,5 %.

NB : Les aides publiques auxquelles le Porteur de projet serait éventuellement éligible devront être intégrées dans les calculs économiques des VAN .

L'additionnalité économique sera démontrée si $\Delta VAN < 0$. Avec :

$$\Delta VAN = VAN_{boisement} - VAN_{culture} \quad \text{ou} \quad \Delta VAN = VAN_{boisement} - VAN_{accru}$$

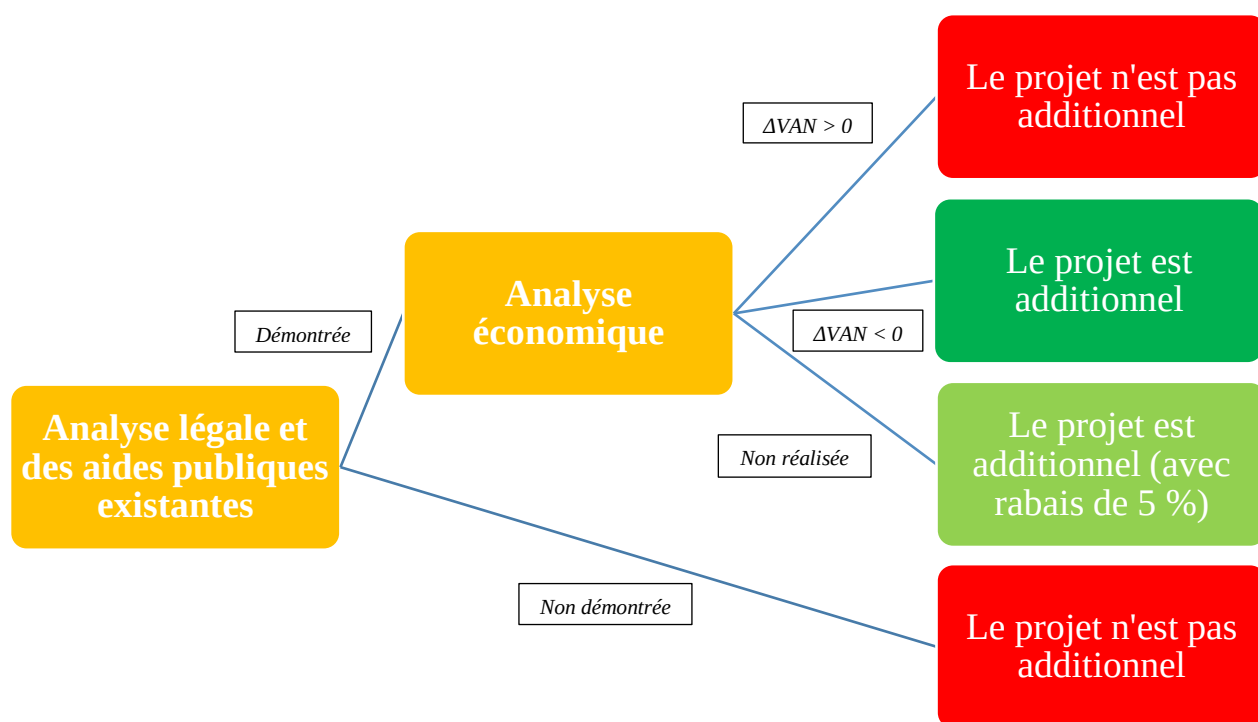


FIGURE 1. — Bilan des étapes de démonstration de l'additionnalité d'un projet carbone.

4. Intégrité environnementale

Un premier filtre des projets est réalisé par l'autorité environnementale avec l'article R122-3 du Code de l'environnement qui aura préalablement étudié au cas par cas le projet de boisement du propriétaire et l'aura exempté ou non d'évaluation environnementale. Dans tous les cas, un projet déposé auprès du label Bas-Carbone sera un projet qui a été soit exempté de réalisation d'étude d'impact par la DREAL compétente soit qui aura présenté une évaluation environnementale ayant fait l'objet d'une autorisation motivée par la DREAL compétente (au titre des articles R 122-2 et suivants du Code de l'environnement).

Conformément au référentiel du label Bas-Carbone, la Méthode doit fournir une « grille d'évaluation des impacts et des co-bénéfices, socio-économiques et environnementaux, notamment sur la biodiversité » (partie III.B) et définir « des indicateurs simples pour démontrer que les éventuels impacts environnementaux, sociaux ou économiques sont maîtrisés » (partie III.F).

Les Porteurs de projet se référeront à la grille d'analyse présente dans le tableau 2 et qui répertorie quatre niveaux de co-bénéfices : socio-économiques, sur la préservation des sols, sur la biodiversité et sur l'eau. Cette grille regroupe des actions pouvant valoriser des co-bénéfices, avec un système de bonus pouvant rapporter au projet entre 1 et 5 points.

Tous les items ne concerneront pas un projet donné. Par exemple, un boisement sur une parcelle ne figurant à proximité d'aucun captage d'eau potable ni de cours d'eau ni de zone humide ne sera pas concerné par le co-bénéfice sur la préservation de la ressource en eau.

Les totaux devront être effectués au niveau de chacune des quatre catégories. Il n'y aura pas lieu d'additionner les totaux des quatre catégories de co-bénéfices ; cette somme n'aurait aucune signification.

Pour chaque catégorie de co-bénéfice, le Porteur de projet pourra proposer des co-bénéfices supplémentaires inhérents à son projet ; chaque co-bénéfice ajouté ne pourra rapporter qu'un seul point. Ces co-bénéfices seront suivis et vérifiés, tel qu'indiqué par la partie III.F. du référentiel : « les indicateurs sont communiqués à l'Autorité dans le rapport de suivi et font l'objet de vérifications par un auditeur à l'occasion des vérifications de réductions d'émissions ». Par conséquent, le Porteur de projet devra avoir en tête que **chaque co-bénéfice ajouté devra être facilement vérifiable par l'auditeur** qui réalisera la vérification (partie 8), au risque d'engendrer un surcoût qu'il devra supporter financièrement au moment de la vérification.

N°	Type de co-bénéfice	Intitulé	Critère d'évaluation	Bonus/ Malus	Nombre de points
1	Socio-économique	Création de plus-value économique territoriale (1/2)	La majorité des entreprises de travaux forestiers (ETF) retenues sont situées dans un rayon de 50 km autour du chantier de boisement	Bonus	+ 3
2	Socio-économique	Création de plus-value économique territoriale (2/2)	La majorité des entreprises de travaux forestiers (ETF) retenues sont situées dans un rayon entre 50 et 100 km autour du chantier de boisement	Bonus	+ 2
3	Socio-économique	Intégration par l'emploi	Une partie des travaux sera réalisée par des entreprises de réinsertion professionnelle ou d'aide à l'emploi de personnes en situation de handicap	Bonus	+ 5

4	Socio-économique	Filtration de l'air en zone urbaine	Le boisement est localisé sur le territoire d'une communauté d'agglomération, d'une communauté urbaine ou d'une métropole	Bonus	+ 1
5	Socio-économique	Certification forestière	Adhésion à une certification de gestion durable (PEFC, FSC...)	Bonus	+ 5
6	Socio-économique	Regroupement de la gestion forestière	Le boisement a lieu dans le cadre d'un projet collectif de regroupement de plusieurs propriétaires (ASLGF, GIEEF...)	Bonus	+ 5
7	Socio-économique	Assurance forestière	Le propriétaire a souscrit une assurance forestière, en particulier en cas d'incendie et tempête qui couvre une partie des frais de reboisement	Bonus	+ 2
8	Préservation des sols	Préparation du sol (1/2)	Préparation du sol en bandes	Bonus	+ 2
9	Préservation des sols	Préparation du sol (2/2)	Préparation du sol par potets travaillés	Bonus	+ 4
10	Biodiversité (environnement)	Introduction de biodiversité (1/3)	Boisement avec 3 essences (ou plus), dont au moins 2 essences autochtones représentent au moins 40 % des plants	Bonus	+ 5
11	Biodiversité (environnement)	Introduction de biodiversité (2/3)	Boisement en mélange de 2 essences, avec au moins 10 % des plants avec une essence autochtone	Bonus	+ 1
12	Biodiversité (environnement)	Introduction de biodiversité (3/3)	Création de bordures feuillues linéaires (routes, chemins, limites de parcelles)	Bonus	+ 1
13	Biodiversité (environnement)	Préservation de la biodiversité préexistante	Maintien de bordures boisées présentes à proximité des parcelles à boiser	Bonus	+ 2
14	Eau (environnement)	Prise en compte de milieux aquatiques ou humides (1/2)	Choix d'essences adaptées aux bordures de milieux aquatiques (ruisseaux, mares, étangs) et zones humides éventuellement présentes (justifier leur adéquation)	Bonus	+ 1
15	Eau (environnement)	Prise en compte de milieux aquatiques ou humides (2/2)	Le boisement résineux est effectué à plus de 10 m de la bordure d'un cours d'eau	Bonus	+ 1
16	Eau (environnement)	Amélioration de la qualité de l'eau	Boisement en périmètre de protection rapproché (PPR) ou éloigné (PPE) de captage d'eau	Bonus	+ 3
17	Eau (environnement)	Amélioration de la biodiversité liée aux milieux humides	Restauration de milieux humides (curage de mardelles, mares...) ou création <i>ex nihilo</i> d'une ripisylve feuillue	Bonus	+ 5

TABLEAU 2. — Grille d'évaluation des co-bénéfices sociaux, économiques et environnementaux avec bonus afférents.

NB : pour savoir si une essence est autochtone ou allochtone, on consultera les tomes de la *Flore forestière française*, référence en la matière, pour connaître l'aire naturelle indiquée au paragraphe « distribution géographique ». Si celle-ci est hors de France, l'espèce sera considérée allochtone.

5. Intégration du risque de non-permanence

Conformément au label Bas-Carbone (V.B), le projet devra intégrer le risque de non-permanence ; c'est-à-dire le risque d'émissions de carbone imprévues : tempête, incendie, attaques sanitaires, dépérissement...

Le risque de non-permanence ne sera pas intégré dans les modèles de croissance de la biomasse, pour des raisons évidentes de complexité pour le Porteur de projet. La non-permanence sera prise en compte sous la forme de rabais pour chacun des risques identifiés.

5.1. Risque de dépérissement/inadéquation à la station

Un des principaux risques concernant le boisement est d'installer un peuplement qui ne soit pas adapté à la station (sol) ou aux conditions climatiques. Pour tenir compte de ce risque, il est dans l'intérêt du Porteur de projet de s'en prémunir. Aucun rabais ne sera pratiqué sur ce risque de non permanence dans la mesure où l'autorité environnementale (DREAL) émet préalablement au projet un avis qui tient compte notamment du choix des essences envisagées.

5.2. Risques généraux, difficilement maîtrisables

Un certain nombre de risques de non-permanence sont généraux et difficilement quantifiables ou maîtrisables. Ils comprennent notamment les risques sanitaires (scolytes, ravageurs, maladies...), les tempêtes, et une décision de déboisement anticipée liée ou non à ce type de catastrophe naturelle. Toutefois, **l'encadrement légal et technique de la gestion forestière en France limite plus fortement qu'ailleurs les impacts carbone de tels risques**. Conformément à la partie V.B du référentiel du label Bas-Carbone, un rabais forfaitaire de **10 %**, correspondant à la fourchette basse de la gamme de 10 à 40 % observée dans les labels internationaux, est systématiquement appliqué pour prendre en compte ces risques.

5.3. Risque d'incendie

Le risque d'incendie ne concernera que les départements considérés à risque par l'article L133-1 du Code forestier⁷ (voir tableau 3).

Pour les départements ne figurant pas dans la liste ci-dessous, le risque d'incendie sera considéré comme négligeable et aucun rabais ne sera appliqué pour les boisements concernés.

Région	Département
Corse	Corse-du-Sud (2A)
	Haute-Corse (2B)
	Alpes-de-Haute-Provence (04)

⁷ Article L133-1 du Code forestier : « Sont réputés particulièrement exposés au risque d'incendie les bois et forêts situés dans les régions Aquitaine, Corse, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes, Provence-Alpes-Côte d'Azur et dans les départements de l'Ardèche et de la Drôme, à l'exclusion de ceux situés dans des massifs forestiers à moindres risques figurant sur une liste arrêtée par le représentant de l'État dans le département, après avis de la commission départementale compétente en matière de sécurité. [...] »

Provence-Alpes-Côte d'Azur	Hautes-Alpes (05)
	Alpes-Maritimes (06)
	Bouches-du-Rhône (13)
	Var (83)
	Vaucluse (84)
Occitanie	Ariège (09)
	Aude (11)
	Aveyron (11)
	Gard (30)
	Haute-Garonne (31)
	Gers (32)
	Hérault (34)
	Lot (46)
	Lozère (48)
	Hautes-Pyrénées (65)
	Pyrénées-Orientales (66)
	Tarn (81)
	Tarn-et-Garonne (82)
Auvergne-Rhône-Alpes	Ardèche (07)
	Drôme (26)
Nouvelle-Aquitaine	Charente (16)
	Charente-Maritime (17)
	Dordogne (24)
	Gironde (33)
	Landes (40)
	Lot-et-Garonne (47)
	Pyrénées-Atlantiques (64)
	Deux-Sèvres (79)
	Vienne (86)

TABLEAU 3. — *Liste des départements concernés par l'obligation d'un plan départemental de protection des forêts contre l'incendie (PDPFCI).*

Pour chacun des départements concernés, il conviendra de consulter le PDPFCI approuvé par le préfet. Le Porteur de projet consultera les cartes départementales ou les atlas :

- Le risque est considéré comme négligeable ; aucun rabais ne sera appliqué sur les réductions d'émissions potentiellement générables ;
- Le risque est considéré comme très faible ou faible ; un rabais de 5 % sera appliqué sur les réductions d'émissions potentiellement générables ;
- Le risque est considéré comme moyen ; un rabais de 10 % sera appliqué sur les réductions d'émissions potentiellement générables ;
- Le risque est considéré comme fort ou très fort ; un rabais de 15 % sera appliqué sur les réductions d'émissions potentiellement générables.

D'autres départements non cités par l'article L133-1 du Code forestier (pour lesquels le risque d'incendie est mineur) ont fait approuver par le préfet un PDPFCI ou un PRDFCI⁸. Ces plans seront consultés et les mêmes rabais que ceux précités seront appliqués selon le classement des communes. En l'absence d'un classement clair du risque par commune dans le PDPFCI ou le PRDFCI, celui-ci sera considéré comme faible ou très faible et un rabais de 5 % sera appliqué.

5.4. Risque dû au gibier

Le risque que les plants d'un boisement soient détruits par le gibier dépend de beaucoup de critères : la densité de gibier sur le territoire, la surface du projet (un petit projet de plantation est plus vulnérable qu'un grand), de l'appétence du gibier pour l'essence (certaines essences sont appétentes, d'autres non), de la localisation de la parcelle boisée à proximité d'un massif forestier...

Toutefois, aucun rabais ne sera appliqué sur ce risque dans la mesure où il y aura un contrôle que le boisement est réussi (vérification) et que les intérêts du Porteur de projet sont bien alignés avec l'objectif de la labellisation du projet.

⁸ PRDFCI : plan régional de défense des forêts contre les incendies

6. Calcul des réductions d'émissions générables

Conformément au label Bas-Carbone, le projet bas-carbone va délivrer des réductions d'émissions (RE). Les projets de boisement pourront délivrer des réductions d'émissions anticipées et des réductions d'émissions de l'empreinte.

Leur définition est précisée dans le label Bas-Carbone. La communication du financeur quant au type de réductions d'émissions valorisées est précisée par le label Bas-Carbone (partie VIII.C du référentiel).

6.1. Calcul des réductions d'émissions anticipées générables

L'équation 4 fournit les réductions d'émissions anticipées (REA) pour lesquelles il sera possible de demander une certification :

$$REA = REA_{forêt} + REA_{produits}$$

Équation 4

Avec :

$REA_{forêt}$ = réductions d'émissions anticipées par le projet dans les compartiments forestiers (voir 6.1.1.) ;

$REA_{produits}$ = réductions d'émissions anticipées par le projet dans les produits bois (voir 6.1.2.).

NB : le Porteur de projet peut faire le choix de valoriser des $REA_{forêt}$ (sans $REA_{produits}$) ou des REA totales (forêt et produits bois). En revanche, il ne peut pas valoriser uniquement des $REA_{produits}$.

6.1.1. REA générables du fait de la séquestration du carbone par l'écosystème forestier

Les REA générées ne sauraient logiquement excéder la différence de stockage de carbone par rapport à une situation sans boisement, soit à l'issue de la durée du projet (c'est-à-dire au bout de 30 ans), soit sur la durée de vie moyenne des essences plantées. Afin d'être conservatif, la plus courte de ces deux durées doit être considérée, en tenant compte qu'un stock élevé juste avant une coupe n'est pas représentatif. Pour le calcul des REA potentiellement générables, le calcul s'effectuera donc selon la « méthode du stock moyen de long terme » (Verra, 2011)⁹. Il s'agira d'estimer pour chaque année du projet une différence de séquestration nette selon les équations 5 et 6.

- 1) Pour tout projet de boisement dont la révolution R de l'essence plantée est supérieure ou égale à 30 ans, l'équation 5 sera utilisée :

$$REA_{forêt} = \min \left(\Delta S(30), \frac{1}{R} \times \sum_{t=1}^R S_{projet}(t) - \frac{1}{R'} \times \sum_{t=1}^{R'} S_{réf}(t) \right)$$

Équation 5

Avec :

$\Delta S(30)$ = différence de stock de carbone à l'année 30 entre le scénario de projet et le scénario de référence ;

S_{projet} = le stock de carbone dans les compartiments forestiers du scénario de projet ;

$S_{réf}$ = le stock de carbone dans les compartiments forestiers du scénario de référence ;

R = la durée de révolution de l'essence de projet (dans la plupart des cas, $R > 30$ ans) ;

⁹ http://verra.org/wp-content/uploads/2018/03/VCS-Guidance-Harvesting-Examples_0.pdf

R' = la durée de révolution de l'essence du scénario de référence (dans la plupart des situations d'enrichissement par des accrus, $R' > 30$ ans).

- 2) Pour tout projet de boisement dont la révolution R de l'essence plantée est inférieure à 30 ans (exemple : peuplier récolté à 25 ans), l'équation 6 sera utilisée :

$$REA_{forêt} = \frac{1}{R} \times \sum_{t=1}^R (S_{projet}(t) - S_{réf}(t))$$

Équation 6

Dans tous les cas, le stock de carbone annuel présent dans les différents compartiments pour le boisement objet du projet se calcule grâce à l'équation 7 :

$$S_{projet}(n) = [(B_A(n) + B_R(n)) \times \tau_c + S(n) + L(n) + M(n)] \times \frac{44}{12}$$

Équation 7

Avec :

S_{projet} = Stock de carbone total de l'écosystème forestier (en tCO₂) ;

B_A = Stock de la biomasse aérienne (en tMS) (voir 7.1.1.) ;

B_R = Stock de la biomasse racinaire (en tMS) (voir 7.1.2.) ;

S = Stock de carbone organique du sol (en tC) (voir 7.1.4.) ;

L = Stock de la litière, constante égale à 10 tC/ha (voir 7.1.5.) ;

M = Stock de bois mort, constante = 0 (en tC) (voir 7.1.6.) ;

τ_c = Taux de carbone dans la matière sèche, constante égale à 0,475 tC/tMS (voir 7.1.3.).

$S_{réf}$ est calculé soit avec l'équation 7 si la situation de référence est un embroussaillage, soit conformément au paragraphe 7.2 si la situation de référence est une exploitation agricole.

6.1.2. REA générables du fait du stockage du carbone dans les produits bois récoltés

L'équation 8 fournit le calcul des réductions d'émissions anticipées relatives au compartiment des produits bois :

$$REA_{produits} = \min \left(\sum_{i=1}^{30} (C_{projet}(i) - C_{réf}(i)), \sum_{i=1}^R C_{projet}(i) - \sum_{i=1}^{R'} C_{réf}(i) \right)$$

Équation 8

Avec :

C_{projet} = le stock de carbone dans les produits bois qui seraient récoltés dans le scénario de projet ;

$C_{réf}$ = le stock de carbone dans les produits bois qui seraient récoltés dans le scénario de référence ;

R = la durée de révolution de l'essence de projet (dans la plupart des cas, $R > 30$ ans) ;

R' = la durée de révolution de l'essence du scénario de référence (dans la plupart des situations d'enrichissement par des accrus, $R' > 30$ ans).

Les produits bois lorsqu'ils sont sciés puis valorisés vont prolonger le stockage du carbone. Le carbone dans les produits bois n'est pas une valeur constante : au cours des années, le bois va se dégrader et perdre au fur et à mesure le carbone stocké. Pour tenir compte de cette dynamique année après année,

on se référera à l'équation 9 fournie par Pingoud et Wagner (2006) et reprise par la Commission européenne¹⁰.

$$C(n+1) = e^{-k} \times C(n) + \frac{1 - e^{-k}}{k} \times Flux(n)$$

Équation 9

Avec :

$C(n)$ = stock de carbone au début de l'année n dans les produits bois déjà récoltés ;

$C(n+1)$ = stock de carbone au début de l'année $n+1$ dans les produits bois déjà récoltés ;

$k = \ln(2)/t_{1/2}$ = constante de décomposition pour une décomposition du premier ordre (unité : an^{-1}) ;

$t_{1/2}$ = temps de demi-vie des produits bois en années. Le temps de demi-vie étant le nombre d'années nécessaires pour perdre la moitié du carbone actuellement dans les produits bois ;

$Flux(n)$ = flux entrant de carbone au cours de l'année n (sur la période entre l'année n et l'année $n+1$), c'est-à-dire le stock de carbone des produits bois récoltés au cours de l'année n .

La Commission européenne préconise d'utiliser les valeurs par défaut pour les temps de demi-vie ($t_{1/2}$) présentes dans le tableau 4.

Bois de sciage	Panneaux de bois	Papier
35 ans	25 ans	2 ans

TABLEAU 4. — Valeurs des temps de demi-vie préconisées par la Commission européenne.

Pour estimer les REA_{produits} , le Porteur de projet doit renseigner le volume issu de chaque éclaircie ou coupe, estimer leur répartition future probable en bois de sciage, panneaux bois et papier et y appliquer les temps de demi-vie afférents.

Aucune REA_{produits} n'est délivrée pour le bois énergie.

6.2. Calcul des réductions d'émissions de l'empreinte générables

L'utilisation des produits bois du boisement peut permettre des effets de substitution « matériau » et « énergie » supplémentaires par rapport au scénario de référence. Utilisé dans la construction à la place de matériaux énergivores (PVC, aluminium, béton, acier...), l'utilisation du bois peut générer un effet de substitution matériau. Utilisé à des fins énergétiques à la place d'énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz...) et dont l'extraction est émettrice de CO_2 , l'utilisation du bois peut induire un effet de substitution énergétique.

L'équation 10 indique comment calculer ces réductions d'émissions de l'empreinte.

$$REE_{\text{substitution}} = CS \times \sum_{n=1}^{30} (Flux_{\text{projet}}(n) - Flux_{\text{ref}}(n))$$

Équation 10

Avec :

¹⁰ 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) n° 525/2013 et la décision (UE) n° 529/2013 : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0841&from=EN>

CS = la substitution moyenne générée par un mètre cube de bois rond en France (en tCO₂/m³) ;
Flux_{projet} (n) = flux entrant issu des produits bois récoltés au cours de l'année n (sur la période entre l'année n et l'année n+1) dans le scénario de projet (en m³) ;
Flux_{ref} (n) = flux entrant issu des produits bois récoltés au cours de l'année n (sur la période entre l'année n et l'année n+1) dans le scénario de référence (en m³).

Le tableau 5 cite des coefficients de substitutions provenant de la littérature scientifique.

Catégorie de produits bois	Durée de vie	Coefficient de substitution
BO	Formit (Valada <i>et al.</i> , 2016)	1,52
BI	Formit (Valada <i>et al.</i> , 2016)	0 pour le papier (44 % du BI) 0,77 pour les panneaux (56 % du BI)
BE	Dire d'expert	0,25

TABEAU 5. — Les coefficients de substitution selon la catégorie de produits bois récoltés (Valade *et al.*, 2017)

La valeur du facteur de déplacement du BE généralement utilisée est de 0,5 tCO₂ évitées par m³ de bois utilisé (Ademe, 2015). Toutefois, les politiques publiques actuelles (Programmation pluriannuelle de l'énergie et Stratégie nationale bas-carbone) visent à décarboner très fortement le mix énergétique français d'ici à 2050. Par conséquent, vers 2050, ce coefficient de substitution sera davantage proche de 0 que de 0,5. Un coefficient de substitution relatif au BE pourra être utilisé pour les premières éclaircies des boisements ; c'est-à-dire environ 20 ans (pour les peuplements les plus productifs) après la date de plantation (sauf cas particuliers). On sera donc plus proche de 2050 que de 2019 (année de validation de la présente Méthode) ; il est donc proposé de diviser par deux la valeur couramment rencontrée dans la littérature scientifique afin de tenir compte de la décarbonation du mix énergétique de la France.

En outre, les valeurs du tableau 5 pourront être révisées afin de tenir compte de la décarbonation croissante des autres secteurs économiques ; il suffira de citer les références scientifiques dont elles sont issues.

Ne pouvant pas utiliser un coefficient de substitution moyen national qui serait surestimé dans la mesure où un boisement produit peu ou pas de bois d'œuvre durant les 30 premières années, la Méthode propose par conséquent des coefficients de substitution selon quatre boisements très différents du point de vue des produits bois escomptés en se basant sur les coefficients de substitution du tableau 5 :

- Cas des feuillus : il est assez rare qu'une première éclaircie soit effectuée dans les 30 premières années pour les feuillus, sauf pour les plus productifs mais il n'y a pas de commercialisation de bois d'œuvre à cet âge-là. La destination est supposée être de 100 % pour le bois de chauffage (bois énergie) ;
- Cas du peuplier : la sylviculture du peuplier se fait par des révolutions inférieures à 30 ans. On connaît généralement bien la répartition BO/BI de la récolte d'une peupleraie (d'autant qu'il n'y a pas d'éclaircies) (cf. annexe 1) ;
- Cas des résineux : généralement une seule éclaircie est réalisée dans les résineux avant 30 ans (sauf cas particuliers). On fait ici l'hypothèse que l'éclaircie d'entrée en sylviculture produit 100 % de BI. On utilisera également le coefficient de substitution inhérent à cette destination de produit pour le pin maritime faisant l'objet de gestion non dynamique ;
- Cas du pin maritime en gestion dynamique (ou intensive) : cette essence est généralement gérée de manière intensive avec une sylviculture très normée qui induit trois éclaircies durant les

30 premières années (voir annexe 2) ; un coefficient de substitution spécifique peut donc être calculé.

Le tableau 6 propose des coefficients de substitution pour chacun des quatre cas susmentionnés.

Essence	Répartition BO/BI/BE	Source de la répartition	Coefficient de substitution CS (tCO ₂ évitées par m ³ de bois utilisé)
Tous les feuillus	100 % BE	Dire d'expert	0,25
Peuplier	77 % BO 21 % BI 2 % BI laissé sur parcelle	AFOCEL (Cuchet, 1998)	0,96
Pin maritime en gestion dynamique	1 ^{ère} éclaircie : 100 % BI 2 ^{ème} éclaircie : 25 % BO, 75 % BI 3 ^{ème} éclaircie : 60 % BO, 40 % BI	FCBA, IGN, Inra, CRPF Aquitaine, 2013	0,57
Résineux	100 % BI	Dire d'expert	0,43

TABLEAU 6. — *Coefficients de substitution moyens calculés pour quatre situations de boisements durant les 30 premières années.*

NB : pour le scénario de référence consistant en un embroussaillage par des accrus, on appliquera le coefficient de substitution « feuillus » pour les accrus si ceux-ci sont majoritairement feuillus (exemple : colonisation spontanée de frêne ou de bouleau) et le coefficient de substitution « résineux » si ces accrus sont majoritairement résineux (exemple : colonisation spontanée de pin sylvestre ou de pin d'Alep).

7. Quantification carbone des itinéraires

7.1. Quantification générale du carbone

7.1.1. Estimation de la biomasse aérienne (B_A)

Le Porteur de projet devra convertir les volumes fournis par les tables de production en tonnes de CO_2 . L'équation 11 permet de calculer la biomasse aérienne.

$$B_A(n) = V_7(n) \times FEB \times d_i$$

Équation 11

Avec :

B_A = biomasse aérienne (en tMS) ;

V_7 = volume bois fort tige (m^3) ;

FEB = facteur d'expansion « branches » ;

d_i = infradensité de l'essence i (voir annexe 3).

Pour convertir les volumes bois fort tige en volumes totaux, on utilisera un **facteur d'expansion « branches » de 1,3 pour les conifères et de 1,56 pour les feuillus** car ces valeurs ne s'écartent jamais plus de 1 % des valeurs publiées (Inra, 2016).

Pour convertir les mètres cube en tonnes de matière sèche, il faut multiplier la biomasse totale aérienne par l'infradensité, qui est le ratio entre une masse de bois anhydre et son volume de bois frais. Les infradensités utilisées ne seront pas celles préconisées par le Giec mais celles fournies dans l'annexe 3, issues du programme de recherche Carbofor (2004) et utilisées par l'IGN. Ces valeurs sont davantage adaptées aux essences françaises.

NB : Certaines tables de production ne fournissent pas un volume bois fort à la découpe 7 cm mais un volume total. Lorsque cela sera possible, on **privilégiera toujours** le recours à des volumes totaux plutôt qu'à des volumes bois fort tige du fait du **caractère imprécis des facteurs d'expansion « branches »** (présentant une grande variabilité). Dans le cas d'une utilisation de volumes totaux, l'équation 11 susmentionnée devient l'équation 12 :

$$B_A(n) = V_t(n) \times d_i$$

Équation 12

Avec :

V_t = volume total (en m^3) ;

d_i = infradensité de l'essence i (en tMS/ m^3).

L'établissement de volumes totaux pourra nécessiter d'avoir recours à des équations allométriques. On se référera alors aux équations fournies par le projet EMERGE (Deleuze *et al.*, 2014) en annexe 4.

7.1.2. Estimation de la biomasse racinaire (B_R)

Pour déterminer la biomasse représentée par le système racinaire de l'arbre, on utilisera les équations de Cairns (Cairns *et al.*, 1997) (voir annexe 5) qui sont des fonctions dépendant de la biomasse aérienne. Pour la forêt métropolitaine, on privilégiera la cinquième équation adaptée au contexte de forêt tempérée, avec une constante latitudinale. Pour la forêt ultramarine, on utilisera la troisième équation.

L'équation 13 ci-dessous est l'équation de Cairns adaptée à la forêt tempérée que l'on utilisera pour les projets en forêt métropolitaine :

$$B_R(n) = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln(B_A(n)) + 0,2840)$$

Équation 13

Avec B_R = biomasse racinaire (en tMS).

7.1.3. Taux de carbone dans la matière sèche

Pour convertir les tonnes de matière sèche en tonnes de carbone, on retiendra la valeur de 0,475 tC/tMS (Giec, 2006).

7.1.4. Estimation du stock de carbone dans les sols (S)

Bien que de nombreuses études récentes aient démontré la présence de différences entre les stocks de carbone dans les sols forestiers selon que le peuplement en place est feuillu ou résineux (Inra, 2016), il est considéré ici qu'il n'est pas possible de proposer des valeurs par défaut qui fassent consensus que ce soit par essence forestière ou par type de peuplement (feuillu ou résineux).

Par conséquent, des valeurs par défaut seront utilisées pour intégrer le carbone organique du sol (cf. tableau 7). Elles correspondent à celles préconisées par Arrouays *et al.* (2002) dans une étude commandée par le ministère de l'Écologie et du Développement Durable ayant donné lieu à la production d'un livre.

Les stocks de carbone indiqués proviennent de l'analyse de plus de 19 000 données géoréférencées sur le carbone des sols en France. Les stocks pris en compte sont limités à une profondeur de 30 cm ; par conséquent les valeurs indiquées sont conservatives car sous-estimées (puisque les horizons [30 ; 40 cm] et > 40 cm ne sont pas pris en compte).

Stocks de carbone dans le sol selon le type de nature (en tC/ha)	
Vignes et vergers	32
Cultures	45
Prairies permanentes	70
Forêt tempérée (hors litière)	70

TABLERAU 7. — Valeurs par défaut pour le carbone des sols de différentes natures (Arrouays *et al.*, 2002)

Dans le cas d'un boisement sur terrain agricole, ce rapport indique comment calculer l'augmentation de carbone dans le sol du boisement nouvellement constitué sur l'ancienne terre agricole : il s'agit de la différence entre le scénario de projet et le scénario de référence (poursuite de la culture agricole), calculée par l'équation 14 :

$$S(n) - S(0) = (C_f - C_a) \times (1 - e^{-0,0175 \times n})$$

Équation 14

Par conséquent, le stock de carbone dans le sol du boisement constitué est donc de :

$$S(n) = C_a + (C_f - C_a) \times (1 - e^{-0,0175 \times n})$$

Équation 15

$$\text{Soit : } S(n) = 45 + 25 \times (1 - e^{-0,0175 \times n})$$

Équation 16

Avec :

$S(n) - S(0)$ = le stockage du carbone dans le sol entre l'année n et l'année 0 (avant boisement) ;

C_f = la teneur en carbone d'un sol forestier à l'équilibre, estimée à 70 tC/ha (hors litière) ;

C_a = la teneur en carbone d'un sol agricole à l'équilibre, estimée à 45 tC/ha.

Dans le cas d'un boisement sur une friche en phase d'embroussaillage, sur une prairie ou sur une pâture, on considérera qu'il n'y a **pas d'évolution dans le stock de carbone du sol** du scénario de projet par rapport au scénario de référence.

7.1.5. Estimation du stock de carbone dans la litière (L)

Pour le compartiment constitué par la litière, on suppose qu'il atteint sa valeur d'équilibre au bout de la durée de projet, soit au bout de 30 ans. L'équation 17 sera utilisée pour calculer l'accumulation du carbone dans le compartiment de la litière :

$$L(n) = n \times \frac{L_{eq} - L_0}{30}$$

Équation 17

Avec :

L_{eq} = valeur d'équilibre du compartiment litière = 10 tC/ha telle que préconisée par Arrouays *et al.* (2002) ;

L_0 = carbone de la litière avant le projet de boisement, elle sera considérée comme nulle quelle que soit la nature du terrain avant boisement (terre agricole ou friche embroussaillée).

7.1.6. Estimation du stock de carbone dans le bois mort (M)

La durée d'un projet de boisement étant de 30 ans, **le bois mort au sol, sur pied ou chablis sera négligé.**

7.2. Modélisation de l'évolution du carbone dans le scénario de référence

7.2.1. Cas de la poursuite de l'agriculture

Pour le scénario de référence de la poursuite de la culture agricole, la quantification carbone sera une constante égale à 5 tC/ha, telle que déterminée par le Giec (2006).

Si le scénario de référence est la poursuite d'une nature de prairie ou de pâture, la biomasse aérienne sera négligée et égale à 0 tC/ha.

7.2.2. Cas de la colonisation naturelle/enfrichement

N'existant pas d'équations permettant de modéliser l'embroussaillage d'une parcelle selon les stations, les régions et les climats, de nombreuses méthodes ne donnent aucune consigne pour la quantification du carbone dans ce type de scénario, parfois même le carbone de ce scénario est négligé.

Considérant qu'en France, au bout de 30 ans, il est assez probable qu'il y ait accumulation de biomasse lors d'un itinéraire de colonisation naturelle — d'autant plus élevée que la parcelle en friche se situe à proximité d'une forêt (donc de semenciers potentiels) — **le carbone de ce scénario de référence ne pourra pas être négligé** et une valeur faible fixée par défaut (constante) à **1 m³/ha/an de volume total** sera ici utilisée pour « modéliser » linéairement l'accumulation de biomasse dans ce scénario. Selon le type d'accrus pressenti ou déjà présent sur la parcelle au début du projet, le Porteur de projet convertira en carbone en utilisant une infradensité moyenne feuillus ou résineux (voir annexe 3) et les équations de Cairns pour estimer le carbone racinaire (voir 7.1.2.).

Si le Porteur de projet a accès à des données historiques décrivant l'évolution des volumes sur des parcelles en cours d'embroussaillage voisines de la sienne, il pourra privilégier l'utilisation de ces données-là (mais ce cas devrait être très rare).

7.3. Modélisation de l'évolution du carbone dans l'itinéraire de boisement

S'ils existent pour les essences de boisement considérées, le Porteur de projet utilisera des tables de productions ou des modèles de croissance issus :

- De guides de sylviculture de l'ONF ;
- De livres de sylviculture du CNPF-IDF ;
- De tout autre ouvrage de sylviculture ;
- De toute publication scientifique internationale (*Scientific Reports, Forest Ecology and Management, Journal of Cleaner production, Science of the Total environment, Nature, Research Journal of Forestry, Journal of sustainable forestry...*) ;
- De modèles de croissance (CAPSIS...) ;
- De toute publication issue d'une revue forestière (*Forêt-entreprise, Rendez-vous techniques, Forêt méditerranéenne, Revue forestière française, Forêt wallonne...*) ;
- De mémoires de thèse ou de stage de fin d'études ENGREF (base Infodoc d'AgroParisTech...) ;
- De toute autre source pertinente.

Dans tous les cas, la référence bibliographique sera clairement énoncée.

Le Porteur de projet devra alors simuler la croissance du peuplement durant les 30 premières années, en se basant **sur les accroissements courants**. Il vérifiera que le stockage de carbone moyen sur la durée de révolution de l'essence (excédant la plupart du temps les 30 années) ne soit pas inférieur à la différence de stock calculée à 30 ans.

Pour choisir la classe de fertilité, le Porteur de projet aura le choix entre deux options :

- Justifier de la classe de fertilité choisie en fournissant une attestation signée par un professionnel forestier incluant le jugement de ce tiers et les raisons sur lesquelles se base ce jugement. Il n'y aura pas de rabais dans cette option ;
- Opter pour une classe de fertilité « moyenne », ni trop productive ni trop improductive. Cette option sera assortie d'un rabais de 10 % sur les réductions d'émissions potentiellement générables par le projet.

8. Vérification

8.1. Vérification documentaire par un Auditeur

Cette vérification documentaire est obligatoire pour tout projet forestier éligible au label Bas-Carbone. Elle sera réalisée par un Auditeur (cf. partie 8.2 ci-dessous), aux frais du Porteur de projet. Cette vérification peut être réalisée en même temps et par le même Auditeur que la vérification de terrain prévue au 8.2 afin de mutualiser les coûts.

Conformément au référentiel du label Bas-Carbone, « *par défaut, les vérifications sont principalement documentaires* » (VII.C). À partir de la date de la fin du chantier de boisement, le Porteur de projet devra démontrer que le chantier de boisement a bien été réalisé. Pour ce faire, il fournira à l'Auditeur *a minima* une attestation de réception des travaux, une copie de la facture d'achat des plants, une copie de la facture de plantation, une copie de la facture du premier dégagement, une (ou des) photo(s) du boisement et tout autre facture ou document jugé pertinent.

Les documents fournis par le Porteur de projet sont confidentiels et seuls l'Auditeur et l'Autorité y ont accès.

8.2. Vérification additionnelle de terrain par un Auditeur

Conformément à la partie VII.C du référentiel, « *la Méthode peut prévoir des vérifications additionnelles plus approfondies, impliquant par exemple la venue sur place d'un Auditeur* ».

Cette vérification additionnelle est obligatoire en ce sens qu'elle permet de générer les réductions d'émissions anticipées qui seront attribuées au financeur. **Cette vérification sera à la charge financière du Porteur de projet.**

Elle aura lieu à n+5 et sera réalisée par un Auditeur qui devra juger de la réussite du jeune boisement afin de déterminer si les réductions d'émissions calculées *a priori* paraissent cohérentes.

À partir de cinq ans après la date de la fin du chantier de boisement, le Porteur de projet contacte un Auditeur pour faire réaliser les vérifications obligatoires. Une fois les vérifications effectuées, il adresse une demande formelle à l'Autorité de se voir reconnaître les réductions d'émissions ; pour ce faire il joint son rapport de suivi et le rapport délivré par l'Auditeur.

Comme indiqué dans la partie VII.B du référentiel, l'Auditeur peut être un organisme certificateur reconnu par le *Programme de reconnaissance des certifications forestières* (PEFC), du *Forest Stewardship Council* (FSC) ou du *Verified Carbon Standard* (VCS). N'importe quel autre organisme ou professionnel peut être Auditeur, **à condition d'être compétent et indépendant du Porteur de projet.** L'Auditeur peut donc être un professionnel forestier, comme par exemple un expert forestier ou un GFP. Pour satisfaire l'exigence d'indépendance, **ce professionnel forestier ne pourra être en aucun cas le propriétaire lui-même.** En outre, le professionnel forestier ne pourra pas être lié au Porteur de projet : **il ne peut être ni son gestionnaire, ni son partenaire commercial.**

Le propriétaire devra faire appel à un Auditeur qui fera un calcul du nombre de plants viables cinq ans après l'opération de reboisement.

Conformément à l'instruction technique DGPE/SDFCB/2016-851¹¹ prise par le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt le 2 novembre 2016, **et sous-réserve de densités**

¹¹ <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2016-851>

différentes dans les arrêtés régionaux pris par les préfets de Région, un projet de boisement sera considéré comme réussi et conforme à la trajectoire des séquestrations de carbone prévue initialement s'il présente au bout de cinq années une densité de :

- 900 plants vivants/ha pour les essences objectif hors feuillus précieux, peupliers et noyers ;
- 800 plants vivants/ha pour les feuillus précieux (avec possibilité de comptabiliser avec les plants issus de la plantation, les plants d'essences objectif issus du recru naturel) ;
- 130 plants vivants/ha pour les peupliers et les noyers.

Il n'y a pas d'exigence particulière pour les densités des essences d'accompagnement.

Ces densités minimales ne s'appliquent pas aux GRECO de l'IGN « Méditerranée » et « Corse » pour lesquelles ces densités minimales seront définies au niveau régional et pourront être abaissées en-deçà des valeurs pré-indiquées, compte tenu d'une plus faible disponibilité en eau au cours de la saison de végétation, en se référant au futur arrêté préfectoral (non pris à ce jour en avril 2018).

Ces densités minimales ne s'appliqueront pas non plus à des projets de prévention des risques naturels, de difficulté technique telle que de la plantation sur pente supérieure à 30 %, de restauration écologique, de conservation des ressources génétiques forestières, d'expérimentation sylvicole avec un suivi par un organisme de R&D. Pour ces cas précis, on se référera aux dispositions spécifiques prises dans les arrêtés préfectoraux régionaux le cas échéant pour définir la densité minimale à atteindre au bout de cinq ans pour considérer le boisement comme réussi.

Si les densités minimales précitées sont vérifiées au bout des cinq ans, le projet sera considéré comme suivant la projection de séquestration du carbone initialement réalisée et **aucun rabais ne sera pratiqué** sur les réductions d'émissions potentiellement générables par le projet.

Si le projet fait état de densités inférieures à ces densités minimales, on ne pourra pas considérer que le projet suit totalement la projection de séquestration du carbone initialement réalisée ; par conséquent un rabais sera appliqué au prorata de ces densités minimales, défini par l'équation 18 :

$$\text{Rabais vérification} = \frac{d_5 - d_r}{d_5} \times 100$$

Équation 18

Avec :

d_5 : densité minimale à atteindre au bout de cinq ans pour considérer le boisement comme réussi ;

d_r : densité réelle observée par le vérificateur au bout de 5 ans.

Cette équation ne s'applique que lorsque $d_5 > d_r$, dans le cas contraire il n'y a pas de rabais à appliquer.

9. Réductions d'émissions anticipées « forêt » générables et générées après application des rabais

Le tableau 8 ci-après récapitule les rabais applicables dans la Méthode boisement, en indiquant leur applicabilité ainsi que la valeur correspondante.

N° rabais	Type de rabais	Applicabilité	Valeur
Rabais₁	Analyse économique de l'additionnalité	Uniquement si non démonstration	- 5 %
Rabais₂	Risques généraux difficilement maîtrisables	Obligatoire	- 10 %
Rabais₃	Risque d'incendie	Uniquement dans les départements concernés	De 0 à - 15 %
Rabais₄	Non justification de la classe de production	Uniquement si non démonstration	- 10 %
Rabais₅	Vérification additionnelle de terrain (à n+5) : densité à n+5	Uniquement si densité inférieure aux seuils prévus	À calculer, non fixé

TABLEAU 8. — *Liste des rabais applicables.*

Les quatre premiers rabais déterminent dès le début du projet le nombre de réductions d'émissions générables au moment de l'accord entre un financeur et le Porteur de projet. **L'accord de gré à gré sur un prix de la tonne de CO₂ séquestrée doit se faire sur les REA générables**, calculables par l'équation 19 après application de tous les rabais :

$$REA_{\text{forêt générables}} = REA_{\text{forêt}} \times \prod_{i=1}^4 (1 - \text{Rabais}_i)$$

Équation 19

Par voie de conséquence, après la vérification additionnelle de terrain, lors de la remise du rapport de suivi, le nombre de **réductions d'émissions générées** se calcule avec l'équation 20 après application du rabais de la vérification (Rabais₅, à calculer selon l'équation 18) :

$$REA_{\text{forêt générées}} = REA_{\text{forêt générables}} \times (1 - \text{Rabais}_5)$$

Équation 20

10. Bilan des éléments à fournir

Le tableau 9 liste les pièces à fournir avec le document de projet pour justifier son éligibilité **quel que soit le projet**.

Propriétaire	Forêts privées	Forêts des collectivités	Forêts de l'État
État passé de la parcelle	Orthophoto de moins de 10 ans (avec superposition du fond cadastral) prouvant la nature non boisée des parcelles	Orthophoto de moins de 10 ans (avec superposition du fond cadastral) prouvant la nature non boisée des parcelles	Orthophoto de moins de 10 ans (avec superposition du fond cadastral) prouvant la nature non boisée des parcelles
État actuel de la parcelle	Photographie des parcelles datant d'un an maximum + Orthophoto (avec superposition du fond cadastral)	Photographie des parcelles datant d'un an maximum + Orthophoto (avec superposition du fond cadastral)	Photographie des parcelles datant d'un an maximum + Orthophoto (avec superposition du fond cadastral)
Attestation de propriété	Matrice cadastrale de moins d'un an ou acte notarié	Matrice cadastrale de moins d'un an ou acte notarié	Matrice cadastrale de moins d'un an ou acte notarié
Justificatif de document de gestion durable existant	PSG ou CBPS+ : copie de la décision d'agrément du document de gestion par le conseil de centre du CRPF. CBPS : courrier du CRPF notifiant l'adhésion du propriétaire au CBPS. RTG : décision d'agrément du RTG par le conseil de centre du CRPF + adhésion du propriétaire au RTG (signée par le propriétaire et le rédacteur) ou, en son absence, copie du RTG	Copie de l'arrêté d'aménagement portant approbation du document d'aménagement de la forêt de la collectivité par le préfet de Région	Copie de l'arrêté d'aménagement portant approbation du document d'aménagement de la forêt domaniale par le ministre en charge des forêts
Avenant intégrant les nouvelles parcelles	Avenant au document de gestion durable agréé par le CRPF	Modification d'aménagement (avenant) + délibération de la collectivité	Modification d'aménagement (avenant)
Si absence de document de gestion durable	Rédaction d'un document de gestion durable dans les 12 mois à compter de la date de réception des travaux	Rédaction d'un aménagement dans les 12 mois à compter de la date de réception des travaux	Rédaction d'un aménagement dans les 12 mois à compter de la date de réception des travaux
Si regroupement	Mandat dûment signé par les propriétaires identifiant le représentant	-	-
Approbation au cas par cas de la DREAL	Arrêté préfectoral portant décision d'examen au cas par cas en application de l'article R122-3 du Code de l'environnement	Arrêté préfectoral portant décision d'examen au cas par cas en application de l'article R122-3 du Code de l'environnement	Arrêté préfectoral portant décision d'examen au cas par cas en application de l'article R122-3 du Code de l'environnement

TABLEAU 9. — Éléments obligatoires à fournir pour être éligible, quel que soit le projet de boisement.

Annexe 1 : Coefficient de substitution pour le peuplier

Données utilisées :

Une récolte finale de peuplier produit 77 % de BO et 21 % de trituration façonnée (BI) et 2 % de trituration abandonnée sur la parcelle (Cuchet, 1998).

Dans les 77 % de BO, du fait de la transformation en scierie, 60 % du volume donnera des produits bois sciés tandis que 40 % ira dans des produits connexes (bois énergie). Ce qui porte donc le pourcentage de bois d'œuvre « sorti usine » à 46,2 % et le total de bois énergie à 30,8 %.

	BO	BI	BE	Total
Répartition de 100 m ³ de peuplier après transformation	46,2	21	30,8	98
Coefficient de substitution (cf. tableau 5)	1,52	0,43	0,25	-
tCO ₂ évitées	70	16	8	94
			Coefficient de substitution	0,96

TABLEAU 10. — Le coefficient de substitution pour le peuplier est estimé à 0,96 tCO₂ évitées par m³ de peuplier récolté.

Annexe 2 : Coefficient de substitution pour le pin maritime en gestion dynamique (ou intensive)

Données utilisées :

Le modèle PP3 de CAPSIS du pin maritime donne un exemple d'itinéraire standard sur le pin maritime, sur une fertilité moyenne. Au cours des 30 premières années, trois éclaircies sont réalisées avec les répartitions BO/BI suivantes (FCBA, IGN, Inra, CRPF Aquitaine, 2013) :

- 15 ans : 100% BI ;
- 20 ans : 25 % BO et 75 % BI ;
- 27 ans : 60 % BO et 40 % BI.

Le rendement matière utilisé est de 45 %, correspondant à la fourchette de 42 à 48 % (source : mémento 2017 FCBA, 2018).

	1 ^{ère} éclaircie	2 ^{ème} éclaircie	3 ^{ème} éclaircie	Total
Âge	15 ans	20 ans	27 ans	-
Volume bois fort éclairci (m ³ /ha)	23	34	54	111
% BO	0 %	11 %	27 %	-
% BI	100 %	75 %	40 %	-
% BE	0 %	14 %	33 %	-
tCO ₂ évitées	9,9	17,8	35,9	63,6
			Coefficient de substitution	0,57

TABLEAU 11. — Le coefficient de substitution pour le pin maritime est estimé à 0,57 tCO₂ évitées par m³ de pin maritime récolté.

Annexe 3 : Infradensités recommandées pour les principales essences françaises

Le Porteur de projet se référera aux infradensités du tableau 12 ci-après utilisées par l'IGN, à partir d'une note non publiée de Dupouey ; ces infradensités sont davantage adaptées aux essences de la forêt française que celles du Giec.

Essence	Infradensité (tMS/m ³)
Alisier torminal	0,62
Arbousier	0,64
Aulne vert	0,42
Grands aulnes	0,42
Bouleaux	0,52
Cèdre de l'Atlas	0,36
Charme	0,61
Charme-houblon	0,66
Châtaignier	0,47
Chêne chevelu	0,67
Chêne-liège	0,70
Chêne pédonculé	0,54
Chêne pubescent	0,65
Chêne rouge d'Amérique	0,56
Chêne rouvre (sessile)	0,58
Chêne tauzin	0,64
Chêne vert	0,73
Chênes indifférenciés	0,56
Cornouiller mâle	0,74
Cyprès	0,40
Cytise aubour	0,60
Douglas	0,43
Epicéa commun	0,37
Epicéa de Sitka	0,36
Grands érables	0,51
Petits érables	0,56
Eucalyptus	0,56
Genévrier thurifère	0,48
Hêtre	0,55
Frênes	0,56
Fruitiers	0,58
If	0,58
Mélèze d'Europe	0,48
Mélèze du Japon	0,42
Merisier	0,50
Micocoulier	0,55
Mûrier	0,53
Noisetier	0,52
Noyer	0,52
Olivier	0,75
Ormes	0,52
Peupliers cultivés	0,35
Peupliers non cultivés	0,37

Pin d'Alep	0,45
Pin cembro	0,39
Pin à crochets	0,44
Pin laricio	0,46
Pin maritime	0,46
Pin mugho	0,44
Pin noir d'Autriche	0,46
Pin pignon	0,48
Pin sylvestre	0,44
Pin Weymouth	0,34
Platanes	0,50
Robinier faux acacia	0,58
Sapin méditerranéen	0,37
Sapin de Nordmann	0,37
Sapin pectiné	0,38
Sapin de Vancouver	0,36
Saules	0,37
Tamaris	0,53
Tilleuls	0,43
Tremble	0,38
Conifères (moyenne)	0,42
Feuillus (moyenne)	0,57
Infradensité moyenne	0,54

TABLEAU 12. — *Liste des infradensités de plusieurs essences de la forêt française (IGN, d'après Dupouey, 2002).*

Annexe 4 : Méthode de quantification d'un volume total

Selon l'essence de boisement, le Porteur de projet pourra avoir accès à des données de production diamètre/hauteur en fonction de l'âge, sans avoir les volumes pour autant. En l'absence d'équation allométrique spécifique à l'essence de boisement, le Porteur de projet pourra se référer à l'équation allométrique 21 ci-après pour le calcul du volume total. Ces équations sont issues du projet EMERGE, construites à partir des équations de Vallet *et al.* (2006). Elles font aujourd'hui consensus et présentent l'avantage d'être construites pour un grand nombre d'essences feuillues et résineuses en France.

$$V_t = \frac{H_t \times c_{1,3}^2}{4\pi \left(1 - \frac{1,3}{H_t}\right)^2} \times \left(a + b \times \frac{\sqrt{c_{1,3}}}{H_t} + c \times \frac{H_t}{c_{1,3}} \right)$$

Équation 21

Pour la simplification des calculs, l'équation 21 suivante pourra être utilisée quelles que soient l'essence, la taille, la sylviculture, la station (Deleuze *et al.*, 2014).

$$V_t = 0,496 \times \frac{H_t \times c_{1,3}^2}{4\pi}$$

Équation 22

NB : Il est déconseillé d'avoir recours à des facteurs d'expansion « branches » à la suite d'un volume bois fort tige, dans la mesure où ces derniers peuvent entraîner une surestimation du volume. En effet, ces facteurs d'expansion « branches » ne sont pas des constantes ; ils varient avec l'âge, le diamètre, l'essence, les conditions de croissance... Ils ne sont pas adaptés à une estimation précise pour le calcul du carbone *in situ*.

	Nombre d'arbres	Modèle complet Emerge			Constante
		a [sans unité]	b (robustesse) [en m ^{0,5}]	c (défilement) [sans unité]	
Feuillus	4783	0,522	0,661	-0,002	0,496
Acer campestre	2	0,534	0,661	-0,002	0,509
Acer pseudoplatanus	5	0,502	0,661	-0,002	0,486
Betula pendula	16	0,493	0,661	-0,002	0,472
Carpinus betulus	79	0,533	0,661	-0,001	0,503
Fagus sylvatica	2302	0,542	0,661	-0,002	0,515
Fraxinus excelsior	161	0,509	0,661	-0,001	0,497
Prunus avium	1	0,521	0,661	-0,002	0,497
Quercus palustris	27	0,513	0,661	-0,002	0,479
Quercus robur/petraea	2079	0,561	0,661	-0,002	0,512
Quercus rubra	111	0,511	0,661	-0,002	0,477
Résineux	7433	0,356	1,756	0,002	0,496
Abies alba	1688	0,398	1,756	0,002	0,520
Abies nordmanniana	47	0,375	1,756	0,002	0,533
Abies sp.	35	0,360	1,756	0,003	0,529
Cedrus atlantica/libani	142	0,340	1,756	0,002	0,483
Larix decidua	163	0,377	1,756	0,001	0,488
Picea abies	404	0,303	1,756	0,004	0,486
Picea sitchensis	12	0,351	1,756	0,002	0,494
Pinus halepensis	134	0,403	1,756	0,001	0,522
Pinus laricio	338	0,306	1,756	0,003	0,455
Pinus mugo	3	0,432	1,756	0,001	0,550
Pinus nigra	240	0,305	1,756	0,003	0,498
Pinus nigra ssp pallasiana	7	0,332	1,756	0,002	0,468
Pinus pinaster	1533	0,396	1,756	-0,002	0,489
Pinus sp.	2	0,332	1,756	0,002	0,484
Pinus strobus	42	0,356	1,756	0,001	0,485
Pinus sylvestris	1958	0,372	1,756	0,001	0,473
Pinus uncinata	257	0,443	1,756	-0,001	0,541
Pseudotsuga menziesii	428	0,235	1,756	0,004	0,447

TABEAU 13. — Paramètres à utiliser dans l'équation 21 issue des travaux du projet EMERGE.

Annexe 5 : Équations pour l'estimation de la biomasse racinaire

Il s'agit des équations recommandées par le Giec sur la base des travaux de Cairns *et al.* (1997). Pour les équations 3, 4 et 5, l'ajout de la latitude (ou de l'âge dans l'équation 2) n'augmente pas beaucoup le R^2 , les coefficients sont toutefois très significatifs.

Conditions et variables indépendantes	Équation	Taille d'échantillon n	R^2
Toutes les forêts, $B_R = f(B_A)$	$B_R = \exp(-1,085 + 0,9256 \times \ln(B_A))$	151	0,83
Toutes les forêts, $B_R = f(B_A, \text{Âge})$	$B_R = \exp(-1,3267 + 0,8877 \times \ln(B_A) + 0,1045 \times \ln(\text{Âge}))$	109	0,84
Forêts tropicales $B_R = f(B_A)$	$B_R = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln(B_A))$	151	0,84
Forêts tempérées, $B_R = f(B_A)$	$B_R = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln(B_A) + 0,2840)$	151	0,84
Forêts boréales $B_R = f(B_A)$	$B_R = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln(B_A) + 0,1874)$	151	0,84

TABLEAU 14. — Équations allométriques pour l'estimation de la biomasse souterraine ou racinaire.

Avec :

B_R = la biomasse racinaire en tonnes de matière sèche (tMS) ;

B_A = la biomasse aérienne en tonnes de matière sèche (tMS).

Références bibliographiques

- ADEME, 2015. *Forêt et atténuation du changement climatique*. Les avis de l'Ademe, 12 p.
- ARROUAYS Dominique, BALESDENT Jérôme, GERMON Jean-Claude, JAYET Pierre-Alain, SOUSSANA Jean-François, STENGEL Pierre, 2002. *Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?* (Expertise scientifique collective). INRA, 334 p.
- CAIRNS Michael, BROWN Sandra, HELMER Eileen, BAUMGARDNER Greg, 1997. *Root biomass allocation in the world's upland forests*. *Oecologia*, n° 111, pp. 1-11.
- CUCHET Emmanuel, 1998. *Les houppiers de peuplier — Départements du Nord, du Pas-de-Calais et de l'Aisne*. AFOCEL, fiche n° 567, 6 p.
- DELEUZE Christine, MORNEAU François, RENAUD Jean-Pierre, VIVIEN Yannick, RIVOIRE Michaël, SANTENOISE Philippe, LONGUETAUD Fleur, MOTHE Frédéric, HERVÉ Jean-Christophe, VALLET Patrick, 2014. *Estimer le volume total d'un arbre, quelles que soient l'essence, la taille, la sylviculture, la station*. *Rendez-vous techniques* n° 44. ONF, pp. 22-32
- DIDOT François, 2017. *Les forestiers du Massif central vers les services écosystémiques*. CNPF, 44 p.
- FCBA, IGN, Inra, CRPF Aquitaine, 2013. *Disponibilité de bois en Aquitaine de 2012 à 2025*. Rapport final, 55 p.
- FCBA, 2018. *Mémento 2017*. FCBA, 48 p.
- GIEC, 2006. *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4 : agriculture, forestry and other land use, chapter 4 : forest land*, 83 p.
- GIEC, 2006. *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4 : agriculture, forestry and other land use, chapter 5 : cropland*, 66 p.
- GONZÁLEZ-GARCÍA Sara, BONNESOEUR Vivien, PIZZI Antonio, FEIJOO Gumersindo, MOREIRA María Teresa, 2014. *Comparing environmental impacts of different forest management scenarios for maritime pine biomass production in France*. *Journal of cleaner production*, n° 64, pp. 356-367.
- INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE, 2016. *Leviers forestiers en termes d'atténuation pour lutter contre le changement climatique aux horizons 2020, 2030, 2050* (Rapport d'étude). INRA, 96 p.
- PINGOUD Kim, WAGNER Fabian, 2006. *Methane emissions from landfills and carbon dynamics of harvested wood products: the first-order decay revisited*. Interim Report (IR-06-004), International for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg: 20 p.

VALADA Tatiana, CARDELLINI Giuseppe, VIAL Estelle, LEVET Anne-Laure, MUYS Bart, LAMOULIE Julien, HUREL Cécile, PRIVAT François, CORNILLIER Claire, VERBIST Bruno, 2016. “FORMIT Project - Deliverable 3.2 - LCA and Mitigation Potential from Forest Products.” D 3.2. The work leading to these results has received funding from the European Community’s Seventh Framework Programme under grant agreement n° FP7-311970

VALLET Patrick, DHÔTE Jean-François, LE MOGUEDEC Gilles, RAVART Michel, PIGNARD Gérard, 2006. *Development of total aboveground volume equations for seven important forest species in France*. Forest Ecology and Management, vol. 229, n° 1-3, pp. 98-110.

VERRA, 2011. AFOLU Guidance: Example for Calculating the Long-Term Average Carbon Stock for ARR Projects with Harvesting, 9 p. http://verra.org/wp-content/uploads/2018/03/VCS-Guidance-Harvesting-Examples_0.pdf