



Méthode reconstitution de peuplements forestiers dégradés

Version du 18/04/2019

Ce document est une Méthode pour des projets volontaires de reboisement 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 (CNPFF) 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 reboisement 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 | 4 |
| 1.1. RECONSTITUTION DE PEUPELEMENTS FORESTIERS DEGRADEES..... | 4 |
| 1.2. DUREE DE PROJET | 4 |
| 1.3. LE PORTEUR DE PROJET..... | 4 |
| 1.4. SELECTION DES SOURCES/PUITS ET COMPARTIMENTS A PRENDRE EN COMPTE | 5 |
| 2. CRITERES D'ELIGIBILITE | 6 |
| 2.1. PIECES ELEMENTAIRES A FOURNIR SYSTEMATIQUEMENT..... | 6 |
| 2.2. ÉLIGIBILITE DES REBOISEMENTS..... | 6 |
| 2.2.1. <i>Projet de reboisement d'une forêt détruite par une tempête</i> | <i>7</i> |
| 2.2.2. <i>Projet de reboisement d'une forêt incendiée.....</i> | <i>9</i> |
| 2.2.3. <i>Projet de reboisement d'une forêt en situation de dépérissement massif</i> | <i>9</i> |
| 3. CHOIX DU SCENARIO DE REFERENCE ET DEMONSTRATION DE L'ADDITIONNALITE | 11 |
| 3.1. CHOIX DU SCENARIO DE REFERENCE | 11 |
| 3.2. DEMONSTRATION DE L'ADDITIONNALITE..... | 11 |
| 3.2.1. <i>Analyse légale et des aides publiques existantes</i> | <i>12</i> |
| 3.2.2. <i>Analyse économique</i> | <i>12</i> |
| 4. INTEGRITE ENVIRONNEMENTALE..... | 15 |
| 4.1. UN DIAGNOSTIC PREALABLE DE LA BIODIVERSITE AVANT RECOLTE DU PEUPELEMENT A SUBSTITUER | 15 |
| 4.2. LA GRILLE D'EVALUATION DES CO-BENEFICES | 15 |
| 5. INTEGRATION DU RISQUE DE NON-PERMANENCE | 18 |
| 5.1. RISQUE DE DEPERISSEMENT/INADEQUATION A LA STATION..... | 18 |
| 5.2. RISQUES GENERAUX, DIFFICILEMENT MAITRISABLES | 18 |
| 5.3. RISQUE D'INCENDIE..... | 18 |
| 5.4. RISQUE DU AU GIBIER | 20 |
| 6. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS GENERABLES | 21 |
| 6.1. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS ANTICIPEES GENERABLES | 21 |
| 6.1.1. <i>REA générables du fait de la séquestration du carbone par l'écosystème forestier</i> | <i>21</i> |
| 6.1.2. <i>REA générables du fait du stockage du carbone dans les produits bois récoltés.....</i> | <i>22</i> |
| 6.2. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS DE L'EMPREINTE GENERABLES | 23 |
| 6.2.1. <i>Calcul des réductions d'émissions de l'empreinte générables dans le scénario de reboisement</i> | <i>24</i> |
| 6.2.2. <i>Calcul des réductions d'émissions de l'empreinte générables dans le scénario de référence.....</i> | <i>25</i> |
| 7. QUANTIFICATION CARBONE DES ITINERAIRES | 26 |
| 7.1. QUANTIFICATION GENERALE DU CARBONE | 26 |
| 7.1.1. <i>Estimation de la biomasse aérienne (B_A)</i> | <i>26</i> |
| 7.1.2. <i>Estimation de la biomasse racinaire (B_R)</i> | <i>26</i> |
| 7.1.3. <i>Taux de carbone dans la matière sèche.....</i> | <i>27</i> |
| 7.1.4. <i>Estimation du stock de carbone dans les sols (S)</i> | <i>27</i> |
| 7.1.5. <i>Estimation du stock de carbone dans la litière (L)</i> | <i>27</i> |
| 7.1.6. <i>Estimation du stock de carbone dans le bois mort (M).....</i> | <i>28</i> |
| 7.2. MODELISATION DE L'EVOLUTION DU CARBONE DANS LE SCENARIO DE REFERENCE | 28 |
| 7.2.1. <i>Colonisation post-tempête.....</i> | <i>28</i> |
| 7.2.2. <i>Colonisation post-incendie.....</i> | <i>28</i> |
| 7.2.3. <i>Dépérissement intense.....</i> | <i>29</i> |
| 7.3. MODELISATION DE L'EVOLUTION DU CARBONE DANS L'ITINERAIRE DE REBOISEMENT | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 8. VERIFICATION | 30 |
| 8.1. VERIFICATION DOCUMENTAIRE PAR UN AUDITEUR | 30 |
| 8.2. VERIFICATION ADDITIONNELLE DE TERRAIN PAR UN AUDITEUR | 30 |
| 9. REDUCTIONS D’EMISSIONS ANTICIPEES « FORET » GENERABLES ET GENEREES APRES APPLICATION DES RABAIS | 32 |
| 10. BILAN DES ELEMENTS A FOURNIR ET DES RABAIS APPLICABLES | 33 |
| ANNEXE 1 : PROTOCOLE DE DEPERISSEMENT DEPERIS | 35 |
| ANNEXE 2 : COEFFICIENT DE SUBSTITUTION POUR LE PEUPLIER | 36 |
| ANNEXE 3 : COEFFICIENT DE SUBSTITUTION POUR LE PIN MARITIME EN GESTION DYNAMIQUE (OU INTENSIVE) | 36 |
| ANNEXE 4 : INFRADENSITES RECOMMANDEES POUR LES PRINCIPALES ESSENCES FRANÇAISES | 37 |
| ANNEXE 5 : METHODE DE QUANTIFICATION D’UN VOLUME TOTAL | 38 |
| ANNEXE 6 : ÉQUATIONS POUR L’ESTIMATION DE LA BIOMASSE RACINAIRE | 40 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 41 |

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 reboisement au sens de « terre ne portant pas de forêt à la date du 1^{er} janvier 1990 » des Accords de Marrakech.

De fait, il en découle les définitions suivantes.

1.1. Reconstitution de peuplements forestiers dégradés

On entend par « reconstitution de peuplements forestiers dégradés » la conversion anthropique directe de terres forestières **ayant subi des dégâts lourds** (tempêtes, incendies, dépérissements massifs, mortalité importante, attaques sanitaires...) en terres forestières viables grâce à une plantation adaptée à la station et aux conditions climatiques.

Il s'agit donc de reboisements. Par simplification, nous utiliserons par la suite le terme de « reboisement » pour désigner la « reconstitution de peuplements forestiers dégradés ».

La surface minimale pour une reconstitution de peuplements forestiers dégradés est fixée à **0,5 ha** pour une parcelle ou groupe de parcelles attenantes.

1.2. Durée de projet

Par dérogation à la partie IV.C du référentiel du label Bas-Carbone, la durée pour un projet de reboisement 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.

1.3. 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 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, celui du bois mort pourra être négligé (cf. 7.1.6.). 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 | Facultatif | Selon scénario de référence | 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 <i>et al.</i> , 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 |

TABLEAU 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 reboisement 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 présenter un document de gestion durable (aménagement forestier, plan simple de gestion, règlement type de gestion ou code de bonnes pratiques sylvicoles). Au titre des articles 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). Comme justificatif, le Porteur de projet devra fournir :

- 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 cas échéant, le Porteur de projet s'assurera de modifier le tableau de coupes et travaux de son document de gestion durable par avenant.

S'il n'a pas de document de gestion durable au moment du dépôt de projet, le Porteur de projet devra démontrer par n'importe quel moyen qu'un document de gestion durable pour ses bois est au moins en cours de rédaction (courrier ou courriel du rédacteur attestant de la rédaction en cours, courrier ou courriel du CRPF attestant de la réception du document ou de son instruction en cours...). Il devra de plus envoyer le document à l'Autorité une fois celui-ci approuvé (avec les pièces justificatives indiquées ci-dessus selon les cas).

2.2. Éligibilité des reboisements

Afin d'éviter les effets d'aubaine, tout projet de reboisement issu de la récolte finale d'un peuplement sain sera exclu. En effet, tout propriétaire a obligation, sous cinq ans, de reconstituer la

vocation forestière d'une parcelle ayant fait l'objet d'une coupe de récolte (article L124-6 du Code forestier¹).

De même, cette Méthode exclut les projets consistant à récolter des peuplements non déperissants (sous prétexte qu'ils ne sont pas assez productifs) pour reboiser avec une essence plus productive.

De fait, trois types de situation pourront donner lieu à un projet de reboisement ; il s'agira de parcelles :

- Ayant subi une tempête avec un taux de chablis ou de volis supérieur à 40 % des tiges ;
- Ayant subi un incendie dans des contextes où il est pertinent de reboiser après incendie ;
- Présentant un taux de dépérissement qualifiable « d'intense » (voire une mortalité très inquiétante) pouvant être dû à des attaques sanitaires, au changement climatique, à une inadéquation à la station... (voir critères précis en partie 2.3.3.).

Dans tous les cas, le projet ne sera éligible que pour les catastrophes survenues **il y a moins de 5 ans avant la date de dépôt de projet**.

Les coupes rases récoltant le peuplement impacté ne pourront pas prélever toute la biomasse de la parcelle, de façon à impacter le moins possible le compartiment du sol. Les pratiques de labour (Jolivet, 2000) et de récolte des rémanents (Achat *et al.*, 2015 ; Augusto *et al.*, 2019) seront proscrites puisqu'impactantes sur le carbone du sol. **Les projets devront respecter ces préconisations sous peine de ne pas être certifiés par le label Bas-Carbone.**

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'Alimentation².

Les travaux prévus 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.

2.2.1. Projet de reboisement d'une forêt détruite par une tempête

Si, au moment de la constitution du dossier, une **photographie aérienne** de la parcelle après la tempête est disponible, le Porteur de projet la fournira à son dossier pour démontrer les dégâts (arbres jonchant le sol...), il superposera le fond cadastral si possible. Il pourra le faire via <https://www.geoportail.gouv.fr/> ou <https://remonterletemps.ign.fr/> ou par tout autre moyen qu'il jugera pertinent. Il fournira également une **photographie du terrain** (vue depuis la parcelle) **de moins d'un an** attestant de son état actuel.

Ne seront éligibles à un projet de reboisement que les parcelles dont **la tempête a détruit au moins 40 % des tiges**. Ce seuil de 40 % de tiges renversées, déracinées ou étêtées (chablis ou volis) a déjà été utilisé dans le passé notamment dans l'attribution d'aides publiques pour le reboisement après la tempête

¹ [article L124-6 du Code forestier](#) : Dans un massif forestier d'une étendue supérieure à un seuil arrêté par le représentant de l'État dans le département, après avis du Centre national de la propriété forestière et de l'Office national des forêts, après toute coupe rase d'une surface supérieure à un seuil arrêté par la même autorité dans les mêmes conditions, la personne pour le compte de qui la coupe a été réalisée ou, à défaut, le propriétaire du sol est tenu, en l'absence d'une régénération ou reconstitution naturelle satisfaisante, de prendre, dans un délai de cinq ans à compter de la date de début de la coupe définitive, les mesures nécessaires au renouvellement de peuplements forestiers. [...]

² <https://agriculture.gouv.fr/materiels-forestiers-de-reproduction-arretes-regionaux-relatifs-aux-aides-de-letat-linvestissement>

Klaus^{3,4}. Ce seuil est maintenu pour cette Méthode. Pour ce faire, le Porteur de projet devra faire une estimation de l'ampleur des dégâts survenus dans sa parcelle afin de savoir s'il est éligible ou pas. Les photographies aériennes peuvent suffire pour cette estimation.



FIGURE 2. — Photographies aériennes d'un peuplement de douglas avant tempête en 2006 (photo en haut à gauche), après passage de la tempête Klaus de 2009 (en haut à droite : on devine les arbres jonchant le sol), après vidange des chablis en 2010 (en bas à gauche : on voit les tires de débardage) et quelques années après reboisement en 2013 (en bas à droite). Extraits d'orthophotos issus de <https://remonterletemps.ign.fr> (Source : IGN)

³ [Arrêté du préfet de la Région Aquitaine du 13 août 2009 sur les conditions de financement par des aides publiques des travaux de nettoyage liés à la reconstitution des peuplements forestiers de pin maritime sinistrés par la tempête Klaus](#)

⁴ [Arrêté du préfet de la Région Aquitaine du 1^{er} février 2010 consolidé le 1^{er} juin 2010 sur les conditions de financement par des aides publiques des travaux de nettoyage \(hors peupliers et pin maritime\) et de reconstitution \(hors peupliers\) des peuplements forestiers sinistrés par la tempête Klaus](#)

2.2.2. Projet de reboisement d'une forêt incendiée

Si, au moment de la constitution du dossier, une **photographie aérienne** de la parcelle après l'incendie est disponible, le Porteur de projet la fournira à son dossier pour démontrer les dégâts (arbres calcinés), il superposera si possible le fond cadastral. Il pourra le faire via <https://www.geoportail.gouv.fr/>. Le Porteur de projet pourra télécharger une orthophoto de sa forêt avant incendie sur <https://remonterletemps.ign.fr/>. Il fournira également une **photographie du terrain** (vue depuis la parcelle) **de moins d'un an** attestant de son état actuel.

Il n'y a aucun seuil d'éligibilité pour un reboisement post-incendie. Toutefois, on veillera à ne reboiser que les zones incendiées où cela est nécessaire. Dans certaines zones méditerranéennes, il vaut mieux attendre la réinstallation d'un peuplement grâce aux premières essences pionnières (pin d'Alep, pin maritime...) qui vont venir coloniser la parcelle et reconstituer peu à peu son état forestier passé. Si la dynamique de colonisation naturelle post-incendie est forte, il n'est pas évident que le scénario de projet puisse présenter un gain en carbone par rapport au scénario de référence (colonisation naturelle très dynamique) ; c'est pourquoi on privilégiera les reboisements pour lesquels on présage que la dynamique post-incendie serait faible (parcelle isolée, non attenante à un massif forestier donc éloignée de semenciers potentiels...).

Pour s'assurer que le reboisement est réellement nécessaire suite à un incendie survenu en zone méditerranéenne, il est donc conseillé d'attendre quelques années (jusqu'à un maximum de 5 ans) avant de déposer un projet de reboisement auprès de l'Autorité.

Le Porteur de projet devra calculer la surface à boiser, en ôtant les surfaces n'ayant pas été ravagées par l'incendie.



FIGURE 1. — Photographies aériennes d'une peuplement avant incendie (à gauche) et après incendie (à droite). (Source : IGN)

2.2.3. Projet de reboisement d'une forêt en situation de dépérissement massif

Le dépérissement se définit comme « *un affaiblissement progressif ou momentané d'un organisme animal ou végétal, aboutissant parfois à la mort et résultant de dérangements physiologiques ou d'affectations parasitaires. En foresterie, le dépérissement se traduit le plus souvent par une détérioration plus ou moins rapide des cimes (pertes ou jaunissement des feuilles ou des aiguilles), du haut vers le bas et de l'extérieur vers l'intérieur et par une diminution de la croissance des arbres. La mort peut être une issue du processus.* » (Bastien et Gauberville, 2015).

Cette Méthode rend éligible ces peuplements en situation de dépérissement ou de mortalité *inquiétants* ou *préoccupants*. Ces situations nécessitent la récolte du peuplement sylvicole pour le substituer à un peuplement mieux adapté à la station ou aux conditions climatiques.

Le Porteur de projet devra démontrer la situation de dépérissement intense qui justifie une coupe rase et un reboisement. Pour ce faire, on utilisera le protocole DEPERIS (voir détails en Annexe 1) mis au point par le Département de la santé des forêts (DSF), dans lequel un peuplement présente un « dépérissement intense » si plus de 20 % des tiges de l'essence concernée sont très ou fortement dépérissantes. En dessous de ce seuil de 20 %, il est admis que les peuplements présentent un « *dépérissement faible ou diffus* ».

Pour qu'un projet de reboisement soit donc éligible, il faudra **démontrer que 20 % des tiges présentent au moins 50 % de perte foliaire** (Nageleisen, 2005). En-dessous de ce seuil de 20 %, les peuplements ne pourront pas être considérés comme dépérissants et ne pourront être éligibles au label Bas-Carbone. Au-dessus de ce seuil de 20 %, on considérera qu'une coupe rase du peuplement en place suivie d'un reboisement est envisageable au vu du taux de tiges dépérissantes ou mortes. Ce pourcentage est défini en proportion du nombre de tiges de l'étage dominant ou co-dominant. L'équation 18 en annexe 1 (DSF, 2017) indique comment calculer la note DEPERIS.

Ce seuil de 20 % fait aujourd'hui référence et est repris dans une note ministérielle⁵ pour caractériser un dépérissement « intense » ou dans d'autres études (Lemaire, 2014).

Pour la forêt privée, en conformité avec les articles L.312-5, L.312-10, R.312-16 et R.312-21-1 du Code forestier, en cas d'événements fortuits, accidentels, maladies ou sinistres, qui impliquent des mesures d'urgence, le propriétaire peut faire procéder à l'abattage. Toutefois, il doit, avant d'entreprendre la coupe, faire une déclaration auprès du CRPF par tout moyen permettant d'établir date certaine et observer un délai de 15 jours. Pendant ce délai, le CRPF peut faire opposition à cette coupe.

Le cas échéant, un avis favorable de coupe d'urgence émis par le CRPF se substituera *de facto* à l'établissement du diagnostic DEPERIS, et le dépérissement sera reconnu comme étant intense. Pour ce faire, le propriétaire devra fournir **copie de la lettre du CRPF** délivrant un avis favorable à la coupe d'urgence.

En forêt publique, il n'existe pas de procédure similaire. Le protocole DEPERIS sera donc effectué pour prouver le caractère dépérissant du peuplement à substituer.

Le Porteur de projet joindra *a minima* des photographies actuelles du peuplement mettant en évidence son dépérissement.

⁵ Ce chiffre de 20 % de tiges impactées pour caractériser un « dépérissement intense » (fourni par le DSF) est repris dans la note de service DGAL/SDQPV/2010-8119 du 27 avril 2010 (ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche) : <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-N2010-8119>

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. »*

La partie 2.2. détermine trois types de projets de reboisements éligibles à la présente Méthode dans le cadre du label Bas-Carbone. Par conséquent, il convient de déterminer trois scénarios de référence :

- **Peuplements dévastés par une tempête** : le scénario de référence sera la vidange des chablis puis une colonisation lente par des accrus, le propriétaire faisant le choix de ne pas reboiser ;
- **Peuplements incendiés** : le scénario de référence sera la commercialisation des bois calcinés puis une colonisation lente par des accrus, le propriétaire faisant le choix de ne pas reboiser ;
- **Peuplements en situation de dépérissement intense** : le propriétaire fait le choix de récolter son peuplement dépérissant dès l'année 0 puis une colonisation de sa parcelle par des accrus de la même essence se met en place, le propriétaire faisant le choix de ne pas reboiser.

Le scénario de référence ne pourra pas être négligé même si un futur peuplement issu d'une colonisation naturelle se met en place de façon très lente après la catastrophe. Le choix entre un enrichissement feuillu ou résineux se fait sur la base de la constitution de l'ancien peuplement. Si une tempête a dévasté un peuplement de pin maritime, on fera l'hypothèse que ce seront des accrus de résineux qui coloniseront la parcelle dans le scénario de référence. Si la parcelle dévastée est isolée de tout peuplement résineux aux alentours, on fera l'hypothèse d'un enrichissement par des accrus feuillus. Le choix entre des accrus feuillus ou résineux pourra également se justifier par l'observation de parcelles similaires avoisinantes. Exemple : on remarque qu'après incendie les parcelles de cette commune sont rapidement colonisées par le pin d'Alep. Par conséquent on fera l'hypothèse que la dynamique naturelle de colonisation post-incendie se fera avec cette essence.

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 ne saurait ignorer toutes les réglementations existantes pouvant empêcher ou contraindre un reboisement (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 reboisement et démontrer qu'elles sont insuffisantes parce que :

- Aucune subvention liée au reboisement 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 reboisements sont insuffisantes au regard de l'investissement chiffré dans le projet de reboisement. 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 des travaux de reboisement (Didot, 2017⁶). On retiendra donc ce seuil comme limite à l'investissement pour le propriétaire.

Exemple 1 : si le coût du reboisement du Porteur de projet est estimé à 3 000 €/ha et qu'il existe une aide publique pour le reboisement 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 reboisements estimés à 6 000 €/ha (soit 2 400 € financés) alors l'aide existante sera jugée insuffisante pour la réalisation du projet de reboisement et l'additionnalité pourra être démontrée.

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 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 10 % est alors appliqué.

Option 2 : un calcul de la valeur actualisée nette (VAN) sur la durée de révolution du peuplement

Pour les projets de reboisement, une estimation des recettes potentielles issues de la récolte des bois (de tempête, incendiés, scolytés, déperissants...) et des coûts de reboisement (nettoyage de la parcelle, broyage éventuel, travail du sol éventuel, achat des plants, mise en terre des plants, dégagements) devra être effectuée pour justifier de l'additionnalité, quel que soit le projet de reboisement (tempête, incendie, forte mortalité).

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

$$VAN_{reboisement} = R_0 - \sum_{i=0}^n \frac{R_i - C_i}{(1+r)^i}$$

Équation 1

$$VAN_{référence} = R_0 - \frac{R_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Équation 2

On considère avec l'équation 2 (scénario de référence) que les bois (issus des accrus ou des régénérations) seront coupés à l'année t et qu'il n'y aura aucun investissement après vidange des bois à terre, brûlés ou déperissants. Le propriétaire ne reboise pas dans le scénario de référence et laisse sa parcelle se coloniser par des accrus.

$$\Delta_{VAN} = VAN_{reboisement} - VAN_{référence}$$

Équation 3

Avec :

VAN = valeur actualisée nette (en €)

C_i = dépenses liées au projet de reboisement (en €). Cela peut comprendre : la récolte du peuplement à substituer (chablis, incendiés, déperissants, morts...), le débardage, le broyage éventuel, l'achat des plants, l'opération de plantation, les dégagements des plants, les coûts liés aux éclaircies...

C_t = dépenses liées à la coupe rase du peuplement issu des accrus post-tempête, post-incendie ou post-dépérissement intense ;

R_i = recettes liées au projet (en €). Elles concerneront la vente des bois issus du peuplement à substituer ;

R_0 = recettes nettes à l'année 0 liées à la vidange des bois des parcelles ayant subi une tempête, un incendie ou un dépérissement intense ;

R_t = recettes liées à la coupe rase du peuplement issu des accrus post-tempête, post-incendie ou post-dépérissement intense ;

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

t = durée de révolution de l'essence constituant les accrus dans le scénario de référence (t peut être différent de n) ;

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

Le Porteur de projet devra fournir un devis spécifiant l'intégralité des coûts (débardage des bois à récolter, nettoyage de la parcelle, préparation du sol, achat et mise en place des plants et un à deux dégagements). Pour les recettes potentielles, il pourra demander à un professionnel forestier de faire une estimation qui fera foi. Si l'estimation des recettes est effectuée par le Porteur de projet sans justification valable sur les prix potentiels de vente, on estimera qu'il y aura risque d'un effet d'aubaine (consistant à sous-estimer les recettes pour rendre le projet additionnel) et un rabais de 5 % sera appliqué.

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 $\Delta_{VAN} < 0$.

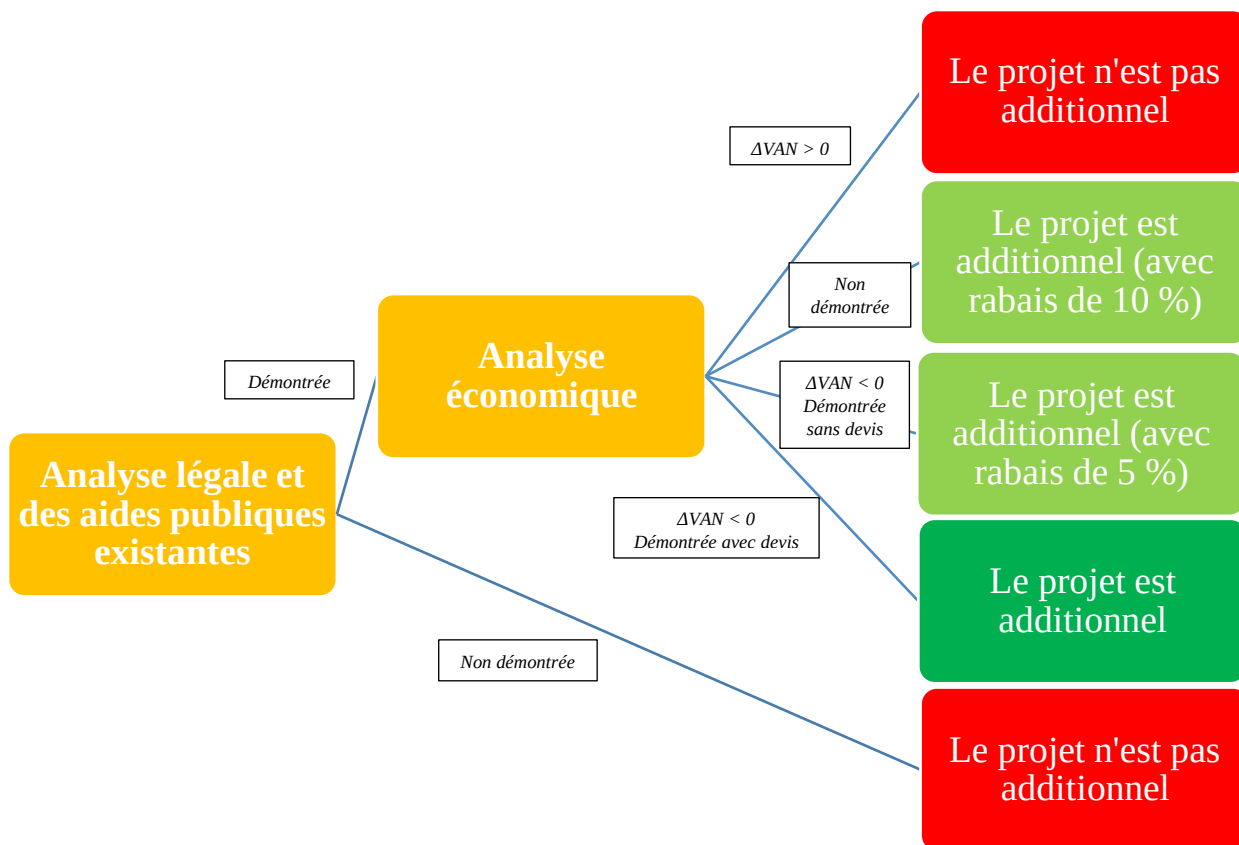


FIGURE 1. — Bilan des étapes de démonstration de l'additionnalité d'un projet carbone.

4. Intégrité environnementale

4.1. Un diagnostic préalable de la biodiversité avant récolte du peuplement à substituer

Les projets éligibles dans le cadre de cette Méthode nécessitent forcément une coupe rase du peuplement à substituer et un nettoyage. Par conséquent, en l'état ils pourraient mener à une perte de biodiversité *in situ*. Or, la Méthode veille au respect de critères environnementaux pour ne pas que les projets soient source de perte de biodiversité.

Pour tout projet d'une contenance supérieure à 2 ha, un diagnostic IBP (indice de biodiversité potentielle) devra être réalisé par un professionnel forestier formé à l'IBP pour tout projet menant à la récolte d'un peuplement en place. Ce **diagnostic de la diversité** visera à considérer localement les zones où la biodiversité est importante de façon à laisser des arbres d'intérêt écologique (vieux châtaigniers issus de verger, arbres en bordure de ruisseau ou de parcelle, arbres morts...) ; les interventions (coupe du peuplement à substituer) ne pourront donc pas s'effectuer sur les surfaces où des arbres seront maintenus de façon à conserver les éléments favorables à la biodiversité.

Dans la plupart des cas, les reboisements ne se feront donc pas sur l'intégralité de la surface prévue initialement en reboisement.

Pour les projets inférieurs à 2 ha, la réalisation d'un IBP est facultative et pourra être valorisée au niveau des co-bénéfices.

En forêt privée, l'outil de diagnostic utilisé sera l'IBP. En forêt publique, l'IBP pourra être utilisé ou tout autre outil de diagnostic de la biodiversité développé par l'ONF.

Exemple : Soit un taillis de châtaignier avec une forte mortalité pour lequel l'IBP indique que sur 15 % de la surface il y a des gros châtaigniers à cavités issus de vergers à haute valeur écologique, alors ces zones seront maintenues et la coupe rase suivie du reboisement ne concernera que 85 % de la surface de la parcelle.

NB : le temps nécessaire pour la réalisation d'un IBP est d'environ **20 à 30 min par hectare**. Cela varie selon l'expérience du notateur, la connaissance qu'il a de la forêt et la pénétrabilité.

La réalisation de ce diagnostic sur la biodiversité pourra se faire concomitamment au diagnostic stationnel (voir 6.1.) (et, le cas échéant, au diagnostic DEPERIS) de façon à limiter les coûts pour le Porteur de projet.

4.2. La grille d'évaluation des co-bénéfices

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 reboisement sur une parcelle ne figurant à proximité d'aucun 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 reboisement | 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 reboisement | 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 | Valorisation locale des bois récoltés | Les bois récoltés ou vidangés sont valorisés par une entreprise de 1 ^{ère} transformation située dans un rayon de 50 km du chantier de reconstitution | Bonus | + 3 |
| 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 reboisement 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 | Nettoyage du sol (1/2) | Nettoyage partiel (au moins 50 % de la surface n'est pas impactée) | Bonus | + 3 |
| 9 | Préservation des sols | Nettoyage du sol (2/2) | Absence de nettoyage après exploitation de la parcelle | Bonus | + 5 |
| 10 | Préservation des sols | Préparation du sol (1/3) | Préparation du sol en bandes | Bonus | + 1 |
| 11 | Préservation des sols | Préparation du sol (2/3) | Préparation du sol par potets travaillés | Bonus | + 2 |
| 12 | Préservation des sols | Préparation du sol (3/3) | Absence de préparation du sol | Bonus | + 3 |

| | | | | | |
|----|---------------------------------|--|--|-------|-----|
| 13 | Biodiversité (environnement) | Introduction de biodiversité (1/3) | Reboisement avec 3 essences (ou plus), dont au moins 2 essences autochtones représentent au moins 40 % des plants | Bonus | + 5 |
| 14 | Biodiversité (environnement) | Introduction de biodiversité (2/3) | Reboisement en mélange de 2 essences, avec au moins 10 % des plants avec une essence autochtone | Bonus | + 1 |
| 15 | Biodiversité (environnement) | Introduction de biodiversité (3/3) | Création de bordures feuillues linéaires (routes, chemins, limites de parcelles) | Bonus | + 1 |
| 16 | Biodiversité (environnement) | Préservation de la biodiversité préexistante (1/2) | Si projet inférieur à 2 ha, réalisation d'un relevé IBP et justification de l'intégration des éléments en découlant dans l'opération de reconstitution | Bonus | + 5 |
| 17 | Biodiversité (environnement) | Préservation de la biodiversité préexistante (2/2) | Maintien d'arbres d'intérêt écologique ou de bordures boisées présentes à l'intérieur ou en limite des parcelles à reboiser | Bonus | + 2 |
| 18 | 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 |
| 19 | Eau (environnement) | Prise en compte de milieux aquatiques ou humides (2/2) | Le reboisement résineux est effectué à plus de 10 m de la bordure d'un cours d'eau | Bonus | + 1 |
| 20 | 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 reboisement est d'installer un peuplement qui ne soit pas adapté à la station (sol) ou aux conditions climatiques. Pour tenir compte de ce risque, le Porteur de projet devra fournir une analyse détaillée de l'adéquation entre la ou les essences du reboisement et la station sur des critères pédologiques et climatiques. Cette analyse pourra être réalisée par le propriétaire (s'il en a les compétences) ou un professionnel forestier (ONF, CNPF, coopérative, expert, gestionnaire forestier professionnel...). Aucun rabais ne sera pratiqué sur ce risque de non-permanence dans la mesure où le Porteur de projet doit effectuer cette justification préliminaire.

Cette justification est obligatoire.

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 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 reboisements concernés.

| Région | Département |
|--------|-------------------|
| Corse | Corse-du-Sud (2A) |

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'Etat dans le département, après avis de la commission départementale compétente en matière de sécurité. [...] »

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | Haute-Corse (2B) |
| | Alpes-de-Haute-Provence (04) |
| | Hautes-Alpes (05) |
| | Alpes-Maritimes (06) |
| | Bouches-du-Rhône (13) |
| | Var (83) |
| Occitanie | Vaucluse (84) |
| | 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) |
| Nouvelle-Aquitaine | Drôme (26) |
| | Charente (16) |
| | Charente-Maritime (17) |
| | Dordogne (24) |
| | Gironde (33) |
| | Landes (40) |
| | Lot-et-Garonne (47) |
| | Pyrénées-Atlantiques (64) |
| | Deux-Sèvres (79) |
| | Vienne (86) |

TABLERAU 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 reboisement 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 du massif...

Toutefois, aucun rabais ne sera appliqué sur ce risque dans la mesure où il y aura un contrôle que le reboisement est réussi (vérification).

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 reboisement 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 reboisement, 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 reboisement 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 reboisement dont la révolution R de l'essence plantée est inférieure à 30 ans (exemple : peuplier récolté à 25 ans), l'équation 6 sera utilisée :

$$REA_{forêt} = \frac{1}{R} \times \sum_{t=1}^R S_{projet}(t) - \frac{1}{R'} \times \sum_{t=1}^{R'} S_{réf}(t)$$

Équation 6

Dans tous les cas, le stock de carbone annuel présent dans les différents compartiments pour le reboisement 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 (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 également calculé avec l'équation 7.

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 reboisement 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 :

CS = la substitution moyenne générée par un mètre cube de bois rond en France (en tCO_2/m^3) ;

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/TEXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0841&from=EN>

$\text{Flux}_{\text{projet}}(n)$ = 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 m^3) ;

$\text{Flux}_{\text{ref}}(n)$ = 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 m^3).

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 |

TABLERAU 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 reboisements ; 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.

6.2.1. Calcul des réductions d'émissions de l'empreinte générables dans le scénario de reboisement

Ne pouvant pas utiliser un coefficient de substitution moyen national qui serait surestimé dans la mesure où un reboisement produit peu ou pas de bois d'œuvre sur les 30 premières années, la Méthode propose par conséquent des coefficients de substitution selon quatre reboisements 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 2) ;
- 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 3) ; 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 reboisements durant les 30 premières années.

Le Porteur de projet devra intégrer également le volume de bois récolté suite à la tempête, à l'incendie ou au dépérissement intense et, selon la répartition BO/BI/BE, y affecter le coefficient de substitution correspondant dans le tableau 5.

6.2.2. Calcul des réductions d'émissions de l'empreinte générables dans le scénario de référence

Dans les scénarios de référence « tempête » et « incendie », on fera l'hypothèse que le propriétaire récolte les bois ayant été détruits par la tempête ou l'incendie mais qu'il ne reboise pas par la suite. De fait, il conviendra d'estimer la répartition BO/BI/BE des bois issus de la tempête ou de l'incendie (comme pour le scénario de projet) et y affecter le coefficient de substitution du tableau 5.

Dans le scénario de référence sur le dépérissement intense, le Porteur de projet devra estimer la répartition BO/BI/BE escomptée à l'âge de récolte prévu et y affecter les coefficients de substitution du tableau 5.

Enfin, après la récolte présente dans chacun des trois cas (tempête, incendie, dépérissement intense), le scénario de référence étant un enrichissement de la parcelle, on distinguera deux cas :

- Enrichissement par des feuillus : on admettra qu'au vu de la relative lenteur en moyenne de ce type de processus naturel, aucune éclaircie n'est envisageable dans des accrus feuillus sur les 30 premières années. Par conséquent, il n'y aura pas d'autre effet de substitution joué par le bois dans le scénario de référence ;
- Enrichissement par des résineux pionniers (pin maritime, pin d'Alep, pin sylvestre...) : on fera l'hypothèse qu'une éclaircie sera envisageable dans cette situation et que l'intégralité de l'éclaircie aura pour destination le bois d'industrie. On appliquera alors le coefficient de substitution de 0,43 (cf. tableau 5).

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 4).

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 4, 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 5.

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 6) 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, une valeur par défaut sera utilisée pour intégrer le carbone organique du sol. Elle correspond à celle préconisée 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 (étude basée sur 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). La valeur retenue par défaut est de **70 tC/ha** (hors litière).

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. En effet, Achat *et al.*, (2015) ont montré que les coupes rases exportant uniquement les tiges de bois fort n'ont généralement pas d'effet significatif sur la capacité de séquestration des sols, à condition de ne pas les perturber.

La littérature scientifique montre toutefois que la **récolte des rémanents** lors des coupes rases (récolte arbre entier) a un **impact négatif** sur les stocks de carbone organique du sol. C'est pourquoi les projets prévoyant l'export des souches et rémanents ne sont pas éligibles à la présente Méthode (cf. partie 2.2.).

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

Reboisement avec perturbation du sol

Achat *et al.* (2015) ont démontré que la perte de carbone dans la litière était significative dans le cas de perturbations telles que le brûlage de résidus ou une préparation du sol.

Pour les projets issus du reboisement d'un peuplement incendié ou du reboisement avec perturbation du sol (au moment du nettoyage et de la préparation du sol), on fera l'hypothèse que le carbone de la litière a été entièrement minéralisé ; on repartira alors d'une valeur nulle (hypothèse conservatrice). On supposera qu'il atteint sa valeur d'équilibre au bout de la durée de projet soit au bout de 30 ans. L'équation 14 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 14

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 reboisement d'un peuplement incendié, considérée comme nulle.

Reboisement avec nettoyage partiel

Dans le cas du nettoyage partiel de la parcelle (pratique la plus vertueuse pour le sol), on fera l'hypothèse que la litière n'a pas été perturbée sur 50 % de la surface tandis qu'elle l'aura été sur les 50 % restants. Par conséquent, on appliquera l'équation 14 sur 50 % de la surface et on affectera sur les 50 % non impactés la constante de **10 tC/ha** telle que préconisée par Arrouays *et al.* (2002) pour le compartiment de la litière.

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

La durée d'un projet de reboisement étant de 30 ans, les entretiens des premières années (dégagements) devant être effectués, **le bois mort au sol, sur pied ou chablis sera négligé à la fois dans le scénario de projet et dans le scénario de référence, sauf les stocks déterminés comme d'intérêt écologique par l'inventaire IBP préalable**. Les stocks de bois mort laissés sur la parcelle au moment du reboisement devront donc faire l'objet d'une estimation et seront ajoutés au compartiment du bois mort à condition qu'ils soient significatifs.

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

7.2.1. Colonisation post-tempête

Une parcelle détruite par une tempête et non reconstituée — c'est-à-dire non reboisée — se voit être colonisée progressivement par des essences pionnières puis par des essences objectif qui constitueront le peuplement d'avenir. L'IDF a suivi des dispositifs de peuplements détruits par les tempêtes de 1987 en Bretagne (Gauberville, 2001 ; Gauberville *et al.*, 2001) et de 1982 en Auvergne (Gauberville *et al.*, 2002 ; Rosa, 2004) qui ont mis en évidence la bonne reconstitution de celles-ci au bout de quelques années. En Bretagne, au bout de 13 ans, la surface observée peut être considérée à 80 % comme régénérée avec 22 essences présentes tandis qu'en Auvergne, 19 ans après la tempête, 88 % des placettes possèdent au moins 300 tiges d'avenir à l'hectare (Gauberville, 2009).

En revanche, ces études ne permettent pas de dégager des données dendrométriques ou des modèles de croissance sur ces colonisations post-tempête.¹¹

En l'absence d'une telle donnée, le scénario de référence post-tempête sera une colonisation lente par des accrues ayant une croissance linéaire de **1 m³/ha/an** en volume bois fort (dès l'année 0), donc atteignant un **volume bois fort** de 30 m³/ha au bout de 30 ans.

7.2.2. Colonisation post-incendie

La colonisation post-incendie varie beaucoup selon le contexte géographique, la station, la situation, l'essence incendiée et d'autres facteurs. Par conséquent, en l'absence de modèles génériques de

¹¹ Fin 2019, des premières données dendrométriques issues de l'Observatoire des dynamiques naturelles après tempête des peuplements dévastés (après tempête de 1999) permettront d'obtenir des données dendrométriques et d'affiner la quantification du carbone dans le scénario de référence. La présente Méthode pourra alors être actualisée.

simulation d'une colonisation lente post-incendie, une croissance linéaire de **1 m³/ha/an** en volume bois fort (dès l'année 0) sera appliquée, aboutissant à un **volume bois fort** de 30 m³/ha au bout de 30 ans.

7.2.3. Dépérissement intense

A l'issue de la coupe rase de son peuplement dépérissant (intervenant dès l'année 0), le scénario de référence est une colonisation lente par des accrus car le propriétaire fait le choix de ne pas reboiser en l'absence de projet carbone. À l'instar des deux autres situations et en l'absence de données plus précises, le scénario sera une colonisation lente et linéaire de **1 m³/ha/an** en volume bois fort (dès l'année 0), atteignant un **volume bois fort** de 30 m³/ha au bout de 30 ans.

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

S'ils existent pour les essences de reboisement 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 reboisement, le Porteur de projet devra démontrer que le chantier de reboisement 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 de nettoyage et préparation du sol, 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 reboisement 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 reboisement 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 reboisement, 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 5 ans après l'opération de reboisement.

Conformément à l'instruction technique DGPE/SDFCB/2016-851¹² prise par le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt le 2 novembre 2016, **et sous-réserve de densités différentes dans les arrêtés régionaux pris par les préfets de Région**, un projet de reboisement sera considéré comme réussi et conforme à la trajectoire des séquestrations de carbone prévue initialement s'il présente au bout de 5 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 reboisement 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 15 :

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

Équation 15

Avec :

d_5 : densité minimale à atteindre au bout de cinq ans pour considérer le reboisement 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.

¹² <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2016-851>

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

Le tableau 7 ci-après récapitule les rabais applicables dans la Méthode reboisement, en indiquant leur applicabilité ainsi que la valeur correspondante.

| N° Rabais | Type de rabais | Applicabilité | Valeur |
|---------------------|---|---|----------------------|
| Rabais ₁ | Analyse économique de l'additionnalité | Uniquement si non démonstration | - 10 % |
| Rabais ₂ | Estimation des coûts et recettes dans le calcul de VAN | Uniquement si effectuée par le propriétaire (effet d'aubaine) | - 5% |
| Rabais ₃ | Risques généraux difficilement maîtrisables | Obligatoire | - 10 % |
| Rabais ₄ | Risque incendie | Uniquement dans les départements concernés | De 0 à - 15 % |
| Rabais ₅ | Non justification de la classe de production | Uniquement si non démonstration | - 10 % |
| Rabais ₆ | Vérification additionnelle de terrain (à n+5) : densité à n+5 | Uniquement si densité inférieure aux seuils prévus | À calculer, non fixé |

TABLEAU 7. — Liste des rabais applicables.

Les cinq 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 16 après application de tous les rabais :

$$REA_{\text{forêt générables}} = REA_{\text{forêt}} \times \prod_{i=1}^5 (1 - \text{Rabais}_i)$$

Équation 16

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 17 après application du rabais de la vérification (Rabais₆, à calculer selon l'équation 15) :

$$REA_{\text{forêt générées}} = REA_{\text{forêt générables}} \times (1 - \text{Rabais}_6)$$

Équation 17

10. Bilan des éléments à fournir et des rabais applicables

Le tableau 8 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 actuel de la parcelle | Photographie aérienne (avec superposition du fond cadastral) et <i>in situ</i> du sinistre | Photographie aérienne (avec superposition du fond cadastral) et <i>in situ</i> du sinistre | Photographie aérienne (avec superposition du fond cadastral) et <i>in situ</i> du sinistre |
| 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 | 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 au document de gestion durable | Avenant au document de gestion durable | Modification d'aménagement + délibération de la collectivité | Modification d'aménagement |
| Si regroupement | Mandat dûment signé par les propriétaires identifiant le représentant | - | - |
| Diagnostic stationnel | Document complété et signé par un professionnel forestier | Document complété et signé par un professionnel forestier | Document complété et signé par un professionnel forestier |
| Diagnostic IBP pour les projets de plus de 2 ha | Diagnostic IBP et justification de son intégration | Diagnostic IBP/autre outil et justification de son intégration | Diagnostic IBP/autre outil et justification de son intégration |

TABLEAU 8. — Éléments obligatoires pour être éligible, quel que soit le projet.

| Type de projet de reboisement éligible | Éléments à fournir |
|--|---|
| Tempête | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fournir une ou plusieurs photographies actuelles des terrains (datant d'un an maximum avant la date de dépôt du document de projet) et orthophotos ▪ Faire une estimation du pourcentage de tiges renversées (vérifier qu'il y en a plus de 40 %) ▪ Faire une estimation économique (sur présentation de devis) des recettes potentielles (issues de la vente des chablis et des autres arbres éventuellement non touchés) et des coûts (exploitation de la coupe et coût du reboisement). Calculer la VAN. ▪ Justification de l'adaptation de(s) l'essence(s) de reboisement aux conditions de sol et climatiques ▪ Faire un diagnostic IBP si projet > 2 ha |
| Incendie | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fournir une ou plusieurs photographies actuelles des terrains (datant d'un an maximum avant la date de dépôt du document de projet) et orthophotos ▪ Faire une estimation des surfaces affectées par l'incendie. ▪ Faire une estimation économique (sur présentation de devis) des recettes potentielles (issues de la vente des chablis et des autres arbres éventuellement non touchés) et des coûts (exploitation de la coupe et coût du reboisement). Calculer la VAN. ▪ Justification de l'adaptation de(s) l'essence(s) de reboisement aux conditions de sol et climatiques ▪ Faire un diagnostic IBP si projet > 2 ha |
| Dépérissement intense | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fournir une ou plusieurs photographies actuelles des terrains (datant d'un an maximum avant la date de dépôt du document de projet) présentant le dépérissement. ▪ Faire un diagnostic DEPERIS pour démontrer l'état « intense » du dépérissement. ▪ Faire une estimation économique (sur présentation de devis) des recettes potentielles (issues de la vente des chablis et des autres arbres éventuellement non touchés) et des coûts (exploitation de la coupe et coût du reboisement). Calculer la VAN. ▪ Justification de l'adaptation de(s) l'essence(s) de reboisement aux conditions de sol et climatiques ▪ Faire un diagnostic IBP si projet > 2 ha |

TABLEAU 9. — *Pièces à fournir pour un projet de reboisement.*

Annexe 1 : Protocole de dépérissement DEPERIS

Le protocole DEPERIS a été mis au point par le Département de la santé des forêts en 2017 pour attribuer une note de dépérissement à un peuplement et caractériser son intensité.

Ce protocole est basé sur l'observation du houppier d'un arbre depuis le sol et vise à noter deux critères (cf. protocole DEPERIS) :

- La mortalité de branches (MB) ;
- La transparence du houppier : pour les feuillus, le manque de ramification (MR) et pour les résineux le manque d'aiguilles (MA).

Pour chacun des deux critères symptomatologiques, une note d'intensité qualitative est attribuée selon les classes décrites dans le tableau ci-après.

| Note | Intensité | Fréquence | Nombre | % indicatif |
|------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------|
| 0 | Nulle à très faible | Nulle à très faible | 0 à quelques rares | 0 à 5 |
| 1 | Légère | Faible | Quelques à peu nombreux | 6 à 25 |
| 2 | Assez forte | Modérée | Assez nombreux | 26 à 50 |
| 3 | Forte | Importante | Nombreux | 51 à 75 |
| 4 | Très forte | Très importante | Très nombreux | 76 à 95 |
| 5 | Total | Toute la partie notée concernée | Total | 96 à 100 |

TABEAU 10. — Note qualitative d'intensité des critères symptomatologiques observés sur les arbres.

Une formule permet d'attribuer une note à chaque arbre analysé.

$$DEPERIS = \left(\frac{5 - MB}{5} \times MR \text{ ou } MA \right) + MB$$

Équation 18

On peut également utiliser l'abaque suivant (tableau 11) pour attribuer la note globale DEPERIS. Un arbre sera considéré comme très dépérissant lorsqu'il a les notes de D, E ou F.

| | | Manque de Ramification (feuillus) MR Manque d'Aiguilles (résineux sauf mélèze) MA | | | | | |
|-----------------------------------|---|--|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mortalité de Branches MB | 0 | A | B | C | D | E | F |
| | 1 | B | C | C | D | E | F |
| | 2 | C | C | D | E | E | F |
| | 3 | D | D | E | E | F | F |
| | 4 | E | E | E | F | F | F |
| | 5 | F | F | F | F | F | F |

TABEAU 11. — Abaque pouvant être attribuée pour donner une note de dépérissement.

Si au moins 20 % des arbres dominants ou co-dominants de la parcelle présentent une note DEPERIS supérieure ou égale à 3 (classes D, E ou F), alors le peuplement sera considéré en situation de « dépérissement intense ».

Annexe 2 : 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 fera 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 12. — *Le coefficient de substitution pour le peuplier est estimé à 0,96 tCO₂ évitées par m³ de peuplier récolté.*

Annexe 3 : 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 13. — *Le coefficient de substitution pour le pin maritime est estimé à 0,57 tCO₂ évitées par m³ de pin maritime récolté.*

Annexe 4 : Infradensités recommandées pour les principales essences françaises

Le Porteur de projet se référera aux infradensités du tableau 14 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 14. — Liste des infradensités de plusieurs essences de la forêt française (IGN, d'après Dupouey, 2002).

Annexe 5 : Méthode de quantification d'un volume total

Selon l'essence de reboisement, 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 reboisement, le Porteur de projet pourra se référer à l'équation allométrique 19 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 19

Pour la simplification des calculs, l'équation 20 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 20

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 15. — Paramètres à utiliser dans l'équation 19 issue des travaux du projet EMERGE.

Annexe 6 : 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 16. — 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

ACHAT David, FORTIN Mathieu, LANDMANN Guy, RINGEVAL Bruno, AUGUSTO Laurent, 2015. *Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting*. Scientific Reports 5, 10 p.

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.

AUGUSTO Laurent, SAINT-ANDRÉ Laurent, BUREAU Fabrice, DERRIEN Delphine, POUSSE Noémie, CÉCILLON Lauric, 2019. *Séquestration de carbone organique dans les sols forestiers : impacts de la gestion sylvicole*. Forêt-entreprise n° 245, CNPF, pp. 62-66.

BASTIEN Yves et GAUBERVILLE Christian (coordinateurs), 2015. *Vocabulaire forestier : écologie, gestion et conservation des espaces boisés*. AgroParisTech, CNPF et ONF, 554 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

DIDOLOTT 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.

GAUBERVILLE Christian, 2001. *Après la tempête de 1987 en Bretagne, que sont devenues les parcelles non reconstituées ?* Forêt-entreprise n° 142, pp. 15-17.

GAUBERVILLE Christian, ROSA Jérôme, CORRIOL G., 2001. *Colonisation spontanée de terrains forestiers affectés par une tempête : cas de la tempête des 15 et 16 octobre 1987 en Bretagne*. Rapport Gip-Ecofor-IDF, 24 p. + annexes.

GAUBERVILLE Christian, ROSA Jérôme, VIDAL Christophe, PAULUS J, MARTIN S, BECQUEY Jacques, 2002. *Colonisation spontanée de terrains forestiers affectés par une tempête: cas de la tempête des 6, 6 et 8 novembre 1982 en Auvergne*. Rapport Gip-Ecofor, IDF, 33 p + annexes.

GAUBERVILLE Christian, 2009. *Successions forestières spontanées après tempête: les cas de l'Auvergne (1982) et de la Bretagne (1987). Chapitre 21.* In : La forêt face aux tempêtes. Editions Quae, pp. 347-362.

GIEC, 2006. *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4 : agriculture, forestry and other land use, chapter 4 : forest land*, 83 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.

JOLIVET Claudy, 2000. *Le carbone organique des sols des Landes de Gascogne. Variabilité spatiale et effets des pratiques sylvicoles et agricoles.* Thèse, Université de Dijon, 313 p.

LEMAIRE Jean, 2014. *Lien entre le déficit hydrique climatique et le dépérissement du chêne pédonculé sur la façade atlantique.* Forêt-entreprise, n° 218, pp. 18-25.

NAGELEISEN Louis-Michel, GOUDET Morgane, SAINTONGE François-Xavier, 2017. *Guide de notation simplifiée de l'aspect du houppier des arbres forestiers dans un contexte de dépérissement (protocole DEPERIS).* Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 12 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 Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg: 20 p.

ROSA Jérôme, GAUBERVILLE Christian, 2004. *Que deviennent les parcelles non reconstituées plus de 10 ans après une tempête ?* Rendez-vous techniques n° 3, pp. 3-6.

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 Jérôme, 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