

LABEL BAS CARBONE

Méthode conversion de taillis en futaie sur souches

Version 2 du 27/07/2020

Ce document est une Méthode pour des projets volontaires de conversion de taillis en futaie sur souches compatibles avec le label Bas-Carbone français, issu du projet *Vocal* et approuvé par le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). Cette Méthode a été rédigée par le Centre national de la propriété forestière (CNPf) grâce à un financement du fonds européen de développement régional en Massif central de 2015 à 2018 (programme *Vocal*) et de France Bois Forêt en 2019 et en 2020.

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



Table des matières

1. APPLICABILITE, DEFINITIONS, DUREE	3
1.1. TAILLIS SIMPLE	3
1.2. REVOLUTION	3
1.3. CONVERSION DE TAILLIS OU BALIVAGE INTENSIF	4
1.4. FUTAIE SUR SOUCHES	4
1.5. DUREE DE PROJET	5
1.6. LE PORTEUR DE PROJET	5
1.7. SELECTION DES SOURCES/PUITS ET COMPARTIMENTS A PRENDRE EN COMPTE	5
2. CRITERES D'ELIGIBILITE	7
2.1. PIECES ELEMENTAIRES A FOURNIR SYSTEMATIQUEMENT	7
2.2. ELIGIBILITE DES BALIVAGES	8
3. CHOIX DU SCENARIO DE REFERENCE ET DEMONSTRATION DE L'ADDITIONNALITE	9
3.1. CHOIX DU SCENARIO DE REFERENCE	9
3.2. DEMONSTRATION DE L'ADDITIONNALITE	10
3.2.1. Analyse des aides publiques existantes	10
3.2.2. Analyse économique	11
4. INTEGRITE ENVIRONNEMENTALE	13
5. INTEGRATION DU RISQUE DE NON-PERMANENCE	15
5.1. RISQUES GENERAUX, DIFFICILEMENT MAITRISABLES	15
5.2. RISQUE D'INCENDIE	15
6. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS GENERABLES	17
6.1. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS ANTICIPEES GENERABLES	17
6.1.1. REA générables du fait de la séquestration du carbone par l'écosystème forestier	17
6.1.2. REA générables du fait du stockage du carbone dans les produits bois récoltés	18
6.2. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS INDIRECTES GENERABLES	19
6.2.1. Calcul des réductions d'émission indirectes générables par le balivage	20
6.2.2. Calcul des réductions d'émission indirectes générables par le taillis simple	20
6.3. CALCUL DES REDUCTIONS D'EMISSIONS DE L'EMPREINTE GENERABLES	21
7. QUANTIFICATION CARBONE DES ITINERAIRES	22
7.1. QUANTIFICATION GENERALE DU CARBONE	22
7.1.1. Estimation de la biomasse aérienne (B_A)	22
7.1.2. Estimation de la biomasse racinaire (B_R)	22
7.1.3. Estimation de la biomasse aérienne et racinaire	23
7.1.4. Estimation du stock de carbone dans les sols (S)	23
7.1.5. Estimation du stock de carbone dans la litière (L)	23
7.1.6. Estimation du stock de carbone dans le bois mort (M)	23
7.2. MODELISATION DE L'EVOLUTION DU CARBONE DANS LE SCENARIO DE REFERENCE	24
7.3. MODELISATION DE L'EVOLUTION DU CARBONE DANS L'ITINERAIRE DE CONVERSION DU TAILLIS	25
8. VERIFICATION	26
9. BILAN DES RABAIS APPLICABLES	27
10. BILAN DES ELEMENTS A FOURNIR	28
ANNEXE 1 : PRECONISATIONS DES REVOLUTIONS EN TAILLIS SIMPLE DANS LES SRGS	30
ANNEXE 2 : COEFFICIENTS DE SUBSTITUTION POUR LE CHATAIGNIER ET LE ROBINIER	31
ANNEXE 3 : INFRADENSITES RECOMMANDEES POUR LES PRINCIPALES ESSENCES FRANÇAISES DE TAILLIS (IGN, D'APRES DUPOUEY, 2002)	33
ANNEXE 4 : METHODE DE QUANTIFICATION D'UN VOLUME TOTAL	34
ANNEXE 5 : ÉQUATIONS POUR L'ESTIMATION DE LA BIOMASSE RACINAIRE	35
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	36

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).

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

Il en découle les définitions suivantes.

1.1. Taillis simple

On désignera par « **taillis simple** » tout « *peuplement forestier issu de rejets de souches ou de drageons dont la perpétuation est obtenue par des coupes de rajeunissement* » (Bastien et Gauberville, 2015). Les tiges sont coupées la même année et les souches rejettent toutes la même année.



PHOTO 1. — *Taillis simple de châtaignier marqué en vue d'un balivage en Haute-Vienne (Thierry Néquier © CNPF)*

Cette Méthode ne concernera que des peuplements feuillus. Les cas anecdotiques de résineux pouvant être gérés en taillis ne sont pas traités dans la présente Méthode et ne sont donc pas éligibles.

Cette Méthode ne concerne pas les cas des traitements en taillis courte rotation (TCR), en taillis très courte rotation (TTCR) ou en taillis sous futaie (TSF).

➔ *Le Porteur de projet justifiera le régime de taillis de ces parcelles par l'utilisation de photographies datant de moins d'un an.*

1.2. Révolution

On désignera par « **révolution** » la durée séparant deux coupes successives du taillis d'une même parcelle de taillis simple (Bastien et Gauberville, 2011). Cette révolution variera selon l'essence (voir partie 3 sur la définition du scénario de référence).

1.3. Conversion de taillis ou balivage intensif

La « **conversion de taillis** » ou « **balivage intensif** » est le passage d'un régime de taillis simple à la futaie, sans changer d'essence.

Dans la suite, on parlera de « **balivage** » pour désigner l'éclaircie d'un taillis simple en vue de le convertir en « **futaie sur souches** », au profit des plus belles tiges appelées « **baliveaux** » préalablement sélectionnées grâce à un martelage ou un marquage.



PHOTO 2. — *Taillis de châtaignier après l'opération de balivage (Thierry Néquier © CNPF)*

1.4. Futaie sur souches

On désignera par « **futaie sur souches** » un peuplement forestier feuillu issu du vieillissement ou de la régularisation d'un taillis (par balivage intensif), comportant une forte proportion de tiges issues de rejets de souches et ayant l'aspect d'une futaie.



PHOTO 3. — *Magnifique châtaignier issu du balivage ; il s'agit de la seule tige restante sur la souche. Pour désigner le peuplement, on peut désormais parler de futaie sur souches (Olivier Gleizes © CNPF)*

1.5. Durée de projet

L'opération de balivage devant être réalisée dans le jeune âge de façon à maintenir une croissance optimale des baliveaux (généralement avant l'âge de 20 ans pour les feuillus à croissance rapide). Le stade de futaie sur souches peut être obtenu pour un âge de 30 à 50 ans ; par conséquent une durée de 30 ans (allant de l'âge de 10-30 ans à 40-70 ans) semble convenir pour obtenir un stade de futaie sur souches.

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

1.6. 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.

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

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

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

Cette Méthode préconise l'intégration systématique des réservoirs de la biomasse aérienne et racinaire de la strate arborée (les autres strates pourront être négligées). Les réservoirs de la litière et du sol seront pris en compte. L'inclusion du stockage du carbone dans le bois mort, les produits bois espérés ainsi que les effets de substitution énergie et matériau est facultative. 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		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		Indirectes

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

2. Critères d'éligibilité

2.1. Pièces élémentaires à fournir systématiquement

Cette partie détermine les éléments à fournir pour être éligible.

Si une des conditions susmentionnées (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.

Le Porteur de projet doit fournir une **matrice cadastrale** justifiant la propriété des parcelles objet du projet de balivage ou un **acte notarié** ou un **extrait de logiciel de cadastre** pour les professionnels forestiers équipés (ONF, CNPF, gestionnaires...).

Dans le cas d'une structure de regroupement de propriétaires (type ASL) ou de la gérance d'une société (GF, SCI...), une **délibération** 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 et la transmettre à l'Autorité dans les douze mois au plus tard à compter de la date de labellisation du projet.

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).

Le foncier de collectivités ne bénéficiant pas du régime forestier au titre de l'article L 211-1 du Code forestier n'est pas éligible au label Bas-Carbone, sauf si la collectivité démontre sa volonté d'inscrire ses parcelles dans une gestion assurée par l'ONF.

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. Éligibilité des balivages

L'opération de balivage concerne des taillis jeunes capables de réagir à l'éclaircie ; par conséquent seuls les taillis âgés entre 10 et 30 ans et bien venants — c'est-à-dire situés sur des stations de bonne fertilité — sont concernés par cette Méthode de conversion en futaie sur souches.

« *Un taillis est balivable lorsqu'il comporte des baliveaux d'essences susceptibles de produire du bois d'œuvre de valeur, en nombre suffisant, bien répartis, de bonne qualité et vigoureux.* » (Hubert, 1983)

Un taillis sera jugé comme présentant des potentialités de production forestière s'il présente une densité minimale de baliveaux (tiges d'avenir). Le tableau 2 fournit cette densité minimale exigée pour qu'un taillis soit éligible à la présente méthode sur le balivage.

Essence	Densité de tiges d'avenir conseillée	Source	Densité minimale de tiges d'avenirs exigée
Chêne	50 à 100	Hubert, 1983	70
	70 (optimum)	Lemaire, 2010	
Châtaignier	100 à 160	Hubert, 1983	120
	120 à 200	Bourgeois, 2004	
Hêtre	100 à 120	Hubert, 1983	100
Robinier	200 minimum	Communication personnelle	200
Autres feuillus	150	Dire d'expert	150

TABLEAU 2. — Densité minimale de tiges d'avenir que doit présenter un taillis selon l'essence pour être éligible à la présente Méthode.

Le Porteur de projet devra donc faire une **estimation du nombre de tiges d'avenir** dans son taillis.

En outre, il devra **démontrer la classe de fertilité de son taillis**. Il s'agira de s'assurer que le taillis est situé sur une bonne station autorisant la pratique du balivage ; le Porteur de projet utilisera les courbes de fertilité qui permettent de croiser les données de hauteur du taillis par rapport à son âge.

Cette démonstration est obligatoire et devra être effectuée par un professionnel forestier. Celui-ci pourra être établi par son gestionnaire (coopérative forestier, expert forestier, GFP), un technicien de CRPF ou un agent patrimonial de l'ONF.

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, quelles 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. »*

Les taillis concernés par les opérations de balivage devant être **jeunes** (généralement moins de 20 ans pour les essences à croissance rapide et environ 30 ans pour les autres), il n'y aura qu'un seul scénario de référence envisagé : le **maintien du traitement en taillis simple** par une **coupe à blanc du taillis** intervenant à son âge d'exploitabilité (différent selon l'essence), comme cela est généralement pratiqué pour ce type de peuplement.

L'annexe 1 est une synthèse des révolutions en taillis simple préconisées par les schémas régionaux de gestion sylvicole (SRGS) dans chacune des anciennes régions administratives¹. Sur cette base, les révolutions des taillis simples ont été choisies et listées dans le tableau 3. Pour une essence donnée, ces révolutions sont **applicables quelle que soit la région** de projet. Des ajustements de ces durées de l'ordre de plus ou moins 10 ans sont possibles mais ils devront être justifiés par le Porteur de projet dans sa région.

Essence	Révolution
Charme	40 ans
Châtaignier	25 ans
Chêne pédonculé	50 ans
Chêne pubescent	40 ans
Chêne sessile	50 ans
Chêne vert	50 ans
Hêtre	40 ans
Robinier faux acacia	25 ans

TABLEAU 3. — Révolutions retenues par essence dans les scénarios de référence du traitement en taillis simple.

¹ Suite au passage de 22 régions administratives à 13, de nouveaux SRGS seront approuvés sur le périmètre des nouvelles régions. N'étant pas encore sortis en date du 5 juin 2020, nous garderons provisoirement les révolutions des taillis telles que préconisées dans les anciens SRGS, en attendant de pouvoir actualiser ces données.

D'autres essences pourront faire l'objet d'un projet de balivage à la condition que le Porteur de projet trouve des tables de production pour la conversion en futaie desdites essences. Le scénario de référence sera également la coupe rase du taillis à une révolution donnée, qui devra être fixée par le SRGS ou la DRA² ou SRA³ correspondante.

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 des aides publiques existantes

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

- aucune subvention liée à la conversion des taillis 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 sont insuffisantes au regard de l'investissement chiffré dans le projet de balivage. À ce titre, une enquête statistiquement significative des comportements des propriétaires du Massif central a démontré qu'en dessous de 50 % d'aide pour un balivage, les propriétaires sont peu enclins à s'engager dans les travaux (Didolot, 2017). On retiendra donc ce seuil comme limite à l'investissement pour le propriétaire.

Exemple 1 : si le coût du balivage du Porteur de projet est estimé à 1 200 €/ha et qu'il existe une aide publique pour le balivage finançant à hauteur de 70 % le projet (soit 840 € financés), alors le projet ne sera pas additionnel et sera rejeté car l'aide publique existante est estimée suffisante pour la réalisation du projet.

Exemple 2 : s'il existe une aide publique à hauteur de 42 % pour réaliser des balivages estimés à 2 000 €/ha (soit 840 € financés) alors l'aide existante sera jugée insuffisante pour la réalisation du projet de conversion de taillis et l'additionnalité pourra être démontrée.

Ainsi, pour un même montant d'aide publique, deux projets peuvent être jugés éligibles ou non recevables au regard de l'additionnalité.

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

Le Porteur de projet pourra mobiliser des aides publiques existantes insuffisantes (inférieures à 50 % du coût total des travaux) ainsi que l'aide attribuée grâce à la labellisation du projet, **en veillant qu'elles ne dépassent pas 100 % de financement total.**

L'analyse des aides publiques existantes est obligatoire.

² DRA = directive régionale d'aménagement

³ SRA = schéma régional d'aménagement

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 balivage 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 (3.2.1.). Un rabais de 20 % est alors appliqué.

Option 2 : un calcul de la valeur actualisée nette (VAN)

$$\Delta_{VAN} = VAN_{balivage} - VAN_{taillis\ simple} = \sum_{n=0}^R \frac{R_n - C_n}{(1+r)^n} - \frac{R_N}{(1+r)^N}$$

Équation 1

Avec :

VAN = valeur actualisée nette (en €)

Δ_{VAN} = différence de VAN entre la VAN du projet de balivage et la VAN du projet de taillis simple

C_n = dépenses liées au projet (en €) de conversion de taillis en futaie (en €).

R_n = recettes liées au projet (en €). Elles concerneront la vente des bois issus des éclaircies.

R = révolution de l'essence balivée en futaie sur souches.

r = taux d'actualisation, pouvant être fixé ici à 4,5 %.

R_N = recettes nettes générées par l'exploitation du taillis simple en coupe rase à l'année N (durée de révolution du taillis étudié).

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

Exemple :

Soit un taillis de châtaignier de 15 ans que le propriétaire souhaiterait baliver plutôt que de couper à ras dans 10 ans (itinéraire de référence). L'absence d'aides publiques est un frein à son projet (additionnalité). Il décide de démontrer l'additionnalité économique au travers de la Δ_{VAN} .

À l'année 0 (âge du taillis = 15 ans), le coût du balivage est estimé à 2 500 €/ha et les recettes à 1 000 €/ha. À l'année 10 (âge du taillis en conversion = 25 ans), le propriétaire devra effectuer une deuxième (et dernière) éclaircie qui coûte 1 500 €/ha (plus facile techniquement que la première) et lui permettra de commercialiser 50 m³/ha (en qualité piquet) pour un revenu total estimé à 1 000 €/ha. Vingt ans plus tard (année 30 du projet) — les châtaigniers auront alors 45 ans — le propriétaire récoltera le peuplement converti en futaie sur souches correspondant à un volume de 250 m³/ha. Il pourra espérer récolter quelque 15 000 € de recettes (60 €/m³ constituant un prix raisonnable que le propriétaire peut largement espérer), le chantier d'exploitation coûtera 5 500 €/ha.

S'il gérait son peuplement en taillis simple (scénario de référence), le propriétaire le récolterait par coupe à blanc dans 10 ans (année 25) pour une recette nette estimée à 2 000 €/ha.

Le taux d'actualisation est fixé à 4,5 %.

$$VAN_{balivage} = \sum_{n=0}^R \frac{R_n - C_n}{(1+r)^n}$$

$$VAN_{balivage} = \frac{1\,000 - 2\,500}{1,045^0} + \frac{1\,000 - 1\,500}{1,045^{10}} + \frac{15\,000 - 5\,500}{1,045^{30}}$$

$$VAN_{balivage} = 714,5 \text{ €}$$

$$VAN_{taillis\ simple} = \frac{2\,000}{1,045^{10}} = 1\,287,9 \text{ €}$$

$$\Delta_{VAN} = VAN_{balivage} - VAN_{taillis\ simple} = -573,3 \text{ €}$$

Le projet est *a priori* non rentable ; par conséquent, il vérifie l'additionnalité économique.

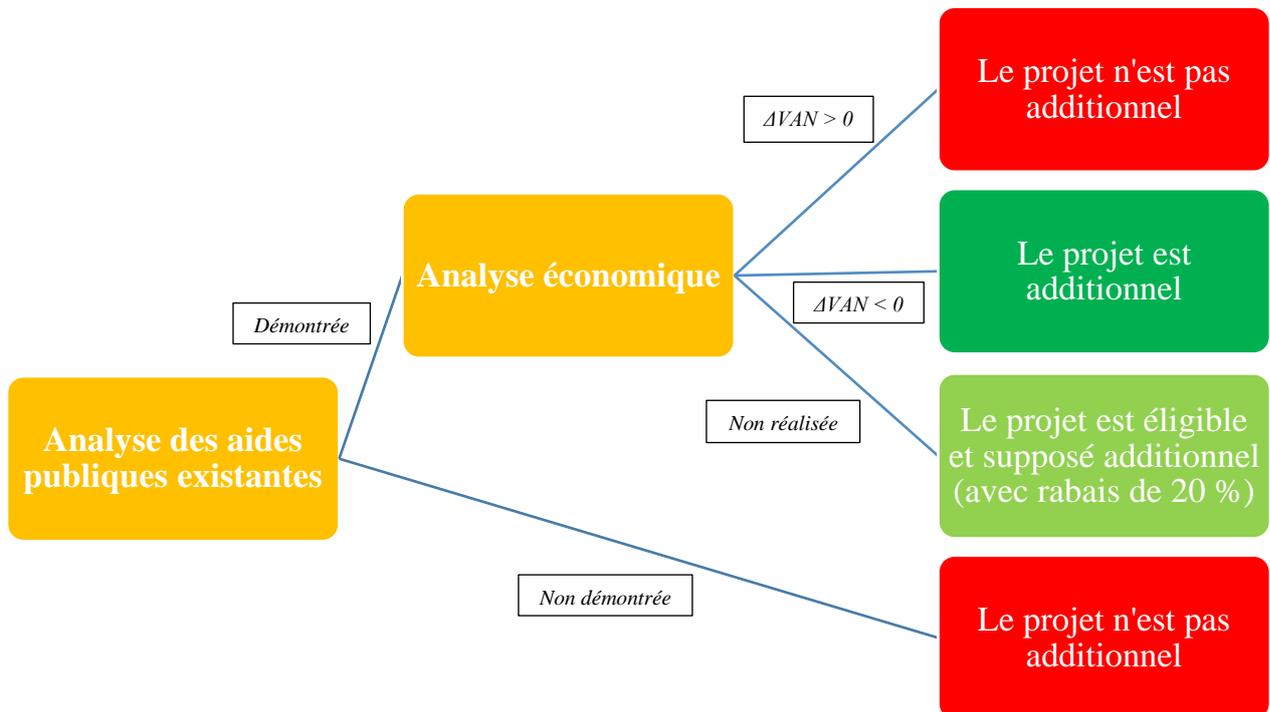


FIGURE 1. — Bilan des étapes de démonstration de l'additionnalité d'un projet carbone.

4. Intégrité environnementale

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 4 et qui répertorie deux niveaux de co-bénéfices : socio-économiques et sur la biodiversité. Cette grille regroupe des actions pouvant valoriser des co-bénéfices, avec un système de bonus pouvant rapporter au projet entre 1 et 5 points.

Les totaux devront être effectués au niveau de chacune des deux catégories. Il n'y aura pas lieu d'additionner les totaux des deux 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. Un maximum de **deux co-bénéfices** pour chacune des deux catégories pourra être ajouté.

Lorsque le Porteur de projet fera le sous-total potentiel au niveau de chaque co-bénéfice, il conviendra d'additionner les valeurs maximales potentiellement atteignables. La performance du projet pour chaque co-bénéfice pourra ainsi être évaluée par rapport à ce potentiel maximal. Attention : certains co-bénéfices ont deux notes possibles : par exemple + 3 ou + 2, qui sont exclusives. Il conviendra ainsi de ne pas les sommer.

Exemple : pour le co-bénéfice « socio-économique » dans le tableau ci-après, le total réalisable est 26 (hors ajout de co-bénéfice supplémentaire) et non pas 28 puisqu'il y a deux co-bénéfices à bonus variable (dépendant de deux modalités).

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	Valeur du bonus
1	Socio-économique	Création de plus-value économique territoriale	La majorité des entreprises de travaux forestiers (ETF) retenues sont situées dans un rayon de 50 km autour du chantier de balivage	+ 3
			La majorité des entreprises de travaux forestiers (ETF) retenues sont situées dans un rayon entre 50 et 100 km autour du chantier de balivage	+ 2
2	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	+ 5
3	Socio-économique	Valorisation locale des bois récoltés	Les bois éventuellement commercialisés sont valorisés par une entreprise de 1 ^{ère}	+ 3

			transformation située dans un rayon de 50 km autour du chantier de balivage	
4	Socio-économique	Certification forestière	Adhésion à une certification de gestion durable (PEFC, FSC...)	+ 5
6	Socio-économique	Regroupement de la gestion forestière	Le balivage a lieu dans le cadre d'un projet collectif de regroupement de plusieurs propriétaires (ASLGF, GIEEF...)	+ 5
7	Socio-économique	Prévention du risque d'incendie	Le balivage consiste à diminuer le risque d'incendie à proximité immédiate (moins de 2 km) d'habitations ou de lotissements	+ 5
8	Biodiversité	Préservation de la biodiversité préexistante (1/3)	Faire un relevé IBP et justifier l'intégration des éléments en découlant dans l'opération de balivage	+ 5
9	Biodiversité	Préservation de la biodiversité préexistante (2/3)	Maintien de toute la diversité d'essences présente avant balivage	+ 3
10	Biodiversité	Préservation de la biodiversité préexistante (3/3)	Maintien des gros bois et des bois porteurs de micro-habitats	+ 3

TABLEAU 4. — Grille d'évaluation des co-bénéfices sociaux, économiques et environnementaux avec bonus afférents.

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 les risques identifiés : les risques difficilement maîtrisables et le risque d'incendie.

NB : L'opération de balivage du taillis n'est pas concernée par le risque du gibier qui ne sera pas pris en compte.

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

5.2. Risque d'incendie

Le risque d'incendie ne concernera que les départements considérés à risque selon l'article L133-1 du Code forestier⁴ (voir tableau 5).

Pour les départements ne figurant pas dans la liste ci-dessous (tableau 5), le risque d'incendie sera considéré comme négligeable et aucun rabais ne sera appliqué pour les balivages concernés.

Région	Département
Corse	Corse-du-Sud (2A)
	Haute-Corse (2B)
Provence-Alpes-Côte d'Azur	Alpes-de-Haute-Provence (04)
	Hautes-Alpes (05)
	Alpes-Maritimes (06)
	Bouches-du-Rhône (13)
	Var (83)
	Vaucluse (84)

⁴ Article L133-1 du Code forestier : « Sont réputés particulièrement exposés au risque d'incendie les bois et forêts situés dans les régions Aquitaine, Corse, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes, Provence-Alpes-Côte d'Azur et dans les départements de l'Ardèche et de la Drôme, à l'exclusion de ceux situés dans des massifs forestiers à moindres risques figurant sur une liste arrêtée par le représentant de l'État dans le département, après avis de la commission départementale compétente en matière de sécurité. [...] »

Occitanie	Ariège (09)
	Aude (11)
	Aveyron (11)
	Gard (30)
	Haute-Garonne (31)
	Gers (32)
	Hérault (34)
	Lot (46)
	Lozère (48)
	Hautes-Pyrénées (65)
	Pyrénées-Orientales (66)
	Tarn (81)
	Tarn-et-Garonne (82)
Auvergne-Rhône-Alpes	Ardèche (07)
	Drôme (26)
Nouvelle-Aquitaine	Charente (16)
	Charente-Maritime (17)
	Dordogne (24)
	Gironde (33)
	Landes (40)
	Lot-et-Garonne (47)
	Pyrénées-Atlantiques (64)
	Deux-Sèvres (79)
	Vienne (86)

TABLEAU 5. — *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.

Dans les zones à risque d’incendie, le balivage en réduisant les densités et en permettant un relevé du couvert diminue fortement le risque d’incendie, il convient donc de tenir compte du caractère positif de cette opération sur le risque d’incendie.

Par conséquent, seules deux classes de risques pourront s’appliquer :

- Le risque est considéré comme négligeable, très faible, faible ou moyen ; aucun rabais ne sera appliqué sur les réductions d’émissions potentiellement générables ;
- Le risque est considéré comme fort ou très fort ; un rabais de 5 % 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 pourtant fait approuver par le préfet un PDPFCI ou un PRDFCI⁵. 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 PRDFCI, celui-ci sera négligé.

⁵ 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 balivage pourront délivrer des réductions d'émissions anticipées et des réductions d'émissions indirectes.

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

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

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

Équation 2

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 ($REA_{forêt} + REA_{produits}$). 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 la gestion en taillis simple (coupe à blanc du taillis selon une révolution fixée pour chaque essence), sur la durée de projet (30 ans). Il s'agira d'estimer pour chaque année du projet une différence de séquestration nette selon l'équation 3 suivante :

$$REA_{forêt} = \frac{1}{30} \times \sum_{n=0}^{30} (S_{projet}(n) - S_{réf}(n))$$

Équation 3

Avec :

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 ;

Dans tous les cas, le stock de carbone annuel présent dans les différents compartiments pour le balivage objet du projet se calcule grâce à l'équation 4 :

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

Équation 4

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 (en tC/tMS) (voir 7.1.3.).

$S_{réf}$ est également calculé avec l'équation 4.

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

L'équation 5 fournit le calcul des réductions d'émissions anticipées sur les produits bois :

$$REA_{produits} = \frac{1}{30} \times \sum_{n=0}^{30} (C_{projet}(n) - C_{réf}(n))$$

Équation 5

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 lorsqu'on la convertit en futaie sur souches (dans la plupart des cas, $R > 30$ ans) ;
 R' = la durée de révolution de l'essence de projet lorsqu'on la gère en taillis simple (R' est la durée de révolution telle que définie dans le scénario de référence (partie 3.1)).

Il convient de déterminer le stock de carbone dans chaque catégorie de produits bois selon l'équation 6 :

$$C(n) = C_{SCI}(n) + C_{PIQ}(n) + C_{BF}(n)$$

Équation 6

Avec :

$C(n)$ = stock total de carbone représenté par les produits bois à l'année n (en tCO₂) ;
 $C_{SCI}(n)$ = stock de carbone des produits bois à destination du sciage (bois d'œuvre) à l'année n (en tCO₂) ;
 $C_{PIQ}(n)$ = stock de carbone des produits bois à destination des piquets à l'année n (en tCO₂) ;
 $C_{BF}(n)$ = stock de carbone des produits bois à destination du bois de feu à l'année n (en tCO₂).

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 7 fournie par Pingoud et Wagner (2006) et reprise par la Commission européenne⁶.

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

Équation 7

Avec :

⁶ Règlement (UE) 2018/841 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 relatif à la prise en compte des émissions et des absorptions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie dans le cadre d'action en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030, et modifiant le règlement (UE) n° 525/2013 et la décision (UE) n° 529/2013 : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0841&from=EN>

$C(n)$ = stock de carbone au début de l'année n dans les produits bois déjà récoltés (en tCO_2) ;
 $C(n+1)$ = stock de carbone au début de l'année $n+1$ dans les produits bois déjà récoltés (en tCO_2) ;
 $k = \ln(2)/t_{1/2}$ = 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 (**volume bois fort** éclairci) au cours de l'année n . $Flux(n)$ est exprimé en tCO_2/ha .

La Commission européenne préconise d'utiliser les valeurs par défaut pour les temps de demi-vie présentes dans le tableau 6.

Bois de sciage	Panneaux de bois	Papier	Piquet
35 ans	25 ans	2 ans	5 ans

TABLEAU 6. — Les trois premières valeurs sont celles préconisées par la Commission européenne. La quatrième valeur est fixée à dire d'expert de façon à ce que des produits à destination de la filière piquet puissent être intégrés.

Pour estimer les $REA_{produits}$, le Porteur de projet devra renseigner le **volume bois fort** issu de chaque éclaircie ou coupe, estimer leur répartition future probable en bois de sciage et piquet et y appliquer les temps de demi-vie afférents. **Attention**, le Porteur de projet devra intégrer un rendement sciage pour les produits bois valorisés dans la catégorie « sciages » ; celui-ci est fixé par défaut à 50 % (le reste étant valorisé en bois énergie, c'est-à-dire négligé car aucun temps de demi-vie est fixé pour cette catégorie). Par exemple, une éclaircie qui viserait à produire 60 % de bois d'œuvre (= sciages) constituerait un stock de carbone que pour 30 % du volume entrant.

Pour le scénario de référence, le Porteur de projet estimera également la répartition des produits bois issus de la coupe à blanc du taillis.

NB : Pour les piquets et tuteurs (produits fréquents issus des éclaircies dans le châtaignier et le robinier), on fixe à dire d'expert le temps de demi-vie à 5 ans (valeur *a priori* conservative).

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

6.2. Calcul des réductions d'émissions indirectes générables

L'utilisation des produits bois du balivage peut permettre des effets de substitution matériau et énergétique 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 8 indique comment calculer ces réductions d'émissions indirectes.

$$REE_{substitution} = CS \times \sum_{n=0}^{30} (Flux_{projet}(n) - Flux_{ref}(n))$$

Équation 8

Avec :

CS = la substitution moyenne générée par un mètre cube de bois récolté en France (tCO₂/m³). Les valeurs à utiliser sont données dans le tableau 7 ;

Flux_{projet}(n) = flux entrant issu des produits bois récoltés au cours de l'année n (sur la période entre l'année n et l'année n+1) dans le scénario de projet (en m³) ;

Flux_{réf}(n) = flux entrant issu des produits bois récoltés au cours de l'année n (sur la période entre l'année n et l'année n+1) dans le scénario de référence (en m³).

6.2.1. Calcul des réductions d'émission indirectes générables par le balivage

Ne pouvant pas utiliser un coefficient de substitution moyen national qui serait surestimé dans la mesure où les éclaircies de balivage produisent presque exclusivement que du bois de feu, la Méthode propose par conséquent des coefficients de substitution selon deux groupes d'essences balivables :

- Pour le charme, les chênes (vert, pubescent, pédonculé, sessile), le hêtre, on considérera par simplification que toutes les éclaircies de balivage conduites sur une durée de 30 ans produiront 100 % de bois de feu ;
- Pour le châtaignier et le robinier, essences de taillis à production de bois d'œuvre rapide, on partira de la ventilation BO/piquet/BE indiquée dans l'annexe 2 et on utilisera un coefficient de substitution spécialement calculé pour ces deux essences.

Le tableau 7 indique les coefficients de substitution qui seront utilisés pour valoriser des réductions d'émissions indirectes : 0,81 pour le châtaignier, 0,69 pour le robinier et 0,5 pour les autres essences feuillues balivables.

Essence	Répartition BO/BI/BE	Source de la répartition	Coefficient de substitution CS (tCO ₂ évitées par m ³ de bois récolté)
Charme, chênes (pédonculé, sessile, pubescent, vert), hêtre, autres feuillus	100 % BE	Dire d'expert	0,5
Châtaignier	Voir annexe 2	Dire d'expert	0,81
Robinier	Voir annexe 2	Dire d'expert	0,69

TABLEAU 7. — Coefficients de substitution moyens calculés pour trois groupes d'essences durant les 30 premières années après balivage, à appliquer au volume bois fort récolté durant les 30 premières années.

6.2.2. Calcul des réductions d'émission indirectes générables par le taillis simple

Dans le cas du scénario de référence (gestion en taillis simple), la seule récolte est la coupe à blanc du taillis dans la mesure où celui-ci ne bénéficie pas d'éclaircies.

Par conséquent, on supposera que la coupe rase de taillis de châtaignier ou de robinier produira 50 % de bois de feu (BE) et 50 % de piquets.

Pour les autres feuillus, on supposera qu'une coupe à blanc de taillis ne produira que du bois de feu (100 % BE).

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. Comme on sera plus proche de 2050 que de 2019 (année de validation de la présente Méthode) pour la coupe à blanc des taillis (hors robinier et châtaignier), il est donc proposé de diviser par deux la valeur couramment rencontrée dans la littérature scientifique (0,25 tCO₂/m³) afin de tenir compte de la décarbonation du mix énergétique de la France. Pour le châtaignier et le robinier (les coupes rases étant envisageables dès l'âge de 20-25 ans), la coupe à blanc de taillis serait plus proche de 2019 que de 2050 ; on gardera donc un coefficient de substitution sur le BE de 0,5 (cf. tableau 8).

Essence	Répartition BO/BI/BE	Source de la répartition	Coefficient de substitution (tCO ₂ évitées par m ³ de bois récolté)
Charme, chênes (pédonculé, sessile, pubescent, vert), hêtre, autres feuillus	100 % BE (coupe rase intervenant à horizon 2035-2050)	Dire d'expert	0,25
Châtaignier et robinier	50 % BE, 50 % piquets (coupe rase intervenant à horizon 2020-2035)	Dire d'expert	0,7

TABLEAU 8. — Coefficients de substitution moyens calculés pour deux groupes d'essences en taillis simple.

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

Tel que l'indique la partie I.C.2 de l'arrêté, « les « **réductions de l'empreinte** » comprennent à la fois une part de réductions d'émissions classiques (réductions effectuées ou réductions anticipées) et une part de réductions d'émissions indirectes ».

Par conséquent, l'équation 9 permet de calculer les réductions d'émissions de l'empreinte (REE) :

$$REE = REA_{forêts} + REA_{produits} + REI_{substitution}$$

Équation 9

NB : les rabais indiqués dans cette Méthode doivent être appliqués aux REA_{forêt}, aux REA_{produits} et aux REI_{substitution}.

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 CO₂. L'équation 10 permet de calculer la biomasse aérienne.

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

Équation 10

Avec :

B_A = biomasse aérienne (en tS) ;

V_7 = volume bois fort tige (m³) ;

FEB = facteur d'expansion « branches » ;

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

On utilisera un **facteur d'expansion « branches » feuillus de 1,56** (Inra, 2016).

Pour convertir les mètres cube en tonnes de matière sèche, il faut multiplier la biomasse totale aérienne par l'infradensité, qui est le ratio entre une masse de bois anhydre et son volume de bois frais. Les infradensités utilisées ne seront pas celles préconisées par le Giec mais celles fournies dans l'annexe 3, issues du programme de recherche Carbofor (2004) et utilisées par l'IGN. Ces valeurs sont davantage adaptées aux essences françaises. Lorsqu'elles seront publiées (2020 ou 2021), on pourra utiliser les valeurs d'infradensité fournies par le projet XyloDensMap (Inra).

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 »** ; ceux-ci ne sont pas des constantes et présentent une grande variabilité avec l'âge, le diamètre, l'essence, les conditions de croissance (Longuetaud *et al.*, 2013). Dans le cas d'une utilisation de volumes totaux, l'équation 10 susmentionnée devient l'équation 11 :

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

Équation 11

Avec :

V_t = volume total (en m³) ;

d_i = infradensité de l'essence i (en tMS/m³).

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

7.1.2. Estimation de la biomasse racinaire (B_R)

Pour déterminer la biomasse représentée par le système racinaire de l'arbre, on utilisera les équations de Cairns (Cairns *et al.*, 1997) (voir annexe 5) qui sont des fonctions dépendant de la biomasse aérienne.

Pour la forêt métropolitaine, on privilégiera la cinquième équation adaptée au contexte de forêt tempérée, avec une constante latitudinale. Pour la forêt ultramarine, on utilisera la troisième équation.

L'équation 12 ci-après est l'équation de Cairns adaptée à la forêt tempérée que l'on utilisera pour les projets en forêt métropolitaine :

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

Équation 12

Avec B_R = biomasse racinaire (en tMS).

7.1.3. Estimation de la biomasse aérienne et racinaire

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)

La valeur de **70 tC/ha** sera utilisée par défaut pour intégrer le carbone organique du sol. Cette valeur est 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. Cette valeur sera utilisée à la fois pour l'itinéraire de balivage et le scénario de référence.

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

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

Pour le compartiment constitué par la litière, on suppose qu'il a déjà atteint sa valeur d'équilibre (ou valeur moyenne) au démarrage du projet car le feuillage caduc des feuillus alimente régulièrement la litière depuis plusieurs années (en effet, les plus jeunes taillis à baliver seront âgés de 12 ans au minimum). La valeur de la litière est fixée à **10 tC/ha**, telle que le préconisent Arrouays *et al.* (2002) et sera utilisée à la fois pour l'itinéraire de balivage et le scénario de référence.

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

La durée d'un projet de conversion en futaie étant de 30 ans et visant à produire le maximum de bois d'œuvre, il est probable que le compartiment du bois mort soit faible dans la mesure où le première éclaircie de balivage intervient dans les jeunes taillis ; par conséquent **le bois mort au sol, sur pied ou chablis pourra être négligé**, sauf dans les cas particuliers de présence de gros bois morts issus d'anciens vergers par exemple, lesquels devront être inventoriés et cubés.

Il est proposé de négliger ce compartiment également dans le scénario de référence.

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

La modélisation du carbone dans le scénario de référence devra être réalisée à partir de **tables de production du taillis** ou d'équations du type $V = f(\text{âge})$ déjà existantes. L'utilisation d'un accroissement moyen constant pour modéliser le carbone du scénario de référence et du scénario de projet au cours du temps est proscrite.

La croissance en taillis étant très différente de celle en futaie, seules des tables de production décrivant la croissance de l'essence en taillis pourront être utilisées. Exemple : si le Porteur de projet a une table de production du hêtre en futaie régulière, il ne pourra pas l'utiliser pour calculer le carbone en taillis car ces deux systèmes sylvicoles sont trop différents. S'il n'y a pas de table de production pour le hêtre, le Porteur de projet devra avoir accès à des données d'inventaire (volumes) de taillis à des âges différents, sinon il ne pourra pas quantifier le carbone.

La table de production utilisée devra être clairement indiquée dans le document de projet.

Dans la pratique, l'année 0 du scénario de référence ne correspondra pas à l'âge 0 ; c'est-à-dire à la repousse du taillis après coupe rase. L'année 0 du scénario de référence devra correspondre à l'âge du taillis qu'on souhaite baliver dans le scénario de projet.

Exemple : un Porteur de projet a un taillis de robinier de 15 ans qu'il souhaite baliver. Le scénario de référence consistera au traitement en taillis simple avec coupe à blanc tous les 25 ans, tel qu'indiqué dans le tableau 3. Par conséquent, le Porteur de projet devra « modéliser » le carbone stocké par le taillis entre l'année 15 et l'année 45 (puisque la durée de projet est de 30 ans) comme sur la figure 2 et faire de même pour le scénario de projet (conversion en futaie sur souches).

Le Porteur de projet utilise une équation donnant la biomasse totale (tonnes de matière sèche) d'un taillis de robinier. L'équation de la production du taillis de robinier en fonction de l'âge ci-dessous est donnée par une publication (Pagès, 1986) :

$$B = 102 \times [1 - \exp(-0,121 \times t)]^{1,7 \times t}$$

Avec :

B = biomasse totale en tonnes de matière sèche ;

t = âge en années.

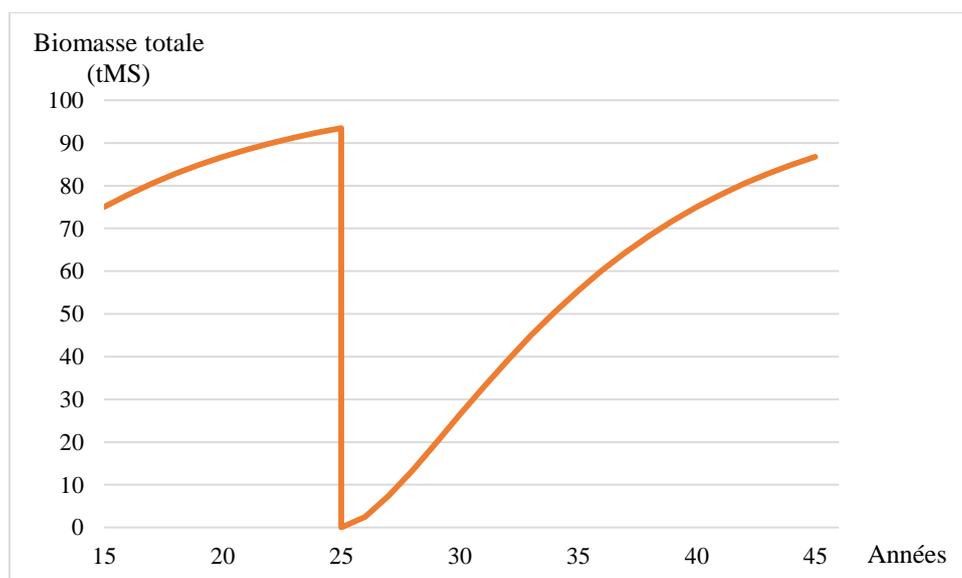


FIGURE 2. — Estimation de la croissance d'un taillis de robinier (d'après Pagès, 1986).

7.3. Modélisation de l'évolution du carbone dans l'itinéraire de conversion du taillis

L'année 0 du scénario de projet caractérise « l'entrée en sylviculture » marquée par l'éclaircie de balivage. Cet âge d'entrée en éclaircie diffère selon les essences : entre 10 et 17 ans pour le châtaignier, vers 30 ans pour les chênes...

Le Porteur de projet devra utiliser 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 de magazine forestier (*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.

La croissance d'une future futaie issue d'un taillis étant très différente de celle d'un boisement, seules des tables de production décrivant la croissance de l'essence par un balivage pourront être utilisées. Exemple : si le Porteur de projet a une table de production du châtaignier en futaie régulière, il ne pourra pas l'utiliser pour calculer le carbone car la production d'une plantation de châtaignier n'est pas du tout la même que pour une châtaigneraie convertie en futaie issue d'un taillis.

Dans tous les cas, la référence bibliographique utilisée sera clairement énoncée dans le document de projet.

Le Porteur de projet devra alors simuler la croissance du peuplement durant les 30 premières années, en se basant **sur les accroissements courants**. L'utilisation d'un accroissement moyen constant pour modéliser le carbone au cours du temps est proscrite.

Dans la mesure où la conversion des taillis en futaie sur souche est exclusivement réservée aux taillis de bonne à très bonne production, il n'y aura pas de justification ou de rabais à apporter sur les classes de fertilité, le Porteur de projet ayant préalablement caractérisé la bonne potentialité de son taillis (diagnostic sur le nombre de tiges d'avenir et la classe de fertilité).

NB : certaines tables de production ne donnent qu'une classe de fertilité ; dans ce cas le Porteur de projet devra l'indiquer dans le document de projet. Il n'y aura alors pas de rabais.

8. Vérification

Cette vérification documentaire est obligatoire pour tout projet forestier éligible au label Bas-Carbone. Elle sera réalisée par un Auditeur, aux frais du Porteur de projet.

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 balivage (et dans un délai d'un an maximum après cette date), le Porteur de projet devra démontrer que le chantier de balivage 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 balivage, une (ou des) photo(s) du balivage 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.

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**.

Une fois cette vérification documentaire effectuée, le porteur de projet 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. Ainsi, dans un délai de moins d'un an, le Porteur de projet pourra espérer se voir attribuer des réductions d'émissions.

Il n'y aura pas de vérification additionnelle de terrain.

9. Bilan des rabais applicables

Le tableau 9 ci-après récapitule les rabais applicables dans la Méthode balivage, en indiquant leur applicabilité ainsi que la valeur correspondante.

Type de rabais	Applicabilité	Valeur
Analyse économique de l'additionnalité	Uniquement si non démonstration	- 20 %
Risques généraux difficilement maîtrisables	Obligatoire	- 10 %
Risque incendie	Uniquement dans les départements concernés	De 0 à - 5 %

TABLEAU 9. — *Liste des rabais applicables.*

Les trois 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 doit se faire sur les REA générables (forêt ou forêt + produits bois) ou sur les REE générables (si le porteur de projet fait le choix de valoriser également des REI substitution), calculables par les équations 13 après application de tous les rabais :

$$REA_{forêt\ générables} = REA_{forêt} \times \prod_{n=1}^3 (1 - Rabais_n)$$

Équation 13a

$$REA_{produits\ générables} = REA_{produits} \times \prod_{n=1}^3 (1 - Rabais_n)$$

Équation 13b

$$REI_{substitution\ générables} = REI_{substitution} \times \prod_{n=1}^3 (1 - Rabais_n)$$

Équation 13c

La somme des RE des équations 13a, 13b et 13c donne des réductions d'émissions de l'empreinte REE (cf. équation 9).

10. Bilan des éléments à fournir

Le tableau 10 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
Si mandat [LE CAS ÉCHÉANT] <i>[document 0]</i>	Liste du ou des projet(s) individuel(s) + lettre attestant du mandat détenu et comportant les mentions obligatoires	Liste du ou des projet(s) individuel(s) + lettre attestant du mandat détenu et comportant les mentions obligatoires	Liste du ou des projet(s) individuel(s) + lettre attestant du mandat détenu et comportant les mentions obligatoires
Attestation de propriété [OBLIGATOIRE] <i>[document 1]</i>	Matrice cadastrale ou acte notarié ou extrait de logiciel de cadastre	Matrice cadastrale ou acte notarié ou extrait de logiciel de cadastre	Matrice cadastrale ou acte notarié ou extrait de logiciel de cadastre
Justificatif de document de gestion durable [OBLIGATOIRE] <i>[document 2]</i>	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 [OBLIGATOIRE] <i>[document 2 bis]</i>	Avenant au document de gestion durable, 12 mois au plus tard après la date de labellisation	Modification d'aménagement, 12 mois au plus tard après la date de labellisation + délibération de la collectivité	Modification d'aménagement, 12 mois au plus tard après la date de labellisation
Si absence de document de gestion durable [OBLIGATOIRE] <i>[document 2 ter]</i>	Rédaction d'un document de gestion durable dans les 12 mois à compter de la date de réception des travaux + document démontrant qu'il est au moins en cours de rédaction (courrier ou courriel du rédacteur, courrier ou courriel du CRPF attestant de la réception du document ou de son instruction en cours)	Rédaction d'un aménagement dans les 12 mois à compter de la date de réception des travaux + document démontrant qu'il est au moins en cours de rédaction	Rédaction d'un aménagement dans les 12 mois à compter de la date de réception des travaux + document démontrant qu'il est au moins en cours de rédaction
Si regroupement [LE CAS ÉCHÉANT] <i>[document 3]</i>	Délibération attestant de l'habilitation du gérant, président, indivisaire... à représenter la structure de regroupement	-	-

État actuel de la parcelle [OBLIGATOIRE] <i>[document 4]</i>	Photos de moins d'un an du taillis	Photos de moins d'un an du taillis	Photos de moins d'un an du taillis
Classe de fertilité et densité de tiges d'avenir [OBLIGATOIRE] <i>[document 5]</i>	Feuille de calcul démontrant la fertilité du taillis et l'estimation de la densité de tiges d'avenir	Feuille de calcul démontrant la fertilité du taillis et l'estimation de la densité de tiges d'avenir	Feuille de calcul démontrant la fertilité du taillis et l'estimation de la densité de tiges d'avenir
Coût des travaux à l'hectare [FACULTATIF] <i>[document 6]</i>	Devis	Devis	Devis
Analyse économique [FACULTATIF] <i>[document 7]</i>	Feuille de calcul des VAN	Feuille de calcul des VAN	Feuille de calcul des VAN
Risque d'incendie [LE CAS ÉCHÉANT] <i>[document 8]</i>	Copie des pages du PDPFCI ou PRDFCI si existant	Copie des pages du PDPFCI ou PRDFCI si existant	Copie des pages du PDPFCI ou PRDFCI si existant
Table de production [OBLIGATOIRE] <i>[document 9]</i>	Copie de la table de production retenue	Copie de la table de production retenue	Copie de la table de production retenue
Rabais et réductions d'émissions [OBLIGATOIRE] <i>[document 10]</i>	Feuille de calcul détaillant les rabais et les modalités de calcul des REA et REI	Feuille de calcul détaillant les rabais et les modalités de calcul des REA et REI	Feuille de calcul détaillant les rabais et les modalités de calcul des REA et REI

TABLEAU 10. — *Éléments obligatoires pour être éligible, quel que soit le projet.*

Annexe 1 : préconisations des révolutions en taillis simple dans les SRGS

ESSENCE	REVOLUTION	SOURCE
Aulne de Corse	40 à 50 ans	SRGS Corse
Charme	30 à 50 ans	SRGS Rhône-Alpes
Charme	30 à 40 ans	SRGS Poitou-Charentes
Charme	30 ans	http://www.crfp-midi-pyrenees.com/datas/pdf/FICHE_TA_ILDIS.pdf
Charme-Houblon	20 à 60 ans	SRGS PACA
Châtaignier	15 à 25 ans	SRGS Rhône-Alpes
Châtaignier	Avant 30 ans	SRGS Midi-Pyrénées
Châtaignier	25 à 40 ans	SRGS Aquitaine
Châtaignier	> 20 ans	SRGS Poitou-Charentes
Châtaignier	15 à 30 ans	SRGS PACA
Châtaignier	15 à 20 ans	SRGS Corse
Châtaignier	> 18 ans	SRGS Pays-de-la-Loire
Châtaignier	< 30 ans et > 15 ans	SRGS Bretagne
Chêne pubescent	Dès 30 ans pour les croissances très fortes 40 à 60 ans pour les croissances réduites	SRGS PACA
Chêne pubescent	50 ans	SRGS Midi-Pyrénées
Chêne vert, chêne pubescent	40 à 50 ans, ne pas couper avant 60 ans	SRGS Languedoc-Roussillon
Chêne vert, Chêne pubescent	40 à 50 ans	SRGS Rhône-Alpes
Chêne vert, chêne pubescent	40 à 60 ans	SRGS PACA
Chêne vert, chêne pubescent	50 ans	SRGS Corse
Chêne vert	40 ans pour les bonnes productions 60 ans pour les productions médiocres	SRGS PACA
Petits chênes	> 30 ans	SRGS Poitou-Charentes
Grands chênes	> 25 ans	SRGS Poitou-Charentes
Chêne sessile, chêne pédonculé	Avant 50 ans	SRGS Aquitaine
Chêne sessile, chêne pédonculé	40 ans	http://www.crfp-midi-pyrenees.com/datas/pdf/FICHE_TA_ILDIS.pdf
Chêne et charme	25 à 50 ans	SRGS Bretagne
Châtaignier, chêne, hêtre	20 à 35 ans	SRGS Basse-Normandie
Hêtre	20 à 40 ans	SRGS Rhône-Alpes
Hêtre	Avant 50 ans	SRGS Aquitaine
Hêtre	40 à 50 ans, au-delà il rejette mal de souche	SRGS PACA

Hêtre	30 ans (rejette mal au-delà)	SRGS Midi-Pyrénées
Robinier	20 ans	SRGS Midi-Pyrénées
Robinier	20 à 30 ans	http://www.fao.org/docrep/n7750f/n7750f04.htm
Robinier	25 ans	PAGÈS, 1986
Robinier	25 ans	SRGS Aquitaine
Robinier	18 à 25 ans	SRGS Poitou-Charentes
Robinier	15 à 25 ans	SRGS Rhône-Alpes
Bois durs autres que châtaignier	> 25 ans	SRGS Pays-de-la-Loire
Chêne vert	50 à 60 ans	http://www.fft-truffes.fr/actus/ducrey_1988_4_302.pdf
Chêne sessile, chêne pédonculé	Avant 50 ans	SRGS Aquitaine

TABLEAU 11. — Liste des révolutions en taillis simple préconisées dans les SRGS.

Annexe 2 : Coefficients de substitution pour le châtaignier et le robinier

Pour le calcul des coefficients de substitution spécifiques au châtaignier et au robinier, il est important de tenir compte du rendement matière de l'opération.

Les connexes issus du sciage ne sont pas destinés à être intégralement brûlés et ont été ventilés selon la proposition faite dans le tableau 12 ci-après (basé sur l'étude GESFOR concernant le chêne ; Vial *et al.*, 2018).

Destination du recyclage des connexes	Feuillus
Panneaux	35 %
Pâte à papier	10 %
Bois énergie	55 %

TABLEAU 12. — Répartition théorique à appliquer pour le recyclage des connexes issus d'une transformation (sciage de bois d'œuvre) (d'après GESFOR, Vial *et al.*, 2018)

Pour le châtaignier et le robinier, le balivage de ces essences produit un produit quelque peu à part : les piquets, très utilisés notamment dans la viticulture, l'ostréiculture ou l'agriculture (pour les clôtures). Nous faisons l'hypothèse ici qu'ils sont remplacés par de l'acier galvanisé et un facteur de déplacement moyen de 0,9 (utilisation de bois à la place d'acier) sera appliqué (John *et al.*, 2009 in Sathre et O'Connor, 2010). Les coefficients de substitution par usage sont indiqués dans le tableau 7.

NB : Les valeurs du tableau 13 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.

Catégorie de produits bois	Durée de vie	Coefficient de substitution
BO	Valada, 2016	1,52
Piquet	Sathre et O'Connor, 2010	0,9
BE	Dire d'expert	0,5

TABLEAU 13. — Les coefficients de substitution selon la catégorie de produits bois récoltés.

Coefficient de substitution pour le châtaignier

Nous partons des données de production de l'itinéraire sylvicole « production de petites grumes et grumes » du châtaignier en classe de fertilité 2 (Lemaire, 2008), avec une productivité totale de 9,1 m³/ha/an. Les éclaircies à 10 et 16 ans ayant été regroupées en une seule éclaircie à 15 ans. La ventilation entre le sciage (BO), le piquet et le bois de feu (BE) est effectuée à dire d'expert.

Le rendement matière utilisé est de 50 %, autrement dit 50 % des pourcentages de BO indiqués dans le tableau 14 ci-après sont à destination du BE (donc à ajouter au BE).

	1 ^{ère} éclaircie	2 ^{ème} éclaircie	Coupe rase	Total
Âge	15 ans	25 ans	45 ans	-
Volume bois fort éclairci (m ³ /ha)	108	46	257	411
% BO	0 %	20 %	70 %	-
% piquets	50 %	40 %	10 %	-
% BE	50 %	40 %	20 %	-
tCO ₂ évitées	76	28	230	334
			Coefficient de substitution	0,81

TABLEAU 14. — Le coefficient de substitution pour le châtaignier est estimé à 0,81 tCO₂ évitées par m³ de châtaignier récolté.

Coefficient de substitution pour le robinier

Pour le robinier, nous faisons l'hypothèse que les éclaircies se font au même âge que pour le châtaignier, les deux essences ayant des sylvicultures proches de par leur productivité élevée. Nous utilisons la classe de fertilité 2 de la table de production de Rédei (2014).

Le rendement matière retenu pour les sciages de robinier est de 30 % (dire d'expert).

	1 ^{ère} éclaircie	2 ^{ème} éclaircie	Coupe rase	Total
Âge	15 ans	25 ans	45 ans	-
Volume bois fort éclairci (m ³ /ha)	57	32	312	430
% BO	0 %	20 %	70 %	-
% piquets	50 %	40 %	10 %	-
% BE	50 %	40 %	20 %	-
tCO ₂ évitées	40	20	235	295
			Coefficient de substitution	0,69

TABLEAU 15. — Le coefficient de substitution pour le robinier est estimé à 0,69 tCO₂ évitées par m³ de robinier récolté.

Annexe 3 : Infradensités recommandées pour les principales essences françaises de taillis (IGN, d'après Dupouey, 2002)

Le Porteur de projet se référera aux infradensités du tableau 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
Aulne vert	0,42
Grands aulnes	0,42
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 rouvre (sessile)	0,58
Chêne tauzin	0,64
Chêne vert	0,73
Chênes indifférenciés	0,56
Grands érables	0,51
Petits érables	0,56
Hêtre	0,55
Frênes	0,56
Noisetier	0,52
Ormes	0,52
Platanes	0,50
Robinier faux acacia	0,58
Tilleuls	0,43
Feuillus (moyenne)	0,57
Infradensité moyenne	0,54

TABLEAU 16. — *Liste des infradensités de plusieurs essences de la forêt française pouvant constituer des taillis.*

NB : ces valeurs seront réactualisées dans une version 3 en intégrant les résultats du projet XyloDensMap de l'IGN et de l'INRAE.

Annexe 4 : Méthode de quantification d'un volume total

Pour assurer le suivi du carbone stocké par les balivages, il faut calculer les volumes sur les parcelles. Pour ce faire, des relevés de diamètre à 1,3 m et de hauteur pourront être effectués (facultatif). Pour le calcul du volume, le Porteur de projet pourra se référer à des tarifs de cubage (à 1 ou 2 entrées) ayant été validés pour la zone géographique de l'essence en question.

Sinon, de façon générale, il est proposé d'utiliser les équations allométriques (cf. équation 14) issues du projet EMERGE pour obtenir le volume à l'hectare, construites à partir des équations de Vallet *et al.* (2006). Ces équations 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 14

Pour la simplification des calculs, l'équation 15 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 15

	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
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

TABLEAU 17. — Paramètres à utiliser dans l'équation 14 issue des travaux du projet EMERGE.

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

Il s'agit des équations recommandées par le Giec sur la base des travaux de Cairns *et al.* (1997). Pour les équations 3, 4 et 5, l'ajout de la latitude (ou de l'âge dans l'équation 2) n'augmente pas beaucoup le R², les coefficients sont toutefois extrêmement 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 , Âge)	$B_R = \exp(-1,3267 + 0,8877 \times \ln(B_A) + 0,1045 \times \ln(\hat{A}ge))$	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 18. — *Équations allométriques pour l'estimation de la biomasse souterraine ou racinaire.*

Avec :

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

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

Références bibliographiques

- ADEME, 2015. *Forêt et atténuation du changement climatique*. Les avis de l'Ademe, 12 p.
- ARROUAYS Dominique, BALESSENT 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.
- BASTIEN Yves et GAUBERVILLE Christian (coordinateurs), 2015. *Vocabulaire forestier : écologie, gestion et conservation des espaces boisés*. AgroParisTech, CNPF, ONF, 554 p.
- BOURGEOIS Catherine, SEVRIN Éric, LEMAIRE Jean, 2004. *Le châtaignier : un arbre, un bois* (2^{ème} édition). IDF, 352 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.
- 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.
- DIDOLOT François, 2017. *Les forestiers du Massif central vers les services écosystémiques*. CNPF, 44 p.
- 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.
- HUBERT Michel, 1983. *Amélioration des taillis par balivage intensif*. IDF, 118 p.
- 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.
- LEMAIRE Jean, 2008. *Estimer la potentialité de son taillis de châtaignier et y adapter les éclaircies*. *Forêt-entreprise* numéro spécial 179, pp. 14-17.
- LEMAIRE Jean, 2010. *Le chêne autrement : produire du chêne de qualité en moins de 100 ans en futaie régulière*. IDF, 176 p.
- LONGUETAUD Fleur, MOTHE Frédéric, SANTENOISE Philippe, DESPLANCHES Philippe, COLIN Antoine, DELEUZE Christine, 2013. *Les coefficients d'expansion pour déduire différents volumes de branches à partir de volumes de tige*. *Rendez-vous techniques* n° 39-40. ONF, pp. 48-59.

PAGÈS Loïc, 1986. *Lois de croissance en biomasse du taillis : le robinier dans le Val-de-Loire*. Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 43, pp. 533-550.

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.

RÉDEI Károly, CSIHA Imre, KESERŰ Zsolt, RÁSÓ János, VÉGH Ágnes Kamandiné, ANTAL Borbála, 2014. *Growth and yield of black locust (Robinia pseudoacacia L) stands in Nyírség growing region (North-East Hungary)*. South-east European forestry n° 5, pp. 13-22.

SATHRE Roger, O'CONNOR Jennifer, 2010. *A synthesis of research on wood products & greenhouse gas impacts (2nd edition)*. Technical report n° TR-19R, FPInnovations, 123 p.

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

VALLET Patrick, DHÔTE Jean-François, LE MOGUEDEC Gilles, RAVART Michel, PIGNARD Gérôme, 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.

VIAL Estelle, CORNILLIER Claire, FORTIN Mathieu, MARTEL Simon, 2018. *Bilan environnemental des systèmes forestiers vis-à-vis du changement climatique : pour une optimisation des pratiques sylvicoles et des politiques territoriales*. Rapport. ADEME. FCBA, AgroParisTech, CNPF, 102 p.