

LABEL BAS CARBONE

Méthode Gestion Forestière à Stock Continu

Version 1 du 28/04/2025

Cette méthode a été développée sur fonds propre par La Belle Forêt de 2021 à 2025.
La version 1 a été agréée par le Ministère de la Transition Écologique le 28/04/2025.

Cette méthode se restreint actuellement à certains types de peuplements, mais a vocation à être élargie dans une seconde version.

contact : hello@labelleforet.co

Pour citer ce document :

Barets S., Dieffenbacher M., Gourmain Ph., 2025. *Méthode Gestion Forestière à Stock Continu (version 1)*. La Belle Forêt. 91 p.

Table des matières

1.	Définitions.....	5
2.	Présentation de la méthode.....	7
2.1.	Objectifs de la méthode.....	7
2.2.	Périmètre d'application et aire des projets.....	7
2.2.1.	Périmètre d'application.....	7
2.2.2.	Aire des projets.....	8
2.3.	Durée des projets.....	9
2.4.	Porteur de projet.....	10
2.5.	Cas des projets collectifs.....	10
2.6.	Sources, puits et compartiments de carbone pris en compte.....	11
3.	Critères d'éligibilité.....	13
3.1.	Conditions générales d'applicabilité.....	13
3.2.	Conditions techniques d'éligibilité.....	13
3.2.1.	Définition des grands types de peuplements.....	13
3.2.2.	Caractère exploitable.....	14
3.2.3.	Caractère récoltable.....	15
3.2.4.	Caractère pérenne.....	16
4.	Détermination du scénario de référence et démonstration de l'additionnalité.....	18
4.1.	Détermination du scénario de référence.....	18
4.1.1.	Référence applicable aux strates éligibles régularisées.....	18
4.1.2.	Référence applicable aux strates éligibles irrégularisées.....	19
4.2.	Démonstration de l'additionnalité.....	20
4.2.1.	Analyse des aides publiques.....	20
4.2.2.	Analyse économique.....	20
5.	Intégrité environnementale et co-bénéfices.....	22
6.	Détermination des caractéristiques initiales du projet.....	24
6.1.	Inventaires de terrain.....	24
6.1.1.	Types et modalités des inventaires.....	24
6.1.2.	Ancienneté des données.....	25
6.1.3.	Mesures à réaliser.....	26
6.1.4.	Stratification des données.....	27
6.2.	Calcul du volume total initial.....	27
6.3.	Volume récoltable.....	29
6.4.	Choix de l'essence de régénération et du taux d'accroissement.....	29
6.5.	Niveau d'engagement.....	30
7.	Calcul du nombre de crédits carbone générables.....	32
7.1.	Modélisation du scénario de référence et du scénario de projet.....	32
7.1.1.	Scénario de référence.....	32
7.1.2.	Scénario de projet.....	33
7.2.	Crédits carbone générables par la séquestration dans la biomasse.....	34
7.3.	Crédits carbone générables par le stockage dans les produits bois.....	35
7.4.	Crédits carbone générables par la substitution.....	36
7.5.	Crédits carbone générables totaux.....	36
8.	Quantification carbone par compartiment.....	37
8.1.	Biomasse.....	37
8.1.1.	Volume aérien total.....	37
8.1.2.	Biomasse aérienne.....	37
8.1.3.	Biomasse racinaire.....	38

8.1.4.	Volume prélevé.....	38
8.1.5.	Régénération naturelle	40
8.2.	Produits bois.....	41
9.	Détermination des rabais appliqués au projet.....	44
9.1.	Rabais lié aux fuites	44
9.2.	Rabais d'incertitudes.....	44
9.3.	Rabais de non-permanence	46
9.3.1.	Risque de dépérissement/inadéquation à la station	46
9.3.2.	Risques naturels généraux difficilement maitrisables	46
9.3.3.	Risque incendie.....	46
9.3.4.	Calcul du rabais de non-permanence	47
10.	Calendrier du projet et vérifications	48
10.1.	Calendrier de mise en œuvre et de suivi du projet.....	48
10.2.	Vérification par un Auditeur.....	49
10.3.	Méthode de vérification.....	49
10.4.	Vérification documentaire	50
10.4.1.	Modification du document de gestion.....	50
10.4.2.	Surface minimale du projet.....	50
10.4.3.	Produits bois.....	51
10.4.4.	Co-bénéfices	51
10.5.	Vérification de terrain.....	52
10.5.1.	Engagement carbone.....	52
10.5.2.	Zones inexploitablees	55
10.5.3.	Co-bénéfices	55
10.6.	Calcul d'un rabais éventuel	55
10.7.	Procédure en cas de sinistre.....	55
11.	Crédits carbone générés tous les 5 ans après application des rabais.....	56
12.	Bilan des éléments à fournir	58
	Sources et références bibliographiques	60
	Annexes.....	63
	Annexe 1 : Classes de diamètre (cm) d'exploitabilité en forêt privée, imposés par les Schémas Régionaux de Gestion Sylvicoles (SRGS).....	64
	Annexe 2 : Protocole DEPERIS et modalités de réalisation.....	66
	Annexe 3 : Méthode de calcul du risque essence.....	68
	Annexe 4 : Modalités du renouvellement en futaie régularisée.....	79
	Annexe 5 : Modalités de la récolte en irrégulier.....	81
	Annexe 6 : Tables de production et taux d'accroissement imposés par la méthode.....	83
	Annexe 7 : Détermination des classes de fertilité, en fonction de l'âge et de la hauteur dominante des peuplements.....	86
	Annexe 8 : Coefficients de substitution annuels.....	90

1. Définitions

Catégories de grosseur des tiges	Catégorie de grosseur	Diamètre
	Perche	[7,5 – 17,5 cm [
	Petit Bois (PB)	[17,5 – 27,5 cm [
	Bois Moyen (BM)	[27,5 – 47,5 cm [
	Gros Bois (GB)	[47,5 – 67,5 cm [
	Très Gros Bois (TGB)	67,5 cm et plus

Crédit carbone	Un crédit carbone correspond à un stockage ou captage additionnel ou à l'émission évitée d'une tonne de CO ₂ eq du fait d'un changement d'activité.
Durée d'engagement	Durée du projet. Dans cette méthode, la durée d'engagement est de 20 ans.
Mandataire	Le Mandataire du ou des Porteurs de projet est la personne chargée de représenter le projet et les propriétaires forestiers engagés auprès de l'Autorité.
Niveau d'engagement	% minimal du volume récoltable initial que le propriétaire forestier s'engage à garantir à l'issue de la durée d'engagement. Le niveau d'engagement (80% ou 90%) est défini par la méthode en fonction du risque essence de l'essence majoritaire.
Peuplement	Ensemble d'arbres présentant des caractères communs (structure, capital, composition) sur un espace déterminé. Il est le résultat des facteurs naturels (station) et de la sylviculture passée.
Peuplement déperissant	Un peuplement est considéré comme déperissant à partir du moment où au moins 40% des tiges présentent au moins 50% de perte foliaire (classes D, E et F du protocole DEPERIS).
Peuplement irrégularisé	Peuplement dont la structure correspond à un étagement des âges, des diamètres et des hauteurs. Les catégories de grosseur (Petit Bois, Bois Moyen et Gros Bois) sont toutes suffisamment représentées pour considérer que la structure du peuplement est hétérogène.
Peuplement régularisé	Peuplement dont la structure est très régulière : les arbres ont des caractéristiques similaires (âge, diamètre, hauteur) et au moins une catégorie de grosseur est sous-représentée, ce qui traduit une certaine homogénéité.
Risque de fuites	Risque de changements nets d'émissions anthropiques dues à des sources de gaz à effet de serre situées en dehors de l'aire du projet mais qui sont attribuables au projet.
Risque de non permanence	Tout événement susceptible de causer une réduction du stock de carbone dans les strates éligibles pendant la durée d'engagement.
Risque essence	Le risque essence correspond au risque, pour une essence ou un groupe d'essences, de dépérissement au cours des 20 années du projet, du fait du changement climatique ou d'attaques de parasites.

Sinistre	Catastrophe climatique ou sanitaire détruisant plus de 10% du volume total des strates éligibles du projet.
Strate éligible	Ensemble d'unités de gestion (parcelles ou sous-parcelles forestières) qui peut comprendre un regroupement de plusieurs types de peuplements dont la structure est identique et les essences similaires. <i>Par exemple, un mélange futaie taillis distingué en différents peuplements selon la richesse des zones dans un document de gestion (pauvre, moyennement riche, riche) est généralement regroupé en une seule strate éligible. Cela permet notamment de n'installer qu'un seul réseau de placettes, représentatif de l'hétérogénéité des parcelles.</i>
Structure	Caractérise le caractère régularisé ou irrégularisé de la strate éligible.
Unité de gestion	Parcelle ou sous-parcelle forestière, telle que mentionnée dans un document de gestion durable, et correspondant à une subdivision de la surface forestière utilisée pour la gestion.
Volume récoltable initial (VRI)	Volume aérien total pouvant être récolté au début du projet en fonction des caractéristiques de la strate éligible et sur lequel porte l'engagement du Porteur de projet.
Volume objectif	Volume aérien total que le Porteur de projet s'engage à conserver sur toute la durée du projet. Volume objectif = volume récoltable initial x niveau d'engagement

2. Présentation de la méthode

2.1. Objectifs de la méthode

Cette méthode s'applique à des projets forestiers situés sur le territoire français métropolitain et dont l'objectif est de **maintenir en forêt des stocks de bois récoltables et pérennes**. Cela permet ainsi de préserver des puits de carbone forestiers efficaces en poursuivant la séquestration de carbone dans des peuplements pouvant être récoltés.

La mise en œuvre de pratiques sylvicoles favorables au maintien ou à l'augmentation de tout ou une partie du stock initial de biomasse sur pied dans des peuplements forestiers récoltables et pérennes (peuplements éligibles) permet ainsi de générer des crédits carbone.

L'irrégularisation des peuplements forestiers du projet n'est pas un objectif de la méthode mais elle peut être une conséquence de la sylviculture mise en œuvre dans un projet.

Le projet engage le(s) Porteur(s) de projet pendant une durée de 20 ans à conserver sur pied un stock de bois récoltable dans des peuplements éligibles. Afin d'assurer le respect de cet engagement pendant 20 ans, un audit de vérification est prévu tous les 5 ans pendant la durée du projet, chaque vérification permettant de faire reconnaître en ex-post une part du nombre total de crédits carbone générés par le projet. Ainsi, les crédits carbone sont reconnus au fur et à mesure de l'avancement du projet, grâce aux vérifications permettant de confirmer que l'engagement du(des) Porteur(s) de projet est tenu.

2.2. Périmètre d'application et aire des projets

2.2.1. Périmètre d'application

La méthode s'applique à l'ensemble des parcelles cadastrales d'une ou de plusieurs propriétés forestières, appartenant au(x) Porteur(s) de projet, couvertes au moins en partie, par des peuplements forestiers éligibles à cette méthode (exploitables, récoltables et pérennes, cf. 3.2).

Dans cette méthode, le périmètre d'une propriété forestière est défini par le périmètre de l'entité soumise ou concernée par un document de gestion durable (plan simple de gestion, règlement type de gestion, code des bonnes pratiques sylvicoles, plan d'aménagement). En d'autres termes, la propriété correspond à l'ensemble des parcelles cadastrales concernées par le document de gestion durable.

2.2.2. Aire des projets

Le projet en tant que tel (l'aire réelle du projet) porte uniquement sur la surface des strates éligibles. La surface minimale des projets est fixée à 2 ha.

La méthode consiste en la conservation sur pied pendant 20 ans d'unités de gestion récoltables. Or, la surface réellement récoltable sur cette durée est dépendante de la surface boisée totale de la propriété.

La réglementation forestière ne fournit aucune indication sur le rythme de renouvellement des propriétés forestières et sur la part maximale de la surface boisée qui pourrait être renouvelée sur une période donnée. L'hypothèse est faite qu'il faudrait 100 ans pour renouveler intégralement une très grande forêt (surface boisée > 4.000 ha) et qu'une forêt de moins de 20 ha pourrait aisément être renouvelée en une vingtaine d'années. En effet, plus la surface est grande, plus le temps nécessaire pour renouveler intégralement une forêt est important. Le graphique ci-dessous modélise la durée nécessaire pour renouveler l'intégralité d'une propriété, en fonction de sa surface boisée totale et en faisant l'hypothèse que cette surface boisée est intégralement récoltable (cf. Annexe 4 : Modalités du renouvellement en futaie régularisée).

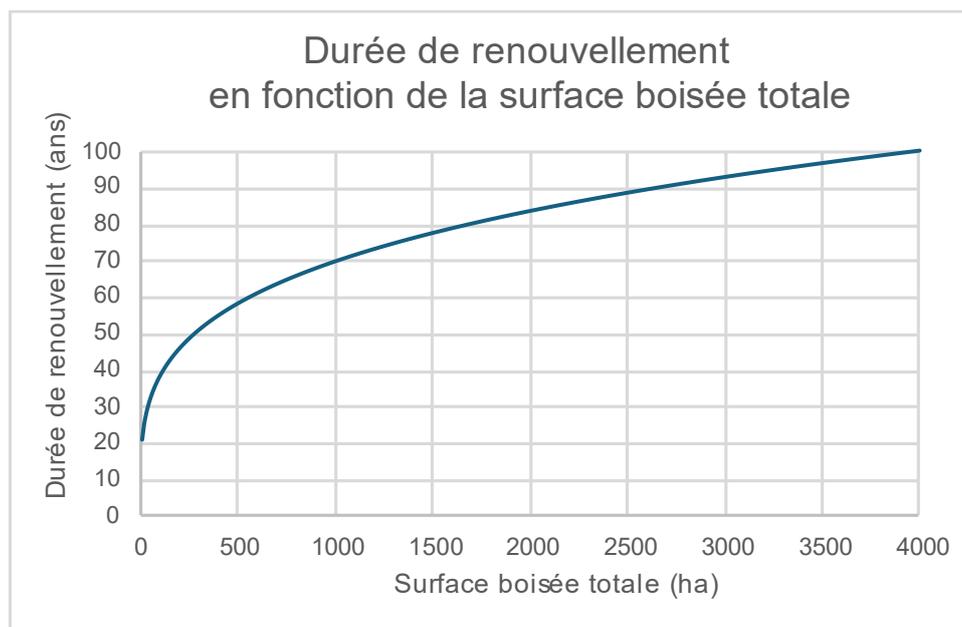


Figure 1 – Durée de renouvellement en fonction de la surface boisée totale

La fonction associée est :

$$durée_{renouvellement\ SBT} = 12,42 \times SBT^{0,25} \quad (1)$$

où

$durée_{renouvellement\ SBT}$ durée nécessaire pour renouveler toute la surface boisée d'une propriété, arrondie à l'entier supérieur (ans)

SBT surface boisée totale de la propriété (ha)

La vitesse de renouvellement annuelle est alors définie comme :

$$\%_{renouvellement\ SBT} = \frac{1}{durée_{renouvellement\ SBT}} \quad (2)$$

où

$\%_{\text{renouvellement SBT}}$ proportion de la surface boisée totale renouvelée annuellement, en fonction de la surface boisée totale de la propriété (%)

Il est alors possible d'en déduire la proportion totale de la propriété qui pourrait être récoltée sur la durée du projet (20 ans) :

$$\%_{\text{renouvelable}_{20 \text{ ans}}} = \frac{1}{\text{durée}_{\text{renouvellement SBT}}} \times 20 = \frac{1}{12,42 \times \text{SBT}^{0,25}} \times 20 \quad (3)$$

où

$\%_{\text{renouvelable}_{20 \text{ ans}}}$ proportion maximale de la surface boisée totale pouvant être renouvelée en 20 ans

La surface minimale à engager dans le projet est donc dépendante de la surface boisée totale. Afin d'éviter les effets d'aubaine et d'assurer l'additionnalité du projet :

$$\text{Surface éligible}_{\text{minimale}} = \text{SBT} \times (1 - \%_{\text{renouvelable}_{20 \text{ ans}}} + 10\%) \quad (4)$$

où

Surface éligible_{minimale} surface minimale à intégrer obligatoirement au projet (ha)

10% taux de marge défini par la méthode pour assurer l'additionnalité du projet

Si la surface des strates éligibles au projet est inférieure à la surface minimale à engager, l'intégralité de la surface éligible doit alors être intégrée au projet.

NB : Afin d'assurer la cohérence entre les projets, cette formule est utilisée, peu importe la structure des strates éligibles.

EXEMPLE :

Pour une propriété dont la surface boisée est de 55 ha, la durée qui serait nécessaire pour renouveler l'intégralité des peuplements serait de : $12,42 \times 55^{0,25} = 34$ ans.

Ainsi, $1/34 \times 20 = 58,8\%$ de la propriété pourrait être renouvelé en 20 ans.

La surface minimale à intégrer au projet est donc de : $55 \times (1 - 58,8\% + 10\%) = 28,2$ ha.

- Si la surface des strates éligibles à la méthode est supérieure à 28,2 ha, au minimum 28,2 ha doivent être engagés dans le projet.
- Si la surface des strates éligibles à la méthode est inférieure à 28,2 ha, toute la surface éligible doit être engagée dans le projet.
- Si la surface des strates éligibles à la méthode est inférieure à 2 ha, la propriété n'est pas éligible à la méthode.

2.3. Durée des projets

Par dérogation à la partie II.B.3 de l'arrêté du Label bas carbone, la durée des projets mis en œuvre conformément à cette méthode est de 20 ans, quels que soient la localisation du projet et le traitement des strates éligibles initialement prévu.

La date de Notification du projet à l’Autorité marque le début du projet.

Tous les engagements pris par le Porteur de projet reposent sur cette durée de 20 ans. Dès lors, si tout ou partie des parcelles engagées dans ce projet venait à changer de propriétaire, il conviendra d’informer le(s) propriétaire(s) suivant(s) de l’engagement de conservation portant sur les parcelles nouvellement acquises et d’assurer la poursuite du projet. Dans le cadre de cette méthode, le Porteur de Projet devra obligatoirement faire agréer un avenant au document de gestion, ce qui permettra d’informer les propriétaires successifs puisque ces documents sont impérativement annexés à tout acte de vente ou de partage sous peine de nullité (cf. 10.4.1).

2.4. Porteur de projet

Le Porteur de projet est l’entité juridique qui a la capacité d’engager le projet éligible à la présente méthode.

Le Porteur de projet ou son Mandataire complète le Formulaire de Dépôt de Dossier et fait la demande de labellisation du projet. Le Porteur de projet (ou son Mandataire) représente donc le projet auprès de l’Autorité.

Le Porteur de projet ou son Mandataire doit fournir les documents qui démontrent sa capacité à représenter le projet (voir liste des documents à fournir, en partie 12).

2.5. Cas des projets collectifs

Définitions

Un projet individuel est un projet porté par un même propriétaire forestier (éventuellement représenté par un mandataire) sur une ou plusieurs parcelles cadastrales, regroupées dans un document de gestion durable unique.

Un projet collectif est constitué de plusieurs projets individuels présents dans une même région administrative.

NB : peuvent être considérées comme appartenant à un projet individuel :

- Les parcelles situées dans des communes limitrophes d’un même département et appartenant à plusieurs propriétaires ayant un lien de parenté ;
- Les parcelles situées dans des communes limitrophes d’un même département et appartenant à des formes de propriété différentes (indivision, société civile, propriété en nom propre...) pour lesquelles une même personne est impliquée.

EXEMPLE :

- Un propriétaire qui possède en nom propre une forêt disposant d’un RTG et qui est également gérant d’un groupement forestier dont la propriété est accolée et disposant d’un PSG peut organiser un projet individuel avec les deux entités.
- Un propriétaire ayant légué une partie de sa propriété à ses enfants peut se regrouper avec eux pour organiser un projet individuel avec les deux entités.

Les projets individuels se limitent à une échelle départementale, mais si cela est pertinent, un projet pourra se concrétiser sur deux ou trois départements limitrophes (cas par exemple de forêts d'un seul tenant situées à la jonction de 3 départements).

Notification

Une notification unique est obligatoire pour tous les projets individuels d'un projet collectif. La date de Notification marque le début du projet collectif.

Vérification

Le rythme de vérification d'un projet collectif est le même que pour un projet individuel : le premier Audit de vérification doit être réalisé 5 ans après le début du projet et un Audit de vérification doit être réalisé tous les 5 ans pendant la durée du projet (à 10, 15 et 20 ans).

Le mandataire doit fournir un Rapport de suivi pour chaque projet individuel.

L'échantillonnage n'est pas possible pour l'Audit documentaire et terrain des projets individuels composant un projet collectif.

Les co-bénéfices sont calculés à l'échelle de chaque projet individuel puis une moyenne est effectuée à l'échelle du projet collectif (pondération par la surface de chaque projet individuel).

2.6. Sources, puits et compartiments de carbone pris en compte

Les puits et source de carbone inclus ou exclus du cadre de cette méthode sont indiqués ci-dessous. La prise en compte des effets de substitution est facultative.

Source et puits	Inclusion	GES	Justification	Type de RE
Séquestration de carbone dans la biomasse aérienne	Oui	CO ₂		Directes
Séquestration de carbone dans la biomasse racinaire	Oui	CO ₂		Directes
Stockage de carbone dans le bois mort	Non	CO ₂	Bien que les activités du projet soient susceptibles d'accroître la quantité de bois mort, le rythme de dégradation du carbone dans le bois mort est peu documenté, ainsi que la destination exacte de ce carbone (atmosphère ou litière/sol).	-

Source et puits	Inclusion	GES	Justification	Type de RE
Stockage de carbone dans la litière et dans le sol	Non	CO ₂	Bien que les activités du projet permettent probablement de maintenir en place le carbone présent dans la litière et dans la matière organique du sol (préservation du couvert forestier, augmentation des durées de révolution...), l'évolution de ce stock de carbone et sa modélisation (en fonction de la gestion menée) dans un contexte de changement de pratiques sylvicoles sont encore discutés dans la communauté scientifique spécialisée (Pellerin et al. 2019). Ces compartiments pourront être considérés lorsque la recherche aura prouvé qu'un tel changement de pratiques impacte significativement le stock de carbone dans ces compartiments.	-
Stockage de carbone dans les produits bois issus de la récolte	Oui	CO ₂		Directes
Combustion de combustibles fossiles	Non	CO ₂ CH ₄	Les émissions de GES liées aux exploitations (débardage, transport etc.) sont considérées comme minimales et sont donc négligées.	-
Engrais azotés	Non	CO ₂ N ₂ O	L'utilisation d'engrais azotés est extrêmement rare en forêt française.	-
Substitution à des produits ou énergies plus émetteurs que le bois	Oui (Facultatif)	CO ₂ CH ₄		Indirectes

Tableau 1 - Puits et sources de carbone inclus ou exclus de cette méthode

3. Critères d'éligibilité

3.1. Conditions générales d'applicabilité

Les conditions suivantes doivent être remplies pour chaque parcelle cadastrale engagée dans le projet appliquant cette méthode :

- La parcelle cadastrale doit être concernée par un document de gestion durable (plan simple de gestion (PSG), règlement type de gestion (RTG), code des bonnes pratiques sylvicoles (CBPS), document d'aménagement forestier) en cours de validité ou en cours d'agrément et comprenant un programme de coupes et travaux.
- Tout ou partie de la parcelle cadastrale doit être composée de strates éligibles (exploitables, récoltables et pérennes) au début du projet.

Au moment de chaque Audit de vérification, la gestion mise en œuvre doit être en cohérence avec le document de gestion en cours. Un avenant au Document de gestion doit au minimum avoir été réalisé avant la date du 1^{er} Audit (cf. 10.4.1).

3.2. Conditions techniques d'éligibilité

3.2.1. Définition des grands types de peuplements

Chaque peuplement forestier existant peut être reclassé dans l'un des grands types de peuplements suivants :

- Les futaies¹ (feuillues, résineuses ou mélangées, régularisées ou irrégularisées),
- Les mélanges futaie-taillis² (dont la futaie est irrégularisée ou régularisée),
- Les taillis simples (toujours considérés comme régularisés).

Une futaie ou un mélange futaie-taillis est considéré comme irrégularisé dès lors que la répartition du nombre total de tiges d'essences de futaie pérennes³ par hectare (Nha) remplit l'une des 2 conditions suivantes :

- Les gros bois (plus de 47,5 cm de diamètre) représentent entre 20% et 50% de Nha et les petits bois (17,5 à 27,5 cm de diamètre) représentent au moins 20% de Nha.
- Les gros bois (plus de 47,5 cm de diamètre) représentent entre 5% et 20% de Nha et les bois moyens (27,5 à 47,5 cm de diamètre) représentent moins de 50% de Nha.

Une futaie ou un mélange futaie-taillis est régularisé dès lors que la répartition du nombre total de tiges par hectare (Nha) ne permet pas de conclure sur le caractère irrégularisé de l'étage de futaie.

¹ Les arbres de futaie sont les arbres de franc pied issus d'une graine. Un peuplement de futaie correspond à un peuplement composé d'arbres de franc pied, issus de graines (régénération naturelle) ou de plantation.

² Les tiges de taillis sont généralement issues de rejet de souche.

³ Le caractère pérenne d'une essence est déterminé en partie 3.2.4.

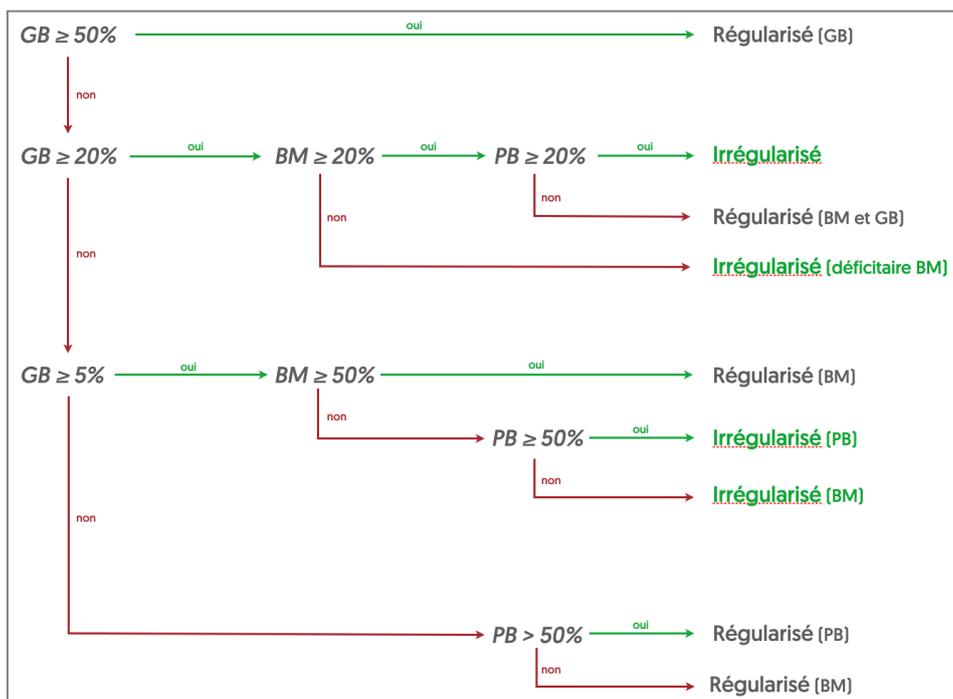


Figure 2 - Schéma d'aide à la caractérisation de l'étage de futaie (en % de Nha)

Bien que la typologie définie ci-dessus soit initialement applicable uniquement aux peuplements feuillus d'après l'article de Jenner et Gaudin (2001), la présente méthode impose la même clé des structures aux peuplements mixtes et résineux afin de garder de la cohérence entre les projets.

Attention : cette première version de la méthode n'est pas applicable aux grands types de peuplements suivants :

- les taillis simples ;
- les futaies résineuses régularisées.

Pour être éligibles à cette méthode, les parcelles et sous-parcelles (unités de gestion) couvertes par un type de peuplement doivent être exploitables, récoltables et pérennes.

3.2.2. Caractère exploitable

Les peuplements inexploitable sont les peuplements classés « hors sylviculture » (c'est-à-dire les unités de gestion couvertes par des boisements exclus de la gestion, tels que les îlots de sénescence ou les réserves intégrales (ou autres dénominations correspondant à la « libre évolution » du boisement)) et les peuplements inaccessibles⁴ ou pour lesquels l'exploitation est impossible pour des raisons physiques. Toutes les unités de gestion couvertes par des peuplements qui ne sont pas inexploitable sont considérées comme exploitables.

⁴ Les secteurs inaccessibles sont les secteurs :

- situés dans des pentes de plus de 30% et non équipés de pistes de débardage ou d'infrastructures permettant d'installer un câble mât,
- marécageux de très faible portance, limitant les possibilités de débardage,
- dans lesquels toute exploitation forestière est proscrite par la réglementation.

Une carte des zones inexploitable devra être fournie au moment de l’Audit et le caractère inexploitable de chaque zone devra être justifié.

3.2.3. Caractère récoltable

Le caractère récoltable des unités de gestion couvertes par une strate éligible doit être justifié par les caractéristiques des unités de gestion engagées au début du projet.

La strate est considérée comme récoltable si ses caractéristiques rendent sa récolte possible et probable à court terme, c’est-à-dire :

- Pour les strates régularisées : lorsque le diamètre moyen des 80% plus grosses tiges précomptables (diamètre supérieur ou égal à 17,5 cm) de l’étage de futaie a atteint ou dépassé la classe de diamètre de récolte minimale imposée par la présente méthode⁵.
- Pour les strates irrégularisées : lorsque les arbres ayant atteint ou dépassé la classe de diamètre de récolte minimale imposée par la présente méthode représentent au moins 30% du volume total.

Sur la base des exigences imposées par la réglementation forestière française, en particulier les Schémas Régionaux de Gestion Sylvicole (SRGS) et les Directives et Schémas Régionaux d’Aménagement, une classe de diamètre de récolte minimale par essence ou groupe d’essences a été définie. Pour les feuillus en dessous de 800 m d’altitude, elle correspond à la moyenne de la borne basse des diamètres d’exploitabilité recommandés dans les SRGS. Pour les résineux et les feuillus au-delà de 800 m d’altitude, c’est la moyenne des diamètres minimaux d’exploitabilité qui est utilisée (cf. Annexe 1 : Classes de diamètre d’exploitabilité en forêt privée, issues des Schémas Régionaux de Gestion Sylvicoles).

Essence ou groupe d’essences	Classe de diamètre de récolte jusqu’à 800 m d’altitude (cm)	Classe de diamètre de récolte au-delà de 800 m d’altitude (cm)
Chênes sessile et pédonculé	55	<i>sans objet</i>
Hêtre	50	40
Taillis de feuillus	35	30
Autres feuillus	45	40
Douglas	45	40
Épicéa commun	<i>non applicable</i>	40
Mélèze	40	40
Pin maritime	40	<i>sans objet</i>
Pin sylvestre	40	35
Sapin pectiné	40	40
Autres résineux	40	35

Tableau 2 -Classes de diamètre de récolte retenues par la méthode

⁵ La méthode imposant d’inventorier l’intégralité des tiges précomptables (cf. 6.1.1), ce pourcentage permet d’éliminer les tiges mal conformées, les bois dominés et ceux sans avenir du calcul.

3.2.4. Caractère pérenne

Enfin, le caractère pérenne des unités de gestion couvertes par un type de peuplement est défini par leur état sanitaire actuel et par le risque de dépérissement futur des essences majoritaires du peuplement.

État sanitaire actuel

Afin de justifier de l'état sanitaire de la strate au début du projet, le Porteur de projet doit obligatoirement faire réaliser, par un professionnel formé par le Département de la Santé et des Forêts (DSF), un diagnostic DEPERIS au sein des unités de gestion comprenant des strates éligibles (cf. Annexe 2 : Protocole DEPERIS et modalités de réalisation).

Pour être éligible à la présente méthode, le taux de tiges dépérissantes doit être au maximum de 20% (classes DEPERIS D-E-F).

Risque de dépérissement futur

La méthode ayant pour objectif de maintenir des peuplements sur pied pendant 20 ans, elle doit être appliquée sur des peuplements globalement sains et capables de résister aux évolutions climatiques et aux risques sanitaires éventuels tout au long de cette période.

En fonction de ses caractéristiques particulières, chaque essence présente une sensibilité climatique et une résistance potentielle aux risques sanitaires qui doivent être évaluées et intégrées dans les projets. Dans cette méthode, les caractéristiques particulières de chaque essence sont traduites dans le risque essence, ou risque de dépérissement futur.

La définition d'un risque essence par essence et par région naturelle forestière est le fruit d'un travail de recherche et développement mené par La Belle Forêt, grâce aux données de compatibilité climatique par essence fournies par l'outil Climessences⁶ et aux données de déficit hydrique de la base Digitalis du laboratoire Silva⁷. Ce travail permet d'obtenir, pour chaque essence et chaque région naturelle forestière, un taux de risque, traduit dans cette méthode comme le risque essence minimal associé à cette essence dans cette région naturelle (cf. Annexe 3 : Méthode de calcul du risque essence).

Si plus de 60 % du volume total d'un peuplement exploitable et récoltable concerne des essences dont le risque essence dépasse 50 %, ce peuplement ne peut pas être éligible à la quantification carbone (peuplement non pérenne).

Ces données étant susceptibles d'évoluer dans le temps (notamment du fait d'évolutions du modèle de calcul de cet indicateur ou de mises à jour des bases Climessences ou Digitalis), la dernière version de la méthode de calcul utilisée et la base de données des valeurs de risque essence par essence et par région naturelle sont disponibles en téléchargement sur la page internet de la méthode sur le site internet du Label bas carbone. Selon les évolutions de la

⁶ <https://climessences.fr/compatibilites-climatiques/cartes-de-compatibilite-climatique>

⁷ Base de données DIGITALIS, Laboratoire SILVA (Université de Lorraine-AgroParisTech-INRAE)

plateforme Climessences, en fonction des nouvelles hypothèses du GIEC et des laboratoires associés ou encore si le modèle est retravaillé, cette base de données et sa documentation pourront être mises à jour régulièrement sur la page dédiée à la présente méthode sur le site internet du Label bas carbone.

Lors du développement d'un projet conformément à cette méthode, la version la plus récente de cette base de données, au moment de la Notification du projet (début du projet), doit être utilisée.

4. Détermination du scénario de référence et démonstration de l'additionnalité

4.1. Détermination du scénario de référence

Dans cette méthode, pour chaque grand type de strate éligible à la quantification carbone, le scénario de référence correspond au scénario de récolte le plus probable en l'absence du projet.

4.1.1. Référence applicable aux strates éligibles régularisées

Pour une unité de gestion couverte par une strate éligible dont la structure est régularisée (futaie feuillue, mélange feuillus/résineux, mélange futaie-taillis), le scénario de récolte le plus probable en l'absence de projet correspond à la récolte de la totalité du volume initial de l'unité de gestion. Le volume total initial serait le plus probablement récolté au travers de coupes progressives étalées sur 10 à 12 ans.

La surface totale de la propriété renouvelable chaque année est définie comme (cf. 2.2.2) :

$$S_{renouvelable/an} = SBT \times \%_{renouvellement\ SBT} \quad (4)$$

où

$S_{renouvelable/an}$ surface pouvant être renouvelée chaque année, en fonction de la surface boisée totale d'une propriété (ha)

$\%_{renouvellement\ SBT}$ proportion de la surface boisée totale renouvelée annuellement, en fonction de la surface boisée totale de la propriété (%)

Il est cependant très rare que l'intégralité de la surface boisée d'une propriété soit régularisée et récoltable. La durée nécessaire pour renouveler l'intégralité de la surface des strates régularisées d'une même propriété est donc :

$$durée_{récolte\ régularisé} = \frac{S_{régularisée}}{S_{renouvelable/an}} \quad (5)$$

où

$durée_{récolte\ régularisé}$ durée nécessaire pour renouveler toute la surface des strates éligibles régularisées d'une même propriété, arrondie à l'entier supérieur (ans)

$S_{régularisée}$ surface totale des strates éligibles régularisées d'une même propriété, engagées dans le projet (ha)

Pour les unités de gestion couvertes par des strates régularisées éligibles, le scénario de référence correspond donc à la récolte de la totalité du volume initial de ces strates, sur la durée nécessaire pour renouveler toute leur surface ($durée_{récolte\ régularisé}$), en fonction de la surface boisée totale de la propriété.

Le tableau ci-dessous indique, à titre indicatif, les durées et de vitesse de renouvellement moyennes, par classes de surfaces :

Surface boisée totale (SBT)	Durée moyenne pour renouveler toute la SBT (ans)	%renouvellement annuel moyen	%renouvelable en 20 ans moyen
< 20 ha	22	4,8%	95%
[20 – 50 ha [	30	3,3%	66%
[50 – 100 ha [	37	2,7%	54%
[100 – 200 ha [	44	2,2%	46%
[200 – 500 ha [	54	1,9%	37%
[500 – 1000 ha [	65	1,5%	31%
[1000 – 2000 ha [	78	1,3%	26%
[2000 – 4000 ha [	92	1,1%	22%
≥ 4000 ha	100	1,0%	20%

Tableau 3 - Exemples de durées et vitesses de renouvellement en fonction de la surface boisée totale d'une propriété

EXEMPLE :

Pour une propriété dont la surface boisée totale est de 126 ha dont 85 ha éligibles à la méthode, la durée qui serait nécessaire pour renouveler toute la surface boisée est de : $12,42 \times 126^{0,25} = 42$ ans.

La surface maximale pouvant être mise en renouvellement chaque année est de $1/42 = 2,4\%$, soit 3,0 ha.

La durée nécessaire pour renouveler l'intégralité de la strate éligible au projet est donc de : $85/3 = 29$ ans.

4.1.2. Référence applicable aux strates éligibles irrégularisées

Pour les strates éligibles dont la structure est irrégularisée, le scénario de récolte le plus probable en l'absence de projet correspond à des coupes jardinatoires prélevant majoritairement des arbres de gros et très gros diamètre récoltables.

Sur la base des informations fournies par les Schémas Régionaux de Gestion Sylvicole⁸ (cf. Annexe 5 : Modalités de la récolte en irrégulier) un rythme de récolte annuel moyen est défini :

- 2% de prélèvement du volume total tous les ans, pour les strates composées de feuillus ou d'un mélange feuillus/résineux,
- 3% de prélèvement du volume total tous les ans, pour les strates composées de résineux.

Les coupes jardinatoires réalisées ont plusieurs objectifs :

- Améliorer la qualité générale du peuplement par l'éclaircie des arbres malades et des arbres gênants ceux sélectionnés pour leur qualité (= coupe d'amélioration)
- Prélever les arbres matures pour permettre le développement de la régénération naturelle sous couvert (= coupe de prélèvement).

L'analyse de nombreuses affiches de coupe de différents gestionnaires forestiers comportant la mention explicite de « coupe jardinatoire » a montré que les gros bois matures et sains récoltés à chaque coupe représentent en moyenne $88\% \pm 8\%$ du volume total des coupes (cf. Annexe 5 : Modalités de la récolte en irrégulier). Le poids des tiges de plus petites dimensions récoltées

⁸ <https://www.cnpf.fr/gestion-durable-des-forets/gestion-durable/les-documents-de-gestion-durable-des-forets-privees-psg>

pour améliorer la qualité du peuplement est faible. Ainsi, pour chaque coupe jardinatoire réalisée, la méthode considère que 80% du volume total prélevé est compris dans des tiges ayant dépassé le diamètre minimal d'exploitabilité.

4.2. Démonstration de l'additionnalité

4.2.1. Analyse des aides publiques

A ce jour, à l'exception des contrats Natura 2000 de type « dispositifs favorisant le développement de bois sénescents », uniquement applicables dans certains sites Natura 2000 selon les caractéristiques des peuplements, et des obligations pour certaines forêts publiques de mettre en place des îlots de vieux bois (îlots de sénescence et îlots de vieillissement), aucun dispositif de financement public en faveur de la conservation de peuplements forestiers récoltables n'existe.

4.2.2. 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 ne constitue pas la solution la plus rentable par rapport au scénario de référence.

Pour réaliser cette démonstration, le Porteur de projet doit réaliser un bilan financier de chaque scénario modélisé (le scénario de référence et le scénario de projet) grâce aux équations suivantes :

$$VAN_{\text{scénario}} = \sum_{i=0}^{20} \frac{R_i - D_i}{(1+r)^i} \quad (A)$$

où

$VAN_{\text{scénario}}$ Valeur actualisée nette du scénario considéré (€)

R_i Recettes nettes de l'année i dans le scénario considéré (€), liées notamment à la vente des bois

D_i Dépenses nettes de l'année i dans le scénario considéré (€), liées notamment à l'entretien des régénérations

r taux d'actualisation, fixé à 4,5% par cohérence avec les autres méthodes forestières du Label

Concernant les revenus nets liés à la vente des bois, les arbres prélevés étant des arbres récoltables, il convient de distinguer la part du volume prélevé qui serait vendue en bois d'œuvre (BO, mieux valorisée financièrement) et la part qui serait vendue en bois d'industrie ou bois énergie (BI BE). Par simplification calculatoire, seul le volume « bois fort tige » prélevé est pris en compte, le reste du volume total étant considéré comme laissé sur place ou très peu valorisé. Cette répartition est définie par le Porteur de Projet (cf. 8.2).

Concernant l'entretien des régénérations, la méthode applique un coût fixe de 2 000 €/ha la cinquième année de colonisation, bien que, dans la réalité sylvicole, ce coût soit réparti sur une dizaine années.

L'additionnalité économique est démontrée si :

$$VAN_{projet} - VAN_{référence} < 0 \quad (B)$$

5. Intégrité environnementale et co-bénéfices

Les projets de Gestion Forestière à Stock Continu sont susceptibles d’avoir un impact ou d’être associés à quatre catégories de co-bénéfices : socio-économiques, préservation des sols, biodiversité et eau. Afin de suivre et de maîtriser les effets du projet sur ces différents enjeux, le Porteur de projet fait état des indicateurs de co-bénéfices et d’impacts sur lesquels il s’engage en début de projet et pour toute sa durée.

L’évolution de ces indicateurs n’est pas obligatoire mais toute évolution positive pourra être valorisée par le Porteur de projet. Ils seront reportés dans le rapport de suivi et feront l’objet de vérifications.

Pour chaque catégorie de co-bénéfice, le porteur de projet pourra proposer un co-bénéfice supplémentaire inhérent à son projet. Chaque co-bénéfice ajouté ne pourra rapporter qu’un seul point et un maximum d’un co-bénéfice pour chacune des catégories pourra être ajouté. La pertinence de ces co-bénéfices supplémentaires sera validée ou non par le service instructeur. Ils ne peuvent pas porter sur des caractéristiques physiques de la parcelle et doivent être liés à des choix faits par le Porteur de projet en plus des conditions d’éligibilité du projet.

ID	Catégorie de co-bénéfice	Intitulé	Indicateur	Points accordés
SE.1	Socio-économique	Valorisation locale des bois récoltés	Plus de 80% du bois d’œuvre récolté dans les strates éligibles bénéficie d’un système de type Label UE ou est valorisé en 1 ^{ère} transformation dans un rayon de moins de 50 km autour du projet.	+ 5
			Plus de 80% du bois d’œuvre récolté dans les strates éligibles est valorisé en 1 ^{ère} transformation dans un rayon compris entre 50 et 100 km autour du projet.	+ 3
SE.2	Socio-économique	Création de plus-value économique locale	La majorité des travaux sylvicoles (en % du coût total des travaux d’exploitation et de débardage) a été confiée à des entreprises de travaux forestiers (ETF) situées dans un rayon de 50km autour du projet.	+ 3
			La majorité des travaux sylvicoles (en % du coût total des travaux d’exploitation et de débardage) a été confiée à des entreprises de travaux forestiers (ETF) situées dans un rayon de 50 km à 100 km autour du projet.	+ 2
SE.3	Socio-économique	Certification forestière	Adhésion à une certification de gestion durable (PEFC, FSC...).	+ 3
SE.4	Socio-économique	Assurance forestière	Les parcelles éligibles sont couvertes par une assurance forestière.	+ 5
PS.1	Préservation des sols	Cloisonnement des parcelles	Les parcelles sont systématiquement cloisonnées avant exploitation.	+ 5

ID	Catégorie de co-bénéfice	Intitulé	Indicateur	Points accordés
PS.2	Préservation des sols	Modalités de récolte	La récolte dans les strates éligibles est réalisée par des coupes jardinatoires (gestion irrégulière).	+ 5
			La récolte dans les strates éligibles n'est pas réalisée par coupes rases.	+ 2
PS.3	Préservation des sols	Exportation des rémanents	Les rémanents inférieurs à 7 cm fin bout ne sont pas exportés, ils sont laissés en forêt.	+ 3
B.1	Biodiversité	Trame de vieux bois	Maintien d'arbres d'intérêt écologique d'au moins 30 cm de diamètre, marqués pour être conservés (arbres porteurs de microhabitats, arbres morts...) à raison d'au moins 3 par hectare (moyenne calculée sur la surface des strates éligibles du projet).	+ 5
			Maintien d'arbres d'intérêt écologique d'au moins 30 cm de diamètre, marqués pour être conservés (arbres porteurs de microhabitats, arbres morts...) à raison de 1 à 3 par hectare (moyenne calculée sur la surface des strates éligibles du projet).	+ 2
E.1	Eau	Préservation des milieux humides	Mise en œuvre d'actions de restauration ou d'entretien de mares et mardelles forestières permanentes.	+ 3
E.2	Eau	Préservation et entretien des ripisylves	Adaptation de la gestion forestière et de la récolte en bordure de cours d'eau permanent : à proximité immédiate des cours d'eau, l'exploitation est réalisée par coupes jardinatoires et prélèvements ponctuels.	+ 3

Tableau 4 - Grille d'évaluation des co-bénéfices pouvant être associés aux projets

6. Détermination des caractéristiques initiales du projet

Les caractéristiques du projet, en particulier celles des strates éligibles et le type de traitement dans le scénario de référence qui leur est appliqué impactent les modèles d'évolution de la quantité de carbone dans les différents compartiments considérés dans cette méthode et doivent donc être déterminées en amont.

6.1. Inventaires de terrain

6.1.1. Types et modalités des inventaires

Afin de connaître les caractéristiques de la strate éligible, des inventaires de terrain doivent obligatoirement être réalisés. Deux types d'inventaires sont proposés par la méthode et sont laissés à la main du Porteur de projet, en fonction des caractéristiques de la propriété.

Un seul type d'inventaire doit être choisi par strate éligible.

Type d'inventaire	Modalités			
Installation d'un réseau systématique de placettes	Un maillage de placettes systématique doit préalablement être défini (à l'aide de QGis par exemple) et les conditions suivantes doivent être respectées dans chaque strate éligible (le nombre de placettes à installer est toujours arrondi à l'entier supérieur) :			
	Surface strate (ha)	Conditions minimales à respecter		
	< 150 ha	1 placette /5 ha	ET	20 placettes minimum
	[150 - 300 ha [1 placette /6 ha	OU	20 placettes minimum ET Incertitude <u>calculée</u> < 15% (Cf. 9.2)
	[300 - 500 ha [1 placette /8 ha	OU	20 placettes minimum ET Incertitude <u>calculée</u> < 15% (Cf. 9.2)
≥ 500 ha	1 placette /10 ha	OU	20 placettes minimum ET Incertitude <u>calculée</u> < 15% (Cf. 9.2)	
	Le centre de chaque placette doit être relevé au GPS pour pouvoir être retrouvé pour les Audits de vérification (plus ou moins les quelques mètres d'incertitude du GPS).			
Inventaires en plein	L'intégralité des unités de gestion sur lesquelles portent le projet doivent être inventoriées.			

Tableau 5 -Types et modalités des inventaires

EXEMPLE 1 :

Pour une strate éligible de 200 ha, il faut installer au minimum $200/6 = 33$ placettes.

- Si un réseau de placettes existe déjà dans la strate et qu'il comprend 25 placettes mais que l'incertitude calculée est inférieure à 15%, les données des inventaires peuvent être utilisées, sous réserve qu'elles datent de 3 ans ou moins.
- Si l'incertitude calculée est supérieure à 15%, un nouveau réseau comprenant au minimum 33 placettes doit être installé.

EXEMPLE 2 :

- Un projet est composé d'une seule strate éligible de 350 ha. Le porteur de projet choisit alors d'installer un réseau comprenant au minimum $350/8 = 44$ placettes. Il peut aussi en installer davantage pour réduire les incertitudes liées aux erreurs statistiques. S'il choisit d'installer un réseau systématique de 60 placettes, la maille entre 2 placettes est alors de : $\sqrt{350/60 \times 10.000} = 242$ mètres.
- Un projet est composé de deux strates éligibles dont les surfaces respectives sont de 120 ha (strate A) et 25 ha (strate B).
 - Si le porteur de projet choisit d'installer des placettes, il doit obligatoirement installer un réseau par strate. Dans la strate A, il doit installer au minimum $120/5 = 24$ placettes et dans la strate B il doit en installer au minimum 20.

Le porteur de projet peut également choisir d'installer un réseau de placettes dans la strate A et de réaliser un inventaire en plein dans la strate B.

Les inventaires réalisés doivent dans tous les cas porter sur la totalité des arbres précomptables (diamètre supérieur ou égal à 17,5 cm) présents dans les unités de gestion inventoriées, quelle que soit leur valeur marchande ou leur importance dans la strate (ne pas se limiter à l'essence de production et aux arbres de plus de 30 cm de diamètre par exemple).

Les mesures de terrain devront impérativement être réalisées par un professionnel forestier, comme défini ci-dessous :

- toute personne faisant partie d'un organisme certificateur reconnu par le Programme de reconnaissance des certifications forestières (PEFC), le Forest Stewardship Council (FSC) ou le Verified Carbon Standard (VCS) dont l'accréditation ou la reconnaissance couvre le secteur forestier ;
- tout Expert forestier inscrit sur la liste nationale publiée par le Conseil National de l'Expertise Foncière, Agricole et Forestière (CNEFAF) ;
- tout Gestionnaire Forestier Professionnel dont l'agrément est en cours de validité ;
- tout personnel forestier de l'ONF ;
- toute personne ayant une formation forestière ou équivalent de niveau BAC+2 ou plus.

Il est à noter que pour les réseaux de placettes, les modalités (surface fixe ou angle fixe) sont laissées à la main du Porteur de projet et influenceront sur le rabais d'incertitude (cf. 9.2).

6.1.2. Ancienneté des données

La dernière campagne de mesure complète doit avoir été réalisée 3 ans ou moins avant la Notification du projet pour que les données puissent être utilisées dans l'établissement de l'état initial des strates éligibles.

6.1.3. Mesures à réaliser

Quel que soit le type d'inventaire choisi par le Porteur de projet, les informations suivantes doivent obligatoirement être relevées pour tous les arbres inventoriés :

- Essence
- Diamètre ou classe de diamètre (par classes de 5 cm) de l'arbre à 1m30 du sol

Opérateur(s)	Strate	Placette	Essence	Pente_%	Distance_m,dm	Diametre_cm	GAT_GROSSEUR	Azimet_gr
Alexandre	futaie feu	1	hetre	0	8,2	66	GB	
			hetre	0	8,55	31	BM	
			chataignier	0	7,4	33	BM	
			chene	0	3	50	GB	
			chene	0	14,4	46	BM	
			chene	0	12,27	44	BM	
			chene	0	13,23	45,5	BM	
		2	hetre	0	1,45	30	BM	
			chene	0	6,3	59	GB	
			hetre	0	8	40	BM	
			chene	0	12,5	44,5	BM	
			chene	0	12,96	64	GB	
			chene	0	9	39	BM	
			chene	0	9,6	34	BM	
			chene	0	3,2	70,5	TGB	
		3	chene	0	6,47	65	GB	
			hetre	0	6,47	26	PB	
			chataignier	0	12,16	36	BM	
			chene	0	11,53	76	TGB	
			chene	0	14,65	73	TGB	
		4	chene	0	3	65	GB	
			chataignier	0	7,65	28,5	BM	
			chene	0	11,25	33	BM	

Figure 1 - Extrait d'un fichier de relevés de terrain pour un réseau de placettes à rayon fixe (15 m de rayon)

Les relevés de l'état sanitaire des arbres dominants et co-dominants de la strate éligible grâce au diagnostic DEPERIS peuvent également être réalisés directement sur les placettes (cf. Annexe 2 : Protocole DEPERIS et modalités de réalisation).

Afin de calculer le volume de la strate, des mesures de hauteurs totales sont également nécessaires. Elles peuvent être obtenues selon plusieurs modalités :

- Sur le terrain : la hauteur totale d'au moins un arbre sur 5 de chaque essence et de chaque catégorie de grosseur doit être relevée (précision au m).
- Grâce aux données de l'IGN, en particulier les relevés LIDAR et les produits altimétriques (MNS et MNT) : Il est également possible de calculer une hauteur totale moyenne sur la surface de la strate éligible. Si son utilisation est bien explicitée dans le Rapport initial d'inventaire, cette donnée peut être utilisée pour les calculs de volume.
- En utilisant les hauteurs conservatrices définies à l'analyse des données de l'IGN (hauteurs totales des campagnes IFN de 2006 à 2022 - premier quartile).

	Chêne	Hêtre	Frêne	Chêne rouge	Autres feuillus de futaie	Charme	Bouleau	Châtaignier	Autres feuillus de taillis
Perche	8,3	8,9	10	10,5	6,9	10	10	8,8	8,5
PB	14,4	14,6	16,1	15,7	11,7	15,7	15,5	13,8	13
BM	18,8	19,5	21	20,8	15,4	19	18,6	15,7	17

GB	22,3	23,9	24	24	17,9	21,4	20,3	15,2	19
TGB	24,1	26	23,7	28,075	18,4	17,3	20	14,5	17,375

Tableau 6 - Hauteurs par défaut pour les feuillus

	Douglas	Épicéa	Sapin	Mélèze	Cèdre	Pin maritime	Pin sylvestre	Autres pins	Autres résineux
Perche	7,8	7	6,8	6,6	5,6	6,4	5,6	6,2	5,7
PB	15,5	14,8	13,7	12,5	9,8	12,2	9,8	11,2	9,5
BM	23	21	19,8	17,8	14,3	17,5	14,4	15,5	12,5
GB	30	26,2	25,4	22,1	18,5	21,3	18,8	19,1	14,8
TGB	34,7	28,6	29	20,4	22,35	23,3	19,2	21,8	16,875

Tableau 7 - Hauteurs par défauts pour les résineux

6.1.4. Stratification des données

Le Porteur de projet peut, s'il le souhaite et le juge pertinent, subdiviser une strate éligible lui paraissant trop hétérogène en plusieurs strates homogènes (stratification statistique), afin d'augmenter la précision et la fiabilité des estimations de stock de carbone et pour réduire les rabais d'incertitude. Le niveau de stratification doit être explicité et basé sur les caractéristiques des strates éligibles (données les plus récentes issues des inventaires dendrométriques).

Il est indispensable de distinguer *a minima* les strates éligibles en fonction de leur structure (régularisée ou irrégularisée) et du type de scénario de référence applicable. La composition en essences est également un argument courant et pertinent pour distinguer deux strates de structure similaire.

6.2. Calcul du volume total initial

Pour chaque strate éligible, l'analyse des données d'inventaire permet au Porteur de projet de calculer les volumes totaux par essence et par classe de diamètre au début du projet, ce qui est indispensable pour traduire l'état initial.

1- L'analyse des données d'inventaire dendrométrique permet de connaître, pour chaque essence ou groupe d'essences⁹ (chênes, feuillus divers, taillis feuillu, résineux divers...), le nombre moyen de tiges par classe de diamètre et par hectare.

Cette première analyse de la structure permet également au Porteur de projet de justifier et de confirmer l'éligibilité des strates éligibles du projet.

2- Le Porteur de projet calcule ensuite le volume total d'une tige pour chaque essence et chaque classe de diamètre, à l'aide du tarif de cubage EMERGE (Deleuze et *al.* 2014) et des hauteurs totales définies précédemment. L'équation générale fournie par le projet EMERGE est la suivante :

$$V_{tot} = \frac{h_{tot} \times C_{130}^2}{4\pi \times \left(1 - \frac{1,30}{h_{tot}}\right)^2} \times \left(a + b \times \frac{\sqrt{C_{130}}}{h_{tot}} + c \times \frac{h_{tot}}{C_{130}} \right) \quad (C)$$

⁹ Lorsqu'elles représentent une faible part du volume total et qu'elles ont des caractéristiques similaires, certaines essences peuvent être regroupées en groupes d'essences. Par exemple, le groupe d'essences « taillis feuillu », peut regrouper le Charme, le Bouleau et le Châtaignier tandis que le Merisier, les érables et les alisiers (par exemple) peuvent être regroupés sous l'appellation « autres feuillus ».

où

V_{tot} volume total aérien calculé pour un arbre caractérisé par une hauteur totale (h_{tot}) et une circonférence à 1m30 (C_{130})

h_{tot} hauteur totale de l'arbre considéré (m)

C_{130} circonférence à 1m30 de l'arbre considéré (m)

a, b, c paramètres spécifiques à chaque essence, fournis par la source bibliographique

3- La combinaison des résultats obtenus aux points 1 et 2 permet d'obtenir, pour chaque essence ou groupe d'essences et pour chaque classe de diamètre, le volume total aérien moyen par hectare au début du projet. En généralisant ces données à l'ensemble de la surface de la strate éligible, le Porteur de projet obtient le volume total, réparti par essence et par classe de diamètre.

NB : Les essences et groupes d'essences représentant moins de 10% du volume aérien total de la strate peuvent être négligés. Dans ce cas, ils ne sont pas non plus pris en compte dans le calcul du rabais d'incertitude.

De plus, les essences ou groupes d'essences pour lesquels le risque essence est supérieur à 50%, peu importe leur volume tant qu'il ne dépasse pas 60% du volume total, ne sont pas pris en compte dans la quantification carbone ni dans le calcul des incertitudes.

6.3. Volume récoltable

Pour chaque strate éligible, l'analyse des données d'inventaire permet au Porteur de projet de calculer les volumes récoltables par essence en fonction de la structure de la strate.

Pour les **strates éligibles irrégularisées**, le volume récoltable initial de chaque essence correspond au volume des arbres récoltables de cette essence, c'est-à-dire les arbres ayant atteint ou dépassé le diamètre de récolte fourni dans la partie 3.2.3 :

$$VRI_{essence\ i} = \sum_{j=1}^n V_{j,i} \quad (6)$$

où

$VRI_{essence\ i}$ volume récoltable initial de l'essence i (m³)
 $V_{j,i}$ volume des arbres récoltables j de l'essence i (m³)

Pour les **strates éligibles régularisées**, c'est l'entièreté de la strate qui est récoltable. Le volume récoltable initial par essence correspond donc au volume total de cette essence :

$$VRI_{essence\ i} = V_{tot,essence\ i} \quad (7)$$

où

$VRI_{essence\ i}$ volume récoltable initial de l'essence i (m³)
 $V_{tot,essence\ i}$ volume total de l'essence i (m³)

6.4. Choix de l'essence de régénération et du taux d'accroissement

Pendant toute la durée du projet, de la régénération est amenée à se développer, du fait de la récolte de tout ou partie du volume récoltable dans le scénario de référence et dans le scénario de projet (cf. 8.1.5).

Dans cette méthode, l'hypothèse est faite que l'essence de régénération est l'essence représentant le plus de volume total dans la strate éligible au début du projet.

Une table de production unique est imposée pour chaque essence, par localisation et par classe de fertilité afin de déterminer le rythme de croissance de la régénération (cf. Annexe 6 : Tables de production et taux d'accroissement imposés par la méthode). La sélection des tables de production est basée sur le travail important réalisé par l'ONF (Fournier et *al.*, 2022) et l'IDF (Figuères et *al.*, 2024) pour la version 3 des méthodes du Label bas carbone Boisement/Reconstitution (Gleizes, 2025). La classe de fertilité est déterminée pour chaque essence grâce à la hauteur dominante des arbres en place (cf. Annexe 7 : Détermination des classes de fertilité, en fonction de l'âge et de la hauteur dominante des peuplements).

Il est à noter que les tables de production correspondent à des peuplements en plein, généralement issus de plantations et de très belle venue (parcelles de référence). La strate éligible est pour sa part considérée comme étant arrivée au maximum de son potentiel car sa récolte peut dès à présent être envisagée. Ainsi, afin d'être cohérent avec la réalité de terrain

dans laquelle les peuplements comprennent généralement plusieurs essences, avec des trous et des zones plus ou moins fertiles, les volumes issus des tables de production sont proportionnés.

EXEMPLE :

Pour une futaie dont l'essence prépondérante est le Chêne sessile, située dans le Bassin de la Loire sur une zone de fertilité 1 et dont le volume total est de 525 m³/ha, la table de production correspondante indique que le volume maximum du peuplement avant sa récolte est de 746 m³/ha.

Le volume de la régénération à chaque année est donc multiplié par : $525/746 = 70\%$ pour ne pas surévaluer la croissance de la régénération.

Pour les tables de production ne fournissant que des volumes bois fort tige, les volumes totaux ont été recalculés à l'aide du tarif de cubage EMERGE, grâce aux informations fournies par les tables (nombre de tiges et hauteurs par classe de diamètre).

Les strates éligibles étant récoltables, leur taux d'accroissement annuel est constant (cf. Figure 5 : pour cette table, le taux d'accroissement est de 2% à partir de 100 ans). Le taux d'accroissement moyen dans les strates récoltable (c'est-à-dire dès que le diamètre moyen des tiges a dépassé le diamètre moyen d'exploitabilité) est calculé pour chaque table de production.

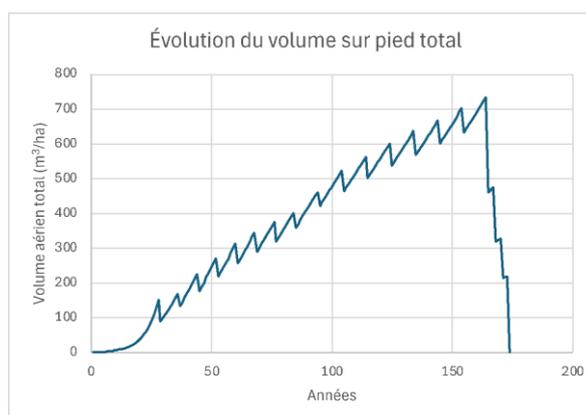


Figure 2 - Table de production pour le Chêne sessile, dans le Bassin de la Loire pour une classe de fertilité 1

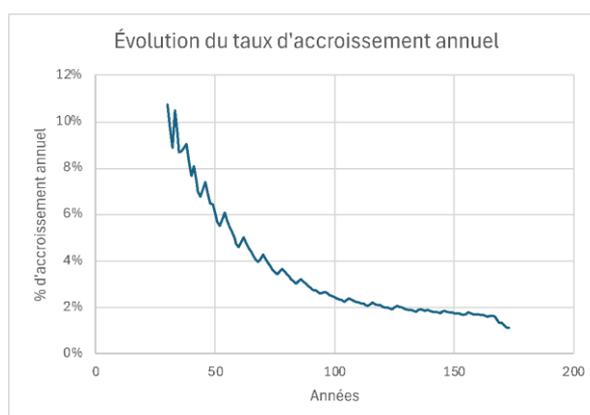


Figure 3 - Taux d'accroissement annuel moyen pour la même table de production

6.5. Niveau d'engagement

Dans le scénario de projet, le Porteur de projet s'engage à conserver sur pied pendant 20 ans un stock de bois récoltable dès à présent.

Le volume objectif que le propriétaire s'engage à maintenir dépend du risque de dépérissement futur (cf. 3.2.4). En effet, plus le risque de dépérissement futur est élevé, plus la probabilité qu'une partie de la strate dépérisse est importante. Le propriétaire ne peut donc pas être tenu responsable si ce volume « risqué » venait à dépérir et donc à être récolté.

Si plus de 60 % du volume total d'une strate exploitable et récoltable concerne des essences dont le risque essence dépasse 50 %, cette strate ne peut pas être éligible à la quantification carbone (peuplement non pérenne). Sinon, le volume que le propriétaire s'engage à conserver pendant 20 ans est donc modulé en fonction du risque de l'essence majoritaire :

- 0 à 25 % de risque essence : engagement à la conservation d'un stock de bois sur pied récoltable équivalent à 90% du volume récoltable initial

- 25 à 50% de risque essence : engagement à la conservation d'un stock de bois sur pied récoltable équivalent à 80% du volume récoltable initial

EXEMPLE :

- Pour une futaie régularisée à dominance de Chêne dont le volume total (= volume récoltable) est de 500 m³/ha et dont le niveau de risque essence est de 17%, le Porteur de projet doit s'engager à conserver au minimum un volume global sur l'ensemble de la strate éligible de :
 $500 \times 90\% = 450 \text{ m}^3/\text{ha}$.
- Pour une futaie irrégularisée à dominance de Hêtre dont le risque essence est de 35%, le volume total étant de 500 m³/ha dont 350 m³ sont compris dans des tiges récoltables (diamètre supérieur au diamètre minimal de récolte), le Porteur de projet doit s'engager à conserver au minimum un volume global sur l'ensemble de la strate éligible de $350 \times 80\% = 280 \text{ m}^3/\text{ha}$.

NB : Cet engagement permet la récolte de certaines unités de gestion engagées dans le projet, dès lors que le volume global de la strate éligible est toujours supérieur au volume global minimal à conserver.

7. Calcul du nombre de crédits carbone générables

7.1. Modélisation du scénario de référence et du scénario de projet

Afin de prendre en compte les effets à long terme qu'aura le projet, toutes les modélisations sont réalisées sur 100 ans et moyennées sur cette durée (courbes en pointillés sur les figures).

7.1.1. Scénario de référence

Pour une **strate éligible régularisée**, le scénario de référence correspond au renouvellement de toutes les unités de gestion, plus ou moins rapidement en fonction de la surface qu'elles représentent et de la surface boisée totale de la propriété. Une fois le renouvellement d'une unité de gestion effectué, la régénération se met en place et se développe durant toute la durée restante de la modélisation.

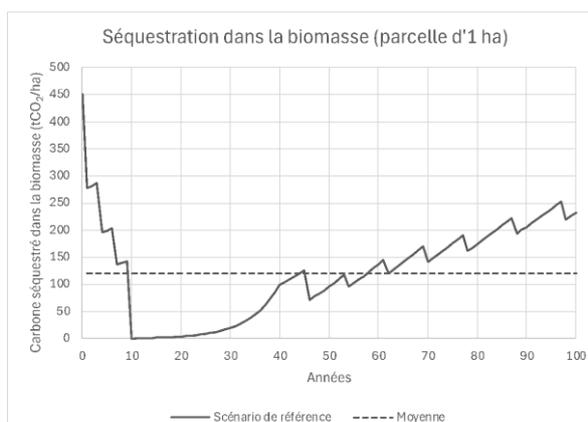


Figure 6 – Évolution de la séquestration carbone dans la biomasse, dans le scénario de référence, pour une parcelle de 1 ha de futaie feuillue régularisée, renouvelée par coupes progressives en 10 ans

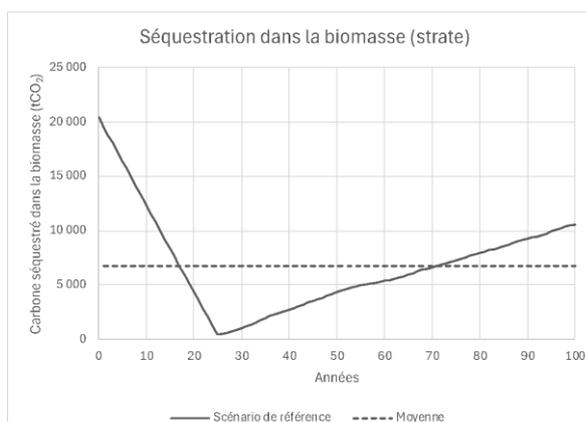


Figure 7 - Évolution de la séquestration carbone dans la biomasse, dans le scénario de référence, pour la strate éligible complète (49 ha récoltés intégralement en 25 ans)

Pour une **strate éligible irrégularisée**, le scénario de référence correspond à des coupes jardinatoires annuelles prélevant majoritairement des gros bois et des très gros jusqu'à ce que 80% du volume total de la strate compris dans des tiges récoltables ait été prélevé. La durée nécessaire dépend de la richesse initiale du peuplement (plus il est riche, plus il faudra un nombre de coupes important pour prélever la part de gros bois récoltable). Ensuite, seul l'accroissement annuel est récolté jusqu'à la fin de la modélisation et la régénération continue de se développer.

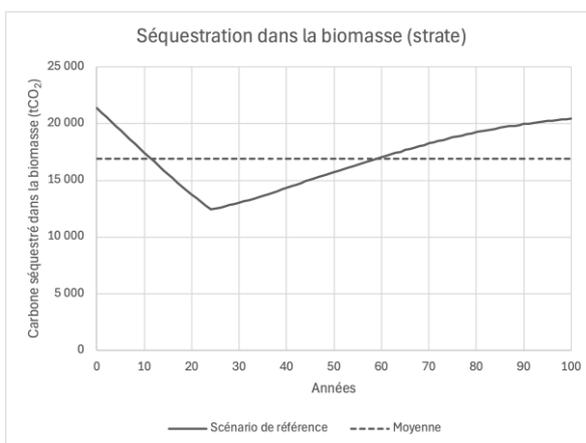


Figure 8 - Évolution de la séquestration carbone dans la biomasse, dans le scénario de référence, pour une strate de 70 ha de futaie feuillue irrégularisée (43% de gros bois récoltables au début du projet)

Rq: les coupes étant annualisées et lissées, la courbe à l'échelle d'une parcelle a la même forme

7.1.2. Scénario de projet

Dans le scénario de projet, peu importe la structure initiale de la strate éligible et le scénario de référence, le Porteur de projet s'engage à conserver 90% ou 80% (en fonction du risque essence) du volume récoltable initial pendant 20 ans.

À l'issue des 20 ans du projet, l'engagement est terminé et le Porteur de projet est alors libre de décider de l'avenir de son peuplement, dans le respect de la réglementation.

Afin de prendre en compte les effets du projet à long terme, les deux scénarios extrêmes sont modélisés et moyennés pour simuler tous les comportements possibles des propriétaires :

- **Scénario 1** : Le Porteur de projet a modifié ses pratiques de gestion pendant 20 ans et s'est habitué à une sylviculture à stock continu. Il a investi du temps et de l'argent afin de marquer des arbres réservoirs de biodiversité et du bois mort, créer des petites plantations par point d'appui pour diversifier les essences présentes dans son peuplement, entretenir des mares existantes etc. Il décide donc de poursuivre les efforts déjà entamés et de conserver sur pied l'intégralité du volume récoltable restant. Il ne prélève plus que l'accroissement dans son peuplement (volume constant sur la fin de la durée de la modélisation).
- **Scénario 2** : Le Porteur de projet n'a fait que décaler de 20 ans les coupes possibles, c'est-à-dire le scénario de référence.
 - Dans une strate régularisée : Le Porteur de projet décide de renouveler l'intégralité des unités de gestion du projet par coupes progressives.
 - Dans une strate irrégularisée : Le Porteur de projet décide de récolter 80% du volume des tiges récoltables présentes dans la strate éligible, sur une durée dépendante de la richesse de la strate.

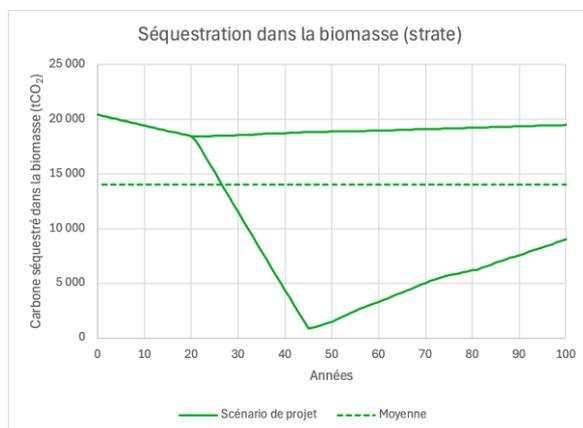


Figure 9 – Évolution de la séquestration carbone dans la biomasse, dans le scénario de projet, pour une strate de futaie feuillue régularisée (49 ha)

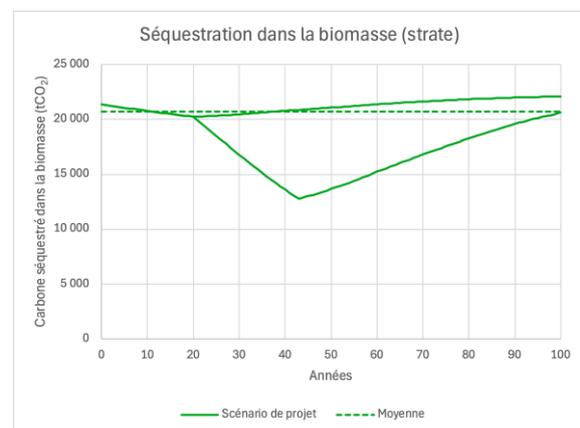


Figure 10 - Évolution de la séquestration carbone dans la biomasse, dans le scénario de projet, pour une strate de futaie feuillue irrégularisée (70 ha)

Le bénéfice carbone correspond alors à la différence entre la séquestration moyenne sur 100 ans dans le scénario de projet et dans le scénario de référence (différence entre les courbes en pointillés vertes et grises sur les figures ci-dessous).

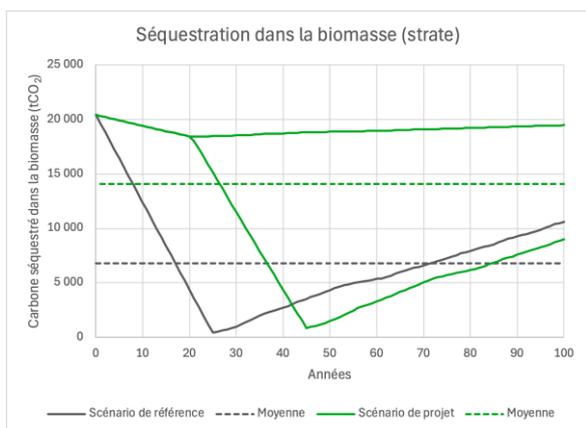


Figure 11 – Évolution de la séquestration carbone dans la biomasse, pour une strate de futaie feuillue régularisée (49 ha)

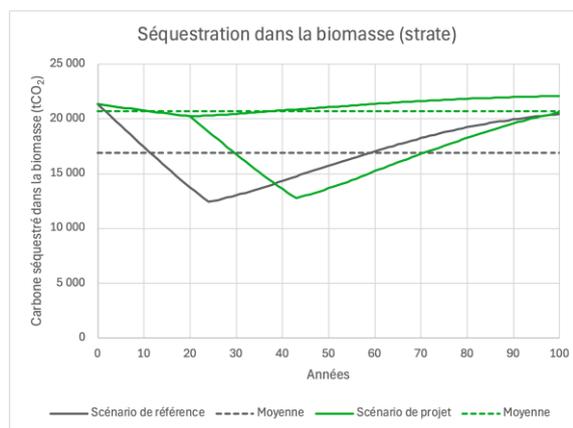


Figure 12 - Évolution de la séquestration carbone dans la biomasse, pour une strate de futaie feuillue irrégularisée (70 ha)

7.2. Crédits carbone générables par la séquestration dans la biomasse

Les crédits carbone générables grâce à la séquestration dans la biomasse sont calculés de la façon suivante :

$$CC_{biomasse} = \frac{1}{100} \times \sum_{i=1}^{100} Séq_{projet}(i) - \frac{1}{100} \times \sum_{i=1}^{100} Séq_{réf}(i) \quad (8)$$

où

$CC_{biomasse}$	crédits carbone générés par la séquestration dans la biomasse (tCO ₂ eq)
$Séq_{projet}(i)$	séquestration carbone dans la biomasse, dans le projet à l'année i (tCO ₂ eq)
$Séq_{réf}(i)$	séquestration carbone dans la biomasse, dans la référence à l'année i (tCO ₂ eq)

La séquestration carbone dans la biomasse est calculée comme :

$$Séq(n) = (BA(n) + BR(n)) \times \tau_c \times \frac{44}{12} \quad (9)$$

où

$Séq(i)$	séquestration dans la biomasse à l'année i (tCO ₂ eq)
BA	biomasse aérienne (tMS)
BR	biomasse racinaire (tMS)
τ_c	taux de carbone dans la matière sèche du bois (0,475 tC/tMS)
44/12	ratio entre la masse moléculaire du CO ₂ et celle du carbone (tCO ₂ eq/tC)

Le calcul de volume de la biomasse et de ses composantes est précisé en partie 8.1.

7.3. Crédits carbone générables par le stockage dans les produits bois

Des coupes sont réalisées dans les deux scénarios et les volumes récoltés sont valorisés par la filière bois en produits de diverses natures. Le type de valorisation et la durée de vie du carbone dans les produits bois dépendent de l'essence récoltée et des dimensions de l'arbre exploité.

$$CC_{produits} = \frac{1}{100} \times \sum_{i=1}^{100} St_{projet}(i) - \frac{1}{100} \times \sum_{i=1}^{100} St_{réf}(i) \quad (10)$$

où

$CC_{produits}$ crédits carbone générés par le stockage dans les produits bois (tCO₂eq)
 $St_{projet}(i)$ stockage carbone dans les produits, dans le projet à l'année i (tCO₂eq)
 $St_{réf}(i)$ stockage carbone dans les produits, dans la référence à l'année i (tCO₂eq)

Le stock de carbone dans chaque catégorie de produits est défini comme :

$$St(n) = St_{SCI}(n) + St_{PAN}(n) + St_{PAP}(n) \quad (11)$$

où

$St(i)$ stockage dans les produits bois à l'année i (tCO₂eq)
 $St_{SCI}(i)$ stockage carbone dans les produits bois à destination du sciage (bois d'œuvre), (tCO₂eq)
 $St_{PAN}(i)$ stockage carbone dans les produits bois à destination des panneaux (bois d'industrie), à l'année n (tCO₂eq)
 $St_{PAP}(i)$ stockage carbone dans les produits bois à destination de la pâte à papier (trituration), à l'année n (tCO₂eq)

En fonction du type de produits, la vitesse à laquelle ils vont se dégrader et relarguer du carbone dans l'atmosphère varie. La méthode proposée par Pingoud et Wagner (2006) permet de prendre en compte cette vitesse de dégradation :

$$St(n+1) = e^{-k} \times St(n) + \frac{1 - e^{-k}}{k} \times Flux_{CO_2}(n) \quad (12)$$

où

$St(n+1)$ stockage dans les produits bois au début de l'année n+1 dans les produits déjà récoltés (tCO₂eq)
 $St(n)$ stockage dans les produits bois au début de l'année n dans les produits déjà récoltés (tCO₂eq)
 $k = \ln(2)/t_{1/2}$ constante de décomposition, pour chaque catégorie de produits bois (an⁻¹)
 $t_{1/2}$ temps de demi-vie des produits, c'est-à-dire la durée nécessaire pour perdre la moitié du carbone stocké dans un type de produits bois (an)
 $Flux_{CO_2}(n)$ flux de carbone entrant dans le compartiment des produits au cours de l'année n (tCO₂eq/an)

Sciages	Panneaux	Papier
35 ans	25 ans	2 ans

Tableau 8 - Temps de demi-vie préconisés par la Commission européenne (Grassi et al., 2021)

Aucun crédit carbone n'est générable pour le stockage de carbone dans le bois énergie. Le calcul de volume de carbone entrant dans le stock des produits bois et de ses composantes est précisé en partie 8.2.

7.4. Crédits carbone générables par la substitution

L'utilisation de produits bois dans la construction à la place de matériaux énergivores et polluants (béton, acier etc.) permet de générer des effets de substitution « matériau ». De même, l'utilisation de bois à des fins énergétiques plutôt que d'autres sources d'énergie fossiles permet de générer des effets de substitution « énergie ».

$$CC_{substitution} = \sum_{i=1}^{100} \sum_{j=1}^3 CS_{i,j} \times (Flux_{projet,i,j} - Flux_{référence,i,j}) \quad (13)$$

où

$CC_{substitution}$	crédits carbone générés par la substitution (tCO ₂ eq)
$CS_{i,j}$	coefficient de substitution à l'année i, pour les 3 catégories de produits j (bois d'œuvre, bois d'industrie et bois énergie) (tCO ₂ eq/m ³)
$Flux_{i,j}$	flux de bois entrant dans le compartiment des produits bois à l'année i, pour chaque catégorie de produits j (m ³)

La valeur du facteur de déplacement (ou coefficient de substitution) du bois énergie proposé par l'ADEME (ADEME, 2015) et généralement utilisée est de 0,5 tCO₂ évitées par m³ de bois. 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 très proche de 0. Il est proposé ici de faire décroître ce facteur de substitution linéairement et de lui faire atteindre la valeur de 0 en 2050.

De la même façon, la stratégie nationale bas carbone prévoit que le secteur de l'industrie (qui fabrique les produits utilisés en construction tels que le béton, l'acier, le PVC...) diminue ses émissions de GES en 2050. Par conséquent, le bois utilisé dans la construction aura un effet de substitution matériau inférieur à celui qu'il a aujourd'hui. L'hypothèse est faite que le bois utilisé à des fins de sciages conservera un réel intérêt de substitution, supérieur à celui du bois utilisé sous forme de panneaux. La valeur des coefficients de substitution sciages et panneaux chute donc linéairement, pour passer respectivement de 1,52 (Valada et al., 2016) en 2024 à 1 en 2050 pour les sciages et en restant constant par la suite, et de 0,77¹² en 2024 à 0 en 2050 pour les panneaux (Cf. Annexe 8 : Coefficients de substitution annuels).

7.5. Crédits carbone générables totaux

Les crédits carbone générables avant rabais sont calculés de la façon suivante :

$$CC_{générables} = CC_{biomasse} + CC_{produits} + CC_{substitution} \quad (14)$$

8. Quantification carbone par compartiment

Ce chapitre fournit les équations qui doivent être utilisées par le Porteur de projet pour les calculs de flux et de stock de carbone dans les différents compartiments.

8.1. Biomasse

8.1.1. Volume aérien total

Pour chaque année, le volume aérien total d'une strate éligible est composé du volume aérien total des arbres en place ainsi que du volume aérien total de la régénération.

$$V_{tot}(n) = V_{tot_{pplmt}}(n) + V_{tot_{régé}}(n) \quad (15)$$

où

$V_{tot}(n)$	volume aérien total de la strate éligible, à la fin de l'année n (m ³)
$V_{tot_{pplmt}}(n)$	volume aérien total du peuplement en place, à la fin de l'année n, c'est-à-dire une fois que les coupes annuelles ont été réalisées (m ³)
$V_{tot_{régé}}(n)$	volume aérien total de la régénération, à la fin de l'année n, c'est-à-dire une fois que la régénération de l'année n s'est installée et développée (m ³)

8.1.2. Biomasse aérienne

$$BA_i(n) = V_{tot_i}(n) \times d_i \quad (16)$$

où

BA_i	biomasse aérienne de l'essence i (tMS)
V_{tot_i}	volume aérien total de l'essence i (m ³)
d_i	infradensité de l'essence i (tMS/m ³)

Nom de l'essence ou du groupe d'essences	Infradensité (tMS/m ³)
Alisier blanc	0,646
Alisier torminal	0,656
Aulne glutineux	0,453
Bouleau pubescent	0,527
Bouleau verruqueux	0,532
Cèdre de l'Atlas	0,477
Charme	0,615
Châtaignier	0,506
Chêne pédonculé	0,630
Chêne pubescent	0,721
Chêne rouge	0,656
Chêne sessile	0,650
Douglas	0,456
Épicéa commun	0,388
Érable champêtre	0,574
Érable plane	0,569

Nom de l'essence ou du groupe d'essences	Infradensité (tMS/m ³)
Érable sycomore	0,527
Frêne commun	0,594
Hêtre	0,607
Mélèze d'Europe	0,499
Merisier	0,532
Pin d'Alep	0,537
Pin maritime	0,444
Pin noir d'Autriche	0,524
Pin sylvestre	0,459
Pin laricio	0,490
Robinier faux-acacia	0,640
Sapin pectiné	0,417
Tremble	0,418
Feuillus divers (moyenne pour tous les feuillus)	0,603
Résineux divers (moyenne pour tous les résineux)	0,441

Tableau 9 - Infradensité des principales essences forestières françaises (Leban et al., 2022)

8.1.3. Biomasse racinaire

La quantité de biomasse comprise dans le système racinaire est directement fonction de la quantité de biomasse aérienne et peut être calculée à l'aide de l'équation de Cairns adaptée à la forêt métropolitaine (Cairns et al., 1997).

$$BR_i(n) = e^{-1,0587+0,8836 \times \ln(BA_i(n)) + 0,284} \quad (17)$$

où

BR_i biomasse racinaire de l'essence i (tMS)

BA_i biomasse aérienne de l'essence i (tMS)

8.1.4. Volume prélevé

Scénario de référence – strate régularisée

Pour les strates dont la structure est régularisée, le scénario de référence correspond à un renouvellement par coupes progressives de l'intégralité de la surface. La durée nécessaire pour initier toutes les coupes (durée_{récolte régularisé}) dépend de la surface boisée totale de la propriété (cf. 4.1.1). Le volume total prélevé annuellement sur cette durée est alors :

$$V_{prel,n} = S_{renouvelable/an} \times VRI_{ha} + (V_n - V'_{n-1}) \quad (18)$$

où

V_{prel,n} volume total prélevé l'année n (m³) V_{prel,n} volume total prélevé l'année n (m³)

S_{renouvelable/an} surface pouvant être renouvelée chaque année, en fonction de la surface boisée totale d'une propriété (ha)

VRI_{ha} volume récoltable initial par ha (m³/ha)

V_n volume total en début d'année n (m³)

V'_{n-1} volume total après la récolte de l'année n-1 (m^3)

NB : la première année de la modélisation, $(V_n - V'_{n-1}) = 0$ car la modélisation considère qu'il n'y a pas encore eu d'accroissement.

Une fois que l'intégralité de la strate éligible a été renouvelée, la croissance de la régénération et les coupes qui y sont réalisées sur le reste de la durée de modélisation sont définies sur la base de la table de production sélectionnée (cf. 6.4).

Scénario de référence - strate irrégularisée

Comme défini en partie 4.1.2, pour les strates dont la structure est irrégularisée, le volume sur lequel est calculé le scénario de référence correspond à 80% du volume récoltable initial. La durée nécessaire pour couper tout ce volume dépend des caractéristiques du projet et de la vitesse de prélèvement :

$$durée_{prélèvement} = \frac{80\% \times VRI}{\%_{prélèvement} \times V_{tot}} \quad (19)$$

où

$durée_{prélèvement}$ durée nécessaire pour prélever 80% du volume récoltable initial (ans)
 VRI volume récoltable initial (m^3)
 V_{tot} volume total initial (m^3)
 $\%_{prélèvement}$ taux de prélèvement annuel du volume total : 2%/an en feuillus et mélange feuillus-résineux et 3%/an en résineux

Dès lors, le calcul du volume total prélevé annuellement dans le scénario de référence pour une strate irrégularisée est :

- Si : année du projet (n) \leq $durée_{prélèvement}$:

$$V_{prel,n} = V_{tot} \times \%_{prélèvement} + (V_n - V'_{n-1}) \quad (20.1)$$

NB : la première année de la modélisation, $(V_{i,n} - V_{i,n-1}) = 0$.

- Si : année du projet (n) $>$ $durée_{prélèvement}$:

$$V_{prel,n} = V_n - V'_{n-1} \quad (20.2)$$

Cela signifie que, dans le scénario de référence pour les strates irrégularisées, une fois que 80% du volume récoltable a été prélevé, seul l'accroissement annuel du peuplement en place est récolté.

Scénario de projet

Dans le projet, peu importe la structure de la strate éligible, le Porteur de projet s'engage à conserver sur pied pendant 20 ans un équivalent du stock récoltable actuel.

Le volume prélevé annuellement pendant 20 ans est donc :

$$V_{prel,n} = \frac{(1 - \%_{engagement})}{20} \times VRI + (V_n - V'_{n-1}) \quad (21)$$

où

$\%_{engagement}$	pourcentage du volume récoltable initial que le Porteur de projet s'engage à conserver sur pied (cf. 6.5)
VRI	volume récoltable initial (m ³)
V_n	volume total en début d'année n (m ³)
V_{n-1}	volume total après la récolte de l'année n-1 (m ³)

Une fois que la durée d'engagement de 20 ans est écoulée, les deux scénarios de projets sont modélisés en parallèle.

- **Scénario 1 :** Le Porteur de projet décide de poursuivre les efforts déjà entamés et de conserver sur pied l'intégralité du volume récoltable restant. Il ne prélève plus que l'accroissement dans son peuplement (cf. équation 21.2).
- **Scénario 2 :** Le Porteur de projet n'a fait que décaler de 20 ans les coupes possibles, c'est-à-dire que le scénario de référence est simplement appliqué 20 ans plus tard. Les équations détaillées en début de cette partie sont appliquées, en fonction de la structure initiale de la strate éligible.

8.1.5. Régénération naturelle

La surface sur laquelle s'installe de la régénération chaque année est dépendante de la surface récoltée cette année-là. Dans les modélisations, la surface récoltée, c'est-à-dire la surface de trouée dans laquelle va pouvoir s'installer la régénération, est traduite par le volume récolté car ces deux variables sont proportionnelles.

Pour tous les scénarios, le taux de trouée est calculé comme :

$$\%_{trouée} = \frac{V_{prel,n} - (V_n - V'_{n-1})}{V_{tot}} \quad (22)$$

où

$\%_{trouée}$	pourcentage de la surface de la strate éligible récolté à l'année n
$V_{prel,n}$	volume total prélevé l'année n (m ³)
V_n	volume total en début d'année n (m ³)
V'_{n-1}	volume total après la récolte de l'année n-1 (m ³)

Le renouvellement de la régénération est basé sur les tables de production uniques définies par la méthode et proratisées en fonction du volume initial total de l'essence majoritaire. Le volume que la régénération représente initialement sur une surface définie est donc connu :

$$V_{régé,n} = \%_{trouée} \times VF_{table,1} \times Surf_{strate} \times \%_{réussite} \quad (23)$$

où

$V_{régé,n}$	volume de la nouvelle régénération qui s'installe durant l'année n (m ³)
$\%_{trouée}$	pourcentage de la surface de la strate éligible récolté à l'année n
$VF_{table,1}$	volume final (après coupe) de la régénération pour la table de production considérée, à l'année 1 (m ³ /ha)

Surf _{strate}	surface totale de la strate éligible (ha)
% _{réussite}	taux de réussite de la régénération. Pour le scénario de référence régularisé, le taux de réussite est de 100%. Pour le scénario de référence irrégularisé et pour le projet, le taux de réussite est de 90% du fait de la concurrence pour la lumière

Une fois que cette régénération est installée, elle continue de croître année après année en suivant les données de la table de production utilisée et son volume se cumule à celui de la régénération installée les années précédentes qui continue également de croître :

$$V_{régé\ totale,n} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_{régé,i,j} \quad (24)$$

où

$V_{régé,totale,n}$	volume total de la régénération à l'année n (m ³)
$V_{régé,i,j}$	volume de la nouvelle régénération qui s'installe à l'année j, à l'année i (m ³)
j	année d'installation de la régénération
i	années écoulées depuis le début du projet

8.2. Produits bois

Le flux de carbone entrant dans le compartiment des produits bois chaque année est calculé grâce au volume bois fort tige prélevé à chaque coupe. Le Porteur de projet doit indiquer la répartition du volume entre bois d'œuvre (sciages), bois d'industrie (panneaux), trituration (papier) et bois énergie. Cette répartition sera vérifiée lors de l'Audit, sur la base des affiches de coupes et factures, dans les unités de gestion éligibles.

La méthode prévoit également que 10% du volume bois fort tige prélevé est abandonné sur la parcelle et n'est pas valorisé.

Il est à noter que, pour les feuillus, le volume bois fort tige correspond aux parties en marron (bois d'œuvre) et en orange (surbille) du schéma ci-contre (Landmann et *al.*, 2015). Pour les feuillus, seule la partie en marron est généralement valorisée en bois d'œuvre. La surbille est généralement exploitée en bois énergie et parfois en panneaux.

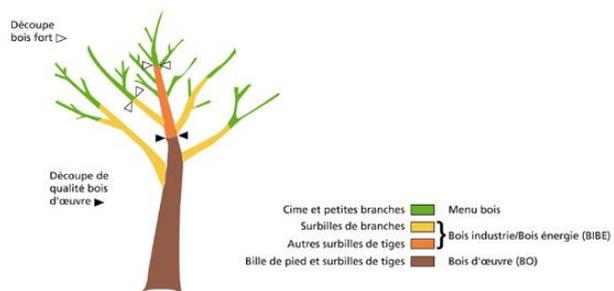


Figure 13 - Notions de volumes pour un feuillu

Le volume de la surbille représente en moyenne 20% du volume bois fort tige exploité. Lors de ventilation des produits par catégorie, les sciages seront donc limités à 80% du volume bois fort tige prélevé, pour éviter de surestimer le volume de ce compartiment.

Pour les résineux, les sciages sont limités à 90% du volume bois fort tige prélevé.

Par ailleurs, des taux de rendement doivent également être appliqués au volume bois fort tige prélevé et valorisé sous forme de sciages, en fonction des essences et des catégories de produits. Pour les autres catégories de produits (papier, panneaux et énergie), le rendement matière est de 100%.

Essence	Rendement sciages (bois d'œuvre)
Chêne	43%
Hêtre	53%
Érables, Noyer, Tilleul (assimilés au Hêtre)	53%
Robinier	30%
Peuplier	60%
Autres feuillus (assimilés au Chêne)	43%
Épicéa, Sapin	55%
Mélèze	60%
Pin maritime	45%
Pin sylvestre	57%
Autres pins (assimilés au Pin maritime)	45%
Autres résineux (assimilés à l'Épicéa)	55%

*Tableau 10 - Rendements sciages
Chêne, Hêtre, Épicéa, Sapin et Pin maritime : FCBA (2020)
Mélèze, Pin sylvestre : Bourgeois (2001)
Peuplier : El Haouzali (2010) - Robinier : dires d'experts*

La ventilation des produits issues de la régénération est imposée par la méthode en fonction de l'essence de renouvellement de l'âge de la régénération (dires d'expert).

Feuillus			
Âge	BO	BI	BE
0 à 59 ans	0%	0%	100%
60 à 69 ans	10%	0%	90%
70 à 79 ans	20%	0%	80%
80 à 89 ans	30%	0%	70%
90 à 99 ans	40%	0%	60%
100 ans	50%	0%	50%
Résineux			
Âge	BO	BI	BE
0 à 25 ans	0%	20%	80%
25 à 40 ans	30%	20%	50%
40 ans et +	70%	30%	0%

Tableau 11 – Ventilation des produits issus de la régénération naturelle

9. Détermination des rabais appliqués au projet

Afin de limiter tout risque de surestimation du nombre de crédits carbone générés par le projet, plusieurs rabais sont systématiquement appliqués.

9.1. Rabais lié aux fuites

Les fuites sont les changements nets d'émissions anthropiques dues à des sources de GES situées en dehors du périmètre du projet mais qui peuvent être attribuables au projet. Dès lors, le Porteur de projet doit estimer les hausses d'émissions de GES induites par le projet en dehors de son périmètre. Les fuites attribuables à un projet développé selon cette méthode peuvent être associées aux effets de marché et aux transferts d'activité.

Un rabais de 5% est imposé pour prendre en compte tous les risques de fuites.

9.2. Rabais d'incertitudes

La quantification des réductions d'émissions de GES permise par le projet est basée sur des mesures et estimations de stocks de carbone, utilisant notamment des tarifs de cubage, équations et coefficients fournis par la littérature. Les incertitudes associées à ces mesures et estimations doivent être évaluées et justifiées par le Porteur de projet sur la base de calculs statistiques ou de références bibliographiques pour ne pas surestimer le nombre de crédits carbone réellement générés par le projet.

L'incertitude globale associée au projet peut être réduite grâce au processus de stratification et à l'utilisation de coefficients et données aussi indiscutables que possible.

La donnée d'entrée de tout projet, permettant de modéliser les itinéraires du projet et de la référence, correspond à la quantité de carbone présente au début du projet dans une strate éligible. L'incertitude totale du projet (en %, arrondie à 0,1%) doit donc être calculée grâce aux incertitudes des composantes utilisées dans le calcul de ce stock de carbone correspondant au calcul de la biomasse totale initiale pour chaque strate éligible, c'est-à-dire :

- les inventaires dendrométriques, dont l'incertitude correspond à l'intervalle de confiance (en % de la moyenne) à 90% des données d'inventaire (nombre de tiges par classe de diamètre, à pondérer pour chaque strate éligible en fonction de sa surface)
NB : pour les inventaires en plein, l'incertitude des données dendrométriques est de 5%
- le tarif de cubage utilisé pour calculer le volume aérien total de chaque essence, dont l'incertitude dépend des informations fournies dans la source bibliographique utilisée ;
- l'infradensité de chaque essence, dont l'incertitude dépend des informations fournies dans la source bibliographique utilisée ;
- l'équation de calcul de la biomasse racinaire, dont l'incertitude dépend des informations fournies dans la source bibliographique de Cairns et *al.*, 1997.

Pour les composantes ou formules pour lesquelles la source bibliographique n'indique aucune incertitude, erreur relative, intervalle de confiance ou autre information permettant de calculer une incertitude, la méthode impose une incertitude minimale de 5% (faible).

Pour calculer l'incertitude totale d'un projet ou d'une composante intermédiaire, il convient d'utiliser une formule de propagation des incertitudes similaire à l'équation suivante.

$$Incertitude = \sqrt{\sum_i (Incertitude_i)^2} \quad (25)$$

où

Incertitude incertitude du projet ou d'une composante intermédiaire (%)
 Incertitude_i incertitude d'une composante i (du projet ou de la composante intermédiaire) (%)
 i composantes (du projet ou intermédiaires)...

Par exemple, puisque la biomasse aérienne d'une essence dans une strate éligible est calculée en utilisant l'équation 27 l'incertitude de la biomasse aérienne de cette essence ($u(BA_{essence})$) se calcule en utilisant l'équation 28.

$$BA_{essence} = ID_{essence} \times V_{essence} \quad (26)$$

où

$BA_{essence}$ biomasse aérienne de l'essence (tMS)
 $ID_{essence}$ infradensité de l'essence (tMS/m³)
 $V_{essence}$ volume total de l'essence (m³)

$$u(BA_{essence}) = \sqrt{(u(ID_{essence}) \times V_{essence})^2 + (u(V_{essence}) \times ID_{essence})^2} \quad (27)$$

où

$u(BA_{essence})$ incertitude de calcul de la biomasse aérienne pour l'essence (tMS)
 $ID_{essence}$ infradensité de l'essence (tMS/m³)
 $u(ID_{essence})$ incertitude de l'infradensité de l'essence (tMS/m³)
 $V_{essence}$ volume total de l'essence (m³)
 $u(V_{essence})$ incertitude de calcul du volume de l'essence (m³)

Enfin, le calcul du taux d'incertitude de la biomasse aérienne correspond au ratio entre l'incertitude de calcul ($u(BA)$) et la biomasse aérienne totale (BA).

$$Incertitude_{BA_{essence}} = \frac{u(BA_{essence})}{BA_{essence}} \quad (28)$$

où

$Incertitude_{BA_{essence}}$ incertitude de la biomasse aérienne pour l'essence (%)
 $u(BA_{essence})$ incertitude de calcul de la biomasse aérienne pour l'essence (tMS)
 $BA_{essence}$ biomasse aérienne pour l'essence (tMS)

Dans la mesure où le calcul de l'incertitude associée à une strate éligible est un processus relativement complexe, si le Porteur de projet n'est pas en mesure de le mettre en œuvre, une

décote d'incertitude de 15% doit être utilisée (il s'agit d'une valeur prudente, supérieure à la moyenne des incertitudes calculées grâce à des données issues de réseaux de placettes).

9.3. Rabais de non-permanence

Conformément au Référentiel du Label Bas Carbone, chaque projet doit intégrer le risque de non-permanence. L'engagement du Porteur de projet portant sur une garantie de maintien d'un volume minimum de bois récoltable, il convient pour cela d'évaluer les risques pouvant causer un relargage de carbone.

9.3.1. Risque de dépérissement/inadéquation à la station

Les strates éligibles à la présente méthode sont composées de peuplements récoltables et pérennes, installés sur une station adéquate et propice à leur développement ou, *a minima* pour la durée du projet, à leur maintien.

Le risque de dépérissement ou de mort anticipée de tout ou partie d'une strate éligible du fait de conditions climatiques ou sanitaires est intégré dans la définition même de ces strates éligibles et au travers de l'exclusion de tout ou partie du volume récoltable des essences à risques via l'établissement obligatoire d'un état sanitaire initial (diagnostic DEPERIS) et de l'application du modèle de risque de dépérissement futur (risque essence).

9.3.2. Risques naturels généraux difficilement maîtrisables

Certains risques de non-permanence sont plus généraux et difficiles à maîtriser ou à anticiper, notamment les risques d'instabilité politique, de modification de la réglementation, de changement de propriétaire, de destruction par une tempête...

Dès lors, un risque général de 10% doit être appliqué pour les projets développés selon cette méthode.

9.3.3. Risque incendie

En France, le risque incendie est documenté dans les plans départementaux de protection des forêts contre les incendies (PDPFCI) qui sont obligatoires pour les départements « à risque »¹⁰. Il s'agit de l'Ardèche, de la Drôme ainsi que des départements des régions Corse, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Occitanie et Nouvelle Aquitaine. D'autres départements, exclus de cette liste, ont fait approuver un document similaire par leur préfet.

Dans le cadre de la détermination du risque incendie pesant sur les peuplements forestiers éligibles du projet, si le projet se situe dans un département concerné par un tel document, le Porteur de projet doit se référer aux cartes ou atlas départementaux pour évaluer le risque incendie pesant sur la commune principale sur laquelle sont situés ces strates.

Selon le risque défini pour la commune, il est possible d'en déduire une valeur de risque incendie pour le projet :

¹⁰ Article L133-1 du Code forestier (nouveau)

Risque défini pour la commune principale	Risque incendie
0 (négligeable)	0 %
1 (très faible)	2,5 %
2 (faible)	5 %
3 (modéré)	10 %
4 (élevé)	15 %
5 (très élevé)	30 %

Tableau 12 - Risque incendie et niveau d'exposition d'une commune

En l'absence de PDPFCI dans le département dans lequel se situent la majorité de la strate éligible du projet, la méthode considère que le risque est très faible (2,5%).

9.3.4. Calcul du rabais de non-permanence

Le rabais de non-permanence est une combinaison de tous les risques pouvant peser sur le puits de carbone correspondant à la strate éligible du projet.

$$rabais_{NP} = 1 - \prod_j (1 - risque_j) \quad (29)$$

où

$rabais_{NP}$ rabais de non-permanence pesant sur les strates éligibles du projet (% , arrondi à 0,1 % près)

$risque_j$ risque lié au type d'évènement « j » (%)

j 2 : général, incendie

Conformément au Référentiel du Label Bas Carbone, le rabais de non-permanence minimal est de 10 % (général : 10 % , incendie : 0 % (*risque incendie minimal dans les départements pourvus d'un PDPFCI*)).

10. Calendrier du projet et vérifications

La présente méthode impose au Porteur de projet de réaliser 4 Audits de vérification pendant la durée du projet, en application des conditions suivantes :

- Chaque vérification porte sur 25% (arrondi à l'entier inférieur) du nombre total de crédits carbone générables ;
- Le nombre total de crédits carbone vérifiés à l'issue des 4 Audits ne peut excéder la quantité totale de crédits carbone générables après rabais en début de projet.

Les vérifications doivent être réalisées tous les 5 ans, sauf en cas de sinistre détruisant plus de 20% du volume objectif des strates éligibles du projet (voir partie 10.7).

A l'issue de chaque vérification, 25% des crédits carbone sont vérifiés (ex-post).

10.1. Calendrier de mise en œuvre et de suivi du projet

Le projet sera mis en œuvre selon les modalités ci-dessous.

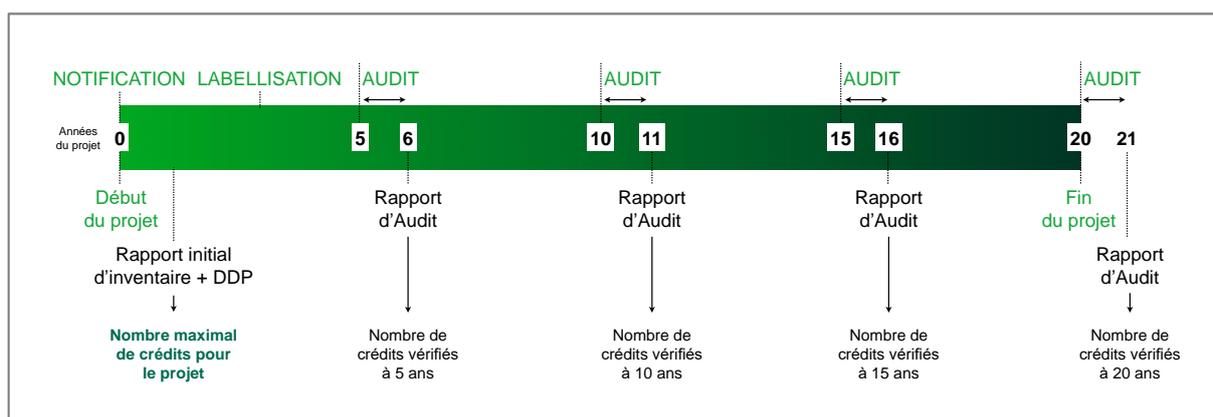


Figure 14 - Frise chronologique récapitulative d'un projet

Les étapes d'un projet sont les suivantes :

1. **Notification du projet** sur demarches-simplifiees.fr. La date de notification à l'autorité de l'intention de monter un projet marquera le début du projet.
2. Inventaire initial, montage du dossier de labellisation du projet et **dépôt du dossier en vue de sa labellisation** au plus tard 1 an après la date de notification.
3. **Déroulement du projet, suivi du projet** par le Porteur de projet ou le mandataire, de sorte à produire des rapports de suivi tous les 5 ans, en amont de chaque Audit.
4. **Réalisation du premier Audit** (audit à 5 ans) dans le courant de la 6^{ème} année après la date de début du projet, production du premier rapport d'audit et vérification au maximum de 25% des crédits carbone générables.
5. **Réalisation du second Audit** (audit à 10 ans) dans le courant de la 11^{ème} année après la date de début du projet, production du deuxième rapport d'audit et vérification au maximum de 25% des crédits carbone générables.

6. **Réalisation du troisième Audit** (audit à 15 ans) dans le courant de la 16^{ème} année après la date de début du projet, production du troisième rapport d’audit et vérification au maximum de 25% des crédits carbone générables.

7. **Réalisation du dernier Audit** (audit à 20 ans) à l’issue de la dernière année du projet, soit dans le courant de la 21^{ème} année après la date de début du projet, production du quatrième rapport d’audit et vérification au maximum de 25% des crédits carbone générables.

Calendrier		Proportion maximale du nombre de crédits carbone à vérifier (en Audit)
Date de début du projet	15/09/2025 (date de notification)	/
Dépôt du dossier de labellisation	22/05/2026 (limite : 14/09/2026)	/
Audit à 5 ans	Entre le 15/09/2030 et le 14/09/2031	Maximum 25%
Audit à 10 ans	Entre le 15/09/2035 et le 14/09/2034	Maximum 25%
Audit à 15 ans	Entre le 15/09/2040 et le 14/09/2041	Maximum 25%
Date de fin du projet	14/09/2045	/
Audit à 20 ans	Entre le 15/09/2045 et le 14/09/2046	Maximum 25%

Tableau 13 - Exemple de calendrier de projet (hors sinistre)

10.2. Vérification par un Auditeur

Pour réaliser la vérification d’un projet développé selon cette méthode, l’Auditeur doit prouver sa capacité, son indépendance et son impartialité vis-à-vis du projet, du mandataire et de toute partie prenante. Dès lors, toute personne faisant partie d’un organisme certificateur reconnu par le Programme de reconnaissance des certifications forestières (PEFC), le Forest Stewardship Council (FSC) ou le Verified Carbon Standard (VCS) dont l’accreditation ou la reconnaissance couvre le secteur forestier peut être Auditeur d’un projet développé selon la présente méthode.

Peut également être Auditeur d’un projet développé selon la présente méthode, à condition de prouver son indépendance vis-à-vis du projet (l’Auditeur ne doit pas avoir de lien avec l’entité gestionnaire ou l’une de ses filiales) et sa capacité à réaliser les vérifications :

- tout Expert forestier inscrit sur la liste nationale publiée par le Conseil National de l’Expertise Foncière, Agricole et Forestière (CNEFAF) ;
- tout Gestionnaire Forestier Professionnel dont l’agrément est en cours de validité.

10.3. Méthode de vérification

Préalablement à chaque vérification, le Porteur de projet doit compléter le modèle de Rapport de suivi, fourni sur la page internet de la méthode sur le site internet du Label bas carbone.

En complément, si des inventaires dendrométriques ont été réalisés sur tout ou partie de la surface des strates éligibles du projet depuis le dernier Audit, les données associées peuvent être intégrées au Rapport de suivi, ainsi que toute autre donnée ou information jugée pertinente. Ce Rapport de suivi est mis à disposition de l’Auditeur pour la vérification et doit être envoyé à l’Autorité pour la validation de la vérification.

Chaque Audit de vérification est réalisé selon 2 étapes complémentaires et obligatoires qui peuvent être réalisées par un Auditeur unique :

- Une vérification documentaire, portant sur les informations fournies dans le Rapport de suivi, le Document Descriptif de Projet et dans le Rapport initial d'inventaire.
- Une vérification de terrain, consistant en de nouvelles mesures dendrométriques et permettant de calculer un volume total sur pied (par essence et par classe de diamètre) au moment de la vérification dans chaque strate éligible.

Chaque vérification fait l'objet d'un rapport de vérification qui doit également être fourni à l'Autorité.

10.4. Vérification documentaire

10.4.1. Modification du document de gestion

Au moment de chaque Audit de vérification, la gestion mise en œuvre doit **obligatoirement** être en cohérence avec le document de gestion en cours :

- Pour toute forêt privée : Le document de gestion doit au minimum comprendre un avenant agréé avant l'Audit et doit indiquer l'existence du projet et un programme des coupes et travaux modifié en conséquence. Si le document de gestion a été renouvelé avant l'audit de vérification, ce document doit avoir intégré le projet et adapté le programme de coupes et travaux en conséquence.
- Pour toute forêt des collectivités et des personnes morales de droit public : Le porteur de projet devra consulter l'ONF ou le gestionnaire pour s'assurer de la cohérence du projet avec le document de gestion durable en vigueur et devra produire un avis écrit de celui-ci. Dans ce cas il n'y aura pas d'avenant à présenter au document de gestion durable. En revanche, en cas d'incompatibilité du document de gestion durable avec le projet, il devra fournir un avenant agréé et rédigé par l'ONF ou le gestionnaire avant la vérification du projet.
- Pour toute forêt domaniale : Si le projet entraîne une modification substantielle aux conditions DNAG-ONAG pour la forêt publique, des décisions initiales prévues dans le document de gestion durable, une modification de ce document est nécessaire.

Aucune délivrance de crédits carbone ne peut avoir lieu tant que l'agrément d'un avenant ou d'un nouveau document de gestion mentionnant le projet avec un programme des coupes et travaux prévu en conséquence n'a pas été fourni à l'Auditeur, lui permettant de compléter son Audit de vérification.

10.4.2. Surface minimale du projet

L'Auditeur devra s'assurer que la surface éligible engagée dans le projet est bien supérieure ou égale à la surface minimale à engager (cf. 2.2.2). En cas de manque, un rabais sera appliqué au prorata de la surface manquante :

$$rabais_{surface} = \frac{Surf_{engagée} - Surf_{minimale}}{Surf_{minimale}} \quad (30)$$

où

$rabais_{surface}$	rabais calculé par l’Auditeur relatif à une surface engagée inférieure à la surface minimale imposée par la méthode (en %, arrondi à 0,1%)
$Surf_{engagée}$	surface engagée dans le projet lors de sa labellisation (ha)
$Surf_{minimale}$	surface minimale à engager, imposée par la méthode (ha)

10.4.3. Produits bois

La répartition du volume prélevé entre les différentes catégories de produits est laissée à la main du Porteur de projet. Les éléments listés ci-dessous devront être fournis à l’Auditeur pour que celui puisse s’assurer que la ventilation du volume bois fort tige exploité est cohérente.

Documents à transmettre à l’Auditeur	Élément à y vérifier
Affiches des coupes réalisées depuis le début du projet ou depuis le précédent Audit + factures de vente	Proportion du volume exploité vendue sous forme de bois d’œuvre, de bois d’industrie et de bois énergie

Tableau 14 - Vérification documentaire pour la ventilation des produits bois

En cas d’erreur sur la ventilation, l’Auditeur refait les calculs avec les bonnes catégories de produits ou demande au Porteur de projet ou à son Mandataire de les refaire.

10.4.4. Co-bénéfices

Sur la base des documents fournis par le Porteur de projet (lors de la construction du dossier ou de son suivi) et des indicateurs définis par la présente méthode, l’Auditeur est en mesure de vérifier que les co-bénéfices et impacts mentionnés par le Porteur de projet sont effectifs.

Pour chaque co-bénéfice ou impact sélectionné par le Porteur de projet, celui-ci doit fournir des pièces justificatives en amont de chaque Audit.

Pour les co-bénéfices ajoutés par le Porteur de projet, ce dernier devra fournir tous les éléments justificatifs qu’il juge nécessaires à l’Auditeur.

Co-bénéfice	Documents à transmettre à l’Auditeur	Élément à y vérifier
Valorisation locale des bois récoltés	Contrats de vente de bois, factures de vente de bois, affiches de coupes, attestation de Label UE depuis le début du projet ou depuis le dernier Audit	% du volume de bois d’œuvre récolté disposant d’un label UE + distance entre la propriété et l’implantation des acheteurs
Création de plus-value économique locale	Marchés ou contrats, devis signés, factures de travaux depuis le début du projet ou depuis le dernier Audit	Distance entre l’implantation des entrepreneurs de travaux et la propriété
Certification forestière	Certificat PEFC ou FSC en cours de validité au moment de l’Audit et certificats antérieurs (avec dates de validité incluant toutes les années du projet).	Validité du certificat au moment de l’Audit et au cours des années antérieures sur l’intégralité de l’aire du projet
Assurance forestière	Attestation d’assurance forestière mentionnant les parcelles cadastrales couvertes et le type de dégâts assurés (avec dates de validité incluant toutes les années du projet)	Validité de l’attestation au moment de l’Audit et au cours des années antérieures sur l’intégralité de l’aire du projet

Préservation des sols	Liste ou carte des parcelles exploitées et des parcelles cloisonnées depuis le début du projet ou depuis le dernier Audit + si les cloisonnements ont été faits par un prestataire : factures d'intervention et d'ouverture ou d'entretien des cloisonnements ou contrats de travaux spécifiques incluant le numéro des parcelles concernées + si les cloisonnements ont été réalisés en régie : prévoir, lors de l'Audit, une visite terrain d'un échantillon de parcelles indiquées comme exploitées et cloisonnées.	Cloisonnement systématique des parcelles annoncées comme exploitées
Modalités de récolte	Affiches de coupe des exploitations réalisées depuis le début du projet ou depuis le dernier Audit.	Définition du mode de récolte majoritaire (en proportion de la surface exploitée)
Exportation des rémanents	Affiches de coupe des exploitations réalisées depuis le début du projet ou depuis le dernier Audit incluant un cahier des charges spécifique sur les rémanents de coupe.	Validation du devenir des rémanents de coupe, en fonction de leur diamètre
Trame de vieux bois	Carte ou tableau mentionnant la surface de chaque unité de gestion (parcelle ou sous-parcelle) et le nombre d'arbres d'intérêt écologie identifiés et marqués pour être conservés (+ géolocalisation de chaque arbre si possible)	Visite d'un échantillon d'unités de gestion pour vérifier la présence d'au moins 90% du nombre d'arbres indiqués
Préservation des milieux humides	Carte de localisation des mares et des actions prévues/réalisées Si les travaux ont été réalisés par un prestataire : factures d'entretien ou de restauration de mares ou mardelles forestières permanentes pour des travaux réalisés depuis le début du projet ou depuis le dernier Audit. Si les travaux ont été réalisés en régie : rapport de travaux incluant les actions menées, un état des lieux avant/après, des photographies avant/pendant/après travaux, et ce pour chaque milieu travaillé.	Mise en œuvre d'action de restauration ou d'entretien des mares et mardelles permanentes
Préservation et entretien des ripisylves	Affiches de coupe des exploitations réalisées en bordure de cours d'eau permanent depuis le début du projet ou depuis le dernier Audit, incluant un cahier des charges spécifique concernant la gestion sur la bande de 10m de large depuis le cours d'eau.	Vérification de la présence d'une zone tampon non exploitée en bordure de cours d'eau

Tableau 15 - Vérification documentaire des co-bénéfices

En cas de non atteinte ou de non-réalisation de co-bénéfices envisagés, les nouveaux pourcentages des co-bénéfices seront modifiés en conséquence par l'Auditeur.

10.5. Vérification de terrain

10.5.1. Engagement carbone

Dans les projets développés selon cette méthode, bien que les calculs de réductions d'émissions de GES soient basés sur des comparaisons de flux de carbone dans les compartiments des deux scénarios, l'engagement du Porteur de projet porte sur un stock de bois récoltable dans la strate éligible à la fin du projet.

Dès lors, puisque l'itinéraire sylvicole n'est pas défini en amont, chaque vérification doit *a minima* permettre de démontrer que les coupes réalisées sur la surface du projet permettent de

respecter l'engagement du Porteur de projet. La méthode définit donc un niveau seuil (% du volume objectif) en dessous duquel le volume récoltable de chaque strate éligible ne doit pas descendre :

- Si le projet a débuté depuis 15 ans ou plus :

$$Volume_{min} = Volume_{objectif} \quad (31.1)$$

Volume_{min} volume récoltable aérien moyen en dessous duquel le Porteur de projet ne doit pas descendre dans une strate éligible donnée pendant la durée du projet

Volume_{objectif} volume récoltable aérien objectif à la fin du projet dans cette strate
(volume objectif = volume récoltable initial x niveau d'engagement) (m³)

- Sinon, compte tenu de la croissance du peuplement au cours du projet, un volume légèrement inférieur au volume objectif est autorisé au début du projet (Audits à n+5 et n+10) :

$$Volume_{min} = Volume_{objectif} \times 90\% \quad (31.2)$$

Deux méthodes au choix peuvent être utilisées pour la vérification de terrain : soit un contrôle partiel (éventuellement complété par un contrôle plus poussé si les résultats du contrôle partiel ne sont pas concluants), soit un contrôle complet.

Contrôle partiel

Dans le cas d'un contrôle partiel, la vérification porte sur un ré-inventaire partiel de la strate éligible, c'est-à-dire sur l'inventaire d'une partie des unités de gestion éligibles, en appliquant le protocole d'inventaire mis en œuvre initialement. L'audit partiel doit porter sur au moins :

- 20% du nombre de placettes installées au départ ou au moins 5 placettes si moins de 25 placettes ont été installées dans la strate éligible
- 20% de la surface totale de la strate éligible pour les inventaires en plein ou au moins 2 ha si la surface inventoriée est inférieure à 10 ha (attention à échantillonner des unités de gestion complètes pour obtenir des jeux de données comparables).

Les données ainsi collectées sont ensuite analysées avec les mêmes hypothèses et les mêmes équations que celles utilisées lors de la définition de l'état initial.

L'Auditeur doit ensuite comparer le volume minimal autorisé (défini dans les équations 32) au volume récoltable réel à la date de la vérification, sur le même échantillon :

- Si le volume récoltable calculé grâce aux données collectées dans le cadre de ce contrôle partiel est inférieur au volume minimal autorisé, le contrôle partiel doit être complété pour correspondre à un contrôle complet du projet.
- Si le volume récoltable calculé grâce aux données collectées dans le cadre de ce contrôle partiel est supérieur au volume minimal autorisé, l'Auditeur peut conclure à un respect des engagements de la part du porteur de projet.

Contrôle complet

Dans le cas d'un contrôle complet, la vérification porte sur un ré-inventaire total de la strate éligible, c'est-à-dire sur la remesure de la totalité des unités de gestion éligibles, en appliquant

le protocole d'inventaire mis en œuvre initialement. Les données ainsi collectées sont ensuite analysées avec les mêmes hypothèses et les mêmes équations que celles utilisées lors de la définition de l'état initial.

L'Auditeur doit ensuite comparer le volume minimal autorisé (défini dans les équations 32) au volume récoltable réel à la date de la vérification.

- Si le stock récoltable calculé grâce aux données collectées dans le cadre de ce contrôle complet est supérieur au stock minimal autorisé, l'Auditeur peut conclure à un respect des engagements de la part du porteur de projet.
- Si le volume récoltable calculé grâce aux données collectées dans le cadre de ce contrôle complet est inférieur au volume minimal autorisé, l'Auditeur doit calculer un rabais à appliquer sur la quantité de réductions d'émissions mentionnée dans le rapport de suivi :

$$rabais_{volumes} = \frac{V_{minimum} - V_{réel}}{V_{minimum}} \quad (32)$$

où

$rabais_{volumes}$	rabais calculé par l'Auditeur relatif au volume manquant (%)
$V_{minimum}$	volume récoltable aérien moyen en dessous duquel le Porteur de projet ne doit pas descendre dans une strate éligible donnée pendant la durée du projet, au moment de la vérification (m ³)
$V_{réel}$	volume récoltable aérien moyen réel calculé par l'Auditeur dans la strate éligible à la date de la vérification (m ³)

Ce rabais de vérification ne s'applique que lorsque $V_{minimum} > V_{réel}$, dans le cas contraire, il n'y a pas de rabais à appliquer.

S'il doit être appliqué, ce rabais de vérification doit être mentionné par l'Auditeur dans le rapport de vérification.

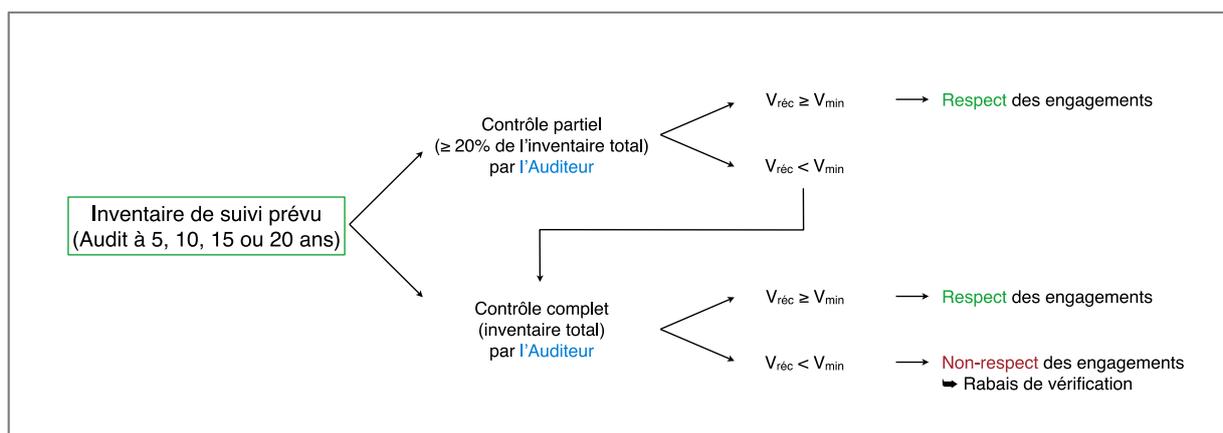


Figure 15 - Procédure d'audit de l'engagement carbone

NB : L'Auditeur n'a pas besoin de refaire de diagnostic sanitaire lors des Audits. En effet, si une partie des tiges récoltables a déperissé depuis le début du projet, cela se répercutera sur les volumes présents au sein de la strate éligible et sur l'éventuel rabais qui s'appliquera.

10.5.2. Zones inexploitable

Si l’Auditeur s’aperçoit, par quelque moyen nécessaire, par analyse documentaire ou visite de terrain, que des zones inexploitable ont été intégrées à la surface éligible au projet, un rabais proportionnel à la surface inexploitable engagée est appliqué :

$$rabais_{exploitabilité} = \frac{Surf_{inexploitable} - Surf_{engagée}}{Surf_{engagée}} \quad (33)$$

où

$rabais_{exploitabilité}$ rabais calculé par l’Auditeur relatif à la surface inexploitable intégrée au projet
 $Surf_{inexploitable}$ surface inexploitable prise en compte dans la surface éligible engagée dans le projet (ha)
 $Surf_{engagée}$ surface engagée dans le projet lors de sa labellisation (ha)

10.5.3. Co-bénéfices

En complément de la vérification documentaire, l’Auditeur pourra vérifier par échantillonnage la présence des éléments permettant de s’assurer de la réalisation des co-bénéfices : présence de cloisonnements dans les parcelles récemment exploitées, conservation d’un nombre minimal d’arbres d’intérêt écologique, actions d’entretien de mares etc.

En cas de non atteinte ou de non réalisation de co-bénéfices envisagés, les nouveaux pourcentages des co-bénéfices seront modifiés en conséquence par l’Auditeur.

10.6. Calcul d’un rabais éventuel

Si le projet fait état de manquements à la méthode ou de volumes récoltables inférieurs à ceux définis par la méthode, il ne pourra pas être considéré que le projet suit totalement la projection initialement réalisée. Un rabais sera appliqué au nombre de crédits carbone générable pour la tranche de 5 ans en cours de vérification :

$$rabais_{vérification} = (1 - rabais_{surfaces}) \times (1 - rabais_{volumes}) \times (1 - rabais_{exploitabilité}) \quad (34)$$

Si le Rabais de vérification calculé par l’Auditeur est supérieur à 30%, le projet est abrogé et aucun crédit carbone ne peut plus être vérifié.

NB : Aucun rabais complémentaire ne sera appliqué si le risque incendie ou le niveau d’engagement (défini sur la base du risque essence) venaient à être modifiés au cours du projet.

10.7. Procédure en cas de sinistre

Est considéré comme « sinistre », une catastrophe naturelle menant à la destruction significative de tout ou partie des strates éligibles du projet.

En cas de sinistre menant à la destruction de plus de 20% du volume objectif, le Porteur de projet doit obligatoirement signaler le sinistre à l’Autorité :

- Si le Porteur de projet considère que les dégâts sont trop importants pour assurer le respect des engagements, il propose à l’Autorité d’abroger le projet (arrêt des vérifications et de la reconnaissance des crédits restants).
- Si le Porteur de projet considère que les dégâts sont compatibles avec le respect de ses engagements, il doit procéder à un inventaire complet (contrôle complet) des strates éligibles afin de calculer le volume récoltable restant dans ces strates et envoyer un rapport de sinistre (équivalent à un rapport de suivi complété d’un rapport d’inventaire complet) à l’Autorité et à un Auditeur, en vue d’un Audit de vérification.

Lors de la vérification suivant le sinistre, si le Rabais de vérification calculé par l’Auditeur est supérieur à 30%, le projet est abrogé et aucun crédit carbone supplémentaire ne sera vérifié. Cependant, les crédits reconnus à la suite des Audits précédents (s’il y en a eu) restent associés au projet.

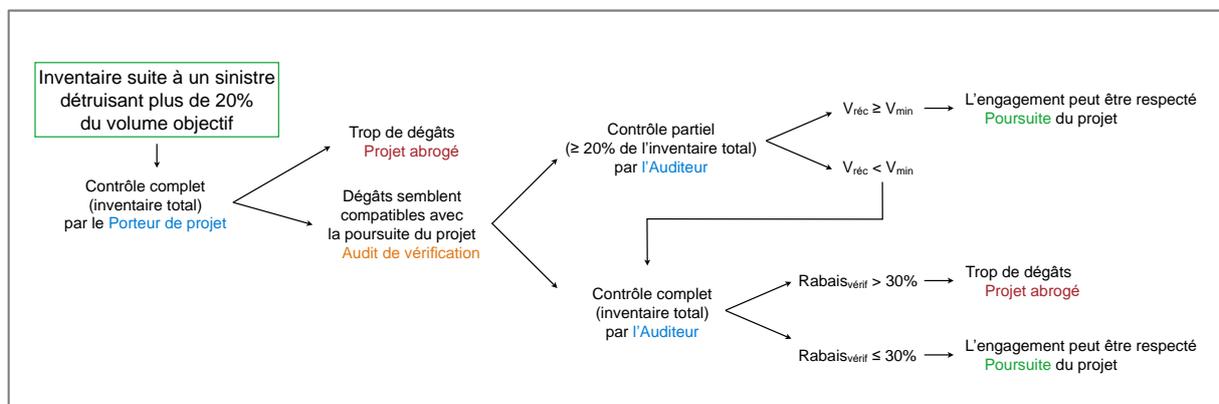


Figure 16 – Procédure en cas de Sinistre

11. Crédits carbone générés tous les 5 ans après application des rabais

Des rabais sont appliqués au nombre de crédits carbone calculés au début du projet. Les quatre premiers rabais sont déterminés et appliqués dès le début du projet. Le dernier rabais est calculé et appliqué après chaque Audit, au moment de la reconnaissance des crédits carbone en ex-post.

Tous les rabais sont obligatoires.

N° du rabais	Nom du rabais	Valeur
1	Fuites	- 5%
2	Incertitudes	Calculé par le Porteur de projet, sinon - 15%
3	Risques généraux difficilement maîtrisables	- 10%
4	Risque incendie	de 0 à - 30%
5	Vérification	Calculé par l’Auditeur (de 0 à - 30% sinon projet abrogé)

Tableau 16 - Rabais imposés par la méthode

Les crédits carbone générés après chaque Audit sont donc calculés de la façon suivante :

$$CC_{g\acute{e}n\acute{e}r\acute{e}s} = CC_{g\acute{e}n\acute{e}r\acute{a}b\acute{l}e}s \times \prod_{i=1}^5 rabais_i \quad (35)$$

12. Bilan des éléments à fournir

Le tableau ci-dessous liste les pièces à fournir dans le Formulaire de dépôt de dossier pour justifier de son éligibilité, quel que soit le projet.

Type de propriété	Forêt privée	Forêt de collectivité	Forêt de l'État
Attestation de propriété [OBLIGATOIRE] [document 1]	Matrice cadastrale ou attestation notariée ou extrait de logiciel de cadastre + Liste des parcelles cadastrales du projet		
Coordonnées du représentant [LE CAS ÉCHÉANT] [document 1 bis]	Document attestant de la personne représentant l'entité propriétaire personne morale		
Attestation d'engagement [OBLIGATOIRE] [document 2]	Document attestant de l'engagement du Porteur de projet à mettre en place le projet bas carbone tel que prévu initialement et à accepter les contrôles, vérifications et audits prévus dans ce cadre.		
Mandat [LE CAS ÉCHÉANT] [document 2bis]	Lettre attestant du mandat détenu et comportant les mentions obligatoires		
Document de Gestion Durable en cours de validité [OBLIGATOIRE] [document 3]	PSG ou RTG, incluant le programme des actions (travaux et coupes) et les annexes + Copie de la décision d'agrément du document par le CNPF	Document d'aménagement + copie de l'approbation du document par le Préfet de Région	Document d'aménagement + copie de l'arrêté portant approbation du document par le Ministre en charge des forêts
Accusé de réception de l'avenant au Document de Gestion Durable [OBLIGATOIRE] [document 3 bis]	Accusé de réception de l'avenant au Document de Gestion Durable, intégrant les modifications du programme de coupes et travaux du fait du projet, avant la date du 1 ^{er} Audit	Modificatif de l'aménagement, avant la date du 1 ^{er} Audit + Délibération de la collectivité propriétaire	Modificatif de l'aménagement, avant la date du 1 ^{er} Audit
État initial des parcelles éligibles du projet [OBLIGATOIRE] [document 4]	Rapport initial d'inventaire (document contenant les informations techniques initiales des strates éligibles du projet, incluant les données relevées et l'analyse de ces données jusqu'aux volumes calculés par essence et par classe de diamètre pour chaque strate éligible, ainsi que la carte de localisation des strates éligibles et leur diagnostic sanitaire)		
Risque incendie [LE CAS ÉCHÉANT] [document 5]	Copie des pages du PDPFCI ou du PRDFCI ou de quelconque document officiel fournissant des informations sur le risque de destruction des strates éligibles du projet par un incendie.		
Zones inexploitable [LE CAS ÉCHÉANT] [document 6]	Carte de localisation des unités de gestion comprises au sein des strates éligibles ainsi que des zones inexploitable comprises dans l'aire du projet.		
Tableur de calcul des crédits carbone [OBLIGATOIRE] [document 7]	Calculateur carbone afférent à la méthode, complété avec les informations liées au projet.		

<p>Tableur de calcul des co-bénéfices [OBLIGATOIRE] [document 8]</p>	<p>Tableur des co-bénéfices afférent à la méthode, complété avec les informations liées au projet.</p>
<p>Justificatifs des co-bénéfices [LE CAS ÉCHÉANT] [document 9]</p>	<p>Documents exigés pour la vérification des co-bénéfices sélectionnés par le Porteur de projet.</p>

Tableau 17 - Récapitulatif des documents à fournir

Sources et références bibliographiques

ABT Dominique, 2014. *Guide des sylviculture – Arc jurassien - Sapin et épicéa*. Office national des forêts. 111 p.

ADEME, 2015. *Forêt et atténuation du changement climatique*. Les avis de l'Ademe, 12 p.

ANGELIER Ariane, 2007. *Guide des sylvicultures – Douglasaies françaises*. Office national des forêts. 296 p.

BOURGEOIS Catherine, 2001. *Valoriser le pin sylvestre dans le canton de Comps-sur-Artuby (Var)*. Forêt méditerranéenne, tome XXII, no 4, pp. 355-362.

BRAASTAD H., 1967. *Produksjonstabeller for bjørk*. Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksveren. 22 (84), pp. 265-365.

CAIRNS Michael, BROWN Sandra, HELMER Eileen, BAUMGARDNER Greg, 1997. *Root biomass allocation in the world's upland forests*. *Oecologia*, n° 111, pp. 1-11.

CHABAUD Ludovic, NICOLAS Loïc, 2009. *Guide des sylvicultures – Pineraies des plaines du Centre et du Nord-Ouest*. Office national des forêts. 399 p.

COURDIER Jean-Marc, 2008. *Sylviculture du Cèdre de l'Atlas en zone méditerranéenne française*. Office national des forêts, direction territoriale Méditerranée. 41 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 de l'ONF* n° 44. pp. 22-32.

EL HAOUZALI Hafida, 2009. *Déroutage du peuplier : effets cultivars et stations sur la qualité des produits dérivés*. Thèse, Arts et Métiers ParisTech, 214 p.

FABER P.J., 1996. *Opbrengsttabel Amerikaanse eik*.

FCBA, 2020. *Mémento 2019*. FCBA, 48 p.

FIGUERES Soisick, GLEIZES Olivier, ROMBAUT Geoffroy, MARTEL Simon, MONGERMON Stéphane, 2024. *Faciliter l'utilisation des tables de production forestières dans la cadre du label Bas carbone*. CNPF, Rapport d'étude, 158 p.

FOURNIER Salomé, SARDIN Thierry, DREYFUS Philippe, FRANÇOIS Didier, MANDRET Xavier, SIMEONI Marion, RENAUD Jean-Pierre, AKROUME Emila, BOUVET Alain, BERTHELOT Alain, WERNSDÖRFER Holger, RIVIÈRE Miguel, SAINTE-MARIE Julien, BRÈTEAU-AMORES Sandrine, de COLIGNY François, DELEUZE Christine, 2022. *Dendrometric data of silvicultural scenarios from the French National Forests Office's (ONF)*, <https://doi.org/10.57745/QARRFS>, Recherche Data Gouv, V1

GLEIZES Olivier, 2025. *Méthode boisement (version 3)*. CNPF, 111 p.

GLEIZES Olivier, 2025. *Méthode reconstitution de peuplements forestiers dégradés (version 3)*. CNPF, 121 p.

GRASSI Giacomo, FIORESE Giulia, PILLI Roberto, JONSSON Klas, BLUJDEA Viorel, KOROSUO Anu, VIZZARRI Matteo. 2021. *Brief on the role of the forest-based bioeconomy in mitigating climate change through carbon storage and material substitution*. SANCHEZ LOPEZ Javier, JASINEVIČIUS Gediminas and AVRAAMIDES Marios, editors. European Commission, JRC124374.

HAMILTON Graham John, CHRISTIE JM, 1971. *Forest management tables (metric)*. Forestry Commission Booklet 34. London

JARRET Pascal, 2004. *Guide des sylvicultures – Chênaie atlantique*. Office national des forêts. 234 p.

JENNER Xavier, GAUDIN Sylvain. 2001. *Typologie des peuplements feuillus et IFN*. Revue forestière française, vol. 53, n°3-4, p.459-467.

LADIER Jean, REY Freddy, DREYFUS Philippe, 2012. *Guide des sylvicultures de Montagne – Alpes du Sud françaises*. Office national des forêts. 301 p.

LANDMANN Guy, ACHAT David, AUGUSTO Laurent, BIGOT Maryse, BOUGET Christophe, BOULANGER Vincent, CABRAL Anne-Sophie, CACOT Emmanuel, DELEUZE Christine, GIBAUD Gwénaëlle, NIVET Cécile, POUSSE Noémie, RICHTER Claudine, SAINT-ANDRE Laurent, THIVOLLE CAZAT Alain, ZELLER Berndt, 2015. *Projet RÉSOBIO. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité. Synthèse de l'étude RÉSOBIO*. ADEME et Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt - GIP Ecofor, 24 p.

LEBAN Jean-Michel, LACARIN Maxime, KERFRIDEN Baptiste, JACQUIN Philippe, TAUPIN Amélie, MOLA Charline, DUPREZ Cédric, CHABOT Sandrine, DAUFFY Vincent, MORNEAU François, WURPILLOT Stéphanie, HERVÉ Jean-Christophe, 2022. *Wood Basic Density for 156 tree forest species-V2*, <https://doi.org/10.57745/ZNFO7T>, Recherche Data Gov.

OFFICE NATIONAL DES FORÊTS, 2015. *Mémento sylvicole : Pinèdes de pin d'Alep*. ONF, 22 p.

OISTERBAAN Anne, 1988. *Opbrengsttabel voor zomereik (Quercus robur L.)*. Uitvoerig verslag Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "de Dorschkamp" Band 22(1), Wageningen.

PELLERIN Sylvain et BAMIÈRE Laure (pilotes scientifiques), LAUNAY Camille, MARTIN Raphaël, SCHIAVO Michele, ANGERS Denis, AUGUSTO Laurent, BALESSENT Jérôme, BASILE-DOELSCH Isabelle, BELLASSEN Valentin, CARDINAEL Rémi, CÉCILLON Lauric, CESCHIA Éric, CHENU Claire, CONSTANTIN Julie, DARROUSSIN Joël, DELACOTE Philippe, DELAME Nathalie, GASTAL François, GILBERT Daniel, GRAUX Anne-Isabelle, GUENET Bertrand, HOUOT Sabine, KLUMPP Katja, LETORT Élodie,

LITRICO Isabelle, MARTIN Manuel, MENASSERI Safya, MÉZIÈRE Delphine, MORVAN Thierry, MOSNIER Claire, ROGER-ESTRADE Jean, SAINT-ANDRÉ Laurent, SIERRA Jorge, THÉROND Olivier, VIAUD Valérie, GRATEAU Régis, LE PERCHEC Sophie, RÉCHAUDÈRE Olivier, 2019. *Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Rapport scientifique de l'étude*. INRA (France), 540 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.

PRYOR S. N., 1988. *The silviculture and yield of wild cherry*. London : Forestry Commission. Forestry Commission Bulletin, n° 75, 23 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)*. SEEFOR 5, pp. 13–22.

SARDIN Thierry, 2008. *Guide des sylvicultures – Chênaies continentales*. Office national des forêts. 456 p.

SARDIN Thierry, 2013. *Guide des sylvicultures – Hêtraies et hêtraies sapinières des Pyrénées*. Office national des forêts. 100 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.

Annexes

Annexe 1 : Classes de diamètre d'exploitabilité en forêt privée, issues des Schémas Régionaux de Gestion Sylvicoles

	Auvergne Rhône Alpes	Bourgogn e Franche Comté	Bretagne	Centre Val de Loire	Grand Est	Hauts de France	Île de France	Normand ie	Nouvelle Aquitaine	Occitanie	Pays de la Loire	PACA	Moyenne	Classe retenue dans la méthode
Charme/Bouleau		40	35			35		45					36,3	35
Châtaignier/Robinier	30	30	40	30	30	35	30	45	30	30	45	50		
Chêne pédonculé/sessile	55	55	60	60	55	50	60	60	55	55	60		56,8	55
Hêtre	45	45	60	50	45	40	50	55	45	50	55	50	49,2	50
Chêne pubescent	35	45		45	35	40	45	50	35	40	50	50	42,7	45
Chêne rouge	50	50	50	50	50	45	50	55	50	55	55			
Érable plane	40	50		40	40		40		40	45	50			
Érable sycomore	40	50	50	40	40	40	40	50	40	45	50			
Merisier	50	40	50	50	50	40	50	50	50	50	50			
Noyer	50	50	50	50	50	40	50	50	50	50	50			
Frêne sain	40	40	50	40	50		40			50			48,2	50
Douglas	50	50	50	45	50	40	45	50	50	50	50			
Épicéa commun	50	50			50	40		50	50	50	50	60	50,0	50
Mélèze	40	50	50		40	40		45	40	50		60	46,1	45
Pin maritime	35	35	50	40	35	35	40	45	35	45	45		40,0	40
Pin sylvestre	40	40	45	40	40	35	40	45	40	40	45	50	41,7	40
Sapin pectiné	50	50	45		50	40		45	50	50		60	48,9	50
Épicéa de Sitka	40		50		40	35		45	40	45			42,1	40
Pin de Salzmann	35			35	35		35		35	40				
Pin laricio	40	40	50	45	40	35	45	45	40	50	45	50		
Pin noir	35	35		35	35	35	35		35	40		50		

Tableau 18 – Borne basse des diamètres d'exploitabilité recommandés, par essence et par région

	Auvergne Rhône Alpes	Bourgogn e Franche Comté	Bretagne	Centre Val de Loire	Grand Est	Hauts de France	Île de France	Normand ie	Nouvelle Aquitaine	Occitanie	Pays de la Loire	PACA	Moyenne	Classe retenue dans la méthode
Charme/Bouleau		35	30			35		35					29,1	30
Châtaignier/Robinier	25	25	35	25	25	25	25	25	25	25	30	40		
Chêne pédonculé/sessile	45	50	50	55	45	45	55	45	45	45	50		48,2	50
Hêtre	40	40	55	45	40	40	45	40	40	40	40	40	42,1	45
Chêne pubescent	30	40		40	30	40	40	35	30	35	40	40	38,6	40
Chêne rouge	40	40	50	45	40	40	45	40	40	45	40			
Érable plane	35	40		35	35		35		35	35	35			
Érable sycomore	35	40	45	35	35	35	35	35	35	35	35			
Merisier	40	40	45	40	40	40	40	40	40	40	40			
Noyer	40	40	45	40	40	40	40	40	40	40	40			
Frêne sain	35	35	45	35	40		35			40				
Douglas	40	45	45	40	40	35	40	40	35	40	45		40,5	45
Épicéa commun	40	40			40	35		40	35	40	40	50	40,0	40
Mélèze	35	40	45		35	35		35	30	40		50	38,3	40
Pin maritime	30	30	45	35	30	30	35	35	25	35	40		33,6	40
Pin sylvestre	35	35	40	35	35	35	35	35	35	35	40	35	35,8	40
Sapin pectiné	40	40	40		40	40		30	35	40		50	39,4	45
Épicéa de Sitka	35		40		35	35		35	30	40			34,7	40
Pin de Salzmann	30			30	30		30		30	35				
Pin laricio	35	35	45	40	35	35	40	35	35	40	40	40		
Pin noir	30	30		30	30	35	30		30	35		40		

Tableau 19 - Classes de diamètre minimales d'exploitabilité, par essence et par région)

Annexe 2 : Protocole DEPERIS et modalités de réalisation

La méthode DEPERIS¹¹ est une évaluation rapide de la situation sanitaire d'un arbre grâce une notation simplifiée du houppier. Elle s'appuie sur deux critères :

- La mortalité de branches (MB) pour toutes les essences,
- Le manque de ramification (MR) pour les feuillus et le manque d'aiguilles (MA) pour les résineux.

Les deux critères s'observent dans le houppier fonctionnel (à la lumière), hors concurrence, et sur les arbres de l'étage dominant ou codominant.

Pour chaque arbre observé, une note qualitative de 0 à 5 est donnée à MB et MA/MR. Il s'agit d'une note simple, à attribuer de façon intuitive et rapide. Cette simplicité rend la donnée robuste et peu variable d'un observateur à un autre.

Note	Intensité	Fréquence	Nombre	% indicatif
0	Absence ou trace	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

Tableau 20 - Notes qualitatives pour chaque critère

Les deux notes MB et MR/MA permettent de définir une note synthétique DEPERIS d'état du houppier pour chaque arbre grâce à l'abaque suivant :

		Manque d'Aiguilles (résineux sauf Mélèze)					
		Manque de Ramification (feuillus)					
		0	1	2	3	4	5
Mortalité de Branches	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

Tableau 21 - Abaque pour l'attribution des scores de dépérissement

¹¹<https://agriculture.gouv.fr/la-methode-deperis-comment-quantifier-et-mesurer-letat-de-sante-dune-foret-et-son-evolution>

Si plus de 20% des arbres dominants ou co-dominants notés ont un score DEPERIS D, E ou F, alors la strate n'est pas éligible à la présente méthode.

2 modes de réalisation du protocole DEPERIS sont proposés :

- Sur les placettes : à réaliser sur tous les arbres dominants et co-dominants, *a minima* sur 1 placette sur 2 (arrondi à l'entier supérieur)
- En transects : un ou plusieurs cheminements doivent être réalisés dans la strate éligible de façon à la parcourir de façon homogène. Tous les arbres dominants et co-dominants relevés le long de ce cheminement (environ 15 m de part et d'autre du déplacement) doivent être notés.

La distance théorique minimale à parcourir et le nombre minimal d'arbres à inventorier le long de ces cheminements sont définis de la façon suivante :

Surface éligible	Distance théorique minimale	Nombre d'arbres <u>minimal</u> à inventorier
< 10 ha	250 m	50
10 - 25 ha	500 m	100
25 - 50 ha	1 000 m	150
> 50 ha	2 000 m	200

Tableau 22 - Nombre minimal d'arbres à noter en transects

Annexe 3 : Méthode de calcul du risque essence

Attention, la méthode de calcul et les résultats obtenus sont susceptibles d'évoluer. Il faut toujours se référer à la dernière version disponible sur la page internet de la méthode, sur le site internet du Label bas carbone.

Introduction

Le risque essence construit par La Belle Forêt traduit la sensibilité d'une essence donnée vis-à-vis de paramètres climatiques et de leur évolution, en particulier dans le contexte de changement climatique. Ce risque est utilisé dans la quantification carbone, et pris en compte lors de l'estimation de l'éligibilité d'une strate (caractère pérenne).

Pour quantifier ce risque essence, plusieurs éléments ont été utilisés :

- Les cartes de compatibilité climatique générées sur ClimEssences¹², qui fournissent un risque appelé « risque Climesences »
- Des rasters issus du projet DIGITALIS représentant les valeurs du déficit hydrique à l'échelle de la France durant la période 1961-2020¹³.

Le risque Climesences

Cartes de compatibilité climatique

Le modèle générant les cartes de compatibilité climatique repose sur les trois indicateurs IKS :

- DHYa : déficit hydrique annuel, facteur limitant lié au manque d'eau
- TMIa : température minimale annuelle, facteur limitant lié à l'excès de froid
- SDJa : somme des degrés jours annuelle, facteur limitant lié au manque de chaleur

Pour chaque indicateur et chaque essence, deux seuils sont déterminés en fonction des données de présence de l'espèce (points de présence de l'espèce issus de données d'inventaires forestiers de 21 pays européens) :

- Le premier seuil correspond à la valeur de l'indicateur tel que, pour une essence donnée, 97,5% des observations de présence sont incluses du « bon côté » de cette valeur.
- Le second seuil correspond à la valeur de l'indicateur tel que, pour une essence donnée, 99% des observations de présence sont incluses du « bon côté » de cette valeur.

Exemple : pour le Sapin pectiné, le seuil de TMIa à 97,5% est de -9,6 °C, ce qui signifie que 97,5% des points de présence du Sapin pectiné se situent dans des zones dans lesquelles la TMIa est supérieure à -9,6°C.

Les couleurs (rouge, jaune et vert) sur les cartes de compatibilité climatique dépendent de la position des valeurs des indicateurs IKS par rapport aux seuils donnés pour une essence particulière :

¹² <https://climesences.fr/>

¹³ Données fournies par Christian Piedallu, enseignant-chercheur en écologie forestière, spécialiste en géomatique à AgroParisTech

- En vert, les zones sont compatibles pour un seuil à 97,5 % des points de présence (aucun indicateur n'a une valeur dépassant son seuil à 97,5%)
- En jaune, tous les indicateurs sont inférieurs à leur seuil à 99%, mais au moins un est supérieur à son seuil à 97,5%
- En rouge, au moins indicateur est supérieur à son seuil à 99%

Une espèce peut donc être présente au-delà des valeurs seuils des indicateurs IKS lui correspondant, mais les individus sont rares, voire très rares. Le risque de dépérissement de l'espèce y est donc important et sera plus ou moins marqué selon les valeurs des autres indicateurs non pris en compte par ClimEssences, ou selon les conditions stationnelles.

Les cartes de compatibilité se basant uniquement sur la présence des essences, des paramètres autres que purement climatiques peuvent être à l'œuvre pour expliquer cette répartition (gestion, station...), et ne sont donc pas forcément pris en compte dans le modèle.

Scénario futur utilisé

ClimEssences génère plusieurs cartes de compatibilité pour une espèce donnée : une carte de compatibilité selon les données climatiques actuelles, et des cartes se basant sur des scénarii climatiques plus ou moins optimistes, pour les horizons 2050, 2070 et 2100.

Les différents scénarii ont été construits sur la base des trajectoires RCP communiquées par le GIEC, auxquelles ont été appliqués 18 modèles climatiques différents et indépendants, préalablement sélectionnés, représentant le mieux la variabilité liée aux incertitudes de la modélisation.

Un scénario intermédiaire à l'horizon 2050 utilisant la trajectoire RCP 8,5 (aucune politique climatique mise en œuvre) et une moyenne des 18 modèles sélectionnés ont été utilisés pour la suite des calculs.

L'hypothèse liée à la trajectoire RCP 4,5 a été abandonnée car ce scénario ne semble hélas plus atteignable aujourd'hui. En outre, l'horizon 2050 semble être le plus pertinent car les premiers projets carbone termineront aux alentours de 2045.

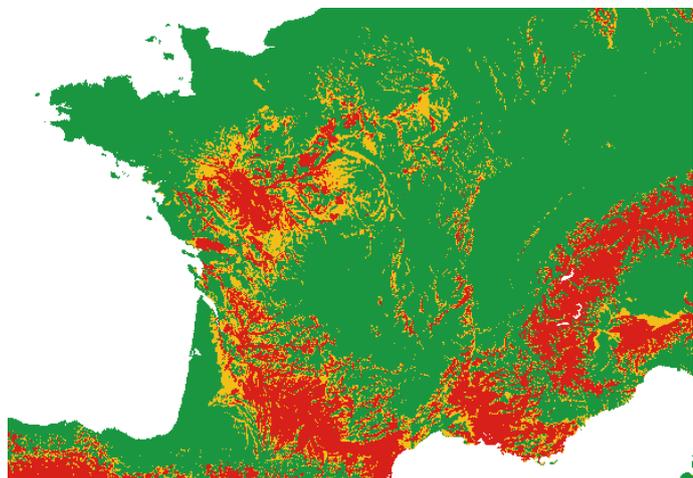


Figure 17 - Carte de compatibilité climatique du Chêne sessile à l'horizon 2050, pour le scénario RCP 8,5 intermédiaire

Construction du risque Climesences

L'estimation du risque Climesences s'effectue sur une zone donnée. Il a été choisi d'estimer le risque Climesences à l'échelle des 309 régions naturelles françaises car ce sont les zones les plus homogènes du point de vue géologique et écologique.

La formule générale utilisée est la suivante :

$$R = A_V + C_V \times \frac{C_R}{J} \quad (36)$$

où A_V , C_V et $C_{R/J}$ sont des coefficients et pourcentages liés au nombre de pixels verts, jaunes et rouges dans une zone donnée (une région naturelle forestière).

Simplifications préalables

La prise en compte des couleurs dans le calcul s'effectue selon une estimation de la surface recouverte par telle ou telle couleur dans la zone étudiée.

Afin de simplifier le calcul, les zones de couleurs jaune et rouge ont dans un premier temps été regroupées. En effet, il a été considéré que la probabilité de présence ou de dépérissement d'une espèce en secteur jaune ou rouge est relativement proche. De plus, il est rappelé qu'il est difficile de prévoir la variabilité du risque réel de dépérissement car les conditions stationnelles et microclimatiques ne sont pas ou peu prises en compte. Il n'est donc pas forcément pertinent de s'attarder sur la disjonction de ces deux couleurs, au moins dans un premier temps.

Cela amène donc à une estimation en deux étapes : la première vise à évaluer la proportion de pixels verts dans la zone étudiée (A_V) et la deuxième à évaluer plus finement la prépondérance relative du jaune ou du rouge dans le reste de la zone étudiée, permettant d'obtenir les autres termes de la formule.

Détermination de A_V

La première étape du calcul consiste donc à évaluer la part de surface couverte par des pixels verts.

Afin de faciliter cette estimation, la couverture de la couleur verte dans une zone donnée a été catégorisée en plusieurs classes. Chaque classe traduit la part de la zone couverte par des pixels verts (par opposition aux pixels jaunes et rouges). Pour chacune des classes, un pourcentage A_V a été associé (Tableau 1).

La valeur de A_V traduit déjà une première notion de risque : plus A_V est élevé, moins il y a de pixels verts dans la zone étudiée et donc plus le risque de dépérissement calculé devra être important.

Classes de surface	A_V
< 5%	80%
5-25%	60%
25-50%	40%
50-75%	22%
75-95%	10%
> 95%	0%

Tableau 23 - Détermination de A_V

		Pas de rouge	Au moins les 3/4 en jaune	Au moins autant de jaune que de rouge	Au moins un quart en jaune	Pas de jaune
% de couleur verte	< 5%	60%	70%	80%	90%	100%
	5-25%	44%	52%	60%	68%	76%
	25-50%	28%	34%	40%	46%	52%
	50-75%	14%	18%	22%	26%	30%
	75-95%	4%	7%	10%	13%	16%
	> 95%	0%	0%	0%	0%	0%

Tableau 26 - Matrice des valeurs du risque Climesences

Évolution du déficit hydrique climatique

Afin d'affiner le calcul du risque essence, il a été choisi de prendre en compte la vitesse d'évolution moyenne du déficit hydrique édaphique pour chaque région naturelle. Ce travail se base en particulier sur les conclusions apportées par une publication de Christian Piedallu¹⁴, enseignant-chercheur à AgroParisTech, et portant sur la cartographie de la vulnérabilité de deux essences dans les Vosges. Cette étude a notamment débouché sur un modèle de vulnérabilité à partir de variables climatiques, stationnelles et forestières, et démontre l'importance de la vitesse d'évolution du déficit hydrique climatique sur le dépérissement des essences forestières.

L'objectif a donc été de déterminer les variations de déficit hydrique, de cartographier cette évolution à l'échelle de la France sur une période donnée, tout ceci afin de « durcir », si nécessaire, le risque essence calculé à partir du risque Climesences.

Données initiales

Les données utilisées sont des couches raster (résolution au km) du déficit hydrique climatique (mensuel, saisonnier, et annuel, en mm) à l'échelle de la France, de 1961 à 2020.

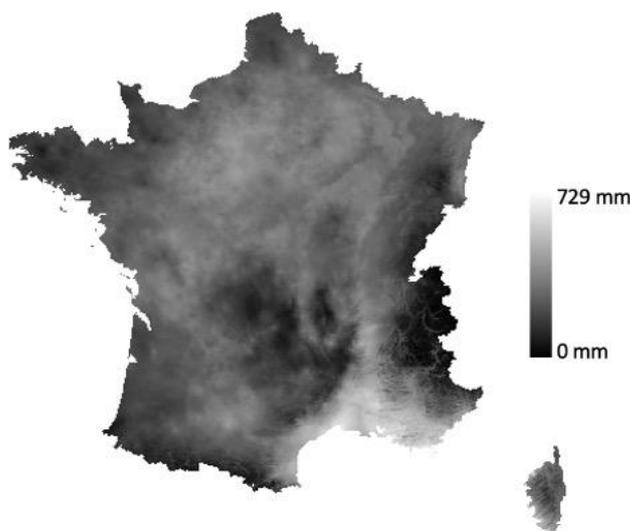


Figure 18 - Couche raster du déficit hydrique annuel moyen en 2020

¹⁴ Christian Piedallu, Donatien Dallery, Célia Bresson, Myriam Legay, Jean-Claude Gégout, et al.. Spatial vulnerability assessment of silver fir and Norway spruce dieback driven by climate warming. *Landscape Ecology*, 2023, 38 (2), pp.341-361. [ff10.1007/s10980-022-01570-1](https://doi.org/10.1007/s10980-022-01570-1). [ffhal-04005898f](https://arxiv.org/abs/2405.14005)

Méthode

La vitesse d'évolution du déficit hydrique climatique a été calculée et cartographiée à l'échelle de la France.

La création d'un maillage au km² sur QGis a permis d'extraire pour chaque pixel la valeur du déficit hydrique de chaque raster, pour chaque année entre 1961 et 2020. La suite du traitement, réalisé sur R, a consisté en l'estimation de la vitesse d'évolution du déficit hydrique, en effectuant une régression linéaire en chaque point du maillage entre les valeurs de déficit hydrique et les années écoulées. La pente de la droite de régression donne ainsi une estimation de la vitesse d'évolution du déficit hydrique pour chaque pixel de 1 km².

Cette méthode est également celle utilisée dans l'étude de Christian Piedallu et *al.*, (2023) pour l'obtention de tendances d'évolution du climat. De plus, le papier ne prend pas en compte les données antérieures à 1986 dans la régression linéaire, en expliquant que le réchauffement significatif des températures en France est apparu après cette date, et donc que l'évolution du climat durant cette période représente davantage celle qui pourrait nous attendre dans les prochaines années. Les années entre 1961 et 1985 représentent alors une période de référence climatique, et les tendances observées durant les années 1986-2020 peuvent ainsi leur être comparées. Il a été choisi d'observer l'évolution du déficit hydrique d'une part pour la période dite « de référence » (1961-1985) et pour la période 1986-2020 durant laquelle les changements globaux ont été plus importants.

Une fois que la vitesse d'évolution du déficit hydrique – c'est à dire la quantité d'eau moyenne (en mm par mois) reçue en un point donné – a été calculée pour chaque pixel de 1km², la cartographie de l'ensemble des valeurs a permis d'obtenir une couche raster pour chaque période de régression, représentant à l'échelle de la France, les vitesses d'évolution du déficit hydrique.

Résultats

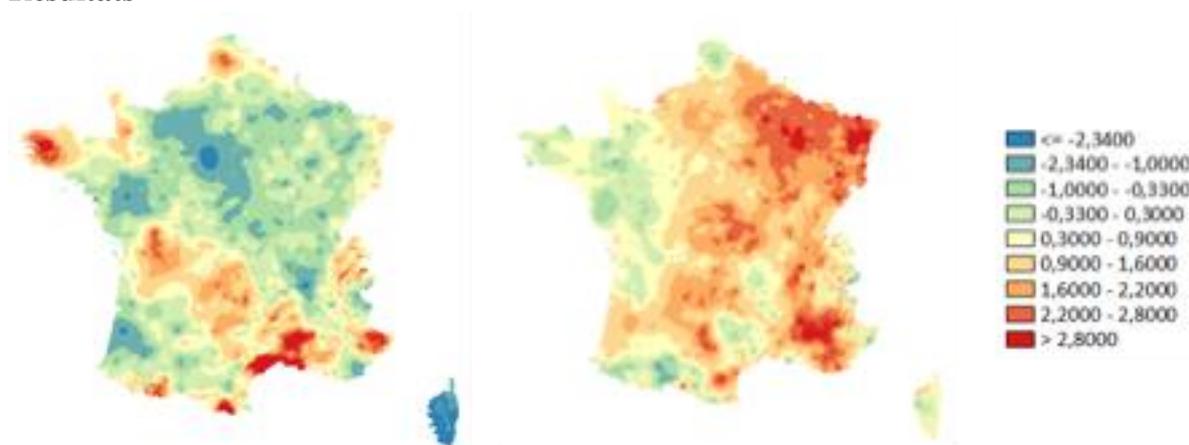


Figure 19 - Vitesse d'évolution du déficit hydrique en mm/mois, pour la période 1961-1985 (à gauche) et 1986-2020 (à droite)

A l'échelle de la France, pour la période 1986-2020, le déficit hydrique a tendance à croître. La comparaison entre les deux cartes montre également une accélération de cette croissance entre

les deux périodes pour la majeure partie du territoire, voire une inversion de la tendance dans certains cas (exemple du Grand Est). Les régions les plus touchées sont le Sud Est (littoral méditerranéen + vallée du Rhône), le centre du territoire, le plateau landais et le Grand Est.

En moyennant la vitesse d'évolution du déficit hydrique annuel par région naturelle, les deux cartes suivantes sont obtenues pour chaque période considérée :

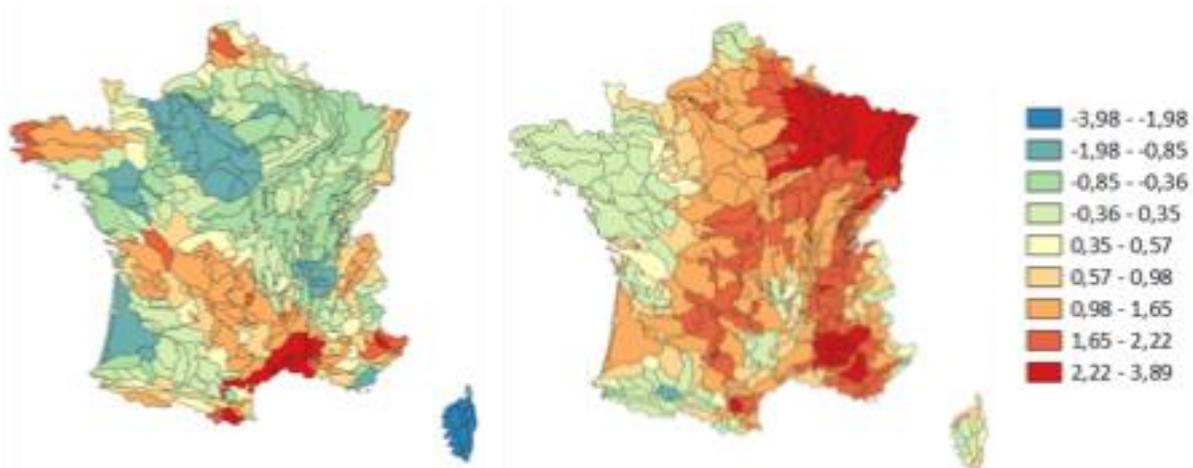


Figure 20 - Moyenne d'évolution du déficit hydrique annuel en mm/an par région naturelle française, pour la période 1961-1985 (à gauche) et 1986-2020 (à droite)

Calcul du risque essence à l'horizon 2050

Par la suite, les données de risque Climessences obtenues à partir des cartes de compatibilité climatique ont été couplées aux valeurs de vitesse d'évolution du déficit hydrique, afin de mieux traduire la vulnérabilité d'une essence se situant dans une région marquée par une forte augmentation du déficit hydrique vis-à-vis d'une essence se situant dans une région peu soumise à ce type d'évolution.

Pour cela, il a été choisi d'utiliser la vitesse d'évolution du déficit hydrique calculée pour la période 1986-2020 sur chaque période de végétation annuelle (avril à octobre) car il s'agit de la période durant laquelle un déficit hydrique aurait le plus d'impact.

Classification des valeurs de vitesse d'évolution du déficit hydrique

La première étape du calcul consiste en la répartition des valeurs de vitesse d'évolution du déficit hydrique en classes. La méthode de Jenks, consistant à minimiser la variance intra-classe tout en maximisant la variance interclasse est utilisée.

La répartition suivante est alors obtenue :

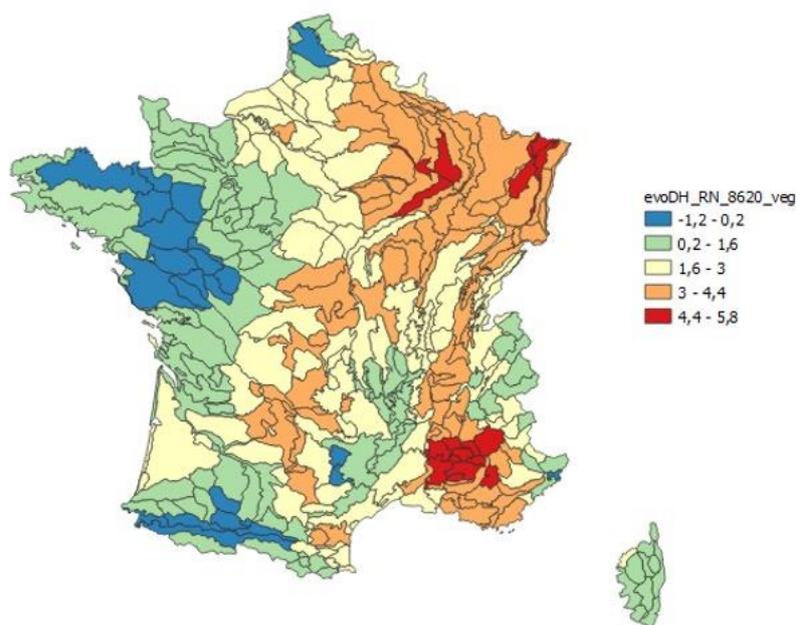


Figure 21 - Vitesse moyenne d'évolution du déficit hydrique en saison de végétation entre 1986 et 2020

Attribution de coefficients à chaque classe et pondération

A chacune des 5 classes de valeurs de vitesse d'évolution du déficit hydrique est attribuée un coefficient :

Classes de vitesse d'évolution du DH	Coefficient
-1,2 – 0,2	0
0,2 – 1,6	1
1,6 – 3	2
3 – 4,4	3
4,4 – 5,8	4

Tableau 27 - Coefficients de déficit hydrique

Calcul du risque essence

Le calcul du risque essence repose sur l'utilisation du risque Climessences préalablement obtenu auquel est ajouté le coefficient de la classe de vitesse d'évolution du déficit hydrique pour la région considérée multiplié par 5%.

Ainsi, une essence se situant dans une région dans laquelle le déficit hydrique évolue en moyenne de 4 mm par mois tous les ans, aura un risque essence augmenté de 15% par rapport à celui obtenu grâce à l'analyse des cartes de compatibilité climatique (risque Climessences).

Annexe : Méthode de calcul du déficit hydrique

Le calcul du déficit hydrique est effectué selon la formule de Thornthwaite.

Avec les abréviations suivantes pour un mois m donné :

- P(m)= précipitations
- ETP(m) = évapotranspiration potentielle

- $ETR(m)$ = évapotranspiration réelle
- $RU(m)$ = réserve utile en eau
- RUM = réserve utile maximale
- $DH(m)$ = déficit hydrique

Si $P(m) \geq ETP(m)$, alors

- $RU(m) = \text{MIN}(RU(m-1) + P(m) - ETP(m)) ; RUM$
- $ETR(m) = ETP(m)$

$$DH(m) = ETP(m) - ETR(m) = 0$$

SI $P(m) < ETP(m)$, alors

- $RU(m) = RU(m-1) \times \exp[(P(m) - ETP(m))/RUM]$
- $ETR(m) = RU(m-1) + (P(m) - RU(m))$

$$DH(m) = ETP(m) - ETR(m) = ETP(m) - P(m) + RU(m) - RU(m-1)$$

DATE DE MISE À JOUR : JANVIER 2025	Société Chimie Nord - Digitalis - Le Buisson																		
	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	Chêne	
AGGLOMERATION LILLOUSE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
AGGLOMERATION LYONNAISE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
ALBERT ET COTE ROCHER	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
ALBERTO CASTELLANI & GALLAZZO	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	
ALPES NORD	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
ALPES NORD EST	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	
ARDENNE PRIMAIRE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
ARSONE	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	
ARTEFICE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
ASPIRE	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	
ASTAC	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	
AUBAC	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
AVANT-CAUSSES	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	
AVANT-MONTS LANGEBOURG	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
AVANT-MONTS LISIENS	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	
BALAGNE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BARDONNES	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	
BARDOS	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	
BAS-ARCOLE ET CHALOSE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BAS-ARMANCAQ	21%	33%	28%	81%	21%	57%	10%	100%	100%	21%	10%	35%	10%	100%	48%	43%	100%	10%	10%
BAS-ARREGE-TREVIÈS-REANANT	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BAS-BAINE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BAS-PAYS DE FLANDRE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BAS-VIVANNOIS	42%	80%	40%	80%	40%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BASSE VALLEE DE L'AIN ET PLAINES DU BAS-DALPHIN	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	
BASSE-CANTONNANNE AUFREVILLE	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	
BASSE-COMBRAILLE	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	
BASSE-MARCHE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BASSES-CANTONNANNE DE NORMANDIE	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BASSES-MONTAGNES BASQUES	10%	15%	13%	15%	10%	15%	10%	15%	10%	15%	10%	15%	10%	15%	10%	15%	10%	15%	
BASSES-GENEVES	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BASSES-BOURGUES GRESLUSES	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BASSIGNY - AMBAÏE ET ANNEES	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	
BASSIN D'ART	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BASSIN D'AURILLAC	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	
BASSIN DE BEVE	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	
BASSIN DE LAUNAC	91%	100%	96%	100%	91%	100%	67%	100%	100%	73%	88%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
BASSIN DE MENNES ET PLATIAU-EST	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BASSIN HOLLANDAIS	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BASSIN DU PUY ET DE SAINT-ETIENNE	30%	37%	46%	37%	35%	37%	10%	81%	31%	35%	10%	57%	10%	81%	49%	41%	81%	10%	
BASSIN D'ALPES	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	
BASSIN D'ARREGE	40%	62%	51%	60%	40%	60%	26%	40%	10%	10%	10%	40%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
BASSIN D'ART	35%	35%																	

Annexe 4 : Modalités du renouvellement en futaie régularisée

La réglementation n'explicitant pas les durées ni les surfaces minimales de renouvellement autorisées pour les futaies feuillues régularisées, une analyse des pratiques a été réalisée.

Pour cela, des documents de gestion agréés dans lesquels des cycles de renouvellement sont prévus ont été étudiés et des experts forestiers ont été consultés. Les données obtenues sont détaillées ci-dessous et ont permis d'estimer des taux et des durées de renouvellement moyens par classes de surfaces. Toutes les analyses réalisées permettent de confirmer que, plus la surface boisée d'une propriété est importante, plus la durée nécessaire pour en assurer le renouvellement complet est longue.

	Surface boisée totale (ha)	Surface feuillue régularisée récoltable (ha)	Surface récoltée annuellement = vitesse (ha/an)	Taux de renouvellement annuel	Durée nécessaire pour tout renouveler (ans)
Moyenne des dires des experts consultés	< 20 ha			5,0%	20
	[20 – 50 ha [			4,0%	25
	[50 – 100 ha [			3,0%	33
	[100 – 200 ha [			2,5%	40
	[200 – 500 ha [			2,0%	50
	[500 – 1000 ha [			1,8%	57
	[1000 – 2000 ha [			1,5%	67
	[2000 – 4000 ha [			1,3%	80
	≥ 4000 ha			1,0%	100
Forêt 1	395	249	7	1,8%	55
Forêt 2	577	248	10	1,7%	59
Forêt 3	731	625	11	1,5%	68
Forêt 4	1262	1152	27	2,1%	47
Forêt 5	4280		54	1,3%	80

Tableau 28 - Données issues de la bibliographie et des entretiens d'experts

La modélisation sur Excel a par la suite permis de déterminer une courbe de tendance cohérente ($R^2 = 95\%$), permettant d'estimer la durée de renouvellement nécessaire en fonction de la surface boisée totale d'une propriété.

C'est la fonction associée qui est utilisée pour déterminer la durée de renouvellement dans les projets (arrondie à l'entier supérieur).

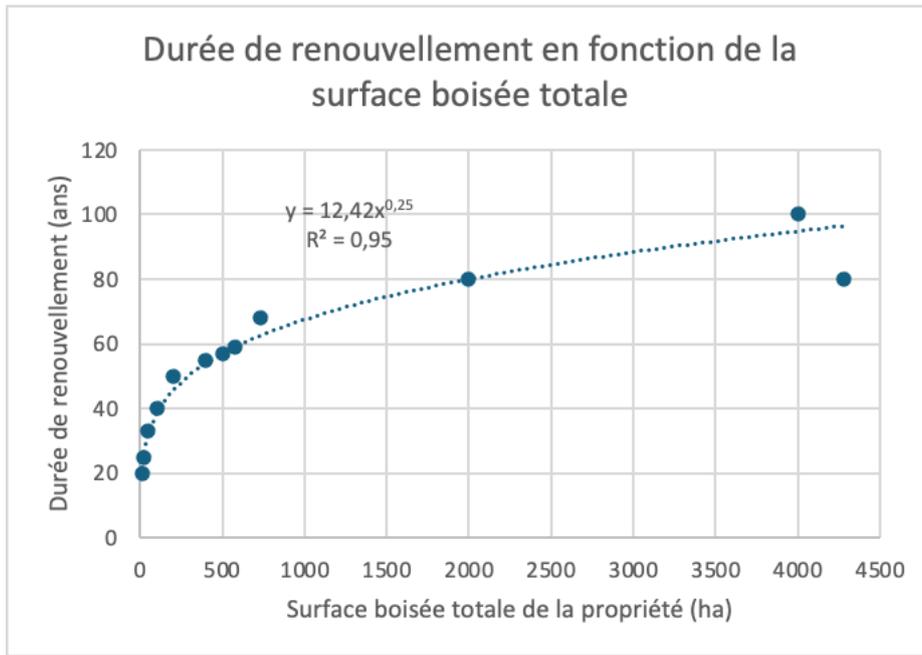


Figure 22 - Courbe de tendance permettant de relier durée de renouvellement et surface boisée totale

Annexe 5 : Modalités de la récolte en irrégulier

D'après l'analyse des données des Schémas Régionaux de Gestion Sylvicole.

	Prélèvement minimum	Prélèvement maximum	Rotation minimale (ans)	Rotation maximale (ans)
Auvergne Rhône Alpes	15%	20%	6	20
Bourgogne Franche Comté		25%	5	12
Centre Val de Loire	5%	20%	7	12
Grand Est	15%	20%	5	12
Île de France	5%	20%	7	12
Normandie	15%	20%	6	15
Nouvelle Aquitaine		30%	6	20
Occitanie		25%	5	15
Pays de la Loire		30%	5	12
Moyenne	11%	23%	6	14

Tableau 29 - Analyse des SRGS pour le Chêne

Soit, en moyenne, pour le Chêne :

- 1,9% du volume totale récolté par an
- 37% du volume total récolté tous les 20 ans

La même démarche est appliquée pour toutes les essences ou groupes d'essences décrits dans les SRGS. Un taux de récolte annuel moyen et un taux de récolte annuel maximum sont définis pour chacun.

Essences	%récolte annuel moyen	%récolte annuel maximum	%récolte annuel moyen sélectionné	%récolte annuel maximum sélectionné
Chêne	1,9%	4,0%	2,0%	4,5%
Hêtre, Érable	2,2%	4,6%	2,0%	4,5%
Châtaignier, taillis	2,6%	5,0%	2,0%	4,5%
Douglas, Sapin, Épicéa	2,8%	5,7%	3,0%	5,5%
Pins, Cèdre	2,5%	5,0%	3,0%	5,5%
Mélèze	2,6%	5,2%	3,0%	5,5%

Tableau 30 - Taux de récolte annuel par essence ou groupe d'essences

Les résultats des affiches de coupes portant la mention de « coupes jardinatoires » sont répertoriés ci-dessous :

Forêt	Gestionnaire	Région	%récoltable
Forêt 1	Gestionnaire A	Auvergne Rhône Alpes	92%
Forêt 2	Gestionnaire B	Auvergne Rhône Alpes	88%
Forêt 3	Gestionnaire C	Bourgogne Franche Comté	75%
Forêt 4	Gestionnaire A	Auvergne Rhône Alpes	79%
Forêt 5	Gestionnaire D	Bourgogne Franche Comté	91%
Forêt 6	Gestionnaire D	Normandie	100%
Forêt 7	Gestionnaire E	Nouvelle Aquitaine	86%
Forêt 8	Gestionnaire A	Pays de la Loire	92%
Moyenne			88%
Écart-type			8%

Tableau 31 - Proportion de volume récoltable prélevé dans différentes propriétés lors de coupes jardinatoires

Annexe 6 : Tables de production et taux d'accroissement imposés par la méthode

Essence	Localisation	Classe de fertilité	Table à utiliser	%acc moyen	Vtot _{max} (m ³)	Source
Chêne sessile	Nord-Est ¹⁵	1	Chêne sessile - Nord-Est - F1	2%	547	Fournier et al. (2022) - Que_pet_SAM-074_1_dynamic_70-75_N
		2	Chêne sessile - Nord-Est - F2	2%	464	Fournier et al. (2022) - Que_pet_SAM-074_2_dynamic_70-75_N
		3	Chêne sessile - Nord-Est - F3	2%	487	Fournier et al. (2022) - Que_pet_SAM-074_3_classic_65-70_P
	Bassin de la Loire ¹⁶	1	Chêne sessile - Bassin Loire - F1	2%	746	Fournier et al. (2022) - Que_pet_SAM-072_1__80-85_N
		2	Chêne sessile - Bassin Loire - F2	2%	648	Fournier et al. (2022) - Que_pet_SAM-072_2__70-75_N
		3	Chêne sessile - Bassin Loire - F3	2%	540	Fournier et al. (2022) - Que_pet_SAM-072_3__55-60_N
	Autres	1	Chêne sp. - Hamilton - F1 (yield 8)	1%	468	Hamilton et Christie (1971) - Oak yield 8
		2	Chêne sp. - Hamilton - F2 (yield 6)	1%	393	Hamilton et Christie (1971) - Oak yield 6
		3	Chêne sp. - Hamilton - F3 (yield 4)	1%	317	Hamilton et Christie (1971) - Oak yield 4
Chêne pédonculé	Nord-Est	1	Chêne pédonculé - Nord-Est - F1	2%	485	Fournier et al. (2022) - Que_rob_SAM-074_1__75-80_N
		2	Chêne pédonculé - Nord-Est - F2	2%	421	Fournier et al. (2022) - Que_rob_SAM-074_2__75-80_N
		3	Chêne sp. - Hamilton - F3 (yield 4)	1%	317	Hamilton et Christie (1971) - Oak yield 4
	Autres	1	Chêne sp. - Hamilton - F1 (yield 8)	1%	468	Hamilton et Christie (1971) - Oak yield 8
		2	Chêne sp. - Hamilton - F2 (yield 6)	1%	393	Hamilton et Christie (1971) - Oak yield 6
		3	Chêne sp. - Hamilton - F3 (yield 4)	1%	317	Hamilton et Christie (1971) - Oak yield 4
Cèdre (Atlas + Liban)	France	2	Cèdre - F2	3%	600	Fournier et al. (2022) - Ced_atl__2_planting density 1100 stems_ha_50-55_P
		3	Cèdre - F3	3%	517	Fournier et al. (2022) - Ced_atl__3_planting density 1100 stems_ha_45-50_P
		4	Cèdre - F4	2%	420	Fournier et al. (2022) - Ced_atl__4_planting density 1100 stems_ha_45_P
Douglas + Séquoia vert	France	1	Douglas - F1	5%	737	Fournier et al. (2022) - Pse_men_SAM-016_1_First thinning 17-18m, high density_50-55_P
		2	Douglas - F2	4%	610	Fournier et al. (2022) - Pse_men_SAM-016_2_First thinning 17-18m, high density_50-55_P
		3	Douglas - F3	2%	510	Fournier et al. (2022) - Pse_men_SAM-016_3_First thinning 19-20m, high density_50-55_P
Hêtre	Pyrénées	1	Hêtre - Pyrénées - F1	2%	462	Fournier et al. (2022) - Fag_syl_SAM-028_1_first thinning 19-20m_60_P
		2	Hêtre - Pyrénées - F2	2%	440	Fournier et al. (2022) - Fag_syl_SAM-028_2_first thinning 19-20m_55_P
	Autres	1	Hêtre - Hamilton - F1 (yield 10)	2%	866	Hamilton et Christie (1971) - Beech yield 10

¹⁵ Les départements qui constituent le Nord-Est sont : Ain (01), Aisne (02), Ardennes (08), Aube (10), Côte d'Or (21), Doubs (25), Jura (39), Marne (51), Haute-Marne (52), Meurthe-et-Moselle (54), Meuse (55), Moselle (57), Nord (59), Bas-Rhin (67), Haut-Rhin (68), Haute-Saône (70), Saône-et-Loire (71), Vosges (88), Yonne (89) et Territoire de Belfort (90).

¹⁶ Les départements qui constituent le Bassin de la Loire sont : Cher (18), Eure-et-Loir (28), Ille-et-Vilaine (35), Indre (36), Indre-et-Loire (37), Loir-et-Cher (41), Loire-Atlantique (44), Loiret (45), Maine-et-Loire (49), Mayenne (53), Nièvre (58), Orne (61), Sarthe (72), Deux-Sèvres (79), Vendée (85), Seine-et-Marne (77), Yvelines (78), Essonne (91), Hauts-de-Seine (92), Seine-Saint-Denis (93), Val-de-Marne (94).

		2	Hêtre - Hamilton - F2 (yield 8)	2%	745	Hamilton et Christie (1971) - Beech yield 8
		3	Hêtre - Hamilton - F3 (yield 6)	1%	592	Hamilton et Christie (1971) - Beech yield 6
		4	Hêtre - Hamilton - F4 (yield 4)	1%	439	Hamilton et Christie (1971) - Beech yield 4
Sapin pectiné	Alpes du Sud ¹⁷	1	Sapin pectiné - Alpes Sud - F1	2%	518	Fournier et al. (2022) - Abi_alb_TEC-007_1_SP1_d5_50-55_P
		2	Sapin pectiné - Alpes Sud - F2	1%	404	Fournier et al. (2022) - Abi_alb_TEC-007_2_SP2_d4_45-50_N
	Autres	1	Sapin pectiné - Jura - F1	3%	643	Fournier et al. (2022) - Abi_alb_SAM-047_1_general case_50-55_P
		2	Sapin pectiné - Jura - F2	2%	629	Fournier et al. (2022) - Abi_alb_SAM-047_2_general case_50-55_P
Pin d'Alep	France	1	Pin d'Alep - F1	3%	296	Fournier et al. (2022) - Pin_hal_SAM-049_1_35-40_P
		2	Pin d'Alep - F2	3%	263	Fournier et al. (2022) - Pin_hal_SAM-049_2_35-40_P
Pin laricio	France	1	Pin laricio - F1	3%	676	Fournier et al. (2022) - Pin_nig_lar_TEC-001_1_50-55_P
		2	Pin laricio - F2	3%	524	Fournier et al. (2022) - Pin_nig_lar_TEC-001_2_50-55_P
		3	Pin laricio - F3	3%	403	Fournier et al. (2022) - Pin_nig_lar_TEC-001_3_45-50_P
Pin maritime	Landes		Pin maritime - Landes	5%	536	Fournier et al. (2022) - Pin_pin_EAM-001_3_40-45_P
	Autres	1	Pin maritime - Centre - F1	4%	580	Fournier et al. (2022) - Pin_pin_TEC-001_1_55_P
		2	Pin maritime - Centre - F2	4%	460	Fournier et al. (2022) - Pin_pin_TEC-001_2_50_P
		3	Pin maritime - Centre - F3	4%	358	Fournier et al. (2022) - Pin_pin_TEC-001_3_45_P
Pin sylvestre	Alpes du Sud	1	Pin sylvestre - Alpes Sud - F1	2%	351	Fournier et al. (2022) - Pin_syl_TEC-007_1_PS1_d3_45-50_P
		2	Pin sylvestre - Alpes Sud - F2	2%	252	Fournier et al. (2022) - Pin_syl_TEC-007_2_PS2_d2_40-45_P
	Autres	1	Pin sylvestre - Centre - F1	2%	542	Fournier et al. (2022) - Pin_syl_TEC-001_1_early thinning_45-50_P
		2	Pin sylvestre - Centre - F2	2%	420	Fournier et al. (2022) - Pin_syl_TEC-001_2_early thinning_45-50_P
		3	Pin sylvestre - Centre - F3	2%	310	Fournier et al. (2022) - Pin_syl_TEC-001_3_early thinning_45_P
Châtaignier	France	1	Érable sycomore - F1 (yield 12)	3%	648	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 12
		2	Érable sycomore - F2 (yield 10)	3%	537	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 10
		3	Érable sycomore - F3 (yield 8)	2%	407	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 8
		4	Érable sycomore - F4 (yield 6)	1%	309	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 6
		5	Érable sycomore - F5 (yield 4)	1%	224	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 4
Érable (champêtre, sycomore, plane)	France	1	Érable sycomore - F1 (yield 12)	3%	648	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 12
		2	Érable sycomore - F2 (yield 10)	3%	537	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 10
		3	Érable sycomore - F3 (yield 8)	2%	407	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 8
		4	Érable sycomore - F4 (yield 6)	1%	309	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 6
		5	Érable sycomore - F5 (yield 4)	1%	224	Hamilton et Christie (1971) - Sycomare yield 4
Mélèze d'Europe	France	1	Mélèze Europe - F1 (yield 12)	2%	529	Hamilton et Christie (1971) - European larch yield 12

¹⁷ Les départements qui constituent les Alpes du Sud sont : Alpes-de-Haute-Provence (04), Hautes-Alpes (05), Alpes-Maritimes (06) et Vaucluse (84).

		2	Mélèze Europe - F2 (yield 10)	1%	454	Hamilton et Christie (1971) - European larch yield 10
		3	Mélèze Europe - F3 (yield 8)	1%	377	Hamilton et Christie (1971) - European larch yield 8
		4	Mélèze Europe - F4 (yield 6)	1%	307	Hamilton et Christie (1971) - European larch yield 6
		5	Mélèze Europe - F5 (yield 4)	1%	244	Hamilton et Christie (1971) - European larch yield 4
Bouleau	France	6	Bouleau - F6	2%	441	Braastad (1967) - Betula - yield 6
		5	Bouleau - F5	2%	370	Braastad (1967) - Betula - yield 5
		4	Bouleau - F4	2%	301	Braastad (1967) - Betula - yield 4
		3	Bouleau - F3	2%	228	Braastad (1967) - Betula - yield 3
Chêne rouge	France	9	Chêne rouge - F9	2%	402	Faber (1996) - Quercus rubra - yield 9
		8	Chêne rouge - F8	2%	371	Faber (1996) - Quercus rubra - yield 8
		7	Chêne rouge - F7	2%	342	Faber (1996) - Quercus rubra - yield 7
		6	Chêne rouge - F6	2%	311	Faber (1996) - Quercus rubra - yield 6
		5	Chêne rouge - F5	1%	271	Faber (1996) - Quercus rubra - yield 5
		4	Chêne rouge - F4	2%	232	Faber (1996) - Quercus rubra - yield 4
Merisier	France	1	Merisier - F1	3%	447	Pryor (1988) - The silviculture and yield of Wild Cherry - good fertility
		2	Merisier - F2	2%	381	Pryor (1988) - The silviculture and yield of Wild Cherry - poor fertility
Robinier	France	1	Robinier - F1	2%	424	Rédei et al. (2014) - Growth and yield of Black Locust - yield 1
		2	Robinier - F2	2%	348	Rédei et al. (2014) - Growth and yield of Black Locust - yield 2
		3	Robinier - F3	2%	278	Rédei et al. (2014) - Growth and yield of Black Locust - yield 3
		4	Robinier - F4	2%	216	Rédei et al. (2014) - Growth and yield of Black Locust - yield 4
		5	Robinier - F5	2%	161	Rédei et al. (2014) - Growth and yield of Black Locust - yield 5
Charme	France	1	Chêne sp. - Hamilton - F1 (yield 8)	1%	468	Hamilton et Christie (1971) - Oak - yield 8
		2	Chêne sp. - Hamilton - F2 (yield 6)	1%	393	Hamilton et Christie (1971) - Oak - yield 6
		3	Chêne sp. - Hamilton - F3 (yield 4)	1%	317	Hamilton et Christie (1971) - Oak - yield 4
Chêne pubescent + Tilleul	France	9	Chêne pédonculé - Oosterbaan - F9	3%	511	Oosterbaan (1988) - Quercus robur - yield 9
		8	Chêne pédonculé - Oosterbaan - F8	2%	482	Oosterbaan (1988) - Quercus robur - yield 8
		7	Chêne pédonculé - Oosterbaan - F7	2%	435	Oosterbaan (1988) - Quercus robur - yield 7
		6	Chêne pédonculé - Oosterbaan - F6	2%	391	Oosterbaan (1988) - Quercus robur - yield 6
		5	Chêne pédonculé - Oosterbaan - F5	2%	347	Oosterbaan (1988) - Quercus robur - yield 5
		4	Chêne pédonculé - Oosterbaan - F4	2%	298	Oosterbaan (1988) - Quercus robur - yield 4
		3	Chêne pédonculé - Oosterbaan - F3	2%	247	Oosterbaan (1988) - Quercus robur - yield 3

Annexe 7 : Détermination des classes de fertilité, en fonction de l'âge et de la hauteur dominante des peuplements

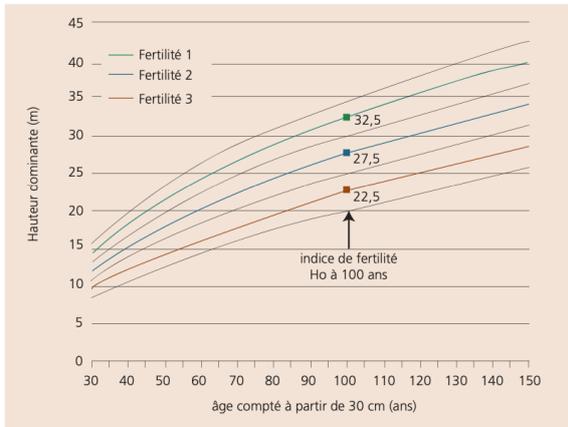


Figure 21 : chêne sessile : courbes de croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge pour les trois classes de fertilité

Chêne sessile – Nord Est (Sardin, 2008)

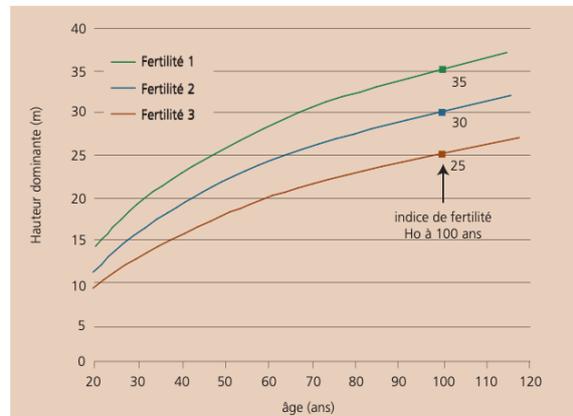
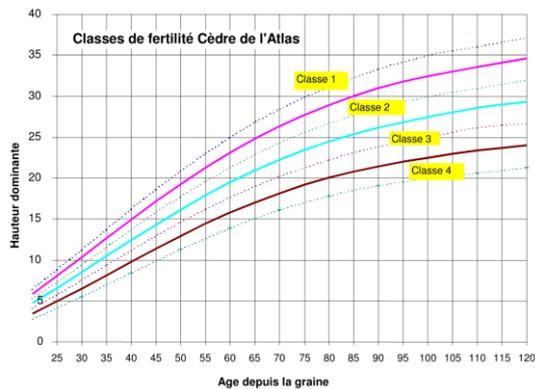
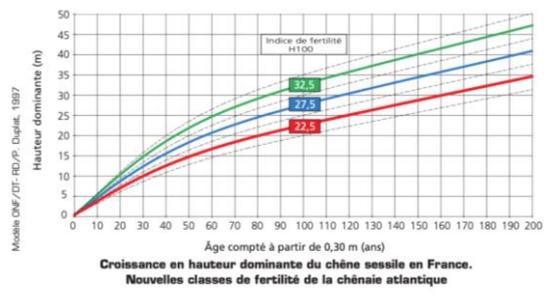


Figure 22 : chêne pédonculé : courbes de croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge pour les trois classes de fertilité

Chêne pédonculé – Nord Est (Sardin, 2008)



Cèdre (Courdier, 2008)



Chêne sessile – Bassin Loire (Jarret, 2004)

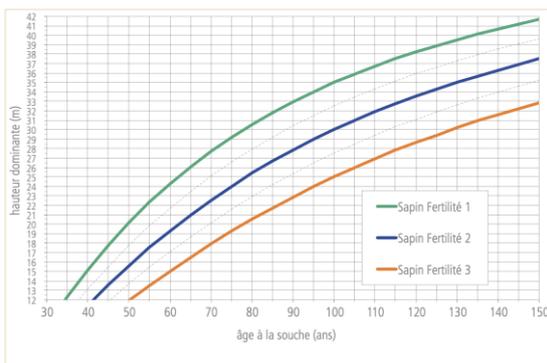
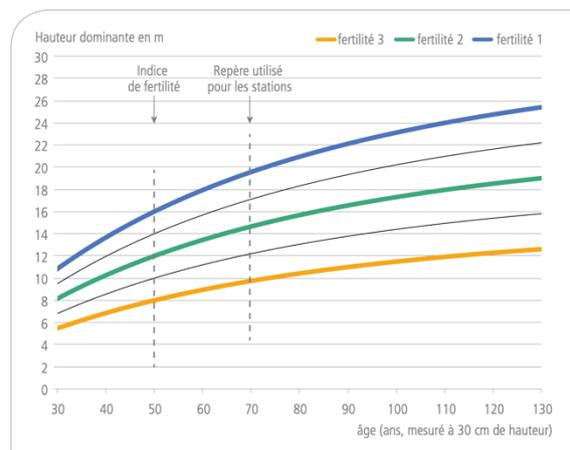


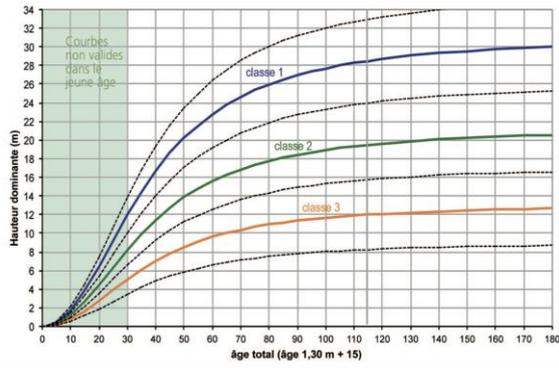
Figure 6 : courbes de croissance en hauteur du sapin selon la classe de fertilité (d'après JD Bontemps, LERFoB-NANCY)

Sapin pectiné – Jura (Abt, 2014)

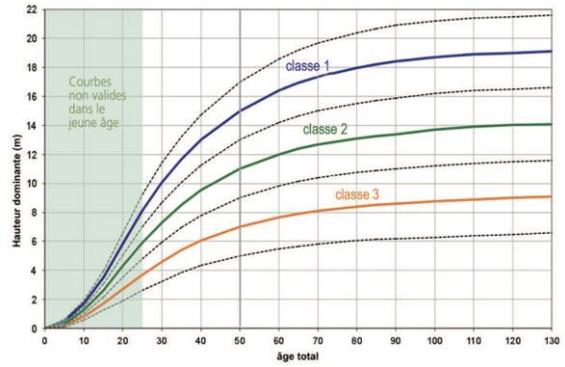


Courbes de croissance en hauteur dominante du pin d'Alep selon l'âge à la souche (synthèse des travaux ONF et Cemagref par Philippe Dreyfus)

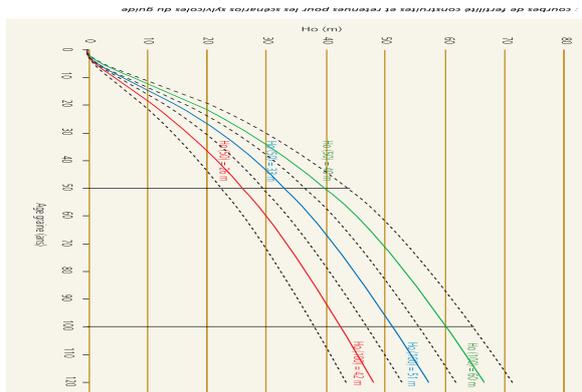
Pin d'Alep (ONF, 2015)



Sapin pectiné – Alpes du Sud (Ladier et al. 2012)



Pin sylvestre – Alpes du Sud (Ladier et al. 2012)



Douglas (Angelier, 2007)

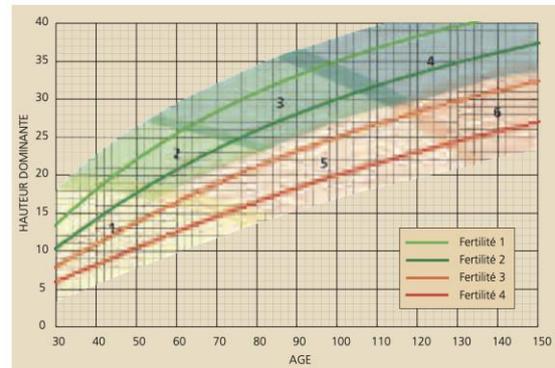


Figure 4 : courbes de fertilité* et représentation des six couples fertilité - âge** déterminant les préconisations sylvicoles

Hêtre – Pyrénées (Sardin, 2013)

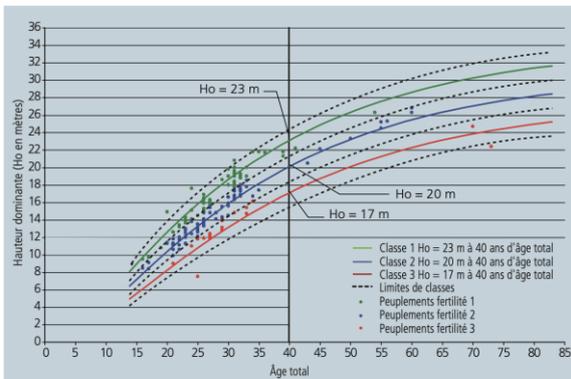


Figure 14 : situation des 162 peuplements de pin laricio diagnostiqués par rapport aux courbes de croissance

Pin laricio (Chabaud et Nicolas, 2009)

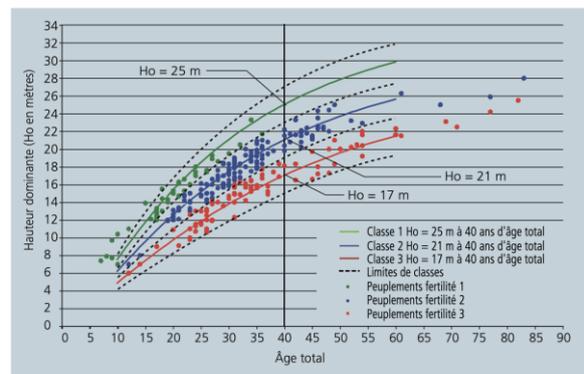


Figure 15 : situation des 288 peuplements de pin maritime diagnostiqués par rapport aux courbes de croissance

Pin maritime (Chabaud et Nicolas, 2009)

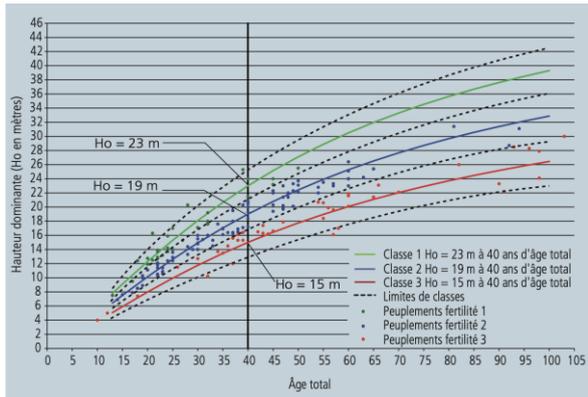
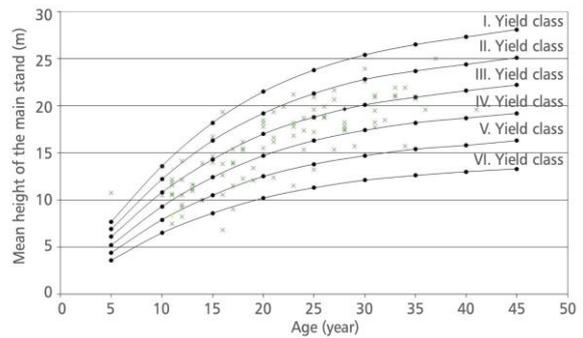
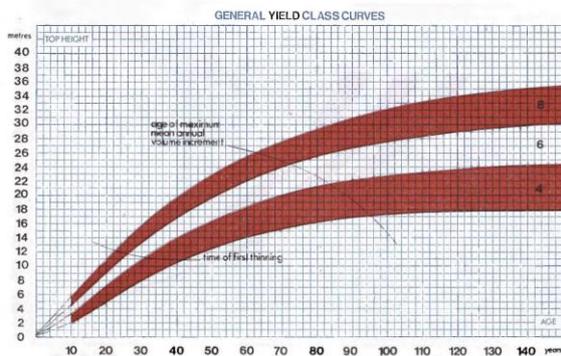


Figure 13 : situation des 191 peuplements de pin sylvestre diagnostiqués par rapport aux courbes de croissance
Pin sylvestre – Centre (Chabaud et Nicolas, 2009)



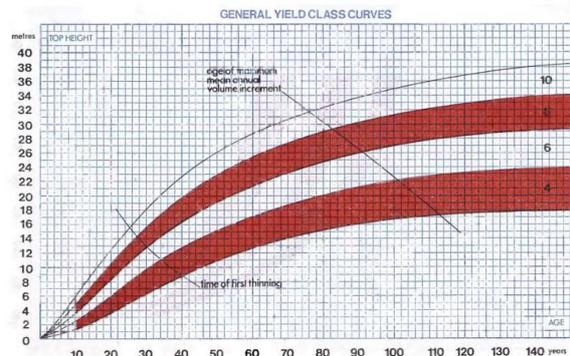
Robinier (Redei, 2014)

OAK



Chêne (Hamilton, 1971)

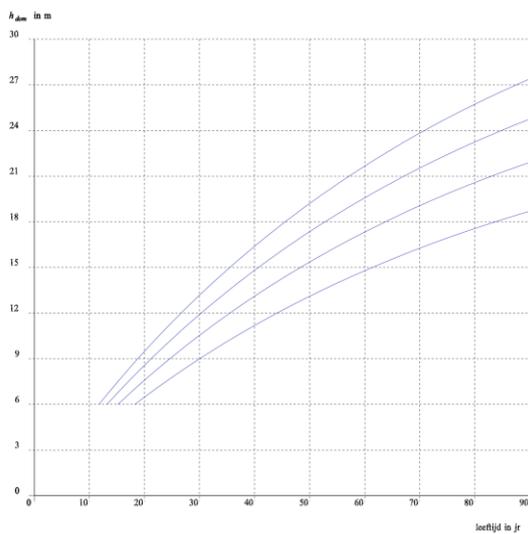
BEECH



Hêtre (Hamilton, 1971)

BERK

Betula pendula Roth & *Betula pubescens* Ehrh.
 Noorwegen; naar Braastad, 1967

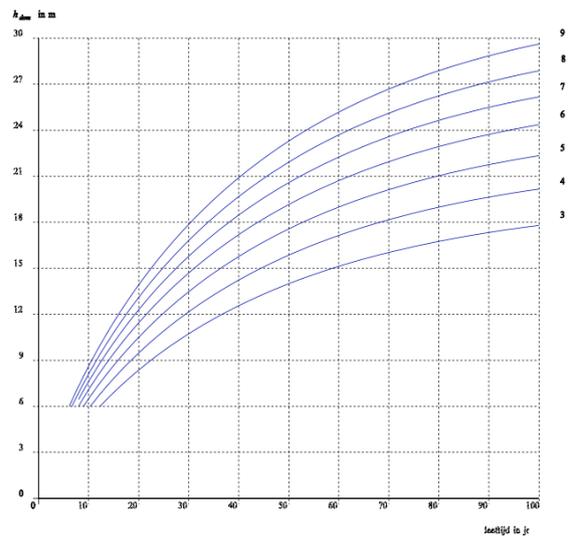


Bouleau (Braastad, 1967)

AMERIKAANSE EIK

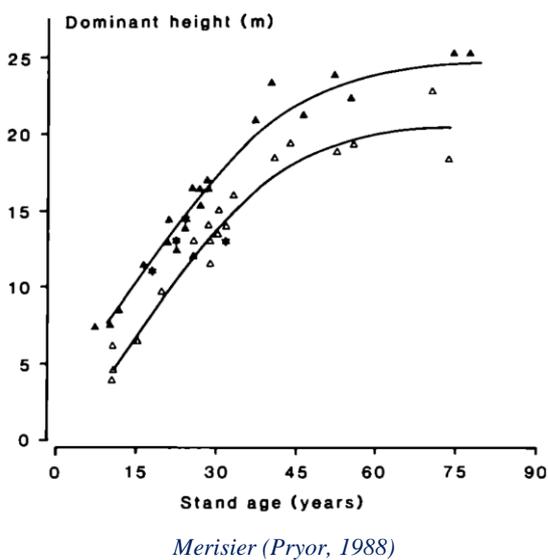
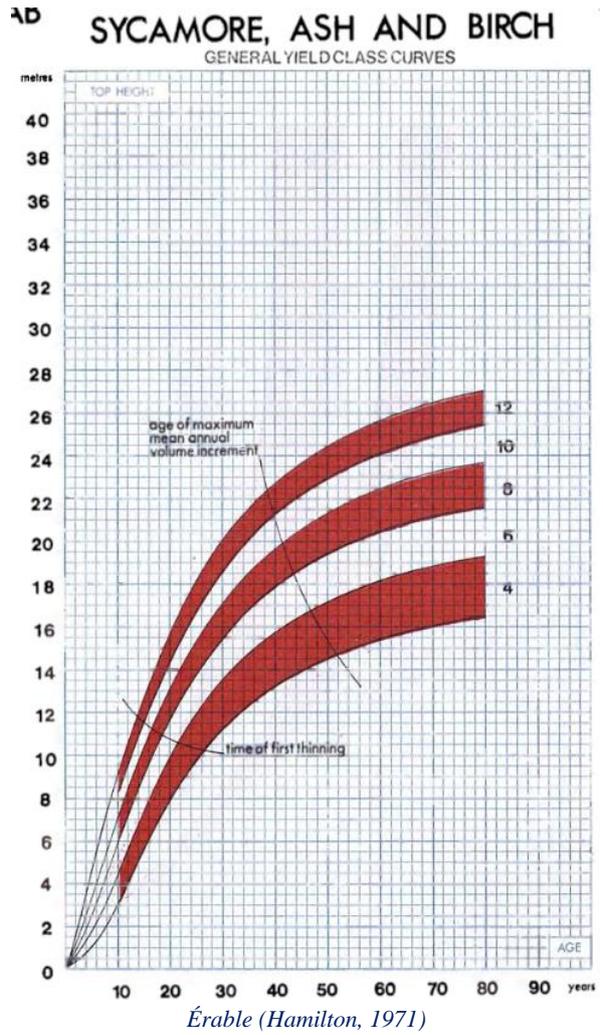
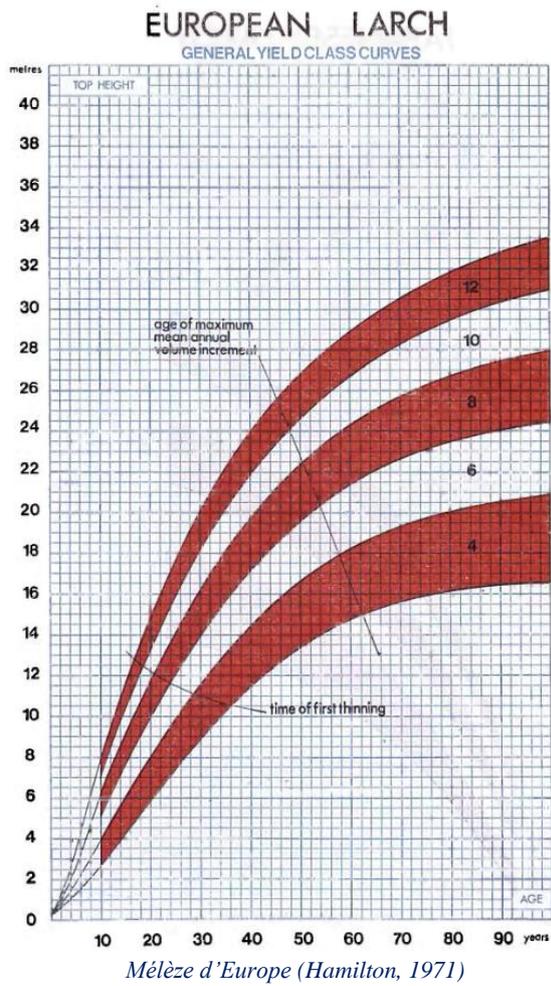
Quercus rubra L.

Nederland; Faber, 1996

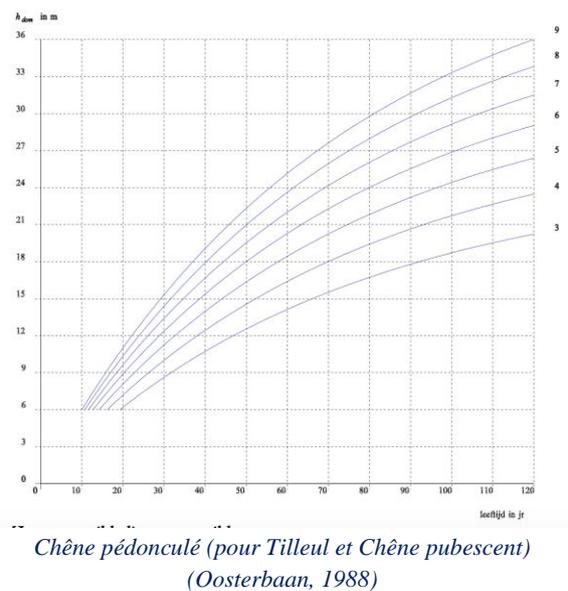


Hoogteontwikkeling per groeiklasse

Chêne rouge (Faber, 1996)



ZOMEREIK
Quercus robur L.
Nederland; naar Oosterbaan, 1988



Annexe 8 : Coefficients de substitution annuels

Date	Coefficient de substitution pour les sciages (bois d'œuvre)	Coefficient de substitution pour les panneaux (bois d'industrie)	Coefficient de substitution pour le bois énergie
2024	1,52	0,77	0,50
2025	1,50	0,74	0,48
2026	1,48	0,71	0,46
2027	1,46	0,68	0,44
2028	1,44	0,65	0,42
2029	1,42	0,62	0,40
2030	1,40	0,59	0,38
2031	1,38	0,56	0,37
2032	1,36	0,53	0,35
2033	1,34	0,50	0,33
2034	1,32	0,47	0,31
2035	1,30	0,44	0,29
2036	1,28	0,41	0,27
2037	1,26	0,39	0,25
2038	1,24	0,36	0,23
2039	1,22	0,33	0,21
2040	1,20	0,30	0,19
2041	1,18	0,27	0,17
2042	1,16	0,24	0,15
2043	1,14	0,21	0,13
2044	1,12	0,18	0,12
2045	1,10	0,15	0,10
2046	1,08	0,12	0,08
2047	1,06	0,09	0,06
2048	1,04	0,06	0,04
2049	1,02	0,03	0,02
2050	1,00	0,00	0,00
Après 2050	1,00	0,00	0,00