



LES QUESTIONS - RÉPONSES

Quelles nouvelles précautions
prendre pour la conduite d'une
régénération naturelle en contexte
de changement climatique ?

Céline PERRIER, CNPF-IDF

Jérôme ROSA, CRPF Ile de France-Centre-Val-de-Loire



Auteurs : Céline PERRIER, CNPF-IDF
Jérôme ROSA, CRPF Ile de France-Centre-Val-de-Loire

Citation du document : PERRIER C. & ROSA J., 2025.
Quelles nouvelles précautions prendre pour la conduite d'une régénération naturelle en contexte de changement climatique ? *Question D3*.
Les cahiers du réseau AFORCE. Collection de cahiers
« Les Questions-Réponses ». RMT AFORCE. 32 pages.

Ont participé au financement de ce projet :

- le ministère en charge de l'Agriculture et des Forêts
- l'interprofession nationale France Bois Forêt

Conception graphique et mise en page : Agathe Legrand

ISBN : 978-2-38558-110-7
© RMT AFORCE, 2025

LES QUESTIONS - RÉPONSES

Quelles nouvelles précautions
prendre pour la conduite
d'une régénération naturelle
en contexte de changement
climatique ?

Céline PERRIER, *CNPF-IDF*

Jérôme ROSA, *CRPF Ile de France-Centre-Val-de-Loire*



PRÉAMBULE

Les dernières publications du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) font état d'une évolution alarmante des températures à l'échelle planétaire. Ce changement inquiète les forestiers qui font face depuis plusieurs années déjà à des impacts de plus en plus perceptibles (baisse de croissance, mortalités de branches, dépérissements d'arbres, etc.). Ils craignent qu'à cette évolution progressive viennent s'ajouter des à-coups climatiques (sécheresses, gels précoces ou tardifs, etc.) avec des impacts ayant de graves conséquences secondaires telles que des incendies ou des invasions par des bioagresseurs pouvant s'étendre sur de vastes territoires. La forêt devra aussi faire face à des changements plus globaux tels que des besoins et usages nouveaux du bois, une demande sociétale croissante, l'émergence de maladies liée à la mondialisation des échanges commerciaux.

Dans ce contexte, les forestiers s'interrogent sur l'attitude à adopter : faut-il cesser d'intervenir dans les peuplements pour laisser faire la nature, poursuivre les interventions comme prévu ou modifier la sylviculture par anticipation ? Les questions sont nombreuses et témoignent d'une inquiétude grandissante. Pour éclairer les décisions, le réseau AFORCE travaille à mettre à disposition des forestiers des synthèses de connaissances, un panorama des outils d'aide à la décision disponibles et des éléments techniques permettant d'appuyer l'évolution des pratiques et de rendre plus efficace l'adaptation des forêts.

PRÉSENTATION DE LA COLLECTION

Réalisé dans le cadre des actions du réseau AFORCE, avec l'appui d'un groupe de travail multi-acteurs, ce cahier appartient à une **Collection de cahiers « Les Questions-Réponses » centrée sur l'adaptation des forêts au changement climatique**. Chacun des cahiers de cette collection s'appuie sur les éléments de connaissance et le savoir-faire accumulés au sein et en dehors du réseau AFORCE ces dernières années (réalisation d'outils, questionnements des praticiens, définitions, simulations, bilans d'expérimentations, etc.), et sur une synthèse de documents sélectionnés dans la littérature scientifique et technique.

Les questions traitées dans cette collection de cahiers sont regroupées autour de cinq thématiques : diagnostic, choix des essences, gestion, renouvellement des peuplements et anticipation du risque associé au changement climatique. **Les réponses apportées visent à aider au raisonnement du forestier et à soutenir ses décisions pratiques** : comprendre l'enjeu, effectuer un bon diagnostic, utiliser les outils appropriés et identifier un panel d'options alternatives dans lesquelles piocher.

À QUI S'ADRESSE CETTE COLLECTION ?

Elle s'adresse prioritairement aux gestionnaires, aux propriétaires forestiers avertis, aux conseillers et aux agents de développement.

Elle peut également être mise à profit par les décideurs publics, les formateurs, les enseignants et les étudiants.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
I. RAPPEL DES CONNAISSANCES	8
1. Dans quelles situations renouveler par régénération naturelle ?	9
2. Quels sont les atouts et limites du renouvellement par régénération naturelle ?	11
3. Principaux enjeux de la régénération naturelle en contexte de changement climatique	12
II. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS	16
1. Construction du projet de renouvellement	17
2. Préparation du renouvellement par régénération naturelle	19
2.1. Identifier le potentiel de semenciers	19
2.2. Choisir un itinéraire de renouvellement approprié	20
3. Éléments pour la mise en œuvre de la régénération naturelle	21
3.1. Coupe d'ensemencement	21
3.2. Préparation du sol	23
3.3. Coupes secondaires et coupe définitive	23
3.4. Entretenir et dépresser pour gérer les densités et sélectionner les semis	24
4. Complémenter la régénération naturelle par des plantations	26
III. CONSEILS ET POINTS DE VIGILANCE	28
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	30

CONSEILS DE LECTURE

Le vocabulaire nécessaire à la compréhension est défini en notes de bas de page. Si besoin, d'autres définitions sont consultables à cette adresse : www.reseau-aforce.fr

Les références de type A₃, C₁, etc. incluses dans le texte sont des renvois aux autres questions traitées dans les cahiers « Les Questions-Réponses ».

INTRODUCTION

Les évolutions du climat ont pour conséquence de modifier les conditions d'accès aux ressources (eau, nutriments) et d'augmenter certains facteurs de risques (ravageurs, pathogènes, événements météorologiques extrêmes) pour les arbres. Dans les phases de renouvellement, ces ressources sont essentielles pour faire face aux aléas et pour garantir la production de graines, leur germination et la survie des jeunes semis. Réussir une régénération naturelle par graine (cas traité ici) est donc plus difficile dans le contexte du changement climatique et implique de raisonner encore plus soigneusement chaque étape du processus.

Pour rappel, la régénération naturelle est initiée par une intervention de gestion créant un abaissement du taux de couvert ou une ouverture plus localisée dans le peuplement en place (coupe d'ensemencement, coupe par bandes par exemple). L'objectif de l'opération sylvicole est de favoriser la fructification, la germination des graines puis la croissance des semis. Ce processus peut également être déclenché par un aléa générant des ouvertures (mortalité diffuse, chablis, incendie).

Pour un peuplement irrégulier, la régénération naturelle est diffuse.

Elle est favorisée tout au long de la vie du peuplement, à chaque coupe de jardinage, conjointement avec les opérations d'exploitation et d'entretien (tous les 6 à 10 ans en général).

Pour un peuplement régulier (cas traité ici), le choix de renouveler par régénération naturelle doit être fait suffisamment en amont pour s'assurer que les semenciers sont en capacité de donner des graines pendant toute la durée du processus. Il intervient donc bien avant que ne soient atteintes les dimensions d'exploitabilité, de façon à pouvoir mettre en place progressivement des conditions propices à la fructification et à l'acquisition de la régénération (cf. D1). Comme cette opération conditionne l'avenir de la parcelle durant plusieurs décennies, elle doit s'appuyer sur un diagnostic forestier à la fois global et précis (cf. A1, A2 et A3). Elle doit ensuite faire l'objet d'une surveillance toute particulière pour permettre des réajustements selon les difficultés rencontrées.

Dans le contexte du changement climatique, comprendre les processus de régénération naturelle et revoir en conséquence l'accompagnement associé sont essentiels pour assurer la continuité du renouvellement et la restauration de peuplements affectés par des aléas.

I. RAPPEL DES CONNAISSANCES



1. Dans quelles situations renouveler par régénération naturelle ?

Un renouvellement par régénération naturelle peut s'envisager lorsqu'on dispose d'un peuplement dont la descendance est susceptible, malgré les risques anticipés, de remplir les objectifs futurs assignés à la parcelle (production, protection, maintien d'un état boisé, etc.) et qui soit composé de semenciers en nombre suffisant¹. A minima, ces semenciers devront donc être :

- composés d'essences en station à ce jour et sur la durée du cycle suivant (cf. A₃), présentant la qualité attendue au regard des objectifs (production par exemple) et enjeux, et en bon état sanitaire (cf. A₂) ;
- en capacité de fournir des graines viables, en quantité suffisante pour ensemençer la zone à régénérer.

Pour rappel, la quantité, la qualité et la fréquence de production de graines par un semencier varie selon les espèces. Elle est aussi dépendante du climat et des possibles stress associés, des conditions nutritionnelles (possibilité de constituer des réserves carbonées pour les graines) et de la prédation (insectes, oiseaux...).

Les possibilités de germination des graines une fois arrivées au sol sont des éléments complémentaires à vérifier : réceptivité du sol, contrôle de la végétation et de la pression des herbivores (cf. Illustrations 1 et 2). Chaque espèce a des besoins pour s'implanter qui lui sont propres.

Source : Cilles Bossuet © CNPF



Illustration 1 : Installation de semis de mélèze d'Europe.

¹ Dans certains cas, un enrichissement de la régénération naturelle peut être envisagé, notamment si elle est insuffisante ou pour permettre l'introduction d'autres espèces (cf. §II.4).

On fait appel à la régénération naturelle lorsqu'il est intéressant de conserver les essences et le matériel génétique en place

(cf. B1). Elle peut également être privilégiée dans certains cas particuliers : peuplement situé sur un sol sensible au tassement ou avec un risque d'engorgement par remon-

tée de la nappe, au sein d'une aire protégée, sur un terrain accidenté ou sur une station difficile. Pour ces cas de figure, le recours à ce mode de renouvellement constitue souvent un choix technique adapté. Généralement, l'objectif de production est plus secondaire dans ces situations.

Source : © Philippe Gaudy



Illustration 2 : Installation de semis de hêtre.

2.

Quels sont les atouts et limites du renouvellement par régénération naturelle ?

Atouts	Limites
- Assure le maintien d'une couverture végétale tout au long du processus de renouvellement (protection du sol, modification moins brutale du paysage). - Aide à un développement équilibré des semis entre partie aérienne et souterraine, en évitant le stress de transplantation². - Permet le renouvellement d'essences non disponibles à la vente en pépinière (absence de peuplements sélectionnés ou récoltés dans certaines régions de provenance ou approvisionnement insuffisant). - Peut favoriser l'installation d'une diversité génétique naturelle au sein des espèces grâce au grand nombre de semis installés, augmentant les possibilités d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques (cf. §II.2.1). - Réduit le risque d'échec face aux aléas saisonniers grâce au maintien d'un couvert durant les stades les plus sensibles. - Dilue en partie le risque de dégâts liés aux herbivores grâce à un plus grand nombre de semis. - Permet pour la plupart des essences la réduction des coûts achat des plants, protection individuelle contre les herbivores, main d'œuvre pour la plantation, etc., ou tout du moins permet un meilleur étalement des opérations coûteuses dans le temps. - Implique des opérations sylvicoles généralement moins perturbatrices pour l'environnement.	- Ne permet pas une adaptation rapide du matériel végétal à un environnement changeant. - Est conditionné par la présence de semenciers. - Implique une dépendance aux conditions de fructification, très variables pour certaines essences et régions. Une adaptation au rythme et à la quantité de production des graines par le peuplement adulte est indispensable. - Nécessite une ouverture et un maintien prolongé des semenciers qui représente un risque vis-à-vis des tempêtes et des stress hydriques. - Nécessite un suivi assez soutenu de chacune des étapes en fonction de la dynamique de constitution du nouveau couvert forestier (dosage de la lumière, dépressage³, sélection des essences à conserver, etc.). - Dépend des possibilités de commercialisation des produits à chaque étape. - L'exploitation des coupes est délicate car elle doit préserver au maximum les semis.

² Lors de la plantation, les plants qui ont été élevés dans les conditions très favorables de la pépinière sont transplantés dans un milieu bien moins propice à leur développement auquel ils doivent s'adapter (extrait de Landmann & al., 2023). Le stress que subit alors le plant peut provoquer des retards de croissance, des pertes de vigueur, voire impacter ses chances de survie.

³ Intervention sylvicole de réduction significative de la densité des tiges des essences principales dans de jeunes peuplements forestiers. Elle précède la première éclaircie et porte sur des produits généralement non marchands (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

3. Principaux enjeux de la régénération naturelle en contexte de changement climatique

Le changement climatique en cours tend vers une augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas biotiques et abiotiques (gels précoces ou tardifs, coups de chaleur, etc.), et vers des variabilités interannuelles du climat plus marquées.

Ces évolutions modifient les conditions dans lesquelles s'opère le renouvellement des peuplements. Chacune des étapes peut être plus ou moins directement impactée : la reproduction (floraison, dissémination du pollen, fécondation, fructification, dispersion des graines), la dormance des graines jusqu'à leur germination et le développement des semis.

Le changement climatique influe notamment sur les processus physiologiques et biochimiques des arbres, des graines (pertes de capacité germinative par exemple) et des semis. Il perturbe aussi l'accès aux ressources nécessaires à la reproduction et à la croissance des semis (eau, nutriments).

Avec l'augmentation de la durée de la période de végétation, on constate que le débourrement – tant des bourgeons végétatifs que floraux – se fait plus tôt. Le risque est alors accru qu'ils se retrouvent exposés à

des gelées tardives. Globalement, du fait des variations interannuelles du climat, on peut noter :

- une réduction de la durée des intervalles de temps propices à la reproduction et à la germination ;
- une plus grande variabilité dans la fréquence de retour de ces périodes ;
- une désynchronisation des floraisons (le brassage de pollen étant alors moins important – puisque moins d'arbres en fleurs sur une même période –, il peut en résulter une perte de diversité).

Par ailleurs, la récurrence des aléas tels que les sécheresses provoque du stress pour les arbres. Il génère des dommages – voire de la mortalité – et pousse les individus à réserver leurs ressources, de fait limitées, à la survie plutôt qu'à la reproduction. Le stress peut engendrer des avortements⁴ et des baisses de fructification. Dans les cas où la mortalité est importante, les populations se réduisent, entraînant une réduction du potentiel de fructification et de la diversité génétique. Parallèlement, le stress peut aussi avoir pour effet positif d'augmenter la pression à l'origine du processus de sélection naturelle. Mais comme il s'opère sur

⁴ Par manque de ressources, le développement des graines est stoppé avant de pouvoir arriver à maturité.



Illustration 3 : Effets de la sécheresse sur une régénération naturelle par semis de hêtre.

un nombre réduit d'individus, les combinaisons génétiques possibles sont plus limitées.

Enfin, les prédateurs des graines (ongulés, micromammifères, oiseaux...), les champignons pathogènes et les insectes ravageurs sont aussi impactés par l'évolution du climat : expansion des aires de distribution des insectes ravageurs favorisée par la tendance globale d'évolution des températures, proliférations des populations favorisée par des hivers moins rigoureux, modification des comportements à la suite d'une tempête ou d'une ouverture du peuplement...

Le processus de régénération naturelle s'étale sur une période de plusieurs années. Aussi, la durée d'exposition aux aléas est importante (cf. Illustrations 3 et 4).

Les semis ne sont pas les seuls concernés : le peuplement adulte, fortement ouvert dans le cadre de la régénération, est lui aussi rendu plus sensible aux aléas (notamment vents forts et stress hydriques). Cet étalement dans le temps du processus constitue donc une prise de risque mais parallèlement, il augmente aussi les chances de tirer profit d'une année favorable. **Ce contexte global nécessite de veiller à une adaptation continue des**

interventions. Il devient ainsi difficile de prévoir un enchaînement simple et répétable des opérations dans le temps.

Le choix de l'essence à favoriser lors du renouvellement constitue aussi un défi important. Quel que soit le scénario d'évolution climatique envisagé, il est certain que la bonne capacité spontanée d'une essence à se renouveler aujourd'hui ne sera pas une garantie suffisante de survie ni de croissance soutenue à l'âge adulte. Aussi, plus que par le passé, il est important de rappeler qu'une régénération naturelle qui se met en place spontanément ne constitue pas un critère permettant d'identifier les essences d'avenir d'un peuplement (cf. B1).

Il y a aussi un enjeu fort à promouvoir autant que possible une diversité spécifique et génétique à tous les stades du renouvellement, de manière à conférer aux peuplements futurs une meilleure capacité de résistance aux aléas et de résilience⁵ face aux évolutions climatiques.

À tout cela s'ajoutent des enjeux communs à l'ensemble des modes de renouvellement : organisation des travaux sylvicoles, défis techniques à relever, demande sociétale plus pressante, etc. Ils sont décrits dans le cahier D1.

⁵ Capacité que possède un écosystème (sol, communauté végétale, peuplement forestier, etc.) à retrouver son état ou ses fonctions d'origine, par différents processus de dynamique progressive, après sa destruction totale ou partielle par un aléa naturel ou une perturbation (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

Source : Sylvain Gaudin © CNPF

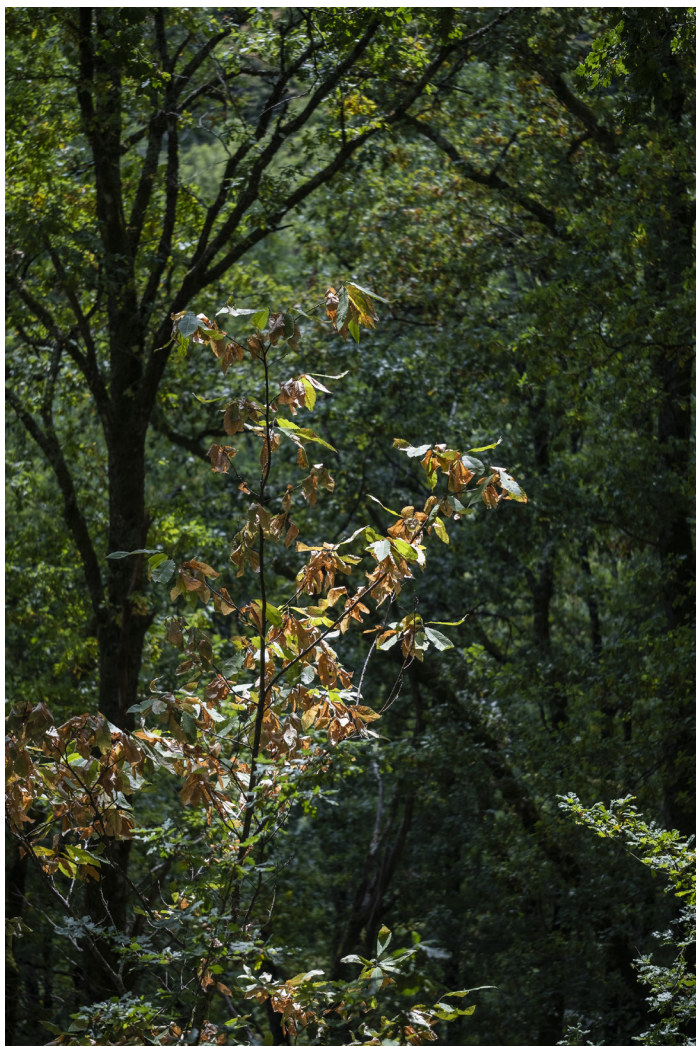


Illustration 4 : Semis de châtaignier en sous-étage après la sécheresse et la canicule.

II. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS



La réussite du projet de régénération naturelle dépend en grande partie de la réflexion menée en amont pour identifier le potentiel bioclimatique et forestier sur lequel s'appuyer, les blocages possibles et les contraintes à lever. Les objectifs poursuivis doivent être clairement définis afin de sélectionner un itinéraire de renouvellement adéquat, en y intégrant les possibilités d'adaptation aux évolutions climatiques.

1. Construction du projet de renouvellement

La construction de tout projet de renouvellement doit s'appuyer sur un diagnostic forestier de la parcelle et de son évolution possible (cf. A₁, A₂ et A₃), complété par un diagnostic spécifique au renouvellement. Ce diagnostic dépasse l'aspect sylvicole. Il intègre par exemple, une analyse environnementale considérant des critères tels que la diversité spécifique ou l'identification d'îlots de sénescence. Le bilan de ces diagnostics permet de vérifier si la régénération naturelle par graine constitue le mode de renouvellement le plus approprié à la situation vis-à-vis notamment de la gestion des risques (cf. D₁). Leur identification, et si possible leur évaluation pour mettre en évidence ceux pouvant porter atteinte à la réussite de l'opération, sont primordiales dans un contexte d'incertitude (cf. C₁).

À cette étape, en raison de l'évolution climatique, une attention particulière doit être portée aux

connaissances disponibles sur la biologie de la reproduction de l'essence ou des essences en place (cycle de fructification, conditions de germination, sensibilité des graines aux parasites, aux herbivores et aux nouvelles conditions climatiques, etc.) (cf. B₁). En complément, il est recommandé de surveiller durant les années précédant l'opération de renouvellement, la quantité, la qualité et la fréquence des floraisons et fructifications dans les zones à régénérer (cf. Illustrations 5 et 6). Cette surveillance peut aider à anticiper les déficits de fructification pouvant survenir certaines années pour des raisons climatiques ou parasitaires. Enfin, le projet doit tenir compte du fait que la régénération est l'occasion de transmettre de possibles adaptations et d'assurer un maintien, voire un enrichissement de la diversité génétique dans le peuplement à venir pour garantir ses possibilités d'adaptation futures.

Source : Mireille Mouas © CNPF



Illustration 5 : Glandée de chêne.

Source : Adrien Bazin © CNPF



Illustration 6 : Brosse de semis de chêne.

2. Préparation du renouvellement par régénération naturelle

2.1. Identifier le potentiel de semenciers

La sélection de semenciers doit guider la première coupe, dite d'ensemencement (cf. §II.3.1). Elle s'appuie sur une identification préalable du potentiel existant. Le choix de la ou des essences à privilégier doit avoir été fait à l'issue du diagnostic (cf. B1). Il reste à identifier à ce stade si les semenciers sont assez nombreux, bien répartis et présentent des critères d'intérêt (au regard des objectifs fixés).

Dans le contexte du changement climatique, il est théoriquement souhaitable de privilégier une représentation de la plus grande

diversité génétique possible de semenciers de manière à contribuer à l'obtention d'un patrimoine génétique diversifié à la génération suivante, nécessaire aux adaptations futures. Cette diversité ne peut pas être évaluée sur le terrain. Elle peut en revanche être favorisée par les pratiques culturales : s'assurer que la régénération soit composée de plusieurs fructifications successives (augmente le brassage génétique), limiter les individus trop isolés (réduit le risque de consanguinité par autofécondation si le potentiel de pollinisation externe est insuffisant) et éviter de ne retenir qu'un seul caractère phénotypique¹ lors de la sélection des semenciers. Par exemple, si

¹ Lié au phénotype, qui désigne l'ensemble des caractères morphologiques, anatomiques, et physiologiques d'un organisme, résultat de l'expression de son génome et de l'action des facteurs du milieu (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

l'objectif est la production de bois d'œuvre, les semenciers seront sélectionnés en fonction de leurs qualités observables pour ce critère (vigueur, robustesse, absence de défauts...), mais cette sélection devra être complétée avec certains arbres atypiques de ce point de vue et susceptibles de présenter d'autres caractères d'intérêt (état sanitaire, résistance...). Dans tous les cas une sélection naturelle s'opère dans les premiers temps du renouvellement : seuls les arbres les plus aptes à se reproduire contribuent à la reproduction.

Notons que toutes ces préconisations sont aussi valables pour la mise en œuvre des éclaircies d'amélioration précédant la mise en régénération.

2.2. Choisir un itinéraire de renouvellement approprié

Dans le contexte du changement climatique et des incertitudes associées, le choix de l'itinéraire de régénération doit être guidé par la réduction systématique des contraintes. Cette anticipation est nécessaire car elles risquent d'être plus nombreuses et plus sévères. Le propriétaire doit profiter du renouvellement pour chercher à conférer au peuplement à venir une meilleure résistance et résilience pour faire face aux évolutions climatiques :

- **en limitant la taille unitaire des zones en régénération naturelle** dans la parcelle afin de faciliter son étalement dans le temps et dans l'espace, et pour permettre de diluer le risque (moins de surfaces exposées au même moment et au même endroit), tout en veillant à maintenir assez de diversité. Selon la taille de la propriété, une zone de 0,5 ha à 5 ha semble être une fourchette souvent adaptée à cet objectif. Cela permet de mieux tirer parti des variations stationnelles pour diversifier les itinéraires, voire les objectifs ;
- **en encourageant la sélection naturelle**, par le maintien d'un nombre important de semis dans les premières années par exemple (parmi la diversité, seuls les mieux adaptés à leur environnement actuel survivront) ou par la création de petites zones d'évolution génétique soumise à un stress reflétant des conditions futures de croissance - tel que le manque d'eau par exemple - (de façon à conserver les individus survivants, les mieux adaptés à ce stress) ;
- **en permettant la transmission à la descendance (via un choix raisonné des semenciers) des adaptations** de l'arbre à son environnement (plasticité phénotypique²) (cf. §11.2.1) ;

² Capacité d'un génotype (ensemble des caractères héréditaires propres à un individu et son milieu) à produire différents phénotypes (ensemble des caractères observables – morphologiques, anatomique, et physiologiques – d'un individu) en réponse à des conditions environnementales (ex : évolution de la forme du système racinaire pour s'adapter au vent ou production de feuilles plus petites en adaptation à la sécheresse).

- **en dosant le mélange en place**, pour orienter la composition du nouveau peuplement à la faveur d'essences objectif plus adaptées aux futures conditions climatiques ;
- **en prévoyant un enrichissement par collectifs**, en cas de régénération monospécifique, par plantation ou semis d'essences et de provenances plus adaptées pour apporter de la diversité.

Plusieurs itinéraires de régénération sont possibles en fonction de l'objectif visé, du peuplement en place, du tempérament des essences (d'ombre ou de lumière) et de l'exposition au risque : **par coupes progressives** (cf. §II.3), **par bandes** (parfois utilisée pour les résineux) ou **par parquets** (surface $\geq 0,5$ ha). Une régénération étalée dans le temps **par bouquets** de moins de 0,5 ha permettrait, quant à elle, de s'acheminer sur du long terme vers un **traitement irrégulier**.

Ce traitement de conversion vers la futaie irrégulière est une option qui doit être choisie en fonction du diagnostic peuplement, bien avant que le peuplement n'atteigne le stade du renouvellement. Irrégulariser un peuplement gros bois très dense (par régénération lente) est souvent complexe techniquement, et économiquement risqué selon la durée de survie des arbres.

Dans le cas de peuplements vulnérables à certains effets de l'évolution du climat (sécheresse, fortes pluies...) : il peut être utile de privilégier un itinéraire plus progressif, évitant les ouvertures brutales à même d'engendrer des dépérissements.

Rappelons enfin que, quelque soit l'itinéraire choisi, la mise en place de cloisonnements d'exploitation est indispensable pour la préservation des sols, qui sont les garants de la croissance du peuplement (cf. §III-6).

3.

Éléments pour la mise en œuvre de la régénération naturelle

Nous prendrons ici l'exemple de la **régénération par coupes progressives** d'un peuplement régulier pour illustrer les recommandations pratiques à mettre en œuvre en contexte de changement clima-

tique (cf. *Illustration 7*). Ces recommandations sont en grande partie applicables aux autres itinéraires possibles de renouvellement naturel. À chaque étape, il est impératif de surveiller le développement de

la régénération pour adapter au mieux les interventions, en tenant compte notamment du comportement et du tempérament des essences (la régénération peut s'avérer plus complexe à mener pour les essences héliophiles³ par exemple), mais aussi de la végétation concurrente.

3.1. Coupe d'ensemencement

Cette opération marque le déclenchement du processus. **Elle consiste à amener le peuplement mature à une surface terrière cible, variable selon l'essence, propice à l'acquisition et au développement de la régénération** (cf. *Illustration 8*). La coupe s'effectue en faveur des semenciers pré-identifiés (cf. §II.2.1) qui, une fois leur houppier mis en lumière, seront susceptibles de produire une fructification abondante. Les individus qu'on ne souhaite pas voir fructifier sont éliminés. Il y a un enjeu fort à ce stade pour doser l'ouverture du peuplement : conserver une densité suffisante (pour permettre un brassage génétique entre individus et éviter tout risque d'auto-fécondation), tout en ouvrant suffisamment pour déclencher la fructification et optimiser la dispersion du pollen.

La surface terrière avant coupe d'ensemencement est le plus souvent de 20 à 30 m² (soit 100 à 200

tiges/ha) pour les résineux comme le douglas et 15 à 20 m²/ha (soit 50 à 100 tiges/ha) pour les feuillus sociaux comme les chênes. La coupe d'ensemencement consiste à prélever 20 à 50% de l'existant selon le cas.

Si l'on a la chance de bénéficier d'une fructification abondante ayant permis l'installation notable de semis (nombreux et vigoureux), il est recommandé de limiter l'éventuel sous-étage et la végétation du sous-bois pour éviter qu'ils entrent en concurrence avec les futurs semis. L'intensité de l'intervention en sous-étage sera dépendante de la densité du peuplement. Intervenir sur le sous-étage permet d'ajuster le dosage de la luminosité pour permettre à la fois la croissance des semis et limiter le développement d'une végétation héliophile concurrente (la fougère aigle par exemple). Ainsi, dans le cas d'un peuplement clair, le maintien d'un sous-étage éclairci permettra d'éviter la mise en lumière trop forte du sol.

Avec l'augmentation des aléas, ces occasions de profiter de fructifications efficaces ne doivent pas être manquées. En effet, l'arrivée au sol d'une forte quantité de graines peut limiter les risques d'échecs (mauvaise germination, consommation ou parasitage des graines, abroutissement des semis, etc.).

³ Se dit d'un organisme qui ne peut se développer complètement qu'en pleine lumière (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

Source : Joël PERRIN © CNPF



Illustration 7 : Mise en œuvre de la régénération naturelle en futaie de pin maritime.

Source : Sylvain Caudin © CNPF



Illustration 8 : Petit collectif de semis de pin sylvestre.

Rappelons qu'à cette étape, tout avantage donné aux semis des essences objectif sur les rejets ou sur les semis d'espèces à potentiel concurrentiel peut être décisif.

En l'absence de fructification abondante, pour éviter d'ajouter un nouveau stress à ceux déjà provoqués par les changements climatiques, il est recommandé de raisonner cette première ouverture en s'adaptant aux caractéristiques du peuplement en place (densité, composition) et aux risques estimés : ouverture plus progressive de peuplements denses et fermés, maintien du sous-étage pour protéger les semis des brûlures, etc.). Le choix de l'intensité de la coupe doit aussi intégrer le contrôle de la végétation spontanée dont le développement peut venir gêner l'accès des graines au sol et concurrencer les semis pour l'accès aux ressources.

3.2 Préparation du sol

La coupe d'ensemencement peut s'accompagner parfois d'un travail du sol superficiel (griffage, décapage). **Les intérêts de cette opération sont accentués en contexte de changement climatique :**

- limiter la compétition pour les ressources (eau, lumière, éléments minéraux) exercée par la végétation spontanée ;
- aider au maximum la germination de façon à limiter l'impact d'aléas

pouvant réduire l'abondance des fructifications ou pour minimiser les pertes des graines au sol, tombées dans un environnement défavorable (excès d'eau, favorisé par le dérèglement du régime des pluies).

3.3 Coupes secondaires et coupe définitive

Les coupes secondaires doivent favoriser les semis acquis en leur garantissant un accès constant aux ressources nécessaires à leur croissance tout en maintenant l'effet protecteur des arbres matures restants (*cf. Illustration 9*). Leur nombre (une à trois en général) et leur échelonnement dans le temps (souvent sur au plus une dizaine d'années) jusqu'à la coupe définitive est à moduler selon la situation. **Aux critères habituellement pris en compte (valeur des produits sur pied restants, dynamique de la végétation, abondance ou manque de fructifications, dispersion des semis, etc.) s'ajoute la prise en compte du niveau d'exposition aux aléas :**

- **des coupes secondaires rapprochées** présentent l'intérêt de réduire le temps d'exposition des arbres matures aux aléas. Elles permettent aussi de limiter le développement de la végétation herbacée, ligneuse et semi-ligneuse du sous-étage. En modulant leur intensité, il est possible d'assurer la mise

en lumière des semis et jeunes plantules tout en évitant de favoriser dans le même temps une explosion de cette végétation (à raisonner pour chaque contexte : essence, station, type de végétation) ;

■ **des coupes plus étalées**

dans le temps (progressives) permettent, quant à elles, de profiter de plusieurs générations de fructifications (si la densité de semis est jugée insuffisante et pour augmenter la diversité génétique) et de maintenir plus longtemps un couvert protecteur (en particulier dans les régions du sud à forte

insolation).

Les semis issus de ces fructifications contribuent à constituer un potentiel de régénération bien réparti et le plus diversifié possible.

Ces étapes intermédiaires avant la coupe définitive peuvent permettre de favoriser le développement de semis d'essences secondaires dans le but de diversifier et/ou d'accompagner le peuplement objectif à venir. Si ce but est recherché, il est recommandé de doser également le mélange à l'amont (cf. C₂) avant même que le renouvellement ne soit enclenché, puis lors du choix des semenciers (cf. §II.2.1).

Source : Marie-Laure Gaduel © CNPF



Illustration 9 : Régénération par coupes progressives dans un peuplement de pin laricio de Corse.

3.4 Entretenir et dépresser pour gérer les densités et sélectionner les semis

Disposer dans les premières années d'une forte densité de semis élargit la base génétique et favorise comme évoqué au §II.2.1 la sélection naturelle utile dans le contexte du changement climatique pour l'adaptation.

Mais il convient de rester vigilant car la compétition pour les ressources en lumière et en eau lorsque la densité est trop forte peut être intense et les jeunes semis - ayant un système racinaire encore peu développé - restent particulièrement sensibles. Une « brosse de semis » laissée à l'abandon peut conduire à des tiges filiformes qui « versent » sous l'effet du vent ou de la neige.

Les opérations d'entretien puis de dépressage restent donc souvent indispensables pour le contrôle de cette densité et la sélection qualitative des semis, mais aussi pour la maîtrise de la végétation concurrente (dégagements) et le dosage des essences (nettoie-ment) (cf. Illustration 10). En l'absence de recommandations plus précises pour guider leur mise en œuvre pratique, il est recommandé de favoriser les individus d'intérêt pour une production de bois d'œuvre sans éliminer systématiquement les individus plus atypiques. La sélection d'un nombre restreint d'arbres d'avenir selon des

critères de production, suivi d'un détourage enlevant uniquement les arbres en concurrence avec les désignés, permet de conserver dans le bourrage des individus au phénotype plus diversifié, tout en « assurant » une population mini-male respectant les conditions favorables à la production de bois d'œuvre. L'intensité des éclaircies devra osciller entre la recherche d'interventions moins brutales (donc sans doute plus précoces et plus fréquentes), la mise en lumière des arbres désignés pour leur développement et la sélection sous la contrainte climatique.

Dans les régénérations mélangées, des interventions sont nécessaires pour orienter la composition du futur peuplement vers des essences objectives adaptées aux conditions climatiques actuelles et futures.

Elles contribueront à faire évoluer les proportions des essences issues du peuplement adulte ou à favoriser certaines essences adaptées ayant colonisé la parcelle à régénérer. Dans tous les cas, cette intervention ne devra pas être guidée que par la vigueur actuelle des semis ou par leur taux de représentation. Là encore, la désignation d'une population « d'avenir » permet d'orienter le mélange.



Illustration 10 : Fougère très développée augmentant le risque d'échec de la régénération naturelle de chêne.

4.

Compléter la régénération naturelle par des plantations

La plantation d'enrichissement⁴ peut être envisagée dans certains cas pour compléter la régénération naturelle (cf. Illustration 11). C'est une solution intéressante (bien que coûteuse) en contexte de changement climatique pour :

- **compléter la régénération** quand les semis naturels sont en nombre insuffisant ou s'ils ont été affectés par des aléas altérant leur qualité ;
- **diversifier en essences** le futur peuplement afin de lui conférer une plus grande résilience ;
- **commencer à enrichir** le futur peuplement avec des essences (ou provenances) plus résistantes à certains aléas.

Les plants sont souvent disséminés mais on peut essayer de systématiser leur implantation selon diverses modalités (bandes, placeaux, nids, etc.) (cf. D2). Dans tous les cas, une matérialisation et l'élaboration d'un schéma rationnel appuyé sur des cloisonnements cultureux sont nécessaires pour faciliter le repérage parmi la régénération naturelle. Les plants nécessitent le plus souvent d'être installés après un dégagement de la végétation concurrente, avec une préparation du sol spécifique (potets travaillés ou sous-solage par exemple) et des protections individuelles, collectives ou répulsives contre les herbivores. Il s'agit donc d'une opération relativement onéreuse, ramenée au plant.

⁴ Plantation réalisée à faible densité ou avec un faible nombre de plants forestiers, en vue d'améliorer la valeur ou la diversité d'un peuplement forestier existant (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).



Illustration 11 : Enrichissement d'un peuplement de chênes.

Par ailleurs, l'opération demande une grande technicité (un encadrement particulier à la mise en œuvre par les entreprises de travaux forestiers est indispensable) et un suivi rigoureux avec des entretiens ciblés, en particulier quand la plantation intervient après une période de régénération allongée. La plantation d'enrichissement intervient généralement avant que la régénération naturelle n'atteigne 3 mètres. Dans tous les cas, la dynamique de la végétation en place et sa possible évolution post-plantation doit être analysée au préalable pour définir les situations opportunes et optimales pour un enrichissement. Il existe actuelle-

ment peu d'itinéraires établis, bâtis sur des expérimentations ou des retours d'expérience sur ce sujet.

Des travaux sont en cours pour recenser d'anciennes expériences, en tirer les enseignements et déterminer les contextes favorables aux différentes techniques utilisées selon les essences⁵. Les premiers retours indiquent une forte proportion d'échecs dus à des défauts d'entretiens (itinéraires inadaptés, manque de moyens). Les peuplements actuellement touchés par des dépérissements (causes biotiques ou abiotiques) sont autant de situations justifiant leur utilisation (cf. D1).

⁵ Se référer à De Roo, Elvira & Molines, 2024 et à Coquard & Perrier, à paraître.

III. CONSEILS ET POINTS DE VIGILANCE



1.

Le renouvellement par régénération naturelle est une opération complexe qui nécessite de la technicité et un suivi assidu à certaines étapes décisives. L'accompagnement par un professionnel est fortement recommandé.

2.

Les incertitudes sur les évolutions du climat et sur les capacités et champs d'action du forestier imposent de redoubler de vigilance tout au long de l'opération de renouvellement, pour permettre des ajustements en continu (cf. C1).

3.

Chaque étape du renouvellement doit tenir compte de la réponse potentielle au changement climatique et aux stress environnementaux propre à chaque essence (cf. B1).

4.

Tout projet de renouvellement doit veiller à assurer un brassage génétique entre individus pour garantir un patrimoine génétique diversifié à la génération suivante.

5.

La présence avérée d'herbivores qui peuvent provoquer des dommages irréversibles mettant en péril le succès du renouvellement nécessite de prendre des dispositions (protections, répulsifs, plans de chasse) pour ne pas ajouter un risque d'échec supplémentaire.

6.

Les cloisonnements d'exploitation tous les 16 à 20 mètres par exemple sont à utiliser impérativement au moment des coupes pour limiter une dégradation du sol qui pourrait menacer la réussite de la régénération, voire même la pérennité de la forêt. La matérialisation entretenue de ces cloisonnements dans le peuplement à renouveler est également indispensable pour conserver les mêmes emprises pour le peuplement renouvelé. (cf. D1).

7.

Des cloisonnements sylvicoles, ouverts en général tous les 6 m (au broyeur par exemple) entre les cloisonnements d'exploitation, sont indispensables dès lors que la configuration du terrain le permet (pente, absence de blocs rocheux, etc.). Ils garantissent un accès aux semis et plants nécessaire pour surveiller leur développement et si besoin, intervenir rapidement (limiter la concurrence, doser le mélange, etc.). Ils peuvent être utiles pour des plantations complémentaires. Élaborer un schéma d'ensemble de l'installation mettant en évidence ces cloisonnements est indispensable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES POUR ALLER À L'ESSENTIEL

- Billard A., Cordonnier Th., Deleuze Ch., Figueres S., Gleizes O. & Martel S., 2024. Essences et méthodes de plantation pour l'enrichissement en régénération naturelle acquise en futaie régulière. Rendez-vous Techniques de l'ONF, n° 80. pp. 23-25.
- Lefèvre F. & Collin E., 2008. Changement climatique, diversité génétique et adaptation des forêts. Forêt méditerranéenne, t. XXIX, n° 2. pp. 243-246.
- Lefèvre F., Collin E., Bentata V., Bilger I., Bouillon P. & al., 2008. Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique. Rapport de recherche. Ministère de l'agriculture et de la pêche. 2008.
- Liu J., 2025. Progress in research on the effects of environmental factors on natural forest regeneration. Frontiers in Forests and Global Change, 8:1525461. 15 pages.
- Musch B., Henry C. & Boulanger V., 2024. La reproduction des arbres : un processus énergivore impacté par le changement climatique. Rendez-vous Techniques de l'ONF, n° 80. pp. 15-18.
- Pichard G., 2002. La régénération naturelle assistée des feuillus. Forêt de France, n° 451. pp. 33-34.

- Tendron G., 2014. La pression des grands mammifères ongulés sur la forêt est-elle excessive ? In « La forêt et le bois en 100 questions ». Académie d'Agriculture de France. pp. 5.07.1-5.07.4.

RÉFÉRENCES PRATIQUES (plateformes, guides et outils cités)

- Coquard L. & Perrier C., à paraître. Catalogue d'initiatives forestières atypiques de renouvellement. CNPF & RMT AFORCE.
- De Roo C., Elvira M. & Molines L., 2024. Les enrichissements en sylviculture mélangée à couvert continu. Retours d'expérience de la conception à la réalisation. Brochure. CNPF & RMT AFORCE. 60 pages.

AUTRES RÉFÉRENCES CONSULTÉES

- Bastien Y. & Gauberville C. (coord.), 2011. Vocabulaire forestier : écologie, gestion et conservation des espaces boisés. Institut pour le Développement Forestier. 608 pages.
- Dassot M., Wehrle L. & Collet C., 2015. La scarification du sol et le dosage du couvert forestier permettent l'installation de la régénération naturelle. Forêt Entreprise, n° 223. pp. 17-21.

- Kerr G. & Haufe J., 2016. Successful underplanting. Forestry Commission. Silvicultural Guide. 42 pages.
- Kremer A., Plomion Ch. & Leroy Th., 2023. Changement climatique : la diversité génétique à l'origine de l'adaptation des arbres ? Forêt.Nature, n° 168. pp. 34-38.
- Landmann G., Delay M. & Marquet G. (coord.), 2023. Coupes rases et renouvellement des peuplements forestiers en contexte de changement climatique. Expertise collective CRREF. Synthèse de l'expertise. GIP ECOFOR & RMT AFORCE. 128 pages.
- Lebourgeois F., Delpierre N., Dufrêne E., Cecchini S., Macé S., Croisé L. & Nicolas M., 2019. Fructification du Hêtre et des Chênes en France : rôle des températures, du pollen et du bilan de carbone et relation avec la croissance des peuplements. Revue Forestière Française, n° LXX - 1-2019. pp. 29-60.
- Lefèvre F., Boivin Th., Bontemps A., Courbet F., Davi H., Durand-Gillmann M., Fady B., Gauzere J., Gidoïn J., Karam M.-J., Lalagüe H., Oddou-Muratorio S. & Pichot Ch., 2020. Valoriser et renforcer les mécanismes d'évolution génétique par la sylviculture, pour l'adaptation au changement climatique. Revue Forestière Française, n° LXXIII - 5-2020. pp. 383-410.
- Petit R. J. & Hampe A., 2006. Some evolutionary consequences of being a tree. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, n° 37. pp. 187-214.
- Schermer E., Boulanger V., Delzon S., Saïd S., Focardi S., Guibert B., Gaillard J.-M. & Venner S., 2017. Fluctuations des glandées chez les chênes : mieux les comprendre pour mieux les prévoir et anticiper leurs conséquences. Forêt.Nature, n° 145. pp. 36-45.
- Wohlgemuth T., Gallien L. & Zimmermann N. E., 2016. Régénération du hêtre et de l'épicéa dans le contexte des changements climatiques. In « Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation ». Office fédéral de l'environnement OFEV ; Institut fédéral de recherches WSL. pp. 119-141.

REMERCIEMENTS

Le réseau AFORCE remercie le groupe de travail qui s'est mobilisé pour imaginer collectivement cette Collection de cahiers « Les Questions-Réponses » et en assurer la conception, depuis la sélection des questions à traiter jusqu'à la validation des contenus rédigés : *Céline Perrier (CNPF-IDF, coordination du projet)*, *Jean-Michel Escurat (EPLEFPA des Vosges)*, *Damien François (Forêt d'ici)*, *Jean Ladier (ONF)*, *Guy Landmann (GIP ECOFOR)*, *François Lebourgeois (AgroParisTech)*, *Céline Meredieu (INRAE)*, *Emmanuel Montailleur (Chambre d'Agriculture Pays de la Loire)*, *Julie Pargade (CNPF Nouvelle-Aquitaine)*, *Philippe Riou-Nivert (CNPF-IDF)*, *Jacques Rousselin (Experts Forestiers de France)*, *Ceydric Sedilot-Gasmi (SFCDC)*, *Éric Sevrin (CNPF-IDF)*. Il remercie également le Comité Spécialisé Gestion Durable du ministère en charge de l'Agriculture et des Forêts, consulté pour sélectionner les questions.

Ce cahier a bénéficié des résultats et conclusions d'un groupe de travail multi-acteurs sur la « Conduite de la création et du renouvellement des peuplements » animé par le réseau AFORCE entre 2012 et 2013, pour lequel nous tenons à exprimer notre reconnaissance.

Les auteurs adressent aussi leurs chaleureux remerciements à l'ensemble des relecteurs qui ont participé à la sélection et à l'organisation des contenus permettant de répondre à la question posée et qui se sont investis dans les différentes étapes de relecture : *Jacques Becquey (CNPF-IDF)*, *Arndt Hampe (INRAE)*, *Thierry Sardin (ONF)*, et plus spécifiquement *Alain Berthelot (FCBA)*, *Catherine Collet (INRAE)* et *Philippe Riou-Nivert (CNPF-IDF)*.

Enfin, les auteurs témoignent leur gratitude aux personnes ayant accepté de mettre à disposition leurs photos pour l'illustration de ce cahier.

Diagnostiquer l'avenir d'un peuplement en contexte de changement climatique

- A₁** La démarche de diagnostic : comment évaluer l'avenir d'un peuplement, d'une forêt ou d'un massif en contexte de changement climatique ?
- A₂** Comment faire évoluer le diagnostic sanitaire d'un peuplement en contexte de changement climatique ?
- A₃** Comment faire évoluer le diagnostic stationnel forestier en contexte de changement climatique ?

Choisir les essences à planter ou à favoriser en contexte de changement climatique

- B₁** Sur quels critères supplémentaires choisir les essences à planter ou à favoriser en contexte de changement climatique ?

Raisonnement la gestion des peuplements en place en contexte de changement climatique

- C₁** Quelles sont les incertitudes liées au changement climatique et comment impactent-elles la gestion des forêts ?
- C₂** Quels itinéraires sylvicoles privilégier pour accompagner l'adaptation de la forêt au changement climatique ?

Relever le défi du renouvellement des peuplements en contexte de changement climatique

- D₁** Comment renouveler un peuplement dans le contexte du changement climatique ?
- D₂** Quelles nouvelles précautions prendre pour la plantation et l'entretien des jeunes peuplements en contexte de changement climatique ?
- D₃** Quelles nouvelles précautions prendre pour la conduite d'une régénération naturelle en contexte de changement climatique ?

Prévenir et gérer les risques en lien avec le changement climatique et leurs impacts

- E₁** Les risques pour les forêts sont croissants et multiples : comment s'en prémunir ?



AFORCE est un réseau mixte technologique (RMT) consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique.

Créé en 2008, il rassemble aujourd'hui 16 partenaires, acteurs de la recherche, du développement, de la gestion, de la formation et de l'enseignement. Son objectif est d'accompagner les forestiers dans la préparation des forêts au changement climatique, en veillant à la diffusion des connaissances, à la fourniture d'outils d'aide à la décision, à l'encadrement des initiatives d'adaptation et à la centralisation de l'information. Parmi ses missions, le réseau s'efforce notamment de créer des lieux d'échange (ateliers, groupes de travail, etc.) et de mobiliser l'expertise pour faciliter la mise à disposition des connaissances et des savoir-faire pour la gestion. Il organise régulièrement des appels à projets pour soutenir des études à finalités pratiques.

Il est animé par l'Institut pour le Développement Forestier (CNPf-IDF). Il bénéficie d'un soutien du ministère en charge de l'Agriculture et des Forêts, de l'interprofession nationale France Bois Forêt et de l'ensemble de ses partenaires.

Financeurs :



Document rédigé en collaboration avec :

