



LES QUESTIONS - RÉPONSES

**Quelles nouvelles précautions
prendre pour la plantation
et l'entretien des jeunes
peuplements en contexte
de changement climatique ?**

Céline PERRIER, CNPF-IDF
Alain BERTHELOT, FCBA



Auteurs : Céline PERRIER, CNPF-IDF
Alain BERTHELOT, FCBA

Citation du document : PERRIER C. & BERTHELOT A., 2025.
Quelles nouvelles précautions prendre pour la plantation et l'entretien des
jeunes peuplements en contexte de changement climatique ? *Question D2*.
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 : 978-2-38558-109-1
© RMT AFORCE, 2025

LES QUESTIONS - RÉPONSES

Quelles nouvelles précautions
prendre pour la plantation
et l'entretien des jeunes
peuplements en contexte
de changement climatique ?

Céline PERRIER, *CNPF-IDF*

Alain BERTHELOT, *FCBA*



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 plantation ?	9
2. Quels sont les atouts et les limites du renouvellement par plantation ?	10
3. Principaux enjeux de la plantation en contexte de changement climatique	11
II. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS	14
1. Construction du projet de renouvellement par plantation	15
2. Choix du matériel végétal	16
3. Définition du schéma de plantation	17
3.1. <i>Disposition spatiale des plants</i>	17
3.2. <i>Densités de plantation</i>	20
4. Techniques de plantation	20
4.1. <i>Choix du type de plants</i>	21
4.2. <i>Préparation mécanisée du site</i>	23
4.3. <i>Réception et mise en place des plants</i>	25
4.4. <i>Détermination de la période de plantation</i>	25
5. Entretien 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

Le renouvellement des peuplements est une étape stratégique qui peut participer à l'adaptation des forêts aux évolutions climatiques en cours. Il constitue cependant un stade sensible susceptible d'être perturbé par ces mêmes évolutions. Le renouvellement d'un peuplement par plantation, cas abordé ici, est généralement déclenché à la fin de la révolution choisie sur la base des dimensions d'exploitabilité des arbres en place, mais peut aussi l'être en réaction à des dépérissements ou en cas de risque avéré (cf. D₁). Le recours à la plantation peut aussi être nécessaire pour compléter ou enrichir un peuplement en place ou une régénération naturelle. La plantation présente l'intérêt de pouvoir sélectionner le matériel végétal (choix de l'espèce, de la provenance, de plants améliorés...) à installer, ce qui peut permettre de renforcer la résistance et la résilience du futur peuplement. C'est aussi le seul moyen de boiser un terrain non forestier dans des délais raisonnables.

La plantation consiste à mettre en place des plants provenant de pépinières sur une parcelle préparée à cet effet. Elle comprend une série d'opérations, dont certaines peuvent être mécanisées. Elle demande un investissement financier. **Les causes**

d'échec possibles étant aujourd'hui plus nombreuses, la maîtrise des pratiques et des coûts est devenue déterminante. Le défi du changement climatique implique donc une recherche d'innovations en matière d'élevage des plants, d'itinéraires de plantation (préparation et préservation des sols, installation de plusieurs essences en même temps ou en décalé, plantation sous couvert, etc.) et de pratiques d'entretien.

Le recours à la plantation reste minoritaire : seuls 13% de la surface forestière française de production sont issus de plantation¹. Il se heurte pourtant à des réticences car certains y voient notamment une artificialisation des forêts. Malgré cela, cette pratique demeure un mode de renouvellement à envisager et à maîtriser, particulièrement en contexte de changement climatique. **Ses modalités doivent être mûrement réfléchies et anticipées bien en amont** (cf. D₁). Sont développées dans ce cahier les recommandations spécifiques à prendre en compte dans ce contexte, pour chaque étape du renouvellement, depuis la fin de l'exploitation du peuplement précédent jusqu'à la première récolte partielle (éclaircie).

¹ Se référer à Piton & al., 2021.

I. RAPPEL DES CONNAISSANCES



1. Dans quelles situations renouveler par plantation ?

Le recours à la plantation se fait le plus souvent dans les cas suivants (cf. D1) :

- pour bénéficier d'un renouvellement rapide dont les opérations et les coûts sont en principe définis et maîtrisés ;
- pour profiter d'un matériel végétal choisi, par exemple des variétés issues de l'amélioration génétique la plus récente ;
- pour obtenir un mélange d'essences contrôlé ;
- pour boiser un terrain nu.

Elle peut également s'envisager dans certains cas particuliers :

- pour compléter, s'il y a un défaut de régénération naturelle sur tout ou partie de la surface à renou-

veler : problème de fructification, prédation des graines, obstacle à l'installation des graines et à l'établissement des semis, etc. ;

- pour changer d'essence, s'il n'est pas souhaitable de la maintenir en place (cf. Illustration 1) : peuplement de mauvaise qualité phénotypique¹, essence sensible à certains aléas abiotiques, ou à certains agents pathogènes² ou prédateurs, essence inadaptée aux conditions stationnelles actuelles ou futures estimées (cf. B1) ;
- pour enrichir des accrus en plantant une ou plusieurs espèces ;
- pour irrégulariser un peuplement équienné³ (plantation dans les trouées du peuplement en place, par exemple).

Source : Sylvain Gaudin © CNPF



Illustration 1 : Plantation de sapin pectiné.

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).

² Agent vecteur d'une maladie (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

³ Se dit d'un peuplement forestier dont les arbres ont sensiblement le même âge (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

Quels sont les atouts et les limites du renouvellement par plantation ?

Atouts	Limites
■ Permet une adaptation rapide à un environnement changeant <i>via</i> l'introduction d'un matériel végétal choisi (essence, provenance, variété améliorée). ■ Peut contribuer à un apport de diversité <i>via</i> l'introduction d'un mélange maîtrisé d'essences ou de provenances. ■ Peut permettre la mise en place d'essences plus productives ou offrant de meilleurs débouchés. ■ Permet un contrôle de la densité initiale et du schéma d'installation pour faciliter la mécanisation des opérations ultérieures. ■ Permet un contrôle du calendrier en limitant notamment dans le temps (sur environ 2 ans) les opérations techniques liées au renouvellement (préparation du sol, installation des plants). ■ Garantit, en principe, un nombre de passages réduit en entretiens (sauf cas particulier d'envahissement par la fougère, la ronce ou la molinie). ■ Permet la mise en œuvre du travail du sol qui contribue à la survie et au développement racinaire rapide des plants. ■ Permet la pose de protections individuelles contre les herbivores.	■ Dépend de la disponibilité en pépinière du matériel végétal souhaité. ■ Peut être mise en échec par une végétation concurrente vigoureuse particulièrement favorisée par l'ouverture du milieu, s'il y a négligence des entretiens. ■ Entraîne une rupture temporaire dans la couverture végétale du sol, supprimant l'ambiance forestière et, si elle est réalisée sur une grande surface ou en pente, pouvant augmenter les risques d'érosion en cas de fortes pluies. ■ Expose les plants à l'abrutissement et aux frottis par les herbivores⁴. ■ Est souvent perçu négativement par le public (travaux préparatoires, essences plantées non indigènes⁵, alignements, etc.) ce qui peut générer des oppositions. ■ Implique un investissement conséquent et concentré en début de cycle : coûts liés à l'éventuel travail du sol, à l'achat des plants, aux protections contre les herbivores, à la main d'œuvre pour la plantation, etc. ■ Peut augmenter les risques biotiques ou abiotiques si le choix du matériel végétal n'est pas adapté.

⁴ Se référer à Hamard & Ballon, 2009.

⁵ Qualifie un taxon, une population ou une communauté (ici végétal) reconnu originaire du territoire où il se trouve actuellement (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

3.

Principaux enjeux de la plantation en contexte de changement climatique

La plantation constitue une phase particulièrement sensible. **Dès leur sortie de pépinière et jusqu'à leur plantation, les plants sont exposés à des stress.** Ces derniers sont liés à leur arrachage (sauf pour les plants en godets⁶) et à leur transport (dessèchement, gel). Cela peut aussi être la conséquence du passage à un environnement non protégé, des nouvelles conditions climatiques du terrain (gel, coups de soleil, ennoieusement, sécheresse) et d'agents biologiques (hylobe, etc.), notamment pendant la crise de transplantation où la croissance est limitée (cas des plants racines nues).

Les stress liés aux conditions climatiques risquent de s'aggraver au cours des prochaines années avec une tendance globale vers un réchauffement et une augmentation de la fréquence et/ou de l'intensité des aléas abiotiques (gels précoces/tardifs, sécheresses, coups de chaleur, fortes pluies) pouvant induire des dommages sur les plants (mortalités, déformations, altération de la qualité) et une baisse de croissance menant parfois à l'échec du renouvellement (cf. E1). Si l'étendue des impacts

varie selon le type d'aléa, leur nature et leur gravité dépendent aussi des essences et du contexte de la plantation.

Au cours des dernières décennies, la période de végétation s'est allongée, conséquence de l'augmentation des températures globales et régionales. Par conséquent, le temps d'exposition des jeunes plants aux aléas s'est accru (cf. Illustrations 3 et 4). En fin de saison de végétation, l'aoûtement⁷ puis l'entrée en dormance des plants (avec endurcissement au froid des bourgeons avant mise en repos de la croissance) se fait plus tardivement. Si un gel précoce survient au cours de ces périodes, il peut provoquer des dommages importants (nécroses), à l'origine de déformations (descentes de cimes, fourches), voire de mortalités. L'existence de tissus gelés réduit par ailleurs la quantité de réserves disponibles pour le développement de la pousse de l'année suivante. En début de saison de végétation, un débourrement⁸ plus précoce au printemps exposant les plants à d'éventuels gels tardifs, peut entraîner, là aussi, des dommages.

⁶ Récipient dans lequel le semis développe son système racinaire en pépinière (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

⁷ Lignification provoquant le durcissement des rameaux de l'année à la fin de leur phase de croissance, en général à la fin de l'été (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

⁸ Courte période au printemps caractérisée par l'épanouissement des bourgeons (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

Dans ce nouveau contexte climatique, assurer l'accès aux ressources nécessaires à la croissance des plants (eau et nutriments) et diminuer les facteurs de risques deviennent des enjeux majeurs.

Ils conditionnent l'ensemble des choix de plantation : préparation du sol, essence, type de plant, densité, entretien, etc. (cf. *Illustration 2*). Parmi eux, le choix de l'essence à implanter, est particulièrement déterminant (cf. *B1*). Le recours à des essences ou provenances plus résis-

tantes aux futures conditions climatiques ou à un mélange d'essences peut être une solution pour des situations complexes, mais nécessite une réflexion préalable pour mesurer la prise de risque.

À tout cela s'ajoutent des enjeux plus globaux communs à l'ensemble des modes de renouvellement (choix des travaux sylvicoles, prise en compte de la demande sociétale, défis techniques à relever, etc.). Ils sont décrits dans *le cahier «Les Questions-Réponses» D1*.



Source : Sylvain Caudin © CNPF

*Illustration 2 :
Plant de chêne
sessile dans sa
protection.*



Illustration 3 : Jeunes plants de Douglas rougis par la canicule.



Illustration 4 : Dégât lié au gel tardif sur une jeune pousse de chêne sessile.

II. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS



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

1. Construction du projet de renouvellement par plantation

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**. Il s'agit de vérifier si la plantation constitue le mode de renouvellement le plus adapté à la situation (cf. D₁). Le projet devra tenir compte des préconisations connues et déjà

éprouvées pour les plantations¹, adaptées en fonction des risques identifiés. Cette étape est primordiale dans un contexte d'incertitude. Enfin, il conviendra de veiller à ce que chaque opération soit planifiée dans un calendrier global et réalisée dans des conditions optimales pour ne pas rajouter des contraintes supplémentaires à celles liées au changement climatique.

Source : Sylvain Gaudin © CNPF



Illustration 5 : Plant de Cyprès de l'Arizona.

¹ Se référer à Faure, Montagnon & Fontvieille, 2014.

2. Choix du matériel végétal

Une bonne connaissance des essences, de leurs exigences stationnelles², de leur vulnérabilité potentielle, de leur capacité de résistance et de résilience est un préalable indispensable. **Le choix du matériel végétal à planter engage pour le long terme car ce matériel doit pouvoir survivre et se développer sous le climat actuel et sous un climat futur³ incertain jusqu'à atteindre la dimension d'exploitabilité.** Dans ce contexte, il peut être intéressant/séduisant de rechercher des essences ou des provenances au comportement moins connu sur le territoire concerné (cf. Illustrations 5 et 6), mais susceptibles d'être mieux adaptées à terme (cf. B₁). Une telle démarche doit être encadrée (consul-

tation des documents cadre⁴, conseil d'un professionnel, voire rattachement à un réseau d'expérimentation) et appuyée par un diagnostic forestier. Il s'agit d'éviter les échecs et de limiter les menaces liées à l'introduction possible d'organismes nuisibles, invasifs, émergents ou réglementés associés à l'essence (maladie des bandes rouges des pins, cécidomyie du douglas, *Phytophthora ramorum* sur mélèzes, par exemple).

Dans les situations où il existe un risque climatique ou sanitaire important pour l'essence objectif utilisée (cf. E₁), il peut être envisagé un mélange d'essences ou de provenances. Un tel apport de diversité est susceptible de diluer certains risques qui n'affecteraient qu'une seule des essences et conférer au peuplement futur une meilleure capacité de résilience. Ces mélanges peuvent être obtenus en plein ou par enrichissement (plantation dans les trouées, sous peuplement clair ou dans une régénération naturelle). Cette recherche de diversité des espèces forestières est également atteignable à l'échelle d'une propriété ou d'un massif, par juxtaposition de parcelles monospécifiques de quelques hectares (effet mosaïque).

Source : Alain Berthelot © FCBA



Illustration 6 : Plant de Sapin de Bornmüller.

² Se référer aux catalogues et guides de stations forestières (IGN, 2018).

³ Se référer à la Plateforme ClimEssences pour apprécier l'évolution de la compatibilité climatique des essences (RMT AFORCE, 2021).

⁴ Se référer à MASA, 2023.

3. Définition du schéma de plantation

Le choix du schéma de plantation conditionne fortement l'organisation du chantier, les entretiens futurs (accessibilité aux plants, dégagements, tailles de formation et élagage...) et surtout la sylviculture à appliquer après la période juvénile. Il doit donc être adapté en fonction des spécificités du projet : nature de l'essence et dynamique de croissance, antécédent cultural, sol, objectifs du propriétaire, pression des herbivores, budget..., et de l'évolution attendue du climat.

3.1. Disposition spatiale des plants

Les nouvelles conditions climatiques imposent d'innover en matière de disposition spatiale des plants pour tenter de **réduire leur exposition aux aléas**. Des schémas plus atypiques que le renouvellement en plein sur terrain nu (solution la plus pratiquée) peuvent être explorés (*cf. Illustration 7*). Les essais dans ce domaine se multiplient mais le recul et la confrontation des expériences sont insuffisants pour conforter les pratiques. Les échecs sont également très fréquents. Par exemple, les plantations en bandes ont été pratiquées dans les années 60, en alternance avec du taillis ou du recrû naturel, mais leurs résultats ont été mitigés.

En associant disposition des plants et composition du mélange, il est possible de créer de nombreuses combinaisons *a priori* plus résilientes. Mais ces méthodes restent toujours exploratoires. De plus, elles nécessitent une bonne technicité pour l'installation et pour les entretiens en raison des interactions complexes entre espèces forestières plantées et avec les espèces déjà présentes (forestières ou non) :

- différences de vitesse de développement et de comportement des espèces en situation de mélange (tolérance à l'ombre/lumière, croissance initiale variable selon la station) ;
- effets de compétition pour les ressources parfois plus forts que les effets de coopération.

Enfin, il peut être difficile de conserver le mélange dans le temps (surtout pour les mélanges intimes) et dans des proportions suffisantes pour permettre de bénéficier des avantages de cette diversification et pour valoriser chaque essence.

Disposition des plants	Atouts en contexte de changement climatique
Sur terrain nu <i>en plein</i>	■ Pratique la plus répandue à ce jour, savoir-faire éprouvé. ■ Rapidité et facilité d'exécution de la plantation et des entretiens. ■ Préparation mécanisée du site possible.
Sur terrain nu <i>par points d'appui (placeaux, nids) ou par entités réduites concentrées sur des zones délimitées (en bandes, par bouquets, en allées, etc.)⁵</i>	■ Peut permettre de recréer dans chaque sous-ensemble un effet d'abri (rôle protecteur de la végétation de bourrage si elle est maîtrisée) et de bénéficier des effets des fortes densités locales temporaires (phase de qualification). ■ Favorise la diversité et concentre les interventions sur les sous-ensembles.
Dans le recrû installé⁶ (ou bourrage ligneux) ou dans une régénération naturelle	■ Permet l'éducation et le gainage des plants. ■ Possible effet protecteur de la végétation interstitielle (coups de soleil, gel, herbivores). ■ Peut permettre d'instaurer un mélange d'essences à partir du recrû. ■ Complète, voire diversifie, une régénération en place insuffisante ou mal répartie (cf. D₃).
Dans des trouées ou sous couvert d'un peuplement adulte en place	■ Pratique surtout adaptée aux essences sciaphiles⁷ supportant le couvert. ■ Réduction de l'exposition des plants dans les premières années (coups de soleil, vents desséchants, gel, etc.). ■ Peut permettre d'instaurer un mélange par l'introduction d'une ou de plusieurs essences ou provenances, ou de transformer la structure d'un peuplement (amorce d'irrégularisation).

Illustration 7 : Principaux atouts et limites en contexte de changement climatique de différents schémas de disposition des plants ⁸

⁵ Dans ce cas, la densité et la disposition des plants ne permettent pas de constituer un peuplement final complet. Les tiges du peuplement interstitiel qui s'installera fournissent le complément.

⁶ Un reboisement complet par points d'appui est aussi possible dans ce cas, en tirant profit dans les premières années du recrû installé.

⁷ Se dit d'un organisme tolérant un ombrage important (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

⁸ Ce tableau vise à renseigner globalement sur les atouts et limites de certaines pratiques en contexte de changement climatique. Il est important d'ajuster chaque élément fourni en fonction du contexte spécifique dans lequel se met en place le projet de renouvellement.

Limites en contexte de changement climatique

- Forte exposition aux aléas (plants isolés, sensibles à la sécheresse et aux coups de soleil).
 - À reconsidérer pour l'installation de nouvelles essences, en fonction de leur comportement.
-
- Schémas souvent exploratoires.
 - Implique une mise en œuvre et un suivi complexes (les plants doivent être facilement repérables et accessibles pour les entretiens).
 - La conservation du bénéfice recherché dépend de la réalisation soignée des entretiens pour contrôler la compétition entre individus et l'accès aux ressources dans les sous-ensembles.
-
- Préparation du terrain, plantation et entretiens complexes.
 - Nécessite un repérage précis des plants (cloisonnements sylvicoles) et la mise en œuvre d'entretiens ciblés pour maîtriser l'accompagnement ligneux.
 - Sans maîtrise, un embroussaillage important du terrain peut générer un risque incendie.
-
- Schéma exploratoire. Expériences passées peu concluantes par manque de réalisation des travaux et retard des prélèvements dans le peuplement en place.
 - Préparation du terrain et suivi des entretiens souvent difficiles à mettre en œuvre. Fermeture rapide des trouées, accès aux plants complexe, dégâts lors de l'exploitation des réserves, etc.
 - Dosage délicat du couvert en place en fonction du tempérament de l'essence installée. Risques liés à la concurrence pour la lumière (déformations dues au phototropisme) et pour l'eau (interception par les arbres adultes).
 - Dans le cas de trouées, risque de chablis des arbres de bordure.

3.2 Densités de plantation

La densité initiale de plantation doit être raisonnée en fonction des objectifs et moyens du propriétaire, du matériel végétal à installer⁹ et des risques identifiés.

Les plantations denses (1100 à 1500 plants/ha) à très denses (plus de 1500 plants/ha) permettent de réduire ou de diluer certains risques en lien avec le changement climatique ou d'anticiper d'éventuelles pertes liées à des attaques de parasites (hylobe, tordeuse des pousses) ou à des grands herbivores. La présence d'un grand nombre de tiges offre aussi plus de choix pour sélectionner les individus les plus vigoureux et les mieux conformés. Dans ces plantations denses cependant, outre le fait qu'elles soient plus coûteuses, le risque d'attaque par des champignons pathogènes est plus élevé et le stress hydrique peut être plus précoce surtout en cas de retard

des interventions (dépressages¹⁰, éclaircies). À la première coupe, la sélection peut se faire à rebours (dominance d'arbres vigoureux mal conformés = « loups »). En revanche, dans les plantations claires en terrain nu (< 1100 plants/ha), l'exposition aux aléas (gels, vents desséchants, canicule) reste marquée plus longtemps (fermeture plus tardive du couvert forestier) et la concurrence hydrique avec la végétation adventice peut être plus élevée si celle-ci est mal maîtrisée. L'absence de gainage ligneux ou une opération d'élagage peut par ailleurs générer des arbres à forte branchaison.

Pour les mélanges et pour tous les schémas avec une disposition atypique des plants (*cf. §11.3.1*), la densité doit être raisonnée au cas par cas en tenant compte des spécificités des essences et des contraintes du schéma adopté. On distinguera la densité locale (sur un plateau par exemple) et la densité globale à l'hectare.

4. Techniques de plantation

Cette étape doit permettre une bonne installation des plants dès la première année et en particulier la **colonisation rapide et profonde du sol par le système racinaire**, qui

conditionne l'accès aux ressources hydriques et minérales. Toutes les techniques pouvant à ce stade limiter d'éventuels stress hydriques sont à favoriser. Le choix spécifique des

⁹ Pour bénéficier d'une aide de l'État à la plantation, il convient de respecter les densités initiales définies dans les « arrêtés régionaux relatifs aux aides de l'État à l'investissement forestier » (MASA, 2023).

¹⁰ 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).



Illustration 8 : Mise en place des plants par le planteur.

techniques de plantation à privilégier (pioche, canne à planter...) doit être raisonné en fonction de la préparation du terrain et du type de plant utilisé (cf. Illustration 8).

4.1. Choix du type de plants

Le mode d'élevage des plants (racines nues, godet) et leurs dimensions doivent être adaptés en fonction des caractéristiques du projet et des contraintes du site (climatiques et édaphiques). Le réservoir hydrique du substrat de culture des plants élevés hors sol (godets, mottes) peut constituer un atout lors de la transplantation et un avantage en cas de plantation tardive au printemps (cf. Illustration 9).

Concernant la dimension des plants, il faut considérer que :

- **les petits plants** (élevés en godets) présentent l'avantage d'être moins sensibles à la sécheresse. Ils sont en revanche plus sensibles à l'hylobie, aux herbivores et à la concurrence herbacée, ce qui implique une préparation du sol adaptée et des dégagements dès la première année ;
- **les grands plants** (racine nues) sont plus sensibles à la sécheresse du sol au moment de la plantation car leur système racinaire est en partie à reconstituer. En cas de sécheresse printanière, une absence partielle de racines fines peut entraîner un dessèchement de tout ou partie du plant, un rougissement ou une perte d'aiguilles pour les résineux.



Illustration 9 : Préparation des plants avant plantation d'une parcelle de cèdres.



Le semis artificiel

Le semis artificiel peut apparaître comme une option attrayante dans le contexte du changement climatique pour ensemer des surfaces importantes rapidement et à des coûts raisonnables ou pour accompagner une régénération naturelle déficiente. Cette option nécessite en fait une maîtrise technique et un investissement important dans la préparation du site à l'accueil des semences. Il faut par ailleurs prendre en considération la quantité importante de graines nécessaire (difficulté des semis à basse densité) Considérant ces contraintes et exigences, ainsi que le caractère aléatoire des résultats, son intérêt économique reste discutable. De plus, il est très probable que la demande en graines augmente en raison des reconstitutions suite à des dépérissements massifs liés aux évolutions climatiques alors même que ces ressources pourraient diminuer du fait de ces évolutions. Aussi, il semble préférable de réserver cette technique à des cas particuliers pour ne pas risquer de gaspiller des ressources déjà limitées.

4.2. Préparation mécanisée du site

La préparation mécanisée du site (PMS) consiste à **lever les contraintes liées à la végétation préexistante et celles liées au sol** (compaction ou engorgement). C'est une opération à favoriser, tout particulièrement dans le contexte du changement climatique. Elle est également conditionnée par l'état de la parcelle après

les travaux d'exploitation préalables (présence de rémanents¹¹ et des souches, dégâts au sol, etc.) (cf. D₁) et par la végétation à contrôler. Elle doit être raisonnée en fonction des spécificités du terrain (pente, type de sol) et du schéma de plantation prévu.

Il ne faut pas chercher à faire des économies à cette étape. **Si l'opération est bien menée, elle augmentera fortement le taux de reprise et les**

Contraintes	Objectif	Travail à réaliser	Exemple d'outils utilisables ¹²
Sols engorgés <i>(dans ce cas, se poser la question préalable de l'intérêt de planter)</i>	Évacuer les excès d'eau, surélever les plants	Drainage, billonnage, potet « bombé »	Charrue à soc, charrue à disque, Culti-3-B®, Sous-soleur multifonctions® sur minipelle
Envahissement par la végétation concurrente <i>(fougère aigle, molinie, genêt, graminées, myrtille, ronces...)</i>	Détruire le tapis végétal bloquant	Extraire les rhizomes (fougère) ou décaper les feutrages racinaires (molinie)	Scarificateur réversible®, Sous-soleur multifonctions®, Régédent®, etc.
Sols sans contrainte majeure	Faciliter la plantation et la reprise	Labour, décompaction, sous-solage simple ou double, potet <i>Éviter d'intervenir sur toute la surface : travail en bandes ou localisé.</i>	Charrue à soc, charrue à disque, Bident Maillard®, Sous-soleur multifonctions® sur minipelle, etc.

Illustration 10 : Exemples de préparations mécanisées pouvant être mises en œuvre en fonction des contraintes du site (les travaux du sol indiqués ici sont à adapter aux diverses situations et ne sont pas à cumuler).

¹¹ Sous-produits non marchands (branches, cimes, etc.) qui restent sur le parterre de la coupe après son exploitation (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

chances de survie face à des aléas plus fréquents et cela permettra de baisser d'autres coûts (regarnis, dégagements). La pénibilité pour le planteur sera aussi réduite. Les coûts sont donc à raisonner en fonction d'un bilan économique sur la totalité de l'itinéraire, jusqu'à la sortie de la phase juvénile.

Le choix des techniques et du matériel¹² se fait en fonction des contraintes à lever (cf. *Illustrations 10 et 11*). Il doit s'appuyer sur des professionnels ainsi que sur le réseau local d'entrepreneurs.

En contexte de changement climatique, il est important de veiller, au

cours de la réalisation des travaux, à préserver les sols d'un tassement supplémentaire en adaptant les outils et porte-outils et en sélectionnant une période favorable d'intervention (surtout dans les contextes humides).

Dans le cas particulier de terrains pauvres, il peut être utile d'explorer les possibilités offertes par les techniques de remédiation. Fertilisation (phosphore surtout) et amendement¹³ (calcomagnésien) peuvent faire une grande différence dans les premières années et offrir une meilleure résistance aux aléas climatiques.

Source : Alain Berthelot © FCBA



Illustration 11 : Préparation mécanisée du site avec une minipelle munie d'un Sous-soleur multifonctions®.

¹² Se référer aux ressources disponibles sur la plateforme du pôle RENFOR - Pôle d'innovation et de pédagogie sur le renouvellement des peuplements forestiers, issues notamment des projets PILOTE et ALTER (INRAE, 2017).

¹³ Substance dont l'apport au sol est destiné à améliorer un ensemble de propriétés physiques, chimiques ou biologiques (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

4.3. Réception et mise en place des plants

Le délai entre la préparation du sol et la mise en place des plants va dépendre de la station, de l'outil utilisé et des conditions météorologiques de la période (saison). **Une préparation du sol de la fin de l'été à l'automne, accompagnée d'une plantation au printemps suivant est souvent optimale mais n'est pas toujours permise par les contraintes d'organisation des chantiers.** Il convient aussi de ne pas différer trop longtemps la plantation après la préparation du sol sous peine de perdre ses effets positifs et de voir la parcelle être ré-envahie par la végétation et le recru.

Les plants réceptionnés doivent être protégés du froid et de la sécheresse jusqu'à leur mise en terre. Ce point est crucial en contexte de changement climatique et peut se révéler par la suite déterminant s'il survient une sécheresse printanière et/ou estivale marquée. De façon générale, tout ce qui peut faciliter la reprise doit être privilégié : préparation du sol, période de plantation, conditionnement et habillage des plants, qualité architecturale, état sanitaire et protections contre les herbivores.

Quelques rappels importants :

- À la réception, veiller à ce que les plants ne soient pas desséchés (conditionnement en sacs plastiques pour les plants racines nues, humidité du substrat des plants en conteneurs).
- Sur site, les plants doivent continuer à être protégés si une plantation immédiate n'est pas possible : stockage temporaire (le plus court possible) à l'abri du soleil, du vent, des rongeurs et de l'excès d'eau (mise en jauge, bottes déliées pour les plants racines nues, ré-humidification du substrat des plants en conteneurs).

4.4. Détermination de la période de plantation

L'évolution du contexte climatique incite à rechercher les conditions de plantation les plus favorables mais les périodes favorables risquent de se réduire. Si le chantier doit malgré tout se dérouler dans des conditions climatiques difficiles (période de sécheresse, de fortes chaleurs, de vent desséchants ou de gelées), il convient d'être particulièrement vigilant tant pour la préservation du site ou pour la protection des plants que pour le respect des conditions de travail des opérateurs.

5. Entretien des plantations

Les premières années sont déterminantes pour la survie et la croissance aérienne et racinaire des plants. **Les entretiens (dégagement des plants sur la ligne et broyage des inter-lignes) doivent donc être menés jusqu'à ce que les plants atteignent une hauteur d'environ 3 mètres** (cf. *Illustration 12*). Ils ont pour objectif de limiter la compétition pour les ressources (eau, lumière, nutriments), et ce d'autant plus dans un contexte où elles peuvent être limitées (sécheresses, forte évapotranspiration¹⁴). Les interventions à mener portent sur la gestion de la végétation concurrente (à anticiper dès la préparation mécanisée du site). Elles doivent être dosées (pas trop fortes au début) et ajustées à la dynamique de croissance des essences plantées et des essences spontanées à conserver.

Un compromis est à trouver pour rechercher si possible dans le même temps un effet d'abri de cette végétation, pour réduire un ensoleillement trop fort (coups de chaud, brûlures) et pour protéger contre le gel et les vents desséchants.

La gestion de la végétation concurrente peut aussi viser à **limiter certains risques** (attaques parasitaires, dégâts des herbivores) et à conserver une nécessaire biodiversité. Dans ce but, des techniques qui ne visent pas l'élimination complète de cette végétation peuvent être utilisées : cassage à 1 m des ligneux concurrents, battage de la fougère.



Source : Olivier Martineau © CNPF

Illustration 12 : Dégagement manuel autour des plants.

¹⁴ Combine les pertes d'eau par évaporation (processus physique) et par transpiration d'un végétal (processus biologique) (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

Source : Philippe Gaudry © CNPF



Vue d'ensemble d'un reboisement de Douglas avec interligne après plusieurs années.

III. CONSEILS ET POINTS DE VIGILANCE



1.

Le renouvellement par plantation est une solution efficace qui permet l'installation ou le maintien d'une forêt à objectif principal de production ou de protection. Bien que cette méthode soit utilisée depuis de nombreuses décennies dans la plupart des régions, elle reste 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 aléas climatiques plus nombreux et les faibles marges d'action du forestier imposent de redoubler de vigilance tout au long de l'opération de renouvellement et de conserver une certaine souplesse dans les décisions pour permettre des ajustements (cf. C₁).

3.

Il convient de vérifier la disponibilité en pépinière du matériel végétal souhaité (quantité et qualité), largement en amont du projet (contrat de culture).

4.

Ne pas faire l'économie du travail de préparation du terrain qui malgré son coût, présente de nombreux atouts favorables pour garantir la reprise des plants dans les meilleures conditions possibles, notamment en cas d'aléas.

5.

Il est crucial de prendre des mesures pour réguler la présence des herbivores qui peuvent provoquer des dommages irréversibles. Ces mesures sont à mettre en place bien en amont d'un renouvellement. Elles doivent s'intégrer plus largement dans un schéma d'aménagement territorial.

6.

Définir son schéma de plantation en s'appuyant sur les cloisonnements d'exploitation préexistants, utilisés pour limiter la dégradation du sol au moment de la coupe précédente (cf. D₁) afin de définir notamment les zones favorables aux entretiens mécanisés ultérieurs.

7.

Ne pas négliger les entretiens qui ont un rôle déterminant dans la réussite de la plantation et qui peuvent permettre de limiter des contraintes associées au changement climatique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES POUR ALLER À L'ESSENTIEL

- Bailly A., 2020. État des lieux de l'amont de la filière forêt-bois en France. FCBA INFO, n° 19. 9 pages.
- Baubet O. & Goudet M., 2012. Prévenir les dégâts sanitaires par des dégagements adaptés. *In Dossier « Bien dégager autour du plant ! »*. Forêt Entreprise, n° 206. pp. 43-45.
- Birot Y., 2017. Les forêts plantées en France : quelle importance, quelles évolutions, quel futur ? *In « La forêt et le bois en 100 questions »*. Académie d'Agriculture de France. pp. 8.06.1-8.06.4.
- Du Puy S., Derrière N. & Wurpillot S., 2017. La forêt plantée en France : état des lieux. IGN. La Feuille de l'Inventaire forestier - L'IF, n° 40. 16 pages.
- Korboulewsky, N., Balandier Ph., Dumas Y., Gosselin M., Marell A. & Perot Th., 2020. Quels intérêts et limites du mélange d'essences face aux changements globaux ? Forêt Entreprise, n° 252. pp. 60-64.
- 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.

- Pierangelo A. & Ricodeau N., 2017. Plantation et changement climatique : nouveaux conseils d'utilisation des matériels forestiers de reproduction. Rendez-Vous Techniques de l'ONF, n° 56. pp. 3-8.
- Ranger, J., 2020. La fertilité des sols forestiers : quels sont ses déterminants ? *In « La forêt et le bois en 100 questions »*. Académie d'Agriculture de France. pp. 2.03.1-2.03.4.
- 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)

- Faure C., Montagnon F. & Fontvieille F. (coord.), 2014. Guide technique – Réussir la plantation forestière. Contrôle et réception des travaux de reboisement. 3ème édition. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. 79 pages.
- Hamard J.-P. & Ballon P., 2009. Guide pratique d'évaluation des dégâts en milieu forestier. 32 pages + annexes.
- IGN, 2018. Inventaire Forestier. « La typologie des stations forestières ». Disponible sur : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique20> (Consulté le 19 juin 2023).

■ INRAE, 2019. Le pôle RENFOR. « Ressources ». Disponible sur : <https://renfor.hub.inrae.fr/ressources> (Consulté le 19 septembre 2023).

■ MASA, 2023. Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. « Matériels forestiers de reproduction : arrêtés régionaux relatifs aux aides de l'État à l'investissement forestier et avis préalables aux dérogations ». Disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/materiels-forestiers-de-reproduction-arretes-regionaux-relatifs-aux-aides-de-letat-linvestissement> (Consulté le 10 janvier 2023).

■ RMT AFORCE, 2021. ClimEssences. Disponible sur : <https://climessences.fr> (Consulté le 16 juin 2021).

■ Touffait R. (coord.), 2018. Réussir les plantations de chênes sessile et pédonculé. Guide technique des travaux sylvicoles. ONF. Direction forêts et risques naturels. 72 pages.

AUTRES RÉFÉRENCES CONSULTÉES

■ Bailly N., Bertrand I., Bisch J.-L. & Jannault N., 2019. La plantation dans le recrû ligneux. Fiche Sylviculture. ONF. 4 pages.

■ Bastien Y. & Gauberville C. (coord.), 2011. Vocabulaire forestier : écologie, gestion et conservation des espaces boisés. Institut pour le Développement Forestier. 608 pages.

■ Becquey J., 2008. Pour alléger le suivi des plantations : le mélange avec des essences secondaires. *Revue Forestière Française*, n° 60 (2). pp. 289-303.

■ Bonhomme P.-O., 2020. La plantation sous couvert : objectifs et balises. *Silva Belgica*, vol. 127, n° 4/2020. pp. 32-36.

■ Chaumet M., Eisner N. & Peuch D., 2018. Éclairage sur les performances des plants de Douglas en godets. *FCBA INFO*, n° 19. 7 pages.

■ Fraysse J.-Y. & Canlet F., 2017. Gestion de la qualité des plants de pin maritime en pépinière. *FCBA INFO*, n° 16. 5 pages.

■ Grossnickle S. C. & Ivetić V., 2017. Direct Seeding in Reforestation – A Field Performance Review. *REFORESTA*, n° 4. pp. 94-142.

■ Piton B. (coord.), Benest F., Carouelle F., Cuny H., Gosselin M., Montagné-Huck C., Nicolas M. & Rocquencourt A., 2021. État et évolution des forêts françaises métropolitaines : synthèse des indicateurs de gestion durable. Institut national de l'information géographique et forestière. 33 pages.

■ Riou-Nivert Ph. (coord.), 2019. Densité de plantation : critères de choix et implications. Dossier. *Forêt Entreprise*, n° 248. pp. 14-48.

■ Van de Perre R., Jonard M., Nys C. & Ponette Q., 2010. Impacts de l'amendement sur la réaction des peuplements au stress hydrique. *Forêt Wallonne*, n° 107. pp. 21-37.

■ Wehrlen L., 2012. Quels outils pour mieux maîtriser la végétation forestière concurrente ? *In Dossier* « Bien dégager autour du plant ! ». *Forêt Entreprise*, n° 206. pp. 24-31.

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 Ecurat (EPLEFPA des Vosges)*, *Damien François (Forêt d'ici)*, *Jean Ladier (ONF)*, *Guy Landmann (GIP ECOFOR)*, *François Lebourgeois (AgroParisTech)*, *Céline Meredieu (INRAE)*, *Emmanuel Montailier (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 : *Marin Chaumet (FCBA)*, *Sabine Girard (CNPF-IDF)*, *Jonathan Pitaud (ONF)*, et plus spécifiquement *Catherine Collet (INRAE)*, *Philippe Riou-Nivert (CNPF-IDF)* et *Jérôme Rosa (CNPF Île-de-France Centre-Val-de-Loire)*.

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 :

