



ASKAFOR

GUIDE PRATIQUE

POUR FAVORISER LES RENOUVELLEMENTS MÉLANGÉS
DANS LES PEUPLEMENTS FORESTIERS GÉRÉS SELON
LES PRINCIPES DE LA SYLVICULTURE MÉLANGÉE À
COUVERT CONTINU

RECONSTITUTION POST-CRISE

LISA LAURENT
MAUDE CAVALIERE
ÉRIC LACOMBE

À PROPOS DES AUTEURS

Lisa Laurent

Ingénieure de recherche

UMR Silva

Lisa Laurent travaille à l'interface entre approche scientifique théorique (dynamique des communautés végétales, interactions plante-plante-animaux...) et recherche appliquée (sylviculture). Elle est l'auteur et co-auteur de plusieurs articles scientifiques et techniques qui ont pour thème la dynamique des communautés végétales, en particulier de la régénération ligneuse, en réponse à des stress et perturbations (sécheresse, abroustissement, tempête).

Maude Cavaliere

Chargée de mission

UMR Silva

Maude Cavaliere est ingénieure d'étude à l'UMR Silva (Université de Lorraine, INRAE et AgroParisTech) sur les questions de renouvellement mélangé des peuplements ayant subi une crise majeure.

Éric Lacombe

Enseignant-chercheur

UMR Silva

Éric Lacombe est Ingénieur Divisionnaire de l'Agriculture et de l'Environnement, enseignant-chercheur dans l'UMR Silva (Université de Lorraine, INRAE et AgroParisTech).



Citation

Laurent, L., Cavaliere, M., Lacombe, E., 2022. Guide pratique pour favoriser les renouvellements mélangés dans les peuplements forestiers gérés selon les principes de la sylviculture mélangée à couvert continu. Reconstitution post-crise. Projet Interreg Grande Région Askafor, 64 p.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	1
GLOSSAIRE	3
OBJECTIFS DU GUIDE	5
Vers un renouvellement mélangé des forêts	5
Un guide pour aider à choisir parmi un panel de scénarios de reconstitution mélangées	6
Avertissement	6
CONTEXTE ET ENJEUX	7
Qu'est ce que la Sylviculture Mélangée à Couvert Continu?	7
Des scénarios de reconstitution compatibles avec la SMCC	7
LE MELANGE D'ESSENCES	10
Qu'est ce qu'un «mélange» ?	10
Pourquoi favoriser le mélange ?	15
ZONE D'UTILISATION DU GUIDE	18
CADRE D'APPLICATION DU GUIDE	19
QUELLES STRATEGIES DE RECONSTITUTION FORESTIERE POST-CRISE EN SMCC ?	20
Démarche : se positionner dans un panel de stratégie de renouvellement mélangé	20
Comment choisir une stratégie ?	21
Comment réaliser le diagnostic de la situation initiale ?	24
Recommandations communes à toutes les stratégies de reconstitution	26
FICHES « STRATEGIE »	31
Fiche A : Valorisation de la régénération naturelle	31
Fiche B : Enrichissement à grand espacement ou par placeaux	34
Fiche B2 : Enrichissement par bouquets, bouquets et placeaux ou bandes	39
Fiche C : Plantation en plein melangée par bouquets, bandes, lignes ou pied a pied	43
FICHES TRANSVERSALES	48
Fiche transversale 1 : Travailler le bouleau, pourquoi et comment ?	48
Fiche transversale 2 : Le choix des essences a associer lors d'une regeneration	50
Fiche transversale 3 : Le choix des protections contre les grands ongules sauvages	54
DISCUSSION DE LA DEMARCHE ET PERSPECTIVES	56
La compréhension des ecosistemas au cœur des choix de strategie de reconstitution	56
Des expérimentations permettant d'évaluer l'adéquation entre stratégies et enjeux	56
D'autres stratégies de renouvellement à explorer	56
ANNEXE 1 : REFERENTIEL DES PRINCIPES DE LA SMCC	57
Les cinq principaux objectifs de la SMCC	57
Les principes essentiels de la SMCC	57
ANNEXE 2 : CONSTRUCTION DU TABLEAU 2	58
RÉFÉRENCES	60

AVANT-PROPOS

Le projet Interreg¹ Askafor² a pour objectif de **promouvoir la Sylviculture Mélangée à Couvert Continu (SMCC)**, sylviculture innovante et durable qui intègre les fonctions environnementales, économiques et sociales de la forêt.

La SMCC se trouve aujourd'hui confrontée aux mêmes enjeux que toutes les autres sylvicultures : elle doit **faire face à de nombreuses crises** et s'adapter aux nouvelles contraintes que les changements globaux exercent sur les forêts (surabondance des grands ongulés sauvages, crises sanitaires, tempêtes, changement climatique).

Ce guide a pour vocation de **proposer des pistes de réflexion** aux propriétaires et gestionnaires forestiers confrontés à la question de la **reconstitution de peuplements dévastés après une crise** forestière qu'ils voudraient gérer, dès cette phase, en **accord avec les principes de la SMCC**. Ce document se focalise en particulier sur **l'installation et le maintien de régénérations mélangées en s'appuyant sur les dynamiques naturelles**.

L'objectif est de **synthétiser les pratiques conseillées par les partenaires d'Askafor** en mettant en avant celles partagées par tous, tout en rendant compte de leur pluralité.

Les conseils proposés ici sont le reflet d'une réflexion qu'il faudra continuer à conforter par des expérimentations et des observations de terrain et à **actualiser en fonction de l'avancée des connaissances** sur la relation arbre-changement climatique notamment. Ainsi, le guide présenté ici est proposé dans une version initiale qui pourra être complétée et renforcée dans le futur.

Ce guide est complémentaire au document « *Concepts clés pour piloter un renouvellement par petits collectifs en couvert continu* » (Laurent et al. 2022) qui s'intéresse au renouvellement des forêts gérées en accord avec les principes de la SMCC hors d'un contexte de crise forestière.

LISA LAURENT, MAUDE CAVALIERE ET ERIC LACOMBE

¹ Programme de coopération territoriale européenne France-Wallonie-Vlaanderen

² Adapted Skills and Knowledge for Adaptive FORests

GLOSSAIRE

Abrouissement	Dégât provoqué par la faune et plus particulièrement certains ongulés (principalement cerf, chevreuil, chamois et daim) lorsqu'ils consomment la végétation, en particulier les plants ou semis d'essences ligneuses.
Adaptation	Modification des structures et du fonctionnement d'un individu ou d'une population lui permettant de vivre de façon optimale dans un nouvel environnement.
Bouquet	Ensemble d'arbres présentant une certaine homogénéité, d'une surface comprise entre 10 et 50 ares au sein d'une parcelle, difficile à cartographier. Il n'a pas vocation à constituer une unité de gestion.
Cloisonnement d'exploitation	Couloir de circulation des engins d'exploitation et de débardage dans une parcelle inclus dans un réseau. Il limite les dégâts au sol et aux arbres des peuplements.
Cloisonnement sylvicole	Layon ouvert dans les jeunes régénérations pour permettre au forestier un parcours plus aisé. Ils permettent d'assurer le repérage et l'amélioration des tiges (désignation, dégagement et façonnage) et de structurer le travail dans des larges plages de régénération. Certains préfèrent utiliser le terme de « filet sylvicole » notamment pour les layons étroits.
Dégagement	Intervention sylvicole de maîtrise de la végétation concurrente et de dosage des essences dans les jeunes peuplements forestiers de hauteur inférieure à trois mètres.
Élagage artificiel.	Correspond à la coupe des branches basses (vivantes ou mortes) d'un arbre de façon à améliorer la qualité du bois qu'il produira.
Essence « d'accompagnement »	Essence présente en complément des essences « objectif ». Elle est susceptible de remplir plusieurs fonctions d'intérêt (production, rôle cultural positif pour la conformation des tiges des essences « objectif », support pour la biodiversité, bon fonctionnement des services écosystémiques attendus par la forêt...).
Essence « objectif »	Essence qui doit constituer la production principale, en particulier de bois d'œuvre dans le cadre de la SMCC. Elle doit avoir une production correcte pour une station donnée dans l'état des connaissances actuelles. La notion d'essence « objectif » est fortement dépendante du contexte stationnel, économique, sanitaire, comme des choix du propriétaire forestier.
Façonnage	Ensemble des opérations regroupées de nettoyage, élagage et taille de formation.
Nettoieinent	Intervention relevant des travaux sylvicoles, ayant pour but de doser le mélange des essences dans les jeunes peuplements forestiers de hauteurs supérieures à trois mètres, complétée par des opérations d'ordre sanitaire et d'enlèvement de tiges mal conformées.
Parquet	Unité de peuplement forestier présentant une certaine homogénéité, d'une surface supérieure à 50 ares au sein d'une parcelle et pouvant être cartographiée. Il peut constituer une unité de gestion.
Placeau	Unité de plantation composée d'un petit ensemble de plants (3 à 25) sur une surface de faible étendue (pouvant aller jusqu'à 10 ares). La densité des plants au sein du placeau peut être forte pour provoquer la compression des tiges, à relativement faible, proche de la densité du peuplement final souhaité. Ces dispositifs sont très diversifiés et possèdent d'autres appellations en fonction du nombre de plants installés et de la surface sur laquelle ils sont répartis (« nids », « petits collectifs », « cellules », « points d'appui »...).

Résilience	Capacité que possède un écosystème ou une partie d'un écosystème (sol, communauté végétale ou animale, peuplement forestier...) à retrouver son état d'origine, par différents processus de dynamique progressive, après sa destruction totale ou partielle par une perturbation naturelle ou anthropique.
Résistance	Capacité que possède un arbre ou un peuplement forestier à se maintenir en état, en présence de facteurs de perturbation (vent, neige, insectes...).
SMCC	Sylviculture Mélangée à Couvert Continu. Sylviculture qui cherche à optimiser le traitement des forêts pour qu'elles remplissent d'une manière durable et rentable leurs multiples fonctions socio-économiques (voir page 10 pour plus de détails). La mise en œuvre de cette sylviculture se fait via des coupes légères, multi-strates et fréquentes qui permettent de garantir une ambiance forestière permanente et qui ont pour rôle de remplir différents objectifs adaptés à la situation locale : la récolte de gros bois, l'amélioration des bois en croissance et la régénération.
Taille de formation	Coupe de branches ou de fourches, réalisée généralement dans la partie supérieure des jeunes tiges sur pied, dans le but d'obtenir un tronc droit et un houppier équilibré.

Définitions adaptées d'après « Vocabulaire forestier » de Bastien et Gauberville (2011).

OBJECTIFS DU GUIDE

Vers un renouvellement mélangé des forêts

Les forêts de la grande région³ font face à de **nombreuses crises** (tempêtes, scolytes, sécheresses estivales...) pouvant obliger les acteurs forestiers à **engager avant l'heure le renouvellement de leurs peuplements dévastés** (sinistrés sur une grande surface avec de très forts taux de dégâts).

En parallèle, les changements globaux obligent les propriétaires et gestionnaires forestiers à s'interroger sur la **meilleure gestion à adopter pour reconstituer une forêt à la fois rentable, durable et multifonctionnelle dans un contexte d'incertitudes** (projections climatiques, ampleur du changement, modification de la situation économique, fluctuation des marchés, demandes multifonctionnelles adressées à la forêt...) (*Cordonnier et Gosselin, 2009*). De nombreux travaux scientifiques ont montré que les écosystèmes forestiers sont capables de s'adapter aux changements globaux mais la question de la direction et de la vitesse de cette adaptation est loin d'être connue. L'importance des produits « bois » issus des forêts dans notre société nous amène à vouloir orienter et accélérer l'adaptation des forêts aux changements globaux (*Spittlehouse, 2005*).

Il existe trois principaux axes d'adaptation complémentaires :

- l'adaptation sociétale (révision des objectifs assignés à ces espaces liée à l'évolution des attentes...);
- l'adaptation à la forêt (adaptation de la filière d'exploitation et de la chaîne de transformation du bois...);
- **l'adaptation de la forêt** (changement de pratiques sylvicoles, migration assistée, introduction d'espèces allochtones, sélection des espèces...).

Plusieurs leviers pourraient permettre de contribuer à l'**adaptation des peuplements** aux changements climatiques (*Brang et al., 2016*) : augmenter la diversité structurelle, augmenter la diversité génétique, augmenter la résistance des individus, réduire les révolutions ou le diamètre cible (ou encore récolter en continu), restaurer l'environnement physico-chimique ou encore **mélanger les essences** (Figure 1).

Le recours au **mélange d'essences s'inscrit parfaitement dans les principes de la Sylviculture Mélangée à Couvert Continu (SMCC)**. Les coupes légères, multi-strates et fréquentes pratiquées en SMCC permettent de garantir une ambiance forestière permanente (*Sanchez, 2013*) et créent des forêts hétérogènes (en essences notamment) ce qui pourrait :

- **représenter une assurance** vis-à-vis des aléas en améliorant la résistance et la résilience des forêts (aux pathogènes, aux aléas climatiques extrêmes...);
- **améliorer le fonctionnement de l'écosystème** (productivité, biodiversité...);
- **ouvrir des opportunités de valorisation future** des bois aux gestionnaires forestiers (marché de niche, ressource alternative en cas de dépérissement massif de certaines essences de fort intérêt sylvicole...).

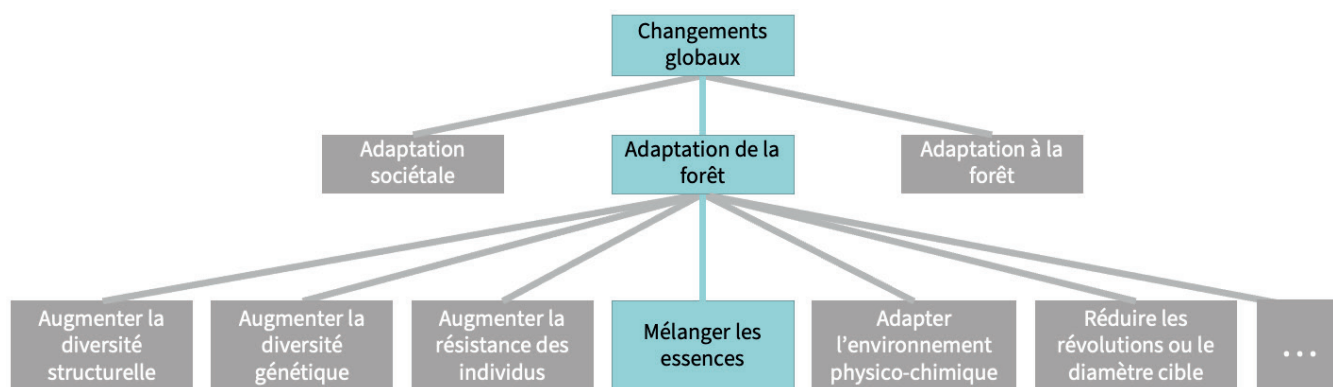


Figure 1. Le mélange : une des réponses pour adapter les forêts aux conditions futures dans le cadre des changements globaux.

³ La grande région définie par le programme « Interreg Grande Région ». Elle comprend le Luxembourg, la Lorraine (France), une partie de la Wallonie (Belgique), la Sarre (Allemagne), et une partie de la Rhénanie Palatinat (Allemagne).

Un guide pour aider à choisir parmi un panel de scénarios de reconstitution mélangées

L'installation et la gestion des mélanges passent par la proposition de pratiques sylvicoles adaptées. Nous proposons donc un guide pratique de conseils visant à obtenir, dès leur phase de reconstitution « contrainte » après des crises majeures, des **peuplements mélangés** dans des forêts gérées selon les principes de la SMCC.

Il existe un panel étendu de scénarios de reconstitution parmi lesquelles les propriétaires doivent pouvoir choisir avec discernement. Ce guide a pour objectif de mettre en avant **une diversité de scénarios** possibles parmi lesquels le propriétaire pourra faire son choix, dans une situation d'urgence, après une crise majeure au sein du peuplement.

Avertissement

Ce guide n'a pas vocation à se substituer aux manuels de reboisement existants. Il propose uniquement des axes de réflexion autour du renouvellement mélangé des peuplements sinistrés.

Aujourd'hui, les itinéraires sylvicoles de reconstitution mélangée, et en particulier à une échelle fine, reposent majoritairement sur des savoirs de type « dire d'expert » (cas d'étude, savoir empirique...). Ce guide a pour vocation de les rassembler pour que le propriétaire forestier puisse choisir son itinéraire, au cas par cas, en fonction de ses enjeux et de la situation de départ.

Ainsi, ce guide ne s'inscrit pas obligatoirement dans les textes réglementaires d'aides mises en place dans les différents pays de la Grande Région. Il a vocation à fournir des outils de diagnostic et à aider la réflexion du propriétaire et du gestionnaire qui pourront par la suite tenir compte des opportunités et contraintes réglementaires.

CONTEXTE ET ENJEUX

Qu'est ce que la Sylviculture Mélangée à Couvert Continu?

La mise en œuvre de cette sylviculture se fait via des coupes légères, multi-strates et fréquentes qui permettent de garantir une ambiance forestière permanente et qui ont pour rôle de remplir différents objectifs adaptés à la situation locale : la récolte de gros bois, l'amélioration des bois en croissance et la régénération (Sanchez, 2013). La SMCC se caractérise notamment par la diversité du peuplement (diamètre, essence...) ainsi que par le maintien d'un couvert continu grâce à la récolte progressive des gros bois de la meilleure qualité possible (2,5 cm de diamètre et plus).

Dès la phase de reconstitution, elle s'appuie sur l'existant et sur les **dynamiques naturelles** pour constituer un peuplement mélangé. Elle se servira ainsi des essences en présence pour reconstituer le peuplement si ces dernières sont adaptées à la station, et **privilégiera l'enrichissement** à des plantations en plein lorsque les essences en présence n'y sont pas adaptées. Les essences choisies doivent permettre la production de **gros bois de qualité** sur la station considérée et répondre aux **enjeux économiques, écologiques et sociaux, du propriétaire, au centre des décisions** relatives à la gestion du peuplement.

Après la phase de régénération, le jeune peuplement sera travaillé pour entretenir le mélange et obtenir des gros bois de qualité. A terme, le peuplement constitué devra être maintenu en mélange puis géré de manière à conserver un couvert continu dans le temps et spatialement (à l'échelle d'un peuplement, trouées locales plus petites qu'une unité de gestion sauf en cas de crise et d'ouverture incontrôlée du couvert). Cette gestion passe par la récolte des gros bois de qualité de manière ponctuelle et localisée. Il faudra alors s'assurer de susciter un renouvellement mélangé dans les trouées créées par la récolte de ces gros bois.

Les objectifs et principes résumés ici sont issus d'une réflexion plus large menée par l'ensemble des partenaires du projet Askafor et développée plus en détail en Annexe 1.

Des scénarios de reconstitution compatibles avec la SMCC

Spécificités des reconstitutions post-crise concernées par ce guide

L'avenir de certains peuplements forestiers peut apparaître comme compromis après une forte perturbation ou un stress. Lorsque la mortalité engendrée est très supérieure à la mortalité « habituelle », on peut parler de crise forestière. Gauquelin et al., (2010) définissent la notion de crise forestière dans leur « guide de gestion des crises sanitaires en forêt » de la façon suivante : « *menace, réelle ou supposée, pour l'état de la santé d'une population (pour nous population d'arbres) conjuguée à un risque de déstabilisation des gestionnaires, des décideurs et des managers chargés de la valorisation et commercialisation en forêt* ».

Ces crises vont entraîner une désorganisation de la gestion (coupes), de la filière forestière et du marché du bois. En situation post-crise, la composition et le couvert du peuplement, sont fortement modifiés (quasi absence de canopée). Ces **modifications sont incontrôlées et souvent difficilement prévisibles, ce qui va avoir des répercussions sur l'intérêt des différentes stratégies de reconstitution**. En effet, contrairement aux scénarios de renouvellement habituels, en cas de crise, il est souvent **difficile d'anticiper et de s'adapter aux conditions locales** (abondance de la fructification...), de **s'appuyer sur un choix des semenciers en amont** (quasiment absents) ou de **doser l'arrivée de lumière au sol**. Ces difficultés vont particulièrement modifier les possibilités de recours à la régénération naturelle pour reconstituer une forêt productive. La sylvigénèse est un processus naturel très puissant dans lequel on s'insérera plutôt que de vouloir le dominer. Cependant, c'est un processus parfois lent et qui nécessite de l'observation pour comprendre les mécanismes en présence. De ce fait il est parfois peu compatible avec les logiques d'urgence et d'actions anticipatrices (car « rassurantes ») qui prévalent en situation de crise et post-crise.

En parallèle, les scénarios de reconstitution proposés doivent s'inscrire dans une volonté d'**économie de moyens** car la situation économique du propriétaire forestier post-crise est souvent difficile (moindres bénéfices de la vente des bois et opérations sylvicoles non prévues en amont), malgré les aides qui peuvent

être apportées. On est aussi, toujours, dans des situations d'urgence et de stress, pour « sauver la valeur économique » des peuplements sinistrés, parfois dans un contexte économique devenu défavorable (cas des grandes tempêtes qui déstabilisent les marchés par l'afflux massif de bois d'un coup). De plus, le choix du propriétaire est lié à sa perception du risque qui peut être exacerbée après crise et freiner les investissements.

Après une crise de grande ampleur (grande surface affectée), l'importance des surfaces à reboiser simultanément est à l'origine d'une pression importante sur le matériel (graines, plants, engins sylvicoles...) et sur les opérateurs techniques qualifiés.

De ce fait se dessinent parfois des solutions « simplistes », qui vont au plus facile et/ou au plus rapide, avec des logiques liées aux moyens de mise en œuvre mais également parfois aux moyens de contrôle, voire aux moyens financiers (aides disponibles).

A cette situation socio-économique difficile, s'ajoute la complexité des réponses des écosystèmes forestiers qui sont aussi modifiées par les perturbations. Le développement de la régénération naturelle dépend alors :

- des caractéristiques des forêts touchées (structure, composition y compris de la végétation au sol...);
- des conditions environnementales spécifiques (conditions climatiques qui ont précédé et suivi la perturbation, dynamiques végétales propres à la zone biogéographique, abondance des ongulés...);
- des caractéristiques de la perturbation (durée, fréquence, intensité...);
- des caractéristiques des forêts alentours en particulier des semenciers à proximité (qualité des semenciers, distance de propagation des graines, distance à la zone à reconstituer...).

A ce titre, l'attention du lecteur est attirée sur le fait que les outils et propositions présentés dans ce guide concernent essentiellement des **peuplements fortement affectés par des crises biotiques (parasites...) ou abiotiques** (tempêtes d'hiver...).

SMCC et reconstitutions post crise

Ce guide concerne les propriétaires qui souhaitent s'inscrire dans le cadre de la SMCC dès la phase de reconstitution post-crise. Ainsi, les stratégies proposées respectent, autant que possible après une destruction quasi complète du peuplement adulte, les grands principes de la SMCC (rappelés en Annexe 1 page 77). Ces principes permettent de répondre positivement aux enjeux de la reconstitution d'un peuplement postérieurement à une grave perturbation comme le présente le tableau 1.

Les stratégies de reconstitution qui seront présentées dans ce guide s'inscrivent donc dans ce cadre. D'autres stratégies peuvent être adoptées mais ne seront pas abordées dans ce document :

- car elles ne sont pas compatibles avec les principes de la SMCC (plantation monospécifique en plein, gros travail du sol...).
- car elles sont peu documentées aujourd'hui (plantation par placeaux dans une matrice semée par exemple).

Tableau 1. Enjeux et préconisations pour les reconstitutions post-crise vus à travers le prisme des principes de la SMCC.

Principes	Intérêts dans un cadre post-crise	Types de préconisations du guide
S'appuyer sur les dynamiques naturelles, tirer parti de l'existant	Économie de moyens (utiliser les accrus naturels, associer les essences à comportements complémentaires à échelle fine...). Augmenter ou maintenir la diversité et la naturalité en associant des essences « objectif » ou « d'accompagnement ».	Outil de diagnostic précoce des régénérations et accrus post crise. Scénarios d'intensité d'intervention variable et schéma de plantation fonction de l'accompagnement existant et de sa qualité. Conseils de plantation tirant parti des accompagnements et pouvant réduire les abrouissements. Choix des essences d'enrichissement en fonction de celles en place.
Structurer le peuplement pour aller vers un couvert continu, mélangé et une ambiance forestière	Permettre des productions intermédiaires lorsque les stations y sont favorables (bouleaux, pins, autres pionniers stricts...). Anticiper la mortalité future d'une essence, en créant un mélange finement imbriqué par placeaux et bouquets. Éviter les mises à blanc ultérieures et les faibles taux de reprise en plein découvert lors des sécheresses et canicules estivales. Diversifier le paysage à fine échelle.	Présentation de schémas de plantation en plein ou en placeaux aboutissant à une mosaïque fine. Association des essences à terme d'exploitabilité et/ou à vitesses de croissance diversifiées. Scénarios de gestion de productions intermédiaires (bouleaux, pins, autres pionniers stricts...).
Établir un mélange d'essences « objectif »	Associer des essences avec des niveaux de tolérance aux stress et perturbations forts pour augmenter le niveau de sécurité et conserver plus d'options par rapport aux incertitudes (sécheresses estivales...). S'adapter à un marché futur du bois incertain. Améliorer la résilience après de graves perturbations par l'association d'essences à traits de vie différents. Diversifier le paysage. Favoriser la biodiversité.	Stratégie de choix des essences et de leur association pour leur tolérance /résistance qui permettra la mise en place d'un peuplement durable et « permanent ». Scénarios exploitant les accrus détectés par le diagnostic pour favoriser le mélange.
Produire une forte proportion de gros bois de qualité	Contribuer à l'approvisionnement de la filière. Stockage de carbone. Constituer un capital de valeur en forêt.	Proposition de schéma de reconstitution pour mettre en place des essences produisant du bois de qualité. Idem, pour associer des essences pouvant s'améliorer entre elles.

LE MÉLANGE D'ESSENCES

Qu'est ce qu'un «mélange» ?

Dans le cadre de ce guide, nous considérons la notion de « mélange » du point de vue sylvicole car l'objectif est de proposer des conseils de gestion en vue d'obtenir à terme des peuplements productifs et fonctionnels (mélange pérenne et maîtrisable dans le temps et l'espace). D'où la notion de « mélange-objectif », de plus en plus utilisée. Cependant, le mélange peut aussi être considéré sous d'autres angles comme par exemple sous celui de la « biodiversité ».

Un grand nombre de propositions de définition du terme « forêt de production mélangée » figurent dans la littérature scientifique et technique. À partir des nuances apportées par chacune d'entre elles, il est possible d'identifier les critères importants à considérer : le nombre d'essences, leur caractère « objectif » ou « d'accompagnement », leur proportion relative, leur caractère permanent ou temporaire, leur stratification verticale et leur répartition spatiale.

Le nombre d'essences

La majorité de la littérature s'accorde à proposer deux essences comme le minimum d'essences pour avoir un mélange (Bravo-Oviedo et al., 2014 ; Legay et al., 2008). Il s'agit d'un minimum et il est possible d'obtenir des mélanges comportant un nombre beaucoup plus important d'essences différentes. Le nombre d'essence seul ne suffit pas à définir la notion de mélange, il doit prendre en compte les caractéristiques des essences en présence (cf. paragraphes suivants).

Le caractère « objectif » des essences

Le nombre d'essences est souvent à relier au type concerné : essence « objectif » versus essence « d'accompagnement » (Legay et al., 2008).

Essence « objectif » : essence qui doit constituer la production principale, en particulier de bois d'œuvre dans le cadre de la SMCC. Elle doit avoir une production correcte pour une station donnée dans l'état des connaissances actuelles. Notion élargie à celle de « mélange-objectif ».

Essence « d'accompagnement » : essence présente en complément des essences « objectif », remplissant différentes fonctions (production, rôle cultural positif pour la conformation des tiges des essences « objectif », complément pour biodiversité, bon fonctionnement des services écosystémiques attendus par la forêt comme la qualité des sols et des eaux, le stockage de carbone...). Cette essence peut aussi servir de relais de production en cas de dépérissement de l'une des essences « objectif » en mélange.

La notion d'essence « objectif » est fortement dépendante du contexte stationnel, économique, sanitaire, comme des choix du propriétaire forestier. Ainsi, des essences considérées comme « d'accompagnement » un instant donné peuvent donc devenir plus tard des essences « objectif » et inversement.

Les essences « objectif » comme celles « d'accompagnement » peuvent être mélangées comme illustré par la Figure 2. Dans certains contextes de stations, le potentiel de diversité d'essences « objectif » est limité ou le sera dans le futur avec le changement climatique.

Dans ce guide, nous considérons qu'il n'y a pas de mélange s'il y a un risque d'aboutir à terme à une monoculture. Ainsi, nous traiterons des mélanges qui comprennent à minima deux essences « objectif » et une essence « d'accompagnement » pour limiter ce risque.

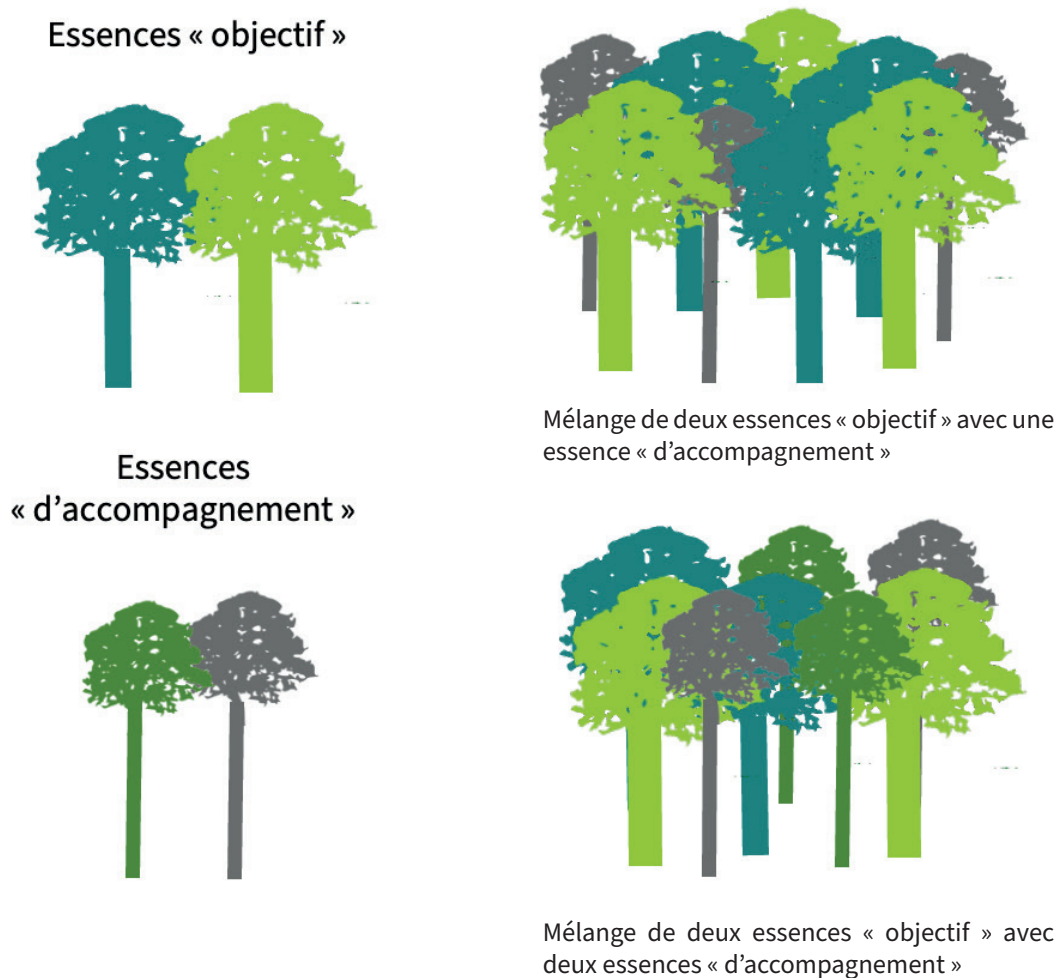


Figure 2. Différentes façons de mélanger essences « objectif » et essences « d'accompagnement ».

La proportion relative des essences

Il existe une grande diversité de méthodes pour séparer les peuplements mélangés des peuplements purs en fonction de la proportion des essences présentes. Ces méthodes utilisent des seuils de proportions relatives différents mais également des indicateurs de nature variée (couvert, surface terrière, indice de surface foliaire...). Ainsi, pour l'Office National des Forêts, un peuplement est pur si la surface terrière de l'essence principale du peuplement adulte est supérieure à 80 % du total du peuplement (Sardin *et al.*, 2008) alors que l'inventaire forestier national retient un taux de couvert libre⁴ relatif de l'essence principale supérieur à 75 % (Morneau *et al.*, 2008).

Nous retiendrons dans ce guide **la proportion de 75% maximum de surface terrière d'une essence du peuplement adulte pour le considérer mélangé**. Au stade juvénile, toute proportion d'essences permettant de s'inscrire dans la définition précédente au stade adulte, sera considérée comme satisfaisante pour être qualifiée de renouvellement mélangé.

⁴ Le taux de couvert libre correspondant au rapport entre la projection des houppiers accédant à la lumière et la surface totale du site.

Le caractère permanent ou temporaire du mélange

Un mélange est considéré comme **permanent** lorsque sa composition est stable au cours de l'ensemble du cycle (Sardin et al., 2008).

A l'inverse, un mélange est considéré comme **temporaire** lorsqu'une ou plusieurs des essences constitutives du mélange ne sont présentes qu'une partie du cycle du peuplement. C'est le cas d'une essence ayant de forts risques de mortalité dans le temps et particulièrement dès les phases juvéniles (frêne par exemple). Cela peut aussi être le cas avec des essences à caractère pionnier (bouleaux, tremble, pins...) du fait de la concurrence qu'ils subiront relativement vite dans un peuplement ayant une composition « mature » et qui aboutira à leur disparition en premier lieu, en lien souvent avec une longévité plus faible.

Cette notion de stabilité du mélange dans le temps est parfois contradictoire avec le principe de s'appuyer sur les dynamiques naturelles (cf. principes de la SMCC). Il suppose des interventions contraignantes dans un objectif figé qui correspond peu aux dynamiques forestières que l'on observe généralement.

La répartition spatiale des essences

Lorsque l'on veut caractériser le mélange, la question de l'échelle spatiale est centrale car elle va conditionner à la fois l'intérêt, les possibilités et les contraintes.

Dans le cas des plantations, le mélange peut être obtenu à différentes échelles :

- le mélange pied à pied : une alternance d'essences entre chaque plant ou semis ;
- le mélange par ligne : alternance de l'essence plantée entre chaque ligne ;
- le mélange par bandes : la bande est composée de plusieurs lignes plantées d'une même essence ; alternance d'essences entre chaque bande ou avec des interbandes d'accrus ;
- le mélange par placeaux : groupes de quelques individus d'une surface inférieure à 10 ares (1000 m²) pouvant être mélangés au niveau intra-placeaux (plusieurs essences différentes dans le même placeau) ou inter-placeaux (placeaux monospécifique) ;
- le mélange par bouquets : installation de groupes d'individus d'une seule essence, d'une surface de 10 à 50 ares (1000 à 5000 m²) ; alternance d'essences entre chaque bouquet ou avec des accrues ;
- le mélange par parquets : installation de peuplements purs, d'une surface de plus de 50 ares, se développant indépendamment.

Ce guide ne traitera pas le cas des mélanges en parquets. En effet, ce type de considération spatiale sort des sylvicultures à couvert continu, pour nous replacer dans des logiques de sylvicultures par classes d'âge et dont l'équilibre est recherché à l'échelle de surfaces (de même que la régénération). Ces mélanges sont donc hors du cadre de la SMCC.

De nombreux acteurs forestiers qui pratiquent la SMCC considèrent que les bouquets ne font pas partie des stratégies de reconstitution possibles si l'on souhaite respecter les exigences de la SMCC. En absence de consensus, et même si les autres stratégies sont à privilégier, certaines stratégies impliquant la mise en place de petits bouquets sont tout de même développées dans ce guide pour présenter une gamme d'options possibles étendue.

Les schémas de la Figure 3 représentent une partie des designs possibles.

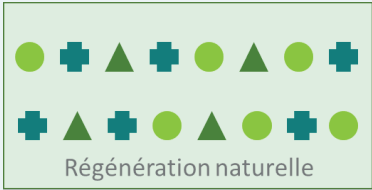
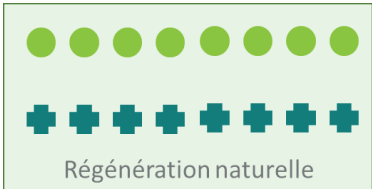
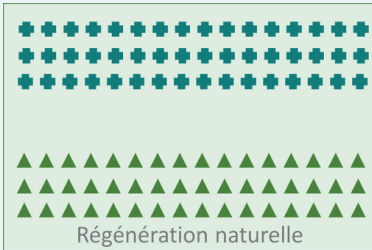
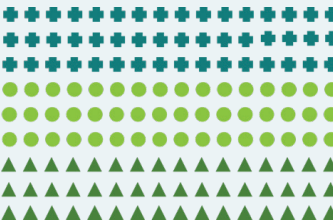
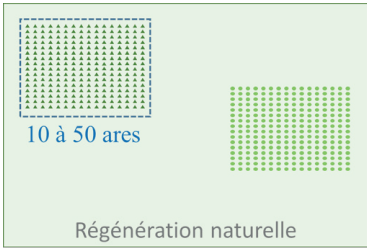
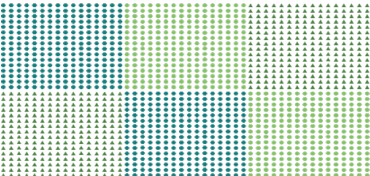
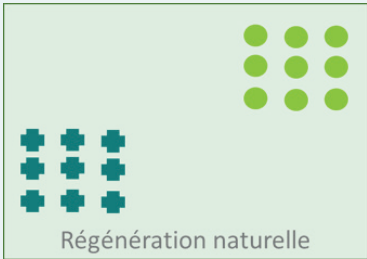
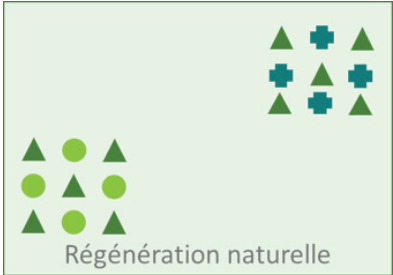
Organisation de la plantation	En enrichissement	En plein
Pied à pied		
Par ligne		
Par bande		
Par bouquets		
Par placeaux monospécifiques		
Par placeaux plurispécifiques		

Figure 3. Exemples de schémas de plantation visant à obtenir un peuplement mélangé.

Autres aspects du concept de mélange

Pour compléter la relation entre répartition spatiale et mélange décrite ci-dessus, Bartelink et Olsthoorn (1999) ont proposé d'y intégrer la notion de compétition entre espèces et de partage des ressources communes. En effet, ils proposent de parler de mélange uniquement lorsqu'il y a compétition entre les individus de plusieurs essences et que cette compétition influence fortement la croissance des essences. Bravo-Oviedo et al (2014) complètent en soulignant que les interactions interspécifiques autres que la compétition (neutralisme ou même de la facilitation) doivent également être considérées. Ainsi, pour certains auteurs, le mélange ne serait pas défini par le design de son implantation mais par le partage des ressources (espace, nutriments, lumière notamment).

Ce guide considère que les essences constituent un mélange en présence d'interactions inter-espèces (partage des ressources communes), ce qui exclut de traiter des parquets voire des bouquets. En effet, les arbres installés au centre des parquets ou bouquets sont peu en interactions avec les arbres des autres parquets/ bouquets.

Définition du mélange utilisée dans le cadre de ce travail

Les critères développés précédemment nous ont amené à proposer la définition de « **peuplement de production mélangé** » formalisée dans l'encart ci-dessous.

Peuplement de production mélangé *:

- constitué au minimum de deux essences « objectif » et d'une essence « d'accompagnement » ;
- dont aucune ne dépasse 75% de surface terrière ou de couvert au stade adulte ;
- avec des essences qui sont gérées ensemble, à une fine échelle spatiale (présence d'interactions inter-espèces qui partagent des ressources communes).

*Dans le cadre de ce travail, nous considérons la notion de « mélange » du point de vue strictement sylvicole car l'objectif est de proposer des conseils de gestion en vue d'obtenir à terme des peuplements productifs.



Photo. Peuplement mélangé de hêtre et pin noir. ©Sylvain Gaudin - CNPF

Pourquoi favoriser le mélange ?

Des réponses difficiles à généraliser...

Il existe dans la littérature scientifique et technique de nombreux travaux qui s'attachent à identifier et quantifier les avantages des peuplements mélangés par rapport aux peuplements purs. Cependant, ces avantages ne semblent pas être systématiques. Il reste notamment à préciser l'intérêt des peuplements mélangés en fonction :

- des caractéristiques de la perturbation / du stress étudié (nature, intensité, importance, durée, périodicité, fréquence, spécificités...);
- des caractéristiques intrinsèques du peuplement (essences impliquées, proportions relatives, structure);
- des conditions environnementales (climat, disponibilité en ressources...).

...mais de nombreux intérêts démontrés et supposés

Plusieurs intérêts des mélanges (démontrés ou potentiels) par rapport aux peuplements purs sont régulièrement avancés dans la littérature même s'il n'y a pas de réponse systématique (Figure 4). Ces avantages potentiels sont autant d'arguments en faveur de l'installation de peuplements mélangés. Dans tous les cas, il faut éviter les réponses uniformes et travailler à proposer des réponses diversifiées à toutes échelles.

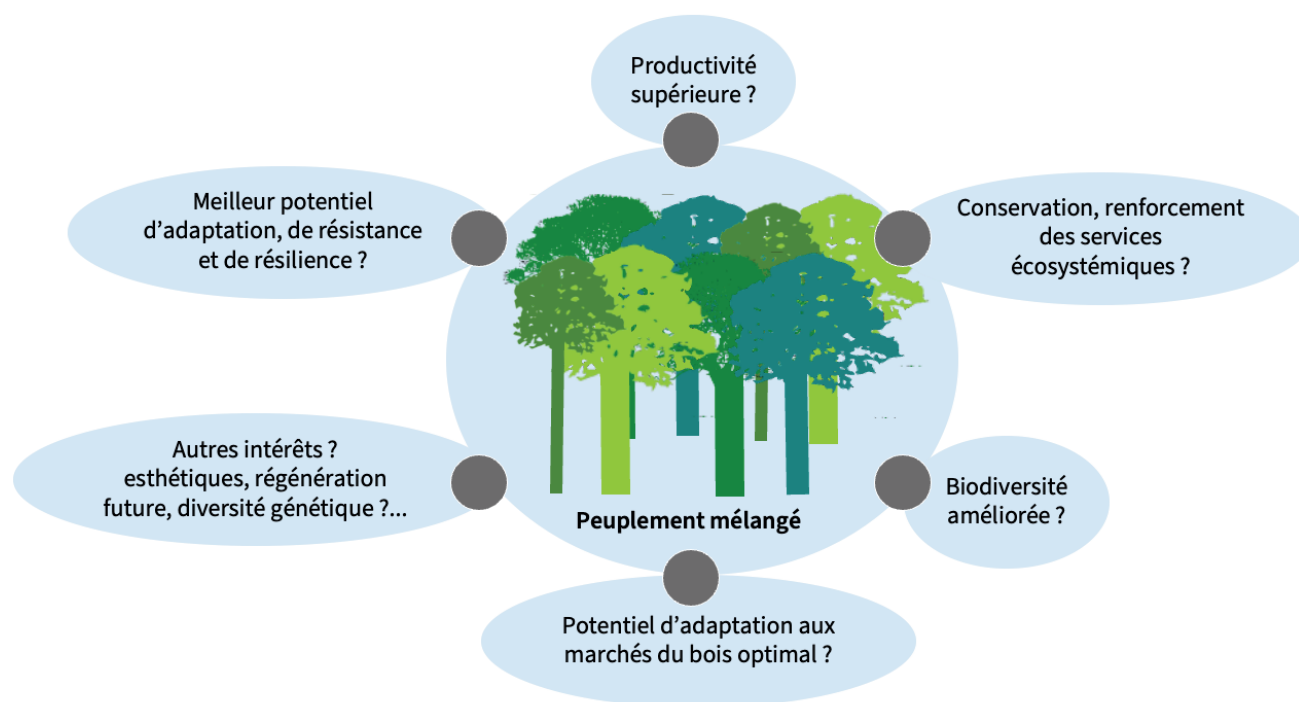


Figure 4. Avantages potentiels des peuplements mélangés.

Une synthèse de la littérature scientifique disponible permet d'identifier ces avantages potentiels du mélange :

Favoriser des peuplements plus adaptés, résistants et résilients ? Certaines études suggèrent une meilleure résistance des peuplements mélangés aux perturbations (tempêtes, attaques de pathogènes...) et aux stress (sécheresses...) ainsi qu'une plus forte résilience après perturbation. Cependant, ces effets sont loin d'être systématiques et dépendent des caractéristiques des perturbations et stress (durée, fréquence, intensité...), de la structure et composition du peuplement (essences, proportions...) et du contexte local (station ; état de l'équilibre faune-flore...).

Exemple : Cas des attaques des ravageurs et pathogènes. L'effet du mélange sur la résistance aux ravageurs et pathogènes dépend du degré de spécialisation trophique de ces organismes et de l'échelle spatiale de sélection (Prévosto, 2020) :

- Dans le cas des pathogènes et ravageurs généralistes (capables de s'attaquer à des arbres appartenant à diverses familles botaniques), la conduite en peuplements mélangés ne semble pas améliorer la résistance des forêts.
- Dans le cas des pathogènes et ravageurs spécialistes : les arbres cibles susceptibles d'être attaqués sont moins accessibles aux ravageurs dans les forêts mélangées.

La diversification des forêts comme méthode de prévention du risque sanitaire devrait donc s'appuyer sur une analyse approfondie de la prévalence des principaux agents biotiques des essences « objectif » pour en déterminer les plus fréquents et dommageables (Jactel et al., 2008)

Renforcer et conserver les services fournis par la forêt ? Chaque essence a des comportements, des capacités et des sensibilités différentes qui vont conditionner sa réponse aux modifications environnementales. La diversité et la complémentarité éventuelle de réponse des essences, associées à la présence d'une redondance fonctionnelle au sein de l'écosystème (plusieurs essences assurent une même fonction), permettra d'éviter la perte de fonctions suite à l'affaiblissement d'une essence sous la pression des changements climatiques (vigueur, survie, croissance...).

Favoriser la biodiversité ? La relation composition-biodiversité varie fortement selon la composante de la diversité analysée (Gosselin et Bouget, 2003 ; Prévosto et Ripert, 2011) et des taxons considérés notamment (et même au sein d'un même taxon) (Gosselin et Bouget, 2003). Cependant, les forêts mélangées ont souvent une architecture forestière complexe créant une multitude d'espaces vitaux et niches écologiques différentes qui pourront être favorables à de nombreux organismes.

Augmenter la productivité ? Certains scientifiques ont posé l'hypothèse que la complémentarité des capacités des essences pourrait permettre d'optimiser l'exploitation des ressources communes et ainsi augmenter la productivité du peuplement par rapport aux peuplements purs (profondeur de captation des ressources, différences phénologiques, cortèges mycorhiziens différents...). Cependant, si dans certains cas une productivité plus forte semble possible, de nombreux auteurs ont montrés que les peuplements purs avaient généralement une plus grande productivité que les peuplements mélangés constitués à partir des mêmes essences (Muys et Aubinet, 2010).

Permettre l'adaptation à un marché du bois fluctuant et incertain ? Avoir un peuplement mélangé permet plus de souplesse pour répondre aux fluctuations temporaires des marchés du bois (Junod, 2011). En effet, le mélange offre au propriétaire une plus large gamme d'options pour s'adapter plus facilement à la demande future et aux marchés de niches. Ceci est d'autant plus vrai si, en plus d'être mélangés en essences, les peuplements sont constitués de produits-bois variés en dimensions et qualités. En complément, le mélange est un moyen d'assurer des possibilités de valorisation des bois aux gestionnaires forestiers dans le futur en cas de dépérissement massif de certaines essences de fort intérêt sylvicole. Certains auteurs soulignent que les peuplements mélangés semblent être plus compliqués à valoriser dans la filière bois actuelle (lots à commercialiser plus hétérogènes et plus petits). Cependant, cette dernière pourrait être obligée de s'adapter à l'hétérogénéité des lots résultant de l'adaptation des forêts aux changements globaux. De plus il existe

des stratégies commerciales qui permettent de minimiser cette difficulté (modification des modes de vente pour basculer vers de l'exploitation en régie et de la vente de bois triés bord de route, massification de l'offre en groupant des lots de bois sur plusieurs parcelles, regroupement technique et foncier permettant de proposer des lots hétérogènes mais plus gros...).

Bénéficier d'avantages potentiels divers ? Comme améliorer l'aspect esthétique de la forêt ou encore augmenter la diversité génétique...

En résumé, le mélange dans les peuplements forestiers n'est pas une réponse universelle aux changements globaux, mais semble permettre d'**atténuer les effets de certaines menaces ou incertitudes** qui sont au premier rang des préoccupations des forestiers : attaques épidémiques d'un bio-agresseur ou incertitude sur l'ampleur des effets du changement climatique (sécheresses estivales plus marquées). Il constitue, à n'en pas douter, l'**une des « moins mauvaises » options face à l'ensemble des incertitudes écologiques, climatiques et économiques** qui pèsent d'ores et déjà, et pèseront semble-t-il de plus en plus, sur les forêts.

ZONE D'UTILISATION DU GUIDE

Ce guide a été rédigé pour répondre aux enjeux de la « grande région » définie par le programme « Interreg Grande Région ». Ainsi, il concerne particulièrement le Luxembourg, la Lorraine (France), une partie de la Wallonie (Belgique), la Sarre (Allemagne), et une partie de la Rhénanie Palatinat (Allemagne) (Figure 5). Cependant, ces conseils peuvent être étendus à des régions limitrophes présentant les mêmes contextes climatiques et écologiques que la Grande Région. De même, certains éléments de bon sens, issus des travaux présentés, sont valables partout, pour tous types de crises.

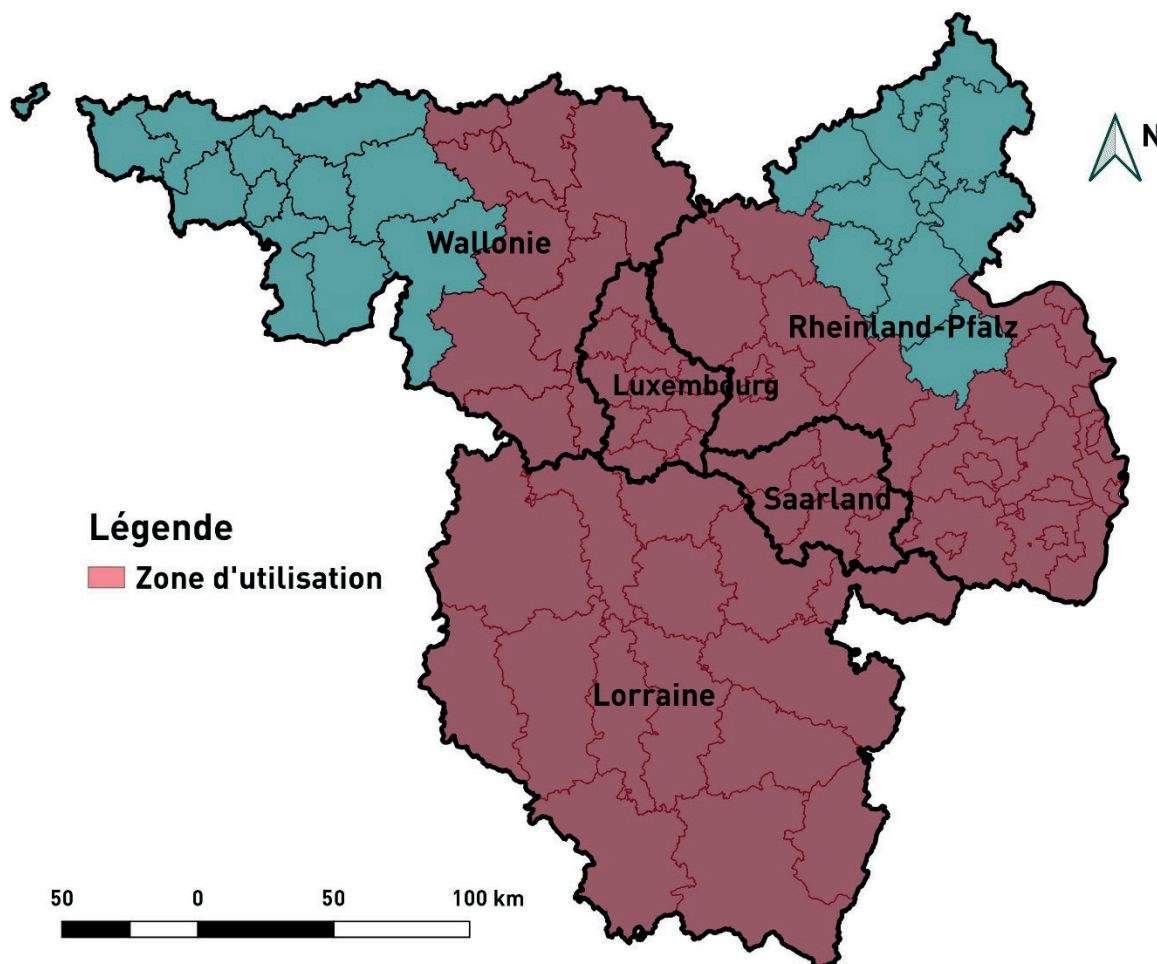


Figure 5. Carte de la zone d'utilisation du guide. Sources: © GeoBasis-DE / BKG 2017; IGN France 2017; NGL-Belgium 2017; ACT Luxembourg 2017; LVermGeo Rheinland-Pfalz 2016; Region Grand Est 2019; Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz 2019. Harmonization: SIG-GR / GIS-GR 2020.

CADRE D'APPLICATION DU GUIDE

Ce guide concerne spécifiquement les **peuplements dévastés** (sinistrés sur une grande surface, supérieure à 50 ares – ordre de grandeur d'un parquet) et n'intègre donc pas la reconstitution des peuplements « mités » (peuplements conservant une canopée arborescente capable de fournir une ambiance forestière mais contenant de nombreuses trouées). Pour mieux appréhender la reconstitution des peuplements mités nous vous invitons à vous reporter au second guide produit dans le cadre du projet Askafor qui concerne spécifiquement la gestion en SMCC « hors crise ». Cependant, certaines problématiques restent spécifiques des peuplements mités et ne seront pas développées.

Les principales crises concernées par ce guide sont **les crises post-scolytes et post-tempête mais aussi les crises engendrées par les dépérissements massifs (frênaies, sapinières, hêtraies, pessières...)**.

Ce guide **ne s'inscrit pas dans le cadre d'installation de parquets mono-spécifiques** (plus de 50 ares) qui ne respectent pas les principes de la SMCC. De plus, développer une stratégie de reconstitution par grandes surfaces homogènes dans le cadre de ce travail n'apporterait aucune plus-value par rapport aux guides de reboisement déjà existants.

Les scénarios de reconstitution proposés s'inscrivent dans une **volonté d'économie de moyens** car la situation économique du propriétaire forestier post-crise est souvent difficile (moindres bénéfices de la vente des bois et opérations sylvicoles non prévues en amont). L'économie des moyens est aussi un des objectifs de la SMCC. De plus, l'attitude du propriétaire adoptée face aux risques est liée à sa perception de ceux-ci. Après une crise cette perception est exacerbée et peut freiner les investissements envisagés. Ce contexte d'économie de moyens est d'autant plus important lorsque les crises vont entraîner une désorganisation de la gestion (coupes), de la filière forestière et du marché du bois.

Ce guide a pour vocation de **proposer des pistes de réflexion** aux propriétaires et gestionnaires forestiers confrontés à la question de la reconstitution de peuplements dévastés qu'ils voudraient gérer, dès cette phase, en accord avec les principes de la SMCC. Les conseils proposés ici sont le reflet d'une **réflexion qu'il faudra continuer à conforter par des expérimentations et des observations de terrain et à actualiser en fonction de l'avancée des connaissances** sur la relation arbre-changement climatique notamment. Ainsi, le guide présenté ici est proposé dans une version initiale qui pourra être complétée et renforcée dans le futur.

QUELLES STRATEGIES DE RECONSTITUTION FORESTIERE POST-CRISE EN SMCC ?

Démarche : se positionner dans un panel de stratégie de renouvellement mélangé

Il existe un panel étendu de stratégies de renouvellement parmi lesquelles les propriétaires doivent pouvoir choisir avec discernement. Toute réflexion visant à proposer des orientations sylvicoles doit pouvoir prendre en compte la diversité des propriétaires et se garder de proposer des solutions trop restrictives. Le choix d'une stratégie passe donc par deux principales étapes :

Etape 1. Le diagnostic du potentiel de la zone à reconstituer (*Becquey et al., 2002 ; Birot et al., 2000*) qui permet notamment d'aider à envisager les réactions possibles de l'écosystème (*Hetier, 2000*). Ce diagnostic se décompose en deux parties :

- (1) La caractérisation de la station (sol et climat, y compris projections climatiques). Ce diagnostic (topographie, végétation accompagnatrice, caractéristiques pédologiques...) permettra d'identifier les essences adaptées.
- (2) La caractérisation du peuplement (nombre d'individus d'avenir restant après l'aléa) avec une cartographie des zones à reconstituer. Ce diagnostic se fait grâce à une visite de terrain qui peut être complétée de mesures (densité, composition, répartition spatiale) pour discriminer les cas « limites ». Il est souvent conseillé dans les guides techniques d'observer les dynamiques qui s'expriment pendant quelques années (environ 3 ou 4 ans et jusqu'à 10 ans dans certaines situations) avant de faire des choix d'orientation de gestion. Cependant, dans les cas de présence d'une végétation accompagnatrice fortement compétitive (ronce, molinie, genêt à balais...), un diagnostic précoce permet d'agir avant le développement d'un blocage et donc de limiter l'importance des travaux accompagnant une plantation.

Etape 2. La prise en compte des éléments du contexte qui permet d'adapter la stratégie aux critères de décision du propriétaire (présence ou non d'un gestionnaire permettant un suivi raisonné des interventions dans le temps, objectifs assignés à la forêt et position vis-à-vis de certains enjeux notamment) et aux contraintes qui s'exercent sur le système (équilibre faune-flore, contraintes juridiques et administratives, surface et accessibilité, disponibilité en matériel et en personnel technique, conditions d'attribution des aides, pressions économiques, débouchés...).

C'est à l'issue de ces deux étapes que le propriétaire peut se fixer un objectif de gestion et définir les itinéraires techniques qui permettront possiblement de l'atteindre.

Points d'attention :

- Certains enjeux sont locaux, régionaux ou nationaux et il est important de favoriser les échanges et les prises de décisions concertées permettant de prendre en compte les différentes échelles (*Birot et al., 2000*).
- Pour exploiter le potentiel d'adaptation, la diversité d'itinéraires techniques est une clé ; il peut être intéressant d'éviter les gestions uniformes sur de grandes surfaces et de proposer des réponses diversifiées à toutes échelles.

Comment choisir une stratégie ?

1ère étape

Caractériser la situation de la zone à reconstituer grâce à un diagnostic sur le terrain et identifier les stratégies de reconstitution proposée.

- Une clé de décision permettant d'identifier la situation initiale post-crise et proposant des stratégies de reconstitution potentielles est consultable ci-dessous.
- La clé repose sur l'**évaluation visuelle de la densité de semis d'essences « objectif »** dans la zone à reconstituer lors d'un diagnostic précoce (c'est à dire 3 ou 4 ans après la crise). Si l'estimation visuelle n'est pas réalisable dans de bonnes conditions (présence de ronce masquant les semis...) ou que l'observateur suspecte une faible densité de semis d'essences « objectif », il est alors recommandé de compléter l'estimation visuelle par un **comptage** (cf. « *Comment réaliser un diagnostic ?* » (adapté d'après Laurent et Lacombe (2021)).
- Ce comptage peut également être recommandé pour mieux caractériser la composition de la régénération naturelle (essences « objectif » et « essences « d'accompagnement »), même si la densité de semis d'essences « objectif » est évaluée comme satisfaisante visuellement.
- La décision peut être reportée s'il est estimé que les accrus naturels pourraient venir compléter la régénération naturelle. Dans ce cas, un second diagnostic 3-4 ans plus tard est conseillé.

2e étape

Choisir une ou plusieurs stratégies adaptées aux enjeux du propriétaire en fonction de la situation de départ grâce au tableau présenté en page 30.

- Un tableau synthétique permet de détailler l'adéquation entre les enjeux du propriétaire forestier et les différentes stratégies possibles (tableau complet en Annexe 2).

3e étape

Consulter les fiches types correspondantes. Ces fiches synthétisent les conseils techniques et décrivent les avantages et limites potentiels de ces stratégies dans le cadre spécifique de la SMCC en contexte post-crise.

- Consulter d'abord la partie qui synthétise les **recommandations communes à l'ensemble des stratégies de reconstitution** avant de lire les fiches « stratégies de reconstitution » sélectionnées (quatre fiches).
- Ne pas se limiter à consulter uniquement une seule des fiches.
- Il existe beaucoup de variantes autour des stratégies principales identifiées dans le cadre de ce guide qui ne sont pas développées ici. C'est pourquoi ce guide s'est attaché à identifier des « grands types de stratégies ».

*Nota : si une zone à reconstituer comporte plusieurs faciès de situation initiale, il est tout à fait possible de coupler plusieurs stratégies différentes au sein d'une même zone pour optimiser les avantages de chaque stratégie, cette démarche étant particulièrement en accord avec la SMCC. Dit autrement, **la diversité est aussi à considérer dans les solutions et les stratégies.***

La discussion de la démarche utilisée dans ce guide est exposée plus bas.

Etape 1. Caractériser la situation initiale de la zone à reconstituer

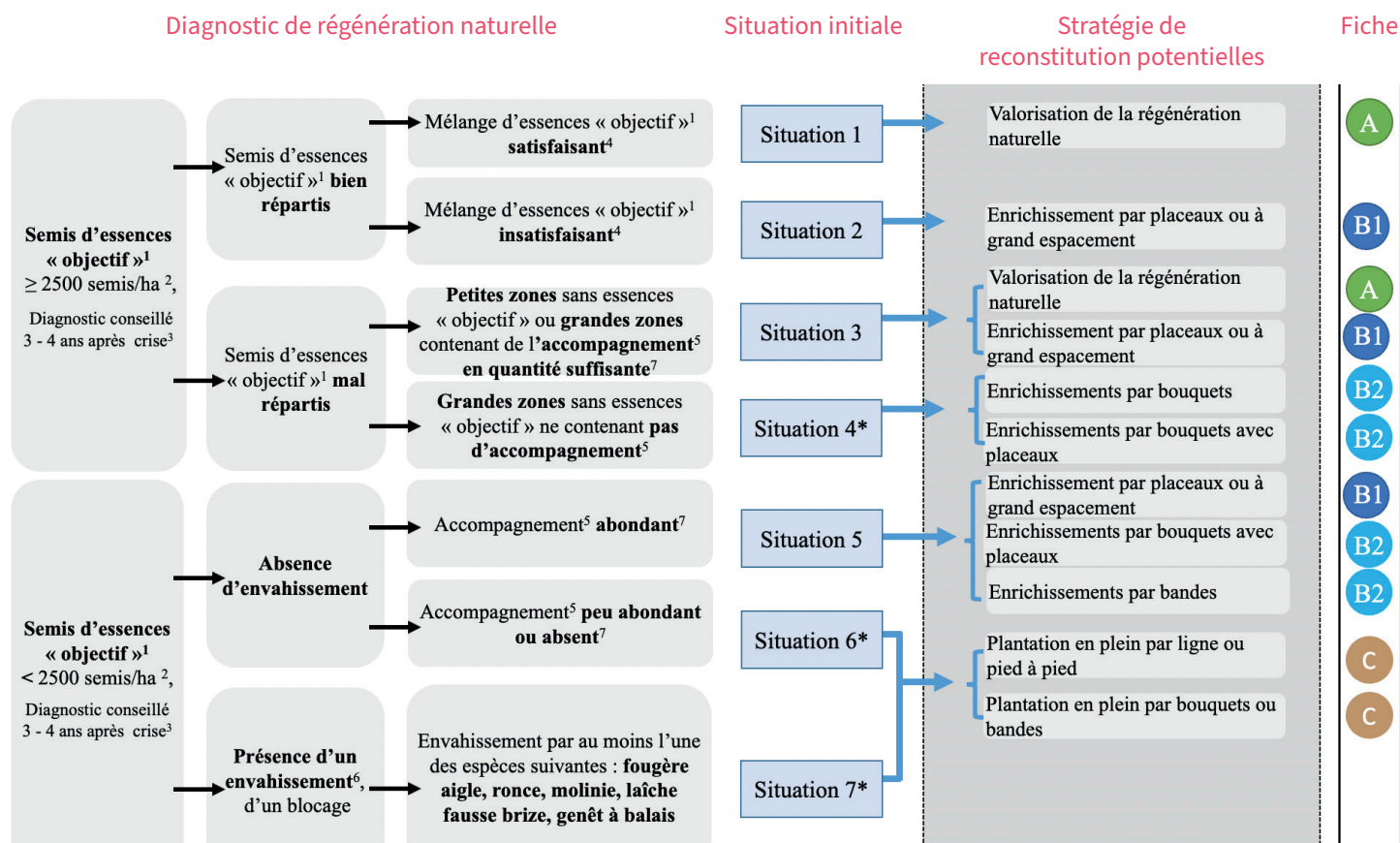


Figure 6. Clé de décision permettant d'identifier la situation initiale post-crise et proposant des stratégies de reconstitution potentielles.

Objet :

- Situations post-crisis scolytes et post-tempêtes ;
- Peuplements dévastés (grande surface, peu d'arbres restant).

Stratégies de reconstitution proposées en accord avec les principes de la SMCC :

- Rechercher un peuplement diversifié et favoriser les essences en adéquation avec le sol et le climat ;
- Favoriser les essences minoritaires ;
- S'appuyer le plus possible sur les dynamiques naturelles et réaliser une économie d'investissements ;
- S'inscrire dans la multifonctionnalité des écosystèmes forestiers ;
- Rechercher la production de gros bois de la meilleure qualité possible.

1. Le caractère « objectif » des essences est à apprécier par le propriétaire.
2. Ce seuil doit être considéré comme un ordre de grandeur du fait de la forte variabilité de la densité des semis (spatiale...).
3. Le diagnostic peut être complété par un second diagnostic plus tard car dans un faible nombre de cas il a été constaté que la régénération naturelle peut s'exprimer plus tardivement (notamment l'installation du hêtre). En cas de suspicion de blocage par une espèce envahissante, une visite précoce peut être intéressante.
4. Le caractère satisfaisant du mélange obtenu est à évaluer par le propriétaire forestier (cf. fiche transversale 2).
5. Tiges qui peuvent avoir un rôle positif pour la conformation des tiges d'avenir.
6. Présence d'une ou plusieurs espèces fortement concurrentielles de la régénération.
7. Par estimation visuelle du recouvrement des essences considérées comme « d'accompagnement » ou par comptage.

Complément

Les retours d'expériences ont montré que dans les cas où les semis d'essences « objectif » sont insuffisants ou mal répartis, après 20 ans sans aucune intervention, très peu de régénérations sont satisfaisantes. La clé simplifiant un continuum de densité d'accompagnement et d'essences « objectif » il est également possible de planter par placeaux dans les situations 4, 6 et 7 si le propriétaire fait le choix d'attendre l'installation d'une régénération naturelle progressive. Ainsi, dans ces situations, un enrichissement par placeaux (une dizaine /ha) est possible pour améliorer la situation avec un investissement réduit.

Etape 2. Etudier le potentiel des stratégies adaptées aux enjeux du propriétaire en fonction de la situation de départ

Tableau 2. Relation entre (1) les différentes stratégies proposées dans ce guide et (2) les enjeux et objectifs que les propriétaires peuvent assigner à leur forêt.

Niveau de réponse à l'enjeux :				Stratégies de renouvellement			
				Valorisation de la régénération naturelle A	Enrichissement à grand espacement ou par placeaux B1	Enrichissement par bouquets, bouquets et placeaux ou bandes B2	Plantation en plein mélangée par bouquets, bandes, lignes ou pied à pied C
Intérêts et contraintes	Production de bois	Objectif de production					
		Minimiser les coûts de production - installation					
		Minimiser les coûts de production - stades de croissance					
	Favoriser les dynamiques naturelles (valoriser l'existant)						
	Mise en œuvre	Précautions d'exploitation (recru)					
		Facilité technique à réaliser les travaux et à les suivre					
		Facilité pour la commercialisation des bois		Peut dépendre de la sensibilité du propriétaire et des caractéristiques techniques de la parcelle / forêt et économiques du territoire			
	Capacité du peuplement à résister et à être résilient	Par rapport au gibier					
		Sécheresses, bio-agresseurs, volatilité des cours des bois ...					
	Environnement	Biodiversité		Peu de consensus scientifique			
		Protection des sols, des eaux					
		Stockage carbone		Peu de consensus scientifique			
		Impact paysager		Peut dépendre de la sensibilité des acteurs			
	Expérimentation (innovation, communication)						

Ce tableau propose de mettre en relation les différentes stratégies proposées dans ce guide avec les enjeux et objectifs que les propriétaires peuvent assigner à leur forêt. La construction de ce tableau reste une proposition des partenaires du projet et ne comprend pas les itinéraires non décrits dans ce document (plantation monospécifique en plein par exemple). Les avantages et inconvénients qui ont permis de construire ce tableau sont présentés plus en détail en annexe 2. Dans tous les cas, les propriétaires/gestionnaires doivent évaluer la pertinence de ces propositions dans le cadre spécifique de leur situation.

Points d'attention :

De nombreux enjeux qui peuvent se présenter à certains propriétaires ne sont pas représentés ou détaillés dans cette grille :

- certains ne sont pas explicités ici car ils ne permettent pas de discriminer les stratégies de reconstitution au vu des connaissances actuelles (favoriser la biodiversité...).
- certains sont trop subjectifs pour être pris en compte facilement (aspect esthétique du peuplement, taille de la parcelle, positionnement de la parcelle dans le massif, enjeux mémoriel...).
- d'autres sont trop spécifiques et ne peuvent pas être généralisés dans le cadre d'un guide : c'est le cas de l'influence des pratiques des voisins par exemple.

Ainsi, l'évaluation de la pertinence d'une stratégie de reconstitution doit toujours s'effectuer au cas par cas et être modulée par la situation particulière de la forêt.

Etape 3. La fiche : mode d'emploi

Chaque fiche descriptive d'une stratégie de reconstitution est construite sur le même modèle (toutes les rubriques ne sont pas présentes sur toutes les fiches). Les quatre fiches sont présentées plus bas.

1. **Qu'est-ce que c'est ?**
Définition succincte de la stratégie de reconstitution.
2. **Principes généraux**
Description des dynamiques de régénération à l'œuvre, des principaux objectifs de la stratégie et des points d'attention spécifiques.
3. **Avantages.**
Description des principaux avantages du recours à cette stratégie de reconstitution.
4. **Inconvénients et limites**
Description des principales limites du recours à cette stratégie de reconstitution.
5. **Mise en œuvre**
Présentation des différents choix concernant le schéma de plantation (densité et espacement) ou concernant le choix des essences.
6. **Exploitation**
Conseils et précautions à respecter lors de l'exploitation forestière.
7. **Travaux préalables**
Description des travaux de sol et de gestion de la végétation accompagnatrice compétitrice.
8. **Travaux sylvicoles**
Conseils et précautions concernant les spécificités des travaux sylvicoles associés à la stratégie décrite.
9. **Équilibre faune-flore**
Conseils concernant la prise en compte de l'équilibre faune flore et le recours à la protection.

Comment réaliser le diagnostic de la situation initiale ?

Il est conseillé de réaliser une estimation visuelle de la quantité de semis 3 ou 4 ans après crise voire 10 ans après crise dans certaines situations. En cas de suspicion de blocage par une espèce envahissante (ronce, fougère aigle...), le diagnostic doit être réalisé plus tôt. A l'inverse, il peut être réalisé plus tard si l'on suspecte l'apparition tardive d'une essence intéressante (fructification des semenciers, premières années post-crise peu favorables au développement des semis de la banque du sol, engrillagement récent...).



© UMR Sylva

La clé de détermination nécessite de noter la quantité de semis par essence. Ils seront ensuite séparés en semis d'essences « objectif » et semis d'essences « d'accompagnement ».

En cas de faible densité de semis d'essences « objectif » estimée visuellement lors de la visite de terrain, il est conseillé de la quantifier plus précisément grâce à un inventaire.

Méthode d'échantillonnage – inventaire par placettes

Plusieurs stratégies d'échantillonnage sont possibles, mais nous proposons un **inventaire par placettes**. Pour chaque placette (2 m de rayon) : compter le nombre de semis. Au-delà de 12 semis par placette et par essence (correspondant à 10 000 semis/ha), il est possible d'utiliser une estimation par classes (par exemple : 12-30 semis ; 30-60 semis ; 60-90 semis...). Il est recommandé de dénombrer les semis par essence de manière à pouvoir par la suite évaluer la composition du mélange et décider s'il convient ou s'il doit être diversifié.

Calculer la moyenne des densités de semis d'essences « objectif » et d'essences « d'accompagnement » obtenues par placette pour obtenir la **densité moyenne à l'échelle de la surface à reconstituer** (en utilisant la

médiane de la classe si besoin). En effet, compte tenu de la variabilité spatiale constatée dans des travaux précédents (Laurent et Lacombe 2021) et de la surface restreinte des placettes, chaque valeur ne peut être utilisée en tant que telle.

Les placettes peuvent être organisées dans l'espace selon plusieurs protocoles en fonction des contraintes.

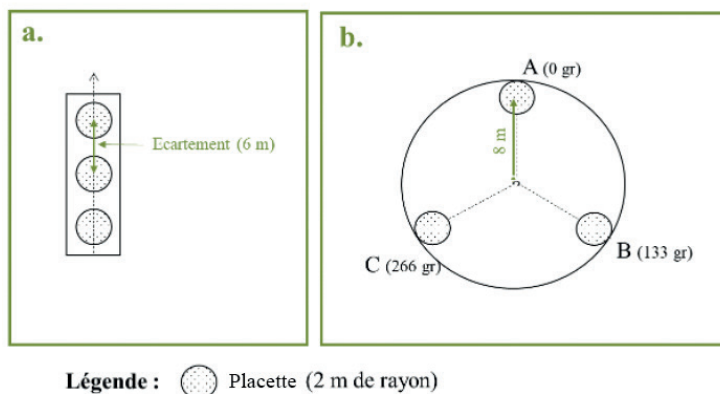


Figure 7. Deux exemples d'organisation des placettes.

Encart 2. Exemples d'organisation des placettes :

a. Transect de plusieurs placettes de 2 m de rayon. Les placettes peuvent être installés le long de cloisonnements (voire d'un linéaire s'il n'y a pas de cloisonnement). Ces dispositions ont le mérite de réduire le cheminement à pratiquer à l'intérieur des peuplements qui peuvent être assez encombrés après crise (rémanents, broussailles...). Dans le cas de cloisonnements déjà installés, bien observer une distance minimale de 1 m des zones comptées par rapport au cloisonnement.

b. Ensemble de trois placettes de 2 m de rayon.

Intensité d'échantillonnage – nombre de placeaux

L'intensité d'échantillonnage dépend :

- de la **variabilité de la densité** au sein de la zone à reconstituer ;
- de la **précision voulue** ;
- et du **niveau de confiance** voulu.

L'intensité de l'échantillonnage souhaitée est à confronter aux moyens humains et financiers du propriétaire.

Au vu du fort coefficient de variation des densités de semis observé dans des travaux précédents (*Laurent et Lacombe 2021*), il est nécessaire de réaliser un grand nombre de placeaux pour évaluer précisément la densité des semis post-crise (de 80 à 140 placeaux pour une erreur sur la densité totale de 10 à 15 %, soit de 30 à 50 dispositifs de trois placeaux avec les exemples ci-dessus). Les dispositifs sont localisés selon la méthodologie d'échantillonnage choisie (aléatoire, stratifié, systématique...) et doivent couvrir l'ensemble du peuplement forestier à reconstituer. Ainsi, il est conseillé de répartir au mieux spatialement les dispositifs et d'en augmenter le nombre avec la surface à diagnostiquer.

Le peuplement à reconstituer peut déjà être, trois à quatre ans après la crise, notamment après une tempête et en fonction du peuplement précédent, difficile à parcourir : il est alors conseillé d'ouvrir des cloisonnements sylvicoles et de réaliser les comptages en s'appuyant sur ces cloisonnements (exemple a. de la Figure 7) ; ces cloisonnements sont un investissement qui servira également lors des premiers travaux de dégagement des semis, de plantations...



Photo. Coupe rase après tempête.

Recommandations communes à toutes les stratégies de reconstitution

Cette partie regroupe les recommandations applicables à chacune des fiches descriptives des stratégies de reconstitution, dans le cadre du respect des principes de la SMCC. Même si ce guide se concentre sur « le mélange » et « les dynamiques naturelles », les principes de la SMCC sont plus larges que cela (précautions lors de l'exploitation...cf. Annexe 1).

Certaines stratégies présentent des particularités qui ne sont pas abordées ici mais qui seront détaillées dans la fiche « stratégie de reconstitution » correspondante.

Lors de l'exploitation

Dès la phase d'exploitation suivant la crise, il est recommandé :

- **d'appliquer une gestion raisonnée des rémanents ;**
 - Il est conseillé d'éviter la récolte des rémanents pour limiter la délocalisation de la matière organique. Certains territoires excluent même cette récolte (Rhénanie-Palatinat).
 - La dispersion des rémanents de faibles diamètres sur la surface permet d'éviter de constituer des obstacles à la mécanisation. Il est conseillé d'éviter de concentrer les rémanents pour faciliter leur dégradation et limiter la délocalisation potentielle de la matière organique. Certains territoires excluent de concentrer les rémanents (Rhénanie-Palatinat).
 - Il est possible d'andainer partiellement les forts volumes de rémanents et les rémanents de grandes tailles pour faciliter la mécanisation et la réalisation des travaux ultérieurs (par exemple après des dégâts de tempête). Les andains peuvent être placés, si possible, à mi-distance des cloisonnements et une attention particulière doit être accordée à la limitation de l'apport de terre et de petits rémanents. Au besoin, les rémanents peuvent être utilisés sur les cloisonnements pour amoindrir le tassement du sol. Cependant ces pratiques sont proscrites dans certains territoires pour limiter au maximum les dégâts au sol et la délocalisation de la matière organique (Rhénanie-Palatinat).
 - Les souches déchaussées peuvent être remises en place et celles dont les hauteurs de coupe pourraient gêner une mécanisation ultérieure peuvent être arasées. Cependant, certains gestionnaires considèrent que les souches ne doivent être remises en place que lorsque la sécurité des opérateurs est concernée.
 - Une quantité de rémanents importante peut être associée à une augmentation des incendies et des risques sanitaires (prolifération de rongeur, attaque de scolytes...). Lorsque ces risques sont forts, il est possible d'aller vers une exploitation et une évacuation plus importante des rémanents si celle-ci élimine les risques, voire un broyage sur zones ou sur andains. Certains gestionnaires considèrent que les effets négatifs d'une évacuation des rémanents surpassent les effets positifs même dans ces situations.
- **de conserver les arbres survivants restés sur pied ;**
 - La gestion de ces arbres doit être réfléchi en fonction du risque sanitaire (propagation dans le cas de parasites), de leur vulnérabilité à court et moyen terme, de l'objectif sylvicole, de la protection contre l'insolation de la régénération, de l'intérêt pour la fructification (ils peuvent compléter au fur et à mesure la régénération) et la biodiversité (notamment celle associée au bois mort). La réussite de la régénération naturelle dépend de la quantité et qualité graines produites par les semenciers au sein de la parcelle et dans les peuplements alentours.
 - L'exploitation d'une partie des arbres survivants peut être envisagée si elle facilite la plantation de certaines zones ou sécurise un futur engrillagement (en évitant la chute d'arbres sur les clôtures).
 - La présence de ces arbres restants garantit un minimum « d'ambiance forestière » au sein de la parcelle, ce qui peut limiter les écarts thermiques saisonniers et/ou journaliers, préjudiciables parfois à la régénération et/ou aux plantations d'enrichissement.
 - A moyen terme, toutefois, certains de ces arbres peuvent être responsables d'un fort effet de compétition sur la régénération (mortalité et déformations des jeunes tiges d'avenir). Il est donc conseillé d'éviter de planter là où ce problème risque de se présenter. La suppression d'une partie de ces compétiteurs est à envisager, en particulier s'ils sont de mauvaise qualité sylvicole. La présence de cloisonnements d'exploitation permettra de les abattre et de les sortir de la parcelle tout en préservant au maximum la régénération déjà en place. Ces arbres peuvent également servir de relais de production.
 - Les arbres intéressants à conserver doivent être identifiés pour pouvoir être intégrés dans un éventuel schéma de plantation.

- de **préserver la régénération en place et le sous-étage** ;
- Il faut, autant que possible, conserver l'ensemble du potentiel de la régénération naturelle : préserver des perches, gaules et semis restants.
- **d'installer ou maintenir le réseau de cloisonnements d'exploitation et de cloisonnements sylvicoles** qui seront utiles lors des travaux ultérieurs et permettront de protéger les sols (limitation des tassements).

Travaux préalables

Les travaux du sol agissant sur la seule couche organique et ne perturbant pas la structure du sol minéral sont les seuls compatibles avec les principes de la SMCC. Le recours à ces travaux :

- peut être intéressant :
 - juste après la crise, pour prévenir (ou retarder) la colonisation par la végétation accompagnatrice concurrente (*Collet et al., 2015 ; Dassot et al., 2016*). Cependant dans certaines situations l'effet obtenu peut être inverse à celui recherché et faciliter la colonisation par les compétiteurs ;
 - quelques années après la crise, pour faciliter la plantation (sol plus meuble) ;
 - pour améliorer la prospection racinaire.
- ne doit **pas être systématique** mais doit être réfléchi et être adapté :
 - à la capacité d'investissement initiale du propriétaire ;
 - à la stratégie d'entretien de la plantation et à son financement (fréquence et intensité des dégagements manuels ou mécanisés) ;
 - à la station (sensibilité du sol notamment, ou relative inutilité de travailler en profondeur un sol très caillouteux) ;
 - à l'encombrement du terrain (praticabilité pour les machines).
- doit être **compatible avec les réglementations en vigueur** (loi sur l'eau, respect des zones humides, directives Natura 2000, charte de Parc national...).
- doit principalement concerner **des travaux localisés** qui s'appuient sur les cloisonnements existants en période de sols portants pour limiter leurs effets sur la qualité des sols et des eaux (perturbation de l'horizon superficiel, lessivage, création d'une semelle de labour, production de conditions défavorables pour le développement des mycorhizes et des racines...).
- doit privilégier, dès que possible, **les travaux « légers »** (*Wilhelm et al., 2008*). Ainsi, les travaux de scarification agissant sur la couche organique sont préférables à ceux qui bouleversent les horizons du sol et qui sont donc contraires aux principes de la SMCC.

Il existe une grande variété de travaux du sol et d'outils qui ne sont pas décrits ni comparés dans ce guide.

Choix des essences du mélange attendu

Quelle que soit la situation initiale ou la stratégie choisie, le propriétaire doit identifier le mélange qu'il souhaite favoriser et surtout le maintenir dans le temps : nombre d'essences « objectif », proportions relatives (surtout dans le cas d'essences minoritaires à sauvegarder)...

Le mélange conseillé **doit alors être un compromis entre** :

- **l'intérêt économique** ;
- **l'intérêt écologique** ;
- et **l'investissement en travaux** que devra fournir le propriétaire.

Ce travail demande d'établir avec le propriétaire la liste de ses enjeux. Les critères à prendre en compte pour choisir le mélange d'essences que l'on souhaite favoriser, planter et maintenir sont nombreux. Ainsi, une fiche transversale synthétisant ces critères, dans l'objectif d'éclairer la décision du propriétaire, est proposée plus bas.

Quel que soit le mélange choisi, il est important de suivre l'itinéraire retenu dans le temps et donc de mettre en œuvre les travaux prévus pour rentabiliser les investissements réalisés.

Installation et suivi

- Installation et suivi des plantations

Toute plantation (en plein, en enrichissement, regarni) passe par une réception de chantiers de reboisement soigneuse. Pour toute plantation, un choix de plants de très bonne qualité (essence(s), origine, taille, mode d'élevage) (Legay et al., 2006), une installation soignée, un regarni si besoin et des entretiens réguliers pendant les premières années sont indispensables pour obtenir de bons résultats (Becquey, 2008). Nous invitons les acteurs forestiers intéressés à se référer aux documents déjà existants concernant les reboisements pour plus de précisions.

Il est recommandé de s'appuyer sur le réseau de cloisonnements sylvicoles pour l'introduction des plants. Il facilitera leur repérage et leur entretien ultérieur.

- Suivi de la reconstitution

Quelle que soit la stratégie de reconstitution choisie, un diagnostic régulier doit être effectué pour juger de l'état de la compétition, de la qualité des tiges plantées et pour évaluer les dynamiques, afin de déclencher les travaux nécessaires. Ce suivi doit aussi permettre de vérifier le respect des travaux prévus et alerter le gestionnaire en cas de dérive par rapport à la trajectoire prévue.

Travaux sylvicoles

- Le **recours à des travaux sylvicoles sera souvent indispensable** dans les premières années suivant la reconstitution quelle que soit la stratégie sélectionnée.
- Plusieurs facteurs permettent au propriétaire d'évaluer la pertinence des travaux à engager, au-delà des aspects strictement liés à l'état de la régénération :
 - l'accessibilité de la parcelle ;
 - sa topographie ;
 - la surface à travailler ;
 - l'encombrement par des rémanents ;
 - les essences à favoriser.
- Ces travaux peuvent avoir plusieurs objectifs (Laurent et Lacombe, 2021) :
 - **maitriser la végétation accompagnatrice** via des dégagements ;
 - **conserver et doser la composition en essences** pour limiter la disparition progressive de certaines essences « objectif » (chênes, feuillus précieux, essences tolérantes à la sécheresse...) ou limiter la dominance d'une essence fortement compétitive (hêtre...) ;
 - **améliorer la résilience** des peuplements futurs par des travaux de dosage des essences (dégagement, nettoyage, détournage, notamment par des techniques de cassage, puis d'annélation à des stades plus avancés...) ;
 - **obtenir et maintenir des tiges de qualité** satisfaisante pour le sylviculteur (nettoisement, gestion des arbres relictuels...).
- Les travaux, tout comme les suivis (inventaires et diagnostics) sont facilités **par la présence de cloisonnements d'exploitation et sylvicoles** qui simplifient la circulation dans les parcelles et le repérage des plants ou semis. De plus, s'appuyer sur les cloisonnements existants permet de limiter l'effet des travaux sur la qualité des sols et des eaux. Cependant, certains gestionnaires déconseillent d'installer un cloisonnement sylvicole avant d'avoir obtenu un élagage sur plus de 1,5 m de hauteur sur la majorité de la surface. Auparavant, la structure se referme. De plus, l'installation mécanisée d'un réseau de



Photo. Chêne sessile annelé au profit d'une perche d'alisier. Sylvain Gaudin © CNPF

cloisonnements intensif est contradictoire avec les exigences de protection du sol contre le tassement, imposées par la SMCC.

- En cas de plantation, si la valorisation des semis entre les plants est retenue, et en particulier la production intermédiaire de bouleau entre les zones d'enrichissement, des travaux adaptés devront également être effectués dans les bouleaux (cf. fiche transversale 1, page 66), ou autres espèces pionnières (pins...).
- Comme pour les travaux préalables, les travaux envisagés doivent bien sûr respecter les réglementations en vigueur (loi sur l'eau, respect des zones humides, directives Natura 2000, charte de Parc national...)

Equilibre faune-flore

Dans le cadre d'un déséquilibre faune flore, plusieurs actions complémentaires peuvent permettre d'éviter les effets négatifs des ongulés sauvages sur la régénération :

- rétablir l'équilibre faune-flore ;
 - L'équilibre peut être atteint en **ajustant les efforts de chasse** pour maintenir des niveaux de population compatibles avec la survie et la croissance de la régénération (augmenter le nombre de prélèvements, former les chasseurs à de nouvelles pratiques de chasses...).
- protéger la régénération viable existante ou les plants.
 - Il est possible d'**améliorer la capacité d'accueil** du milieu grâce à des pratiques sylvicoles spécifiques (maîtriser le capital du peuplement en SMCC pour favoriser la présence d'une strate arbustive basse, favoriser la production de plantes herbacées attractives dans les cloisonnements par fauchage à 20-30 cm de hauteur, gérer des accotements larges de route forestière, conserver des zones ouvertes intra-forestières suite aux aléas...). L'amélioration de la capacité d'accueil n'est à envisager qu'en absence d'un déséquilibre faune-flore marqué.
 - En cas d'enrichissement par plantation s'appuyant sur le réseau de cloisonnements, il faut veiller à réaliser les plantations **au minimum à un mètre à l'intérieur du recrû** (gainage des plants, moindre accessibilité des cervidés, protection par rapport à l'entretien des cloisonnements).
 - Plusieurs pistes de recherches sont en cours d'investigations pour tester des **protections originales et légères utilisant la nature pour détourner le gibier**. Par exemple, plusieurs scientifiques testent l'intérêt de protéger les semis d'essences « objectif » de la dent des ongulés en les associant avec la végétation accompagnatrice (en utilisant les appétences relatives des espèces présentes) ou avec les rémanents (protection mécanique).

En situations de montagne, les aléas climatiques tels que la neige lourde ou les vents rendent les protections contre les ongulés sauvages plus fragiles et nécessitent plus de suivi.

Ne pas tout reboiser ?

Il peut être conseillé de ne pas reboiser toute la zone sinistrée pour plusieurs raisons :

- **Préserver la biodiversité.** Dans le cas de surfaces importantes, il est possible de laisser des bouquets ou bandes « vides » de plants laissant ainsi l'espace pour des milieux ouverts intra forestiers riches en biodiversité. Les réglementations en place peuvent aussi contraindre les reboisements, comme dans le cas d'anciennes zones humides boisées en épicéas, où la reprise des drainages qui avaient été nécessaire à leur implantation sera souvent impossible (loi sur l'eau en France).
- **Optimiser ses investissements.** La plantation de certaines zones peut être difficile et coûteuse et pose la question de leur reboisement. Par exemple, dans le cas d'un envahissement localisé par de la végétation fortement concurrentielle, il peut être préférable de laisser la zone atteinte en libre évolution et de concentrer l'effort de reboisement sur la partie non envahie.

FICHES « STRATEGIE »

Fiche A : Valorisation de la régénération naturelle

Qu'est-ce que c'est ?

La régénération naturelle est une stratégie de renouvellement spontanée des peuplements qui se base sur le cycle de reproduction **des arbres qui sont encore en place post-crise, ou qui étaient en place avant la crise** (on utilise les semences issues des arbres sur pied et celles présentes dans la banque de semences du sol), soit sur la zone à renouveler soit dans les peuplements alentour.

Toutefois, si cette régénération naturelle est laissée en libre évolution, elle ne favorise pas toujours le maintien d'un mélange, ni la qualité et la croissance des ligneux d'essences « objectif » (*Laurent et Lacombe, 2021*). **Le recours à des travaux est donc primordial pour orienter la dynamique naturelle** en choisissant les essences, en particulier pour favoriser le développement des plus héliophiles très souvent intéressantes en matière de résistance aux sécheresses estivales, pour obtenir un peuplement de production diversifié et de qualité.

Cette fiche concerne :

- les situations 1, régénération naturelle jugée satisfaisante avec au moins deux essences « objectif » en quantité suffisante, capables de constituer un mélange à terme.
- les situations 3, régénération naturelle mal répartie et comportant (1) des petites zones pauvres en essences « objectif » ou (2) de grandes zones pauvres en essences « objectif » où les ligneux d'accompagnement sont prédominants ;

Le point commun de ces situations est la présence d'une régénération naturelle globalement abondante et de composition satisfaisante, ne nécessitant pas de déclencher d'enrichissement (selon les attentes du propriétaire).

Principes généraux

Après l'ouverture forte et incontrôlée de la canopée forestière, les dynamiques naturelles qui s'expriment sont très spécifiques et diversifiées : croissance des semis préexistants, régression progressive de certaines essences, blocage de la régénération, substitution d'essence principale, colonisation potentielle des essences pionnières... Le sylviculteur va devoir accompagner et orienter les dynamiques naturelles pour installer plus rapidement une forêt productive correspondant aux enjeux choisis.

Dans certaines régénérations, de nombreux semis d'essences pionnières (notamment les bouleaux, voire les robiniers ou les pins) vont s'exprimer fortement car l'ouverture brutale et intense de la canopée crée des conditions environnementales favorables au développement de ces essences. Par la suite, les essences pionnières semblent être des matrices adaptées pour favoriser la formation des semis d'essences « objectif » mais peuvent aussi être utilisées comme production intermédiaire, si elles sont gérées dans ce sens. Par exemple, pour les bouleaux, une fois désignés, ils seront travaillés (élagués et détourés vigoureusement) pour être récoltés vers 40 à 60 ans (cf. fiche transversale 1).

Avantages

- Pas ou peu d'investissement de départ (hors protections éventuelles contre le gibier pour les situations en fort déséquilibre ; pas ou peu de travaux de préparation du sol).
- Cette stratégie est favorable aux premiers stades de la dynamique naturelle : développement potentiel d'essences pionnières qui peuvent servir de production intermédiaire si elles sont gérées dans ce sens et peuvent contribuer à faciliter les renouvellements futurs, en particulier lors d'autres crises, lorsqu'ils sont conservés dans le peuplement adulte.
- Les germinations in situ permettent la formation d'un système racinaire profond favorable au bon approvisionnement en eau et en nutriments de la régénération mais aussi une bonne stabilité.
- Les individus sont généralement adaptés aux conditions locales actuelles (origine génétique locale).
- La sensibilité de la régénération naturelle à la dent du gibier est moindre, surtout en présence de nourriture alternative (végétation accompagnatrice herbacée ou semi-ligneuse en particulier).
- Les individus d'essences « objectif » peuvent bénéficier de l'effet d'accompagnement en fonction de la densité et de la composition de la régénération naturelle (gainage, amélioration de la forme...).
- La diversité potentielle est forte ce qui pourrait favoriser la résilience / résistance aux changements globaux et pathogènes.
- Les choix lors des martelages sont généralement plus diversifiés.
- L'effet sur le paysage du recours à la régénération naturelle est souvent « bien » perçu (interventions humaines supposées moindres par le grand public).
- Les sols sont préservés car (1) le passage des engins lourds est souvent limité à la phase d'exploitation, et (2) les travaux du sol sont rares, légers et localisés.

Inconvénients et limites

- L'acquisition et le maintien de la régénération sont incertains. Ils demandent un suivi fin et une bonne compréhension des dynamiques naturelles à l'œuvre.
- Le mélange d'essences est dépendant de la diversité de la seule régénération naturelle, et peut donc être limité. La composition naturelle sert de base aux choix d'essences du propriétaire forestier qui doit alors travailler très tôt pour favoriser et conserver un mélange : (1) adapté au potentiel de la station actuel et futur, (2) remplissant aux mieux les objectifs et enjeux de sa forêt et (3) respectant les contraintes qui pèsent sur le système (cf. fiche transversale 2).
- Le suivi et les travaux aux bénéfices des semis d'essences « objectif » peuvent être difficiles (notamment dans la situation 3) car l'installation des semis d'essences « objectif » ne suit pas un patron systématique. Il est toutefois possible, et même recommandé, de matérialiser leur emplacement sur le terrain en s'appuyant sur les cloisonnements sylvicoles. Il est également possible de faciliter le suivi avec les méthodes de Systèmes d'Information Géographique (SIG). Certains des travaux sylvicoles peuvent être plus onéreux si le propriétaire choisit une régénération naturelle que s'il a recours à une plantation (Drouineau et al., 2000). Souvent le coût vient de la répétition de « petits » gestes plutôt que du seul coût initial. C'est donc le phasage des coûts et leur typologie qui varie, suivant les options, au-delà des comparatifs chiffrés « bruts ».
- Le retour à un couvert fermé peut être plus long dans certains cas : le développement de la régénération peut avoir un « retard » comparativement à une plantation du même âge, notamment si elle apparaît après ou au milieu d'une première phase d'installation de semis-ligneux bas.

Mise en œuvre

Choix des essences

La composition du futur peuplement productif est liée au potentiel de la régénération naturelle (sementiers présents, essences des semis préexistants...) ce qui est à l'origine d'une contrainte forte sur les essences qu'il est possible de travailler en mélange. La fiche transversale 2 permet d'aider le propriétaire dans ces choix d'essences. La composition en essences est non seulement liée à la composition initiale de la parcelle sinistrée, mais aussi à celle de son environnement immédiat (apport d'espèces par l'extérieur). Les peuplements alentours, susceptibles de participer à la banque de graines devront être pris en compte

dans l'analyse de la régénération naturelle pour éviter les erreurs de diagnostic (incrimination de la station alors que l'absence d'une essence donnée pourrait s'expliquer par l'absence d'arbres semenciers à proximité immédiate ou alentours).

Travaux sylvicoles

« Régénération naturelle » n'est pas synonyme d'absence de travaux sylvicoles et le recours à des travaux sera indispensable dans de nombreux cas. À noter qu'il est conseillé de réaliser, a minima avant le stade gaulis (idéalement au stade du fourré), un diagnostic portant sur la densité, la composition et la qualité de la régénération obtenue. Ce diagnostic servira en particulier à déclencher des travaux permettant de conserver des essences héliophiles (notamment par rapport aux pionniers), ou celles qui sont rapidement mises en concurrence par d'autres (cas du chêne en mélange avec le hêtre ou le charme par exemple, ou en mélange avec des semi-ligneux plus concurrentiels dès les premières années). Les interventions quant à elles peuvent être annuelles les premières années (en particulier sur les sols à forte richesse trophique ou hydromorphes) puis s'espacer au fur et à mesure de l'acquisition et de la qualification des gaules des essences « objectif ». Chaque stade de développement exigera des actes spécifiques et chaque situation nécessitera une analyse fine. Par exemple, dans certaines situations, le mélange d'essences sera favorable aux essences « objectif » (gainage naturel, élagage naturel par la compression...), dans d'autres l'interaction s'établit en défaveur des essences « objectif ». De même, les travaux seront différents lorsque la compétition est : (1) intraspécifique (entre individus de même essence –souvent peu de travaux à faire aux jeunes stades) et (2) interspécifique (entre individus d'essences différentes –parfois plus de travaux à réaliser).

Equilibre faune-flore

Dans le cas d'un fort déséquilibre faune-flore, le développement de la régénération naturelle peut être fortement compromis du point de vue quantitatif (abrouissement réduisant fortement le nombre de semis) et qualitatif (abrouissement plus ciblé sur certaines essences appétentes). Ce blocage de régénération par une surabondance de la faune est d'autant plus probable (1) si les essences « objectif » sont très appétentes (chêne, sapin...) et (2) en l'absence de végétation accompagnatrice pouvant servir de nourriture alternative. Le recours à un diagnostic est important. Il permet de déterminer l'origine de la difficulté à acquérir la régénération naturelle. Une surdensité de lapins, sangliers, chevreuils et/ou cerfs, modifie fortement les dynamiques de croissance de la régénération naturelle, ainsi que sa composition, à différents stades de développement suivant les animaux (du semis au petit bois). Inversement, l'importance de la faune dans les difficultés de régénération est parfois surestimée et l'origine du blocage provient par exemple de la station, du degré d'ouverture du couvert ou des essences en présence. Dans le cas d'un fort déséquilibre faune-flore, le recours à des protections individuelles ou collectives est à envisager (cf. fiche transversale 3). Les cloisonnements d'exploitation et les pistes forestières peuvent aider à la recherche de cet équilibre en concentrant les dégâts le long de ces linéaires plutôt que dans l'ensemble de la matrice forestière si leur entretien est adapté à l'éthologie des espèces présentes (cerf, chevreuil...).

Fiche B : Enrichissement à grand espacement ou par placeaux

Qu'est-ce que c'est ?

L'enrichissement de la régénération naturelle est une stratégie de reconstitution post-crise qui vise à **compléter (en densité de tiges et/ou en diversité d'essences) une régénération naturelle partielle** en installant des plants issus de pépinières par groupes ou à grands espacements sur une parcelle forestière, parfois préparée en amont (généralement par potets travaillés). Cette stratégie peut également avoir un intérêt pour reconstituer des parcelles encombrées ou difficiles à mécaniser.

Cette fiche concerne :

- les situations 2, régénération naturelle mélangée assez abondante mais composition du mélange jugée insatisfaisante par le propriétaire ;
- les situations 3, régénération naturelle mal répartie et comportant (1) des petites zones pauvres en essences « objectif » ou (2) de grandes zones pauvres en essences « objectif » où les ligneux d'accompagnement sont prédominants ;
- les situations 5, régénération des essences « objectif » faible mais avec un accompagnement abondant.

Le point commun de ces situations est de pouvoir s'appuyer sur des zones bien régénérées, avec toutefois une pauvreté au moins locale en essences « objectif » et/ou en diversité fonctionnelle, qui justifie des enrichissements ponctuels.

Principes généraux

La plantation en enrichissement est intéressante lorsque la seule régénération naturelle n'est pas possible ou souhaitable car :

- elle est insuffisante (densité de semis d'essences « objectif » et/ou « d'accompagnement » trop faible) ;
- elle comprend des essences d'intérêt mineur pour le sylviculteur (essences dont la sylviculture est peu connue, essences peu rémunératrices et trop tributaires de filières fragiles, essences non adaptées à la station...) ;
- son potentiel d'adaptation au changement climatique est jugé insatisfaisant ou trop incertain en l'état des connaissances ;
- le comportement et les critères d'exploitabilités des essences présentes sont jugés trop similaires ;
- la régénération n'est pas jugée suffisamment diversifiée (nombre d'essences en mélange).

Cette stratégie de reconstitution utilise la régénération naturelle comme aide pour installer des plants d'intérêt sylvicole fort.

L'enrichissement se raisonne à une échelle spatiale fine ; l'objectif est d'avoir à terme suffisamment d'arbres dans un contexte local (dans le cas d'un enrichissement par placeaux, le but est d'aboutir à un ou quelques arbres de qualité par placeau). L'enrichissement permet ainsi de réduire la densité de plants installés à l'hectare à l'échelle de la surface à reconstituer, tout en conservant une forte densité à l'échelle locale.

Dans certaines régénérations, de nombreux semis d'essences pionnières (notamment les bouleaux, robiniers et/ou pins) vont s'exprimer dans la régénération naturelle car l'ouverture brutale et intense de la canopée crée des conditions environnementales favorables au développement de ces essences. Les semis préexistants ou les essences pionnières semblent être des matrices adaptées pour accompagner les plants introduits en enrichissement et peuvent aussi être valorisées comme production intermédiaire sur certaines stations si elles sont gérées dans ce sens (offrant une option supplémentaire à un propriétaire indécis). Par exemple, pour les bouleaux, une fois désignés, ils peuvent être travaillés (élagués et détourés vigoureusement) pour être récoltés vers 40-60 ans (cf. fiche transversale 1).

Il existe de nombreuses techniques et de nombreux schémas d'enrichissements possibles. Les choix doivent être faits par le propriétaire forestier en fonction de ses objectifs, du potentiel de la forêt et des enjeux et contraintes qui s'exercent localement : quelques choix types seront présentés par la suite.

Avantages

- Le choix des essences à introduire peut être complémentaire à la régénération naturelle pour répondre au mieux aux enjeux et aux risques identifiés par le propriétaire (essences adaptées au climat futur, essences résistantes à différentes contraintes, essence de fort intérêt pour la filière...) (cf. fiche transversale 2).
- Les investissements sont adaptables aux besoins et aux moyens disponibles (quantité de plants, essences, localisation...).
- La place est laissée aux dynamiques naturelles et à la diversité d'essences entre les groupes, voire à une essence d'accompagnement que l'on décide de favoriser un peu plus tard.
- Les travaux sont souvent localisés et limitent ainsi l'effet sur les propriétés du sol (tassement notamment).
- L'effet sur le paysage est souvent « assez bien » perçu (interventions humaines supposées moindres).
- Les pratiques sont intéressantes pour leur caractère innovant et méritent d'être l'objet de suivis. Elles peuvent motiver un propriétaire désireux de participer au développement de nouvelles techniques.

Inconvénients et limites

- La forte sensibilité des plants issus de pépinière à la dent du gibier rend l'installation de protections obligatoire en cas de déséquilibre faune-flore.
- Le coût d'installation est relativement élevé (coût individuel des plants, protection éventuelle contre le gibier...) s'il est rapporté au nombre de plants introduits mais modéré s'il est ramené à la surface totale enrichie.
- Certains travaux sylvicoles vont nécessiter une attention particulière car c'est l'ensemble du potentiel de la régénération qu'il faut préserver.
- Les lisières entre les groupes plantés et la matrice de régénération naturelle peuvent être gérées, ou la plantation doit être organisée de manière à limiter l'effet de lisière. Certains gestionnaires conseillent d'installer autour du placeau une dizaine de plants d'une essence « d'accompagnement » pour limiter l'effet lisière.
- La conduite du peuplement planté en enrichissement est moins documentée et normée que pour les plantations en plein.

Mise en œuvre

ENRICHISSEMENT À GRAND ESPACEMENT : PLUTÔT RÉSERVÉ À L'INTRODUCTION DE FEUILLUS

Ce type d'enrichissement s'effectue par l'introduction de plants fortement espacés (Figure 8). L'espacement entre les plants est déterminé par l'essence introduite, la régénération naturelle déjà présente (compétition ou facilitation éventuelle) et la densité finale souhaitée. Plus encore que pour les autres stratégies, il est recommandé d'introduire les plants par lignes s'appuyant sur les cloisonnements d'exploitation et les cloisonnements sylvicoles ; les plants étant isolés entre eux et plantés dans un accompagnement, cette organisation facilitera leur repérage lors des entretiens ultérieurs.

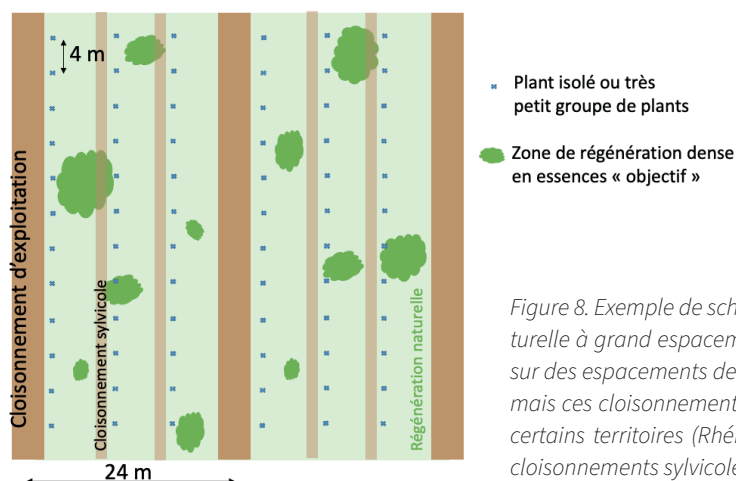


Figure 8. Exemple de schéma d'enrichissement de la régénération naturelle à grand espacement (≈ 310 plants /ha). Cet exemple s'appuie sur des espacements de 24 m entre les cloisonnements d'exploitation mais ces cloisonnements peuvent être espacés de 40 m et plus dans certains territoires (Rhénanie-Palatinat). Il en va de même pour les cloisonnements sylvicoles.

Choix des densités et espacements

En fonction des situations de départ, il est possible d'orienter les choix des densités et des écartements :

- Situation 2 : l'enrichissement a pour but de rajouter une « assurance » par rapport à une situation déjà favorable : privilégier les écartements forts entre lignes et entre plants (8 x 4 m par exemple).
- Situation 3 : l'enrichissement dans l'accompagnement peut être régulier et assez dense, en étant interrompu dans les plages où les essences « objectif » sont davantage présentes pour un souci d'économie de moyens.
- Situation 5 : privilégier un écart réduit entre lignes et entre plants (6 x 3 m par exemple).

Le choix de ces densités doit aussi tenir compte du tempérament de l'essence introduite : une capacité à pousser rapidement en hauteur et une sensibilité moindre aux bio-agresseurs conduit par exemple à réduire les densités de plantation.

A noter que certaines essences peuvent être plantées non pas pied par pied mais par petits groupes de 2 ou 3 plants pour favoriser leur développement et s'assurer de la présence localisée d'un individu de qualité (merisier, chênes...). Dans ce cas, l'espacement des petits groupes sur la ligne est généralement fort (10 ou 12 m par exemple), les cloisonnements espacés (10 m par exemple) et il faut prévoir un accès.

Choix du mélange

Les plants introduits peuvent être d'une ou plusieurs essences. Il peut être conseillé pour des raisons pratiques d'utiliser une essence par ligne d'enrichissement et les introductions par très petits groupes sont monospécifiques au sein des groupes.

Le choix des essences est contraint par le fait qu'une partie de la composition du futur peuplement productif est liée au potentiel de la régénération naturelle d'essences « objectif », présente et à venir éventuellement : l'enrichissement doit donc être si possible complémentaire et apporter une plus-value à la régénération en place (cf. fiche transversale 2).

ENRICHISSEMENTS PAR PLACEAUX

La plantation est concentrée sur chaque placeau qui comprend au moins une essence « objectif » et éventuellement une essence « d'accompagnement » pour aider au gainage et à l'élagage naturel des plants « objectif » lorsque l'accompagnement naturel n'est pas satisfaisant (Figure 9).

Chaque placeau doit permettre l'obtention d'un ou de quelques arbres pour constituer le peuplement final ou une partie du peuplement final si la régénération naturelle hors placeaux le permet (Riou-Nivert, 1985).

Cette pratique nécessite de fixer différents paramètres qui vont influencer la réussite du mélange et l'efficacité des interventions ultérieures : la répartition des essences (intra et inter-placeaux), le nombre de placeaux /ha, les espacements entre plants et le nombre de plants par placeau...

Choix du nombre de placeaux /ha :

L'espacement entre placeaux doit permettre, a minima, à un arbre adulte de bénéficier d'une croissance quasi libre, donc du diamètre du houppier de l'arbre objectif recherché (Havet et al., 2021). Pour ce qui concerne l'espacement maximal, il va dépendre de la régénération naturelle en place (besoins en complément, composition, répartition spatiale), mais aussi du potentiel d'investissement du propriétaire, de l'adéquation avec les enjeux de la forêt à reconstituer...

En fonction des situations de départ, il est possible de proposer différentes orientations :

- Situation 2 : la situation est déjà assez favorable : si le choix de planter à grand espacement n'a pas été fait, préférer un nombre faible de placeaux avec une ou plusieurs essences à haute valeur ajoutée ou à un niveau de sécurité élevé vis-à-vis des changements climatiques (par exemple 10 placeaux/ha).
- Situation 3 : privilégier une implantation opportuniste des placeaux dans des zones pauvres en essences « objectif » (Figure 9.b).
- Situation 5 : les placeaux peuvent être implantés de façon assez régulière jusqu'à un nombre élevé (Figure 9.a).

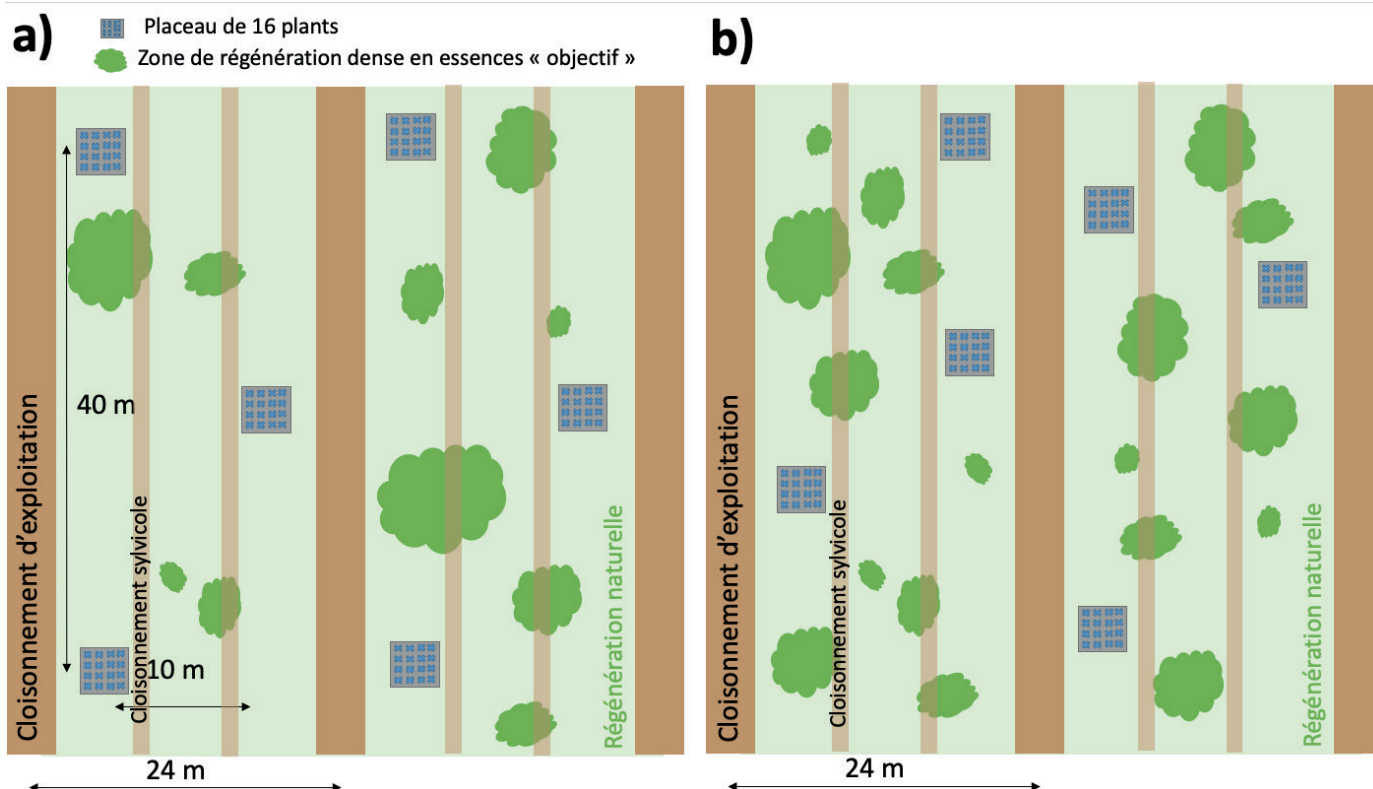


Figure 9. Exemples de schéma d'enrichissement de la régénération naturelle par placeaux (ici ≈ 25 placeaux/ha $\rightarrow$ 400 plants/ha). a) par placeaux à implantation systématique; b) par placeaux à implantation opportuniste.

Nombre de plants par placeau et densité :

La densité locale de la plantation (intra-placeau) est élevée : l'espacement entre plants couramment utilisé au sein d'un placeau se situe entre 0.7 m et 2 m. Un écartement faible (qui ne dépasse pas 1 m) permet de favoriser les processus naturels de sélection, de concurrence, de qualification et d'élagage des plants afin de réduire au maximum les interventions artificielles (chêne) (Havet *et al.*, 2021). Cet espacement va aussi dépendre de la vitesse de croissance de l'essence : une croissance rapide permet de choisir des écartements plus forts (merisier, douglas...). Le nombre de plants va en dépendre, mais peut aussi être modulé (1) par l'intérêt de constituer une tache un peu plus grande vis-à-vis d'une végétation d'accompagnement compétitrice (chêne entouré de hêtre, tilleul...) (2) par la fragilité de l'essence vis-à-vis des bio-agresseurs qui pourraient remettre en cause la viabilité de certaines tiges (merisier notamment).

Les nombres de plants couramment utilisés varient de 9 à 25 pour des surfaces unitaires allant jusqu'à 10 ares (1000 m²) dans les cas plus extrêmes en France mais souvent plutôt de l'ordre de quelques dizaines à centaines de m² par placeau. En Rhénanie Palatinat, le minimum est de 20 plants pour des questions de diversité génétique et sur maximum 1 are (100m²).



Photo. Plantation de chênes (*Quercus petraea*) par placeaux.

Choix du mélange

Pour obtenir un peuplement mélangé, il est possible de (1) planter des placeaux monospécifiques avec des essences complémentaires à celles présentes dans la régénération naturelle, (2) introduire des placeaux monospécifiques de différentes essences ou (3) mélanger les essences à l'intérieur des placeaux.

- les placeaux monospécifiques : le choix des essences peut être indépendant d'un placeau à l'autre et répond aux critères de choix de la fiche transversale 2 ;
- les placeaux à deux essences dans un but cultural : une essence « objectif » (chêne par exemple) peut être entourée d'une essence améliorante par élagage naturel (charme par exemple) dans le cas où la régénération naturelle d'accompagnement entourant le placeau serait jugée insuffisante pour jouer ce rôle ; dans ce cas, le placeau sera plutôt constitué d'un nombre de plants important (15 et plus) ;
- les placeaux plurispécifiques : l'association d'essences « objectif » au sein d'un même placeau est envisageable mais très peu documentée actuellement.

Lors de l'exploitation

Dans la mesure où l'on cherche à conserver l'ensemble du potentiel de la régénération naturelle entre les placeaux, une attention particulière doit être apportée lors de l'exploitation pour éviter d'endommager perches, gaules et semis restants (importance des cloisonnements d'exploitation).

Travaux préalables

Les travaux du sol effectués en amont d'installation de plants dans le cadre d'un enrichissement de la régénération naturelle sont légers et toujours localisés ; seule ≈ 15 % de la surface à reconstituer est travaillée lors de la phase d'installation (potets à la pelle mécanique, scarification du sol...).

Un broyage ou recépage de la végétation concurrente localisé sur les placeaux est conseillé pour faciliter la plantation en potets, sauf en cas de présence d'un taillis risquant de marcotter et/ou drageonner encore plus fort (exemple du robinier), qu'il convient alors plutôt de baliver ou fureter de manière ciblée, autour des placeaux.

Pour certains gestionnaires les travaux préalables sont exclus (Rhénanie-Palatinat par exemple).

Travaux sylvicoles

Nous attirons seulement l'attention sur quelques points spécifiques :

- Le repérage sur un plan des lignes et des placeaux par rapport aux cloisonnements numérotés par exemple (réseaux de cloisonnements d'exploitation et de cloisonnements sylvicoles préalablement installés et entretenus) facilite leur installation, puis les diagnostics et entretiens ultérieurs. S'il y en a peu, un repérage par points GPS est possible.
- Les regarnis sont souvent inutiles à partir du moment où il reste suffisamment de plants dans les placeaux. Par contre si la quantité de plants qui a survécu est faible, il est possible de regarnir dans un délai court (par exemple l'année suivant la plantation) pour permettre le rattrapage des nouveaux plants.

Tout comme les travaux d'installation, ces travaux sylvicoles seront également localisés et pourront notamment s'appuyer sur des techniques de cassage pour utiliser au mieux le gainage des recrues ligneux.

Equilibre faune-flore

Dans le cas d'un fort déséquilibre faune-flore, le recours à des protections individuelles ou collectives est à envisager (cf. fiche transversale 3).

Fiche B2 : Enrichissement par bouquets, bouquets et placeaux ou bandes

Qu'est-ce que c'est ?

L'enrichissement par bouquets ou bandes, en complément de la régénération naturelle, vise à **compléter une régénération naturelle insuffisante en installant des plants issus de pépinière en plusieurs unités de surface inférieures à 50 ares** souvent préparées en amont (bouquets), ou par bandes plantées de plusieurs lignes. Chaque bouquet ou bande peut se développer indépendamment des autres.

Dans le cadre de la SMCC, les bouquets doivent être de petite taille. Il est possible d'envisager de planter plusieurs petits bouquets dans une zone dévastée de 50 ares ou de planter par placeaux en laissant la régénération naturelle compléter les « vides » (cf. fiche stratégie B1).

De nombreux acteurs forestiers qui pratiquent la SMCC considèrent que les bouquets ne font pas partie des stratégies de reconstitution possibles si l'on souhaite respecter les exigences de la SMCC. En absence de consensus, et même si les autres stratégies sont à privilégier, certaines stratégies impliquant la mise en place de petits bouquets sont tout de même développées dans ce guide pour présenter une gamme d'options possibles étendue.

Cette fiche concerne :

- les situations 4, régénération naturelle mélangée assez abondante mais mal répartie et comportant de grandes zones pauvres en essences « objectif » et « d'accompagnement » ;
- les situations 5, semis d'essences « objectif » sont insuffisants mais l'accompagnement est abondant.

Le point commun de ces situations est d'avoir une régénération naturelle d'essences « objectif » incomplète (zone pauvre en essences « objectif » de grande taille).

Principes généraux

La plantation en enrichissement est intéressante lorsque la seule régénération naturelle n'est pas possible ou souhaitable car :

- elle est insuffisante ou mal répartie (densité de semis d'essences « objectif » et/ou « d'accompagnement » trop faible) ;
- elle comprend des essences d'intérêt mineur pour le sylviculteur (essences dont la sylviculture est peu connue, essences peu rémunératrices et trop tributaires de filières fragiles, essences non adaptées à la station...) ;
- son potentiel d'adaptation au changement climatique est jugé insatisfaisant ou trop incertain en l'état des connaissances ;
- le comportement et les critères d'exploitabilités des essences présentes sont jugés trop similaires ;
- la régénération n'est pas jugée suffisamment diversifiée (nombre d'essences en mélange).

Cette stratégie de reconstitution utilise la régénération naturelle comme aide pour installer des plants d'intérêt sylvicole fort.

L'enrichissement permet ainsi de réduire la densité de plants installés à l'hectare à l'échelle de la surface à reconstituer, tout en conservant une forte densité à l'échelle locale.

Dans certaines régénérations, de nombreux semis d'essences pionnières (notamment les bouleaux) vont s'exprimer dans la régénération naturelle car l'ouverture brutale et intense de la canopée crée des conditions environnementales favorables au développement de ces essences. Les essences pionnières semblent être des matrices adaptées pour accompagner les plants introduits en enrichissement et peuvent aussi être valorisées comme production intermédiaire dans certaines stations si elles sont gérées dans ce sens (offrant une option supplémentaire à un propriétaire indécis). Par exemple, pour les bouleaux, une fois désignés, ils peuvent être travaillés (élagués et détournés vigoureusement) pour être récoltés vers 40-60 ans (cf. fiche transversale 1).

Il existe de nombreuses techniques et de nombreux schémas d'enrichissements possibles. Les choix doivent être faits par le propriétaire forestier en fonction de ses objectifs, du potentiel de la forêt et des enjeux et contraintes qui s'exercent localement : quelques choix types seront présentés par la suite.

Avantages

- La conduite des bouquets et des bandes peut être rapprochée de celle des reboisements en plein, au moins dans un stade juvénile. Elle est ainsi bien documentée et normée (cf. guides sylvicoles).
- Le choix des essences à introduire peut être complémentaire à la régénération naturelle pour répondre au mieux aux enjeux et aux risques identifiés par le propriétaire (essences adaptées au climat futur, essences résistantes à différentes contraintes, essence de fort intérêt pour la filière...) (cf. fiche transversale 2).
- Les investissements sont adaptables aux besoins et aux moyens disponibles (quantité de plants, essences, localisation...).
- La place est laissée à l'accompagnement des dynamiques naturelles et à la diversité d'essences entre les bouquets, voire à une essence d'accompagnement que l'on décide de favoriser un peu plus tard.

Inconvénients et limites

- Le coût d'installation est relativement élevé (coût individuel des plants, protection contre le gibier...) s'il est rapporté au nombre de plants introduits mais modéré s'il est ramené à la surface enrichie.
- Les travaux de préparation du sol sont souvent faits sur une grande surface ce qui peut être à l'origine d'une perturbation du sol potentiellement élevée.
- Cette stratégie limite le recours aux dynamiques naturelles dans les bouquets en situation 5 (destruction partielle du recru naturel).
- L'effet sur le paysage est perçu comme fort par le grand public.
- Une attention particulière doit être portée aux travaux sylvicoles car c'est l'ensemble du potentiel de la régénération qu'il faut préserver.
- Les interactions entre les essences au niveau des lisières, entre les bouquets ou bandes et la matrice de régénération naturelle, doivent être gérées.

Mise en œuvre

ENRICHISSEMENT PAR BOUQUETS

Le bouquet est un ensemble de plants, composé d'une ou plusieurs essences, installé sur une surface comprise entre 10 et 50 ares (1000 à 5000 m²). Dans le cadre d'un enrichissement il est préférentiellement installé sur une surface manquant de régénération naturelle d'essences « objectif », ce qui le rend particulièrement adapté à la situation 4. Le nombre et la surface des bouquets dépendent de l'importance des zones sans semis d'essences « objectif ».

En situation 5, l'enrichissement par placeaux paraît devoir être privilégié dans le cadre de la SMCC, pour utiliser au mieux les moyens disponibles (cf. fiche B1). Toutefois, l'intérêt du recours au bouquet pourrait être la gestion facilitée de la compétition interspécifique avec l'accompagnement en minimisant les zones de lisière. Dans ce cas, une disposition assez systématique des bouquets, toujours appuyés sur les bords de cloisonnement, est à privilégier. La surface totale plantée à l'hectare dépend directement de l'effort voulu par le propriétaire.

Variante : enrichissement par bouquets et placeaux

L'enrichissement par bouquets, présenté ci-avant, peut-être complété par de l'enrichissement par placeaux (cf. fiche B1 pour plus de détails sur cette technique) dans les zones entre bouquets, si par exemple le propriétaire souhaite augmenter la diversité des essences au sein de sa régénération d'essences « objectif » (situation 4) ou « d'accompagnement » (situation 5). Cette stratégie peut par exemple permettre un boisement résineux par bouquets, complété d'un enrichissement feuillu par placeaux dans de l'accompagnement.

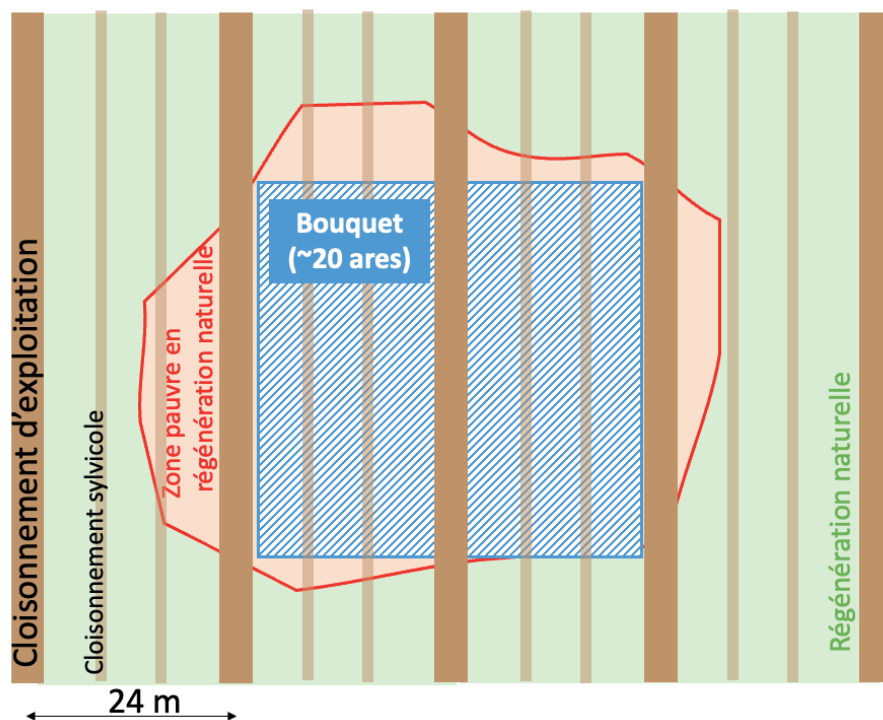


Figure 10. Schéma d'implantation d'un bouquet en fonction des zones pauvres en essences « objectif » (situation 4). Cet exemple s'appuie sur des espacements de 24 m entre les cloisonnements d'exploitation mais ces cloisonnements sont régulièrement espacés de 40 m et plus dans certains territoires (Rhénanie-Palatinat).

ENRICHISSEMENT PAR BANDES (EN SITUATION 5)

L'enrichissement par bandes consiste en un ensemble de lignes plantées parmi un recru naturel d'accompagnement relativement abondant (Figure 11). L'installation de bandes n'est envisagée qu'en cas d'absence de régénération d'essences « objectif » sur l'ensemble de la zone à reconstituer (situation 5) pour respecter les principes de la SMCC (valorisation des dynamiques naturelles et économie de moyens).

Le nombre de lignes de plantation dans une bande varie généralement de 3 à 5 selon les essences et les écartements entre lignes. L'écartement des plants sur la ligne varie entre 1 m et 2,5 m selon les essences (les densités de plantation dans les bandes relèvent des préconisations habituelles selon les essences utilisées – cf. guides sylvicoles).

Un accompagnement abondant doit permettre de réduire le nombre de lignes par bande, la bonne conformation des tiges étant en partie assurée par cet accompagnement ce qui rejoint les principes d'économie de moyens de la SMCC.

Variante :

certains proposent une plantation « en allées » (1 à 2 lignes de plants le long de chaque cloisonnement d'exploitation) qui facilite les suivis et travaux sylvicoles.

Dans certaines régénérations, de nombreux semis d'essences pionnières (notamment les bouleaux) vont s'exprimer dans la régénération naturelle car l'ouverture brutale et intense de la canopée crée des conditions environnementales favorables au développement de ces essences. Ces essences pionnières semblent être des matrices adaptées pour accompagner les plants introduits en enrichissement par bouquets et bandes, et peuvent aussi avoir un intérêt comme production intermédiaire dans certaines stations si elles sont gérées dans ce sens, offrant une option supplémentaire à un propriétaire indécis. Par exemple, pour les bouleaux, une fois désignés, ils peuvent être travaillés (élagués et détourés vigoureusement) pour être récoltés vers 40-60 ans (cf. fiche transversale 1).

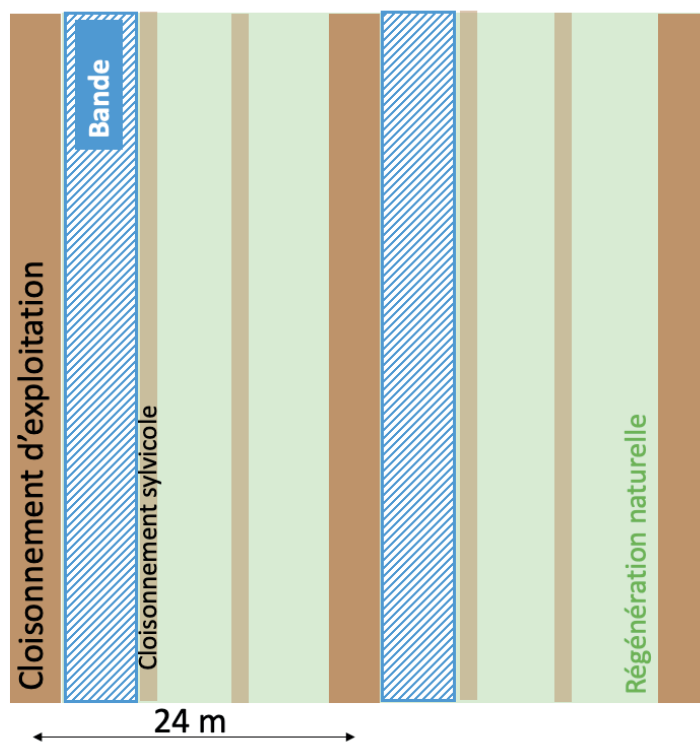


Figure 11. Exemple de schéma d'implantation de bandes en situation 5. Le nombre de bandes peut être doublé par rapport au schéma en implantant une bande de part et d'autre du cloisonnement d'exploitation. Il est aussi possible de planter des bandes entre deux « bandes » de régénération naturelle avec des cloisonnements sylvicoles pour en faciliter l'accès.

- **Choix du mélange**

Les essences choisies peuvent être différentes d'un bouquet/bande à l'autre (cf. fiche transversale 2)

Lors de l'exploitation

Dans la mesure où l'on cherche à conserver l'ensemble du potentiel de la régénération naturelle entre les bouquets et bandes, une attention particulière doit être apportée lors de l'exploitation post-crise pour éviter d'endommager perches, gaules et semis restants.

Travaux sylvicoles

Nous attirons seulement l'attention sur quelques points spécifiques :

- Le repérage sur un plan des bouquets ou bandes, par rapport aux cloisonnements numérotés par exemple, facilite les diagnostics et entretiens ultérieurs.
- L'installation de cloisonnements sylvicoles, intermédiaires entre les cloisonnements d'exploitation, permet de faciliter les diagnostics, inventaires, suivis et travaux réalisés et tout particulièrement dans la situation 4 où des essences « objectif » sont présentes entre les bouquets.
- Les techniques de cassage pourront être employées, notamment lorsque des recrues ligneux seront présents dans les bouquets ou bandes.
- Les zones hors plantation doivent être travaillées pour être valorisées en production (cf. fiche A).
- Si la valorisation des semis entre les bouquets ou bandes est retenue, et en particulier la production intermédiaire de bouleau, des travaux adaptés devront également être effectués dans les bouleaux (cf. fiche transversale 1).

Equilibre faune-flore

Dans le cas d'un fort déséquilibre faune-flore, le recours à des protections individuelles ou collectives est à envisager (cf. fiche transversale 3).

Fiche C : Plantation en plein mixée par bouquets, bandes, lignes ou pied à pied

Qu'est-ce que c'est ?

Une plantation en plein consiste en la mise en place de plants issus de pépinières sur la totalité de la surface d'une parcelle forestière très souvent préparée en amont.

Cette fiche concerne :

- les situations 6, avec une régénération naturelle faible en essences « objectif » et « d'accompagnement ».
- les situations 7, comparable à la 6 avec en plus un envahissement par une espèce très compétitrice (fougère aigle, molinie...).

Le point commun de ces situations est d'avoir une régénération naturelle de ligneux absente ou quasi absente.

De nombreux acteurs forestiers qui pratiquent la SMCC considèrent que les bouquets ne font pas partie des stratégies de reconstitution possibles si l'on souhaite respecter les exigences de la SMCC. En absence de consensus, et même si les autres stratégies sont à privilégier, certaines stratégies impliquant la mise en place de petits bouquets sont tout de même développées dans ce guide pour présenter une gamme d'options possibles étendue.

Principes généraux

Cette stratégie consiste à introduire sur l'ensemble de la surface à reboiser des plants issus de pépinière à densité généralement comprise entre 1 000 et 2 500 plants par hectare.

Le mélange peut y être organisé en bouquets, en bandes, par ligne ou pied à pied.

Dans le cadre de la SMCC, et pour disposer de plus d'options quant au niveau de sécurité vis-à-vis des changements climatiques, il est recommandé de travailler avec **au moins trois essences « objectif »** à l'échelle de la zone à reboiser quand la surface le permet.

Ne pas tout reboiser ?

Comme indiqué dans les recommandations communes à toutes les stratégies de reconstitution, et particulièrement pour cette stratégie, il est aussi envisageable de laisser des zones « vides » parmi la zone à reconstituer, par exemple en cas d'envahissement par de la végétation concurrente (situation 7) où les investissements nécessaires seront forts et peuvent dépasser les contraintes acceptables par le propriétaire. Cette proposition s'applique d'autant plus lorsqu'il n'est pas possible d'attendre l'expression des dynamiques naturelles en présence (en cas de contraintes de temps relative à la disponibilité de financements...). En cas de reboisement rapide, il est recommandé de laisser des zones en libre évolution car des dynamiques naturelles vont très probablement s'y installer à plus ou moins court terme. Il est ainsi possible de mixer les modes de reconstitution, y compris dans une matrice majoritairement reboisée en plein.

Avantages

- L'un des moyens de valorisation d'un terrain forestier de production en l'absence de recrû naturel est la plantation en plein.
- Le choix de l'ensemble des essences du mélange permet de répondre autant que possible aux enjeux et risques identifiés par le propriétaire (essences adaptées au climat futur, essences résistantes à différentes contraintes, essences de fort intérêt pour la filière...).
- La conduite de ces plantations, au moins dans un stade juvénile, peut être rapprochée de celle des reboisements classiques monospécifiques, bien documentée et normée (cf. guides sylvicoles).
- Dans certains cas, il a été constaté que les plants bénéficient d'une croissance en hauteur plus rapide que celle de la régénération naturelle.

Inconvénients et limites

- Le coût d'installation est très élevé (coût individuel des plants, protection éventuelle contre le gibier) et les coûts d'entretien, regarnis, dégagements le sont également (dans la première décennie notamment).
- Les travaux de préparation du terrain et du sol sont souvent réalisés en plein ce qui peut être à l'origine d'une perturbation du sol potentiellement élevée (la gestion de quantité importante de rémanents peut conduire à andainer, avec le risque de décapage de l'horizon organo-minéral et de favorisation des populations de petits rongeurs...).
- Les dynamiques naturelles vont être limitées (peu de place pour le recrû).
- L'effet sur le paysage est perçu comme fort par le grand public.
- L'installation d'un mélange pied à pied ou par lignes est difficile et contraint par les différences de comportement des essences.
- Les étés caniculaires et secs rendent les reprises des plantations en plein découvert incertaines.

Mise en œuvre

- **Plantation en plein mélangée par bouquets**

La plantation est organisée par bouquets s'appuyant sur les cloisonnements d'exploitation. Les densités de plantation dans les bouquets relèvent des préconisations habituelles selon les essences utilisées (cf. guides sylvicoles).

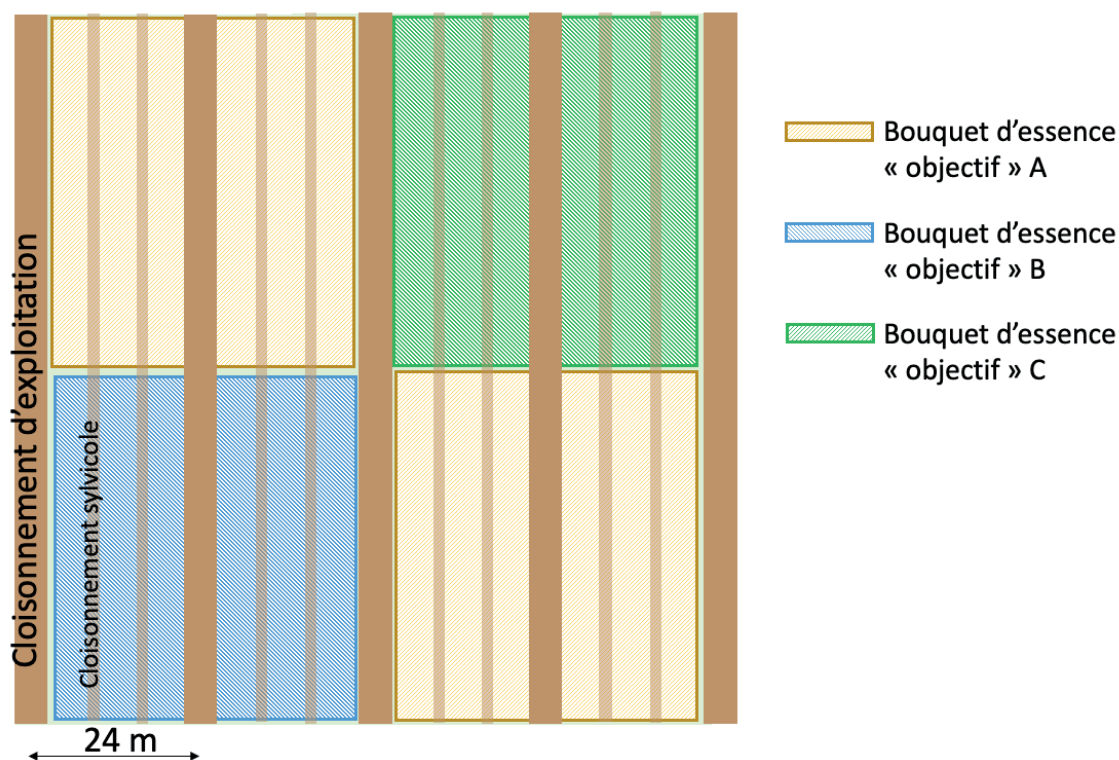


Figure 12. Exemple de plantation en plein mélangée par bouquets. Cet exemple s'appuie sur des espacements de 24 m entre les cloisonnements d'exploitation mais ces cloisonnements sont régulièrement espacés de 40 m et plus dans certains territoires (Rhénanie-Palatinat).

Choix du mélange

Les essences choisies peuvent être différentes d'un bouquet à l'autre voire au sein d'un bouquet (cf. fiche transversale 2). Pour une taille supérieure à 25 ares, les interactions entre bouquets seront limitées au cours du stade juvénile. Ils devront, dans ce cas, être gérés au stade des éclaircies et la partie centrale des bouquets sera peu affectée par les interactions interspécifiques.

- **Plantation en plein mélangée par bandes**

Les bandes sont généralement composées de cinq lignes ou plus, selon les essences et l'écartement des cloisonnements d'exploitation. Les écartements entre lignes et les écartements entre les plants sur la ligne varient entre 1.5 m et 2.5 m, là aussi selon les essences (les densités de plantation dans les bandes relèvent des préconisations habituelles selon les essences utilisées (cf. guides sylvicoles).

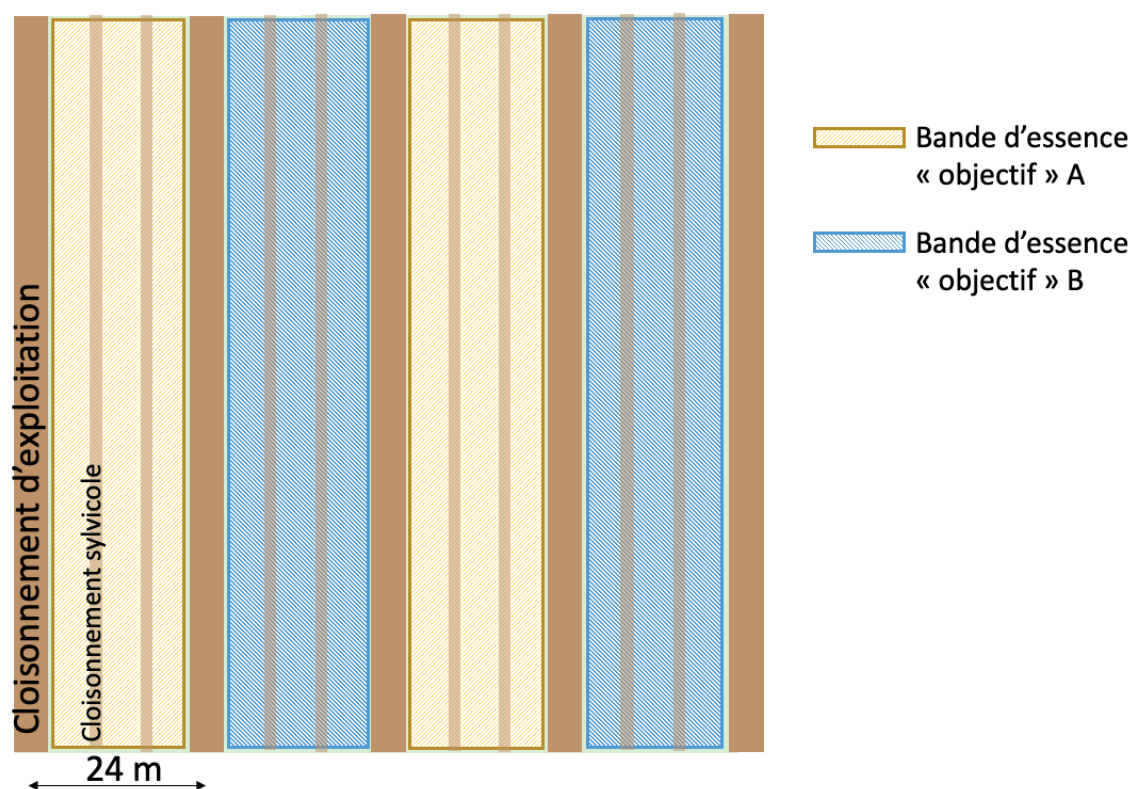


Figure 13. Exemple de plantation en plein mélangée par bandes.

Choix du mélange

Les essences choisies sont différentes d'une bande à l'autre (cf. fiche transversale 2). En cas de bandes longues, la diversité des essences peut être apportée par zones (tronçons de bandes).

- **Plantation en plein mélangée par lignes ou pied à pied**

Mélanger les essences pied à pied ou en lignes est généralement plus délicat pour des raisons de praticité et de gestion de différences de comportement des essences. L'association d'essences cumulant, une forte différence de croissance en hauteur et une forte différence de pouvoir ombrageant sera toujours plus délicate.

* Plant d'essence « objectif » A * Plant d'essence « objectif » B

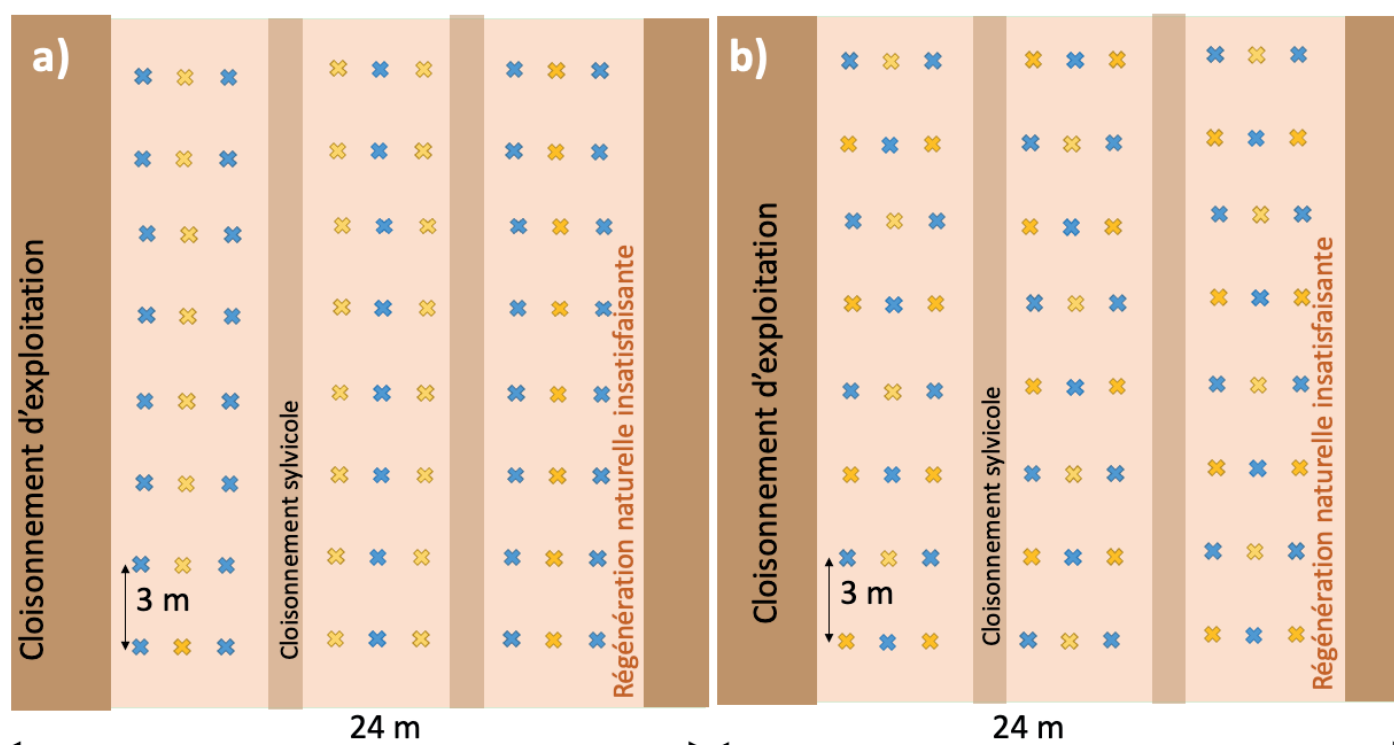


Figure 14. Exemple de plantation en plein mélangée par a) lignes ou b) pied à pied.

Choix du mélange

Les essences choisies doivent être différentes d'une ligne à l'autre ou d'un plant à l'autre (cf. fiche transversale 2). Ces techniques de plantation plurispécifique à très fine échelle méritent d'être étudiées plus en détails. Des expérimentations sont envisagées en ce sens car ces techniques pourraient être intéressantes pour répartir les risques.

Lors de l'exploitation

Une attention particulière à la gestion des rémanents doit être portée, lorsqu'une mécanisation en plein est envisagée (travail du sol, girobroyage...).

Travaux préalables

Un broyage ou recépage en plein de la végétation concurrente peut être envisageable pour faciliter la plantation en potets. Ce travail est conseillé dans la situation 7 (régénération d'essences « objectif » insuffisante avec un envahissement par une végétation accompagnatrice compétitive).

Des travaux du sol peuvent être envisagés en amont de l'installation des plants dans les bouquets ou bandes, en particulier dans la situation 7.

Travaux sylvicoles

Nous attirons l'attention sur quelques points spécifiques :

- Le repérage des bouquets ou des bandes, sur un plan (ou avec un gps) et par exemple par rapport aux cloisonnements numérotés, facilite les diagnostics et entretiens ultérieurs. Par ailleurs, ce repérage est important pour l'aménagement car la plupart du temps l'implantation de bouquets de plusieurs milliers de m² abouti au retour à une sylviculture équiennne, par classes d'âge (d'où l'inadéquation de l'utilisation des parquets / bouquets avec les principes de la SMCC). L'implantation de bouquets en plein : elle rend compliqué la planification forestière ultérieure, en cumulant les désavantages d'un suivi surfacique obligatoire mais sur de petites surfaces cumulées, au sein de parcelles planifiées de manière différente.
- Le recours à des travaux sylvicoles visant principalement à gérer la compétition (dégagement, net-

toiment) ou à améliorer la qualité des plants (taille, élagage) sera indispensable dans les premières années suivant la plantation. Ne pas prévoir de plantation à trop faible densité si aucune opération de taille n'est prévue (notamment pour les feuillus précieux) ou sans gestion du recrû.

- Les travaux envisagés doivent bien sûr respecter les réglementations en vigueur (loi sur l'eau, respect des zones humides, directives Natura 2000, charte de Parc national...).

Equilibre faune-flore

Dans le cas d'un fort déséquilibre faune-flore, le recours à des protections individuelles ou collectives est à envisager (cf. fiche transversale 3).

FICHES TRANSVERSALES

Fiche transversale 1 : Travailler le bouleau, pourquoi et comment ?

Bouleau et contexte post crise

Les situations initiales exploitant la régénération naturelle (situations : 1 à 5) peuvent faire l'objet d'une installation des bouleaux (essentiellement *Betula pendula*). Ceux-ci, dans un contexte où les autres essences « objectif » sont en faible nombre, représentent un objectif de production potentiel et peuvent constituer une étape vers l'acquisition progressive du renouvellement avec d'autres essences.



© UMR Sylva



© UMR Sylva

Objectifs

Produire du bois d'œuvre de bouleau, tel que pratiqué dans d'autres pays européens (par exemple en Pologne) : l'objectif est de produire des grumes de 5 à 8 mètres de long (en fonction de la station), de diamètre minimum de 40-50 cm, droites et avec des nœuds très réduits.

Mener une sylviculture dynamique du bouleau permet aussi de conserver un couvert perméable à la lumière favorisant ainsi l'installation progressive d'essences telles que les chênes et les pins qui peuvent être à terme constitutives du peuplement. Ce retour des chênes peut être relativement rapide (parfois moins de 15 ans). Le retour des chênes sous les bouleaux peut même être plus rapide que dans des situations de pleine lumière ou de pleine concurrence ligneuse ou semi-ligneuse (feuillage filtrant favorable à l'arrivée d'une lumière diffuse).

Dynamiques à prendre en compte

La croissance active du bouleau (supérieure à 1 cm/an sur le diamètre) nécessite un développement précoce des houppiers, de façon à profiter des trente premières années où la croissance est maximale. Tout retard dans l'installation développée d'un houppier ne peut en effet pas être rattrapé : il faut donc éviter les phases de compression latérale trop longues. La rapidité de cette production intermédiaire peut aussi éviter la période critique d'évolution climatique.

Le propriétaire qui souhaite tirer parti des semis s'installant dans un deuxième temps sous les bouleaux doit veiller à ce que les semis bénéficient d'un éclaircissement suffisant.

Préconisations

Choisir des tiges d'avenir assez espacées entre elles (7-8 voire 10 m ou plus d'écartement) et les détourner vers 9 mètres de hauteur (14 si la station est bonne), c'est-à-dire en fin de phase de qualification (*Wilhelm et Rieger, 2017*) en veillant à créer un espace vide de l'ordre de deux mètres autour du houppier et en conservant des tiges dominées pour le gainage de la tige sélectionnée. L'objectif est d'obtenir une grande proportion de houppier vert, depuis le haut de la bille de pied formée jusqu'au sommet de l'arbre.

Gérer également le cas échéant la compétition avec des essences concurrentes.

La présence de semis d'essences « objectif » s'installant dans le peuplement de bouleau doit aussi être prise en compte.

Une opération d'élagage de la grume peut être envisagée, notamment si la répartition est hétérogène et crée par endroits des conditions plus lumineuses sur les tiges d'avenir.

L'arrivée d'autres essences en mélange peut être accélérée par des plantations en enrichissement par placeaux ; il est alors judicieux de s'appuyer sur des cloisonnements pour faciliter ces introductions et il est souvent nécessaire de les protéger des cervidés (protections collectives par des latis bois ou par des plastiques légers). Il est conseillé d'éviter l'introduction avant les 30 ans des bouleaux. En cas d'introduction d'essences à croissance en hauteur assez rapide, la question de la concurrence des houppiers des bouleaux peut se poser à terme si les placeaux ont été introduits avant 30 ans. Dans ce cas, il est judicieux de ne pas conserver de bouleaux à l'aplomb des placeaux introduits.

Points d'attention

Les bouleaux ont un rôle d'éducateur vis-à-vis d'autres essences qui peuvent apparaître ; c'est-à-dire qu'ils vont favoriser les espèces présentes à proximité, du fait de leur feuillage filtrant et non opaque. C'est un rôle positif à favoriser, tout en veillant à gérer la lumière dont dispose les semis puis les fourrés et gaulis (besoins en lumière différents en fonction des stades).

Les plantations sous couvert de bouleaux nécessitent un suivi régulier et des interventions sylvicoles adaptées (dégagements précoces). Certaines associations d'essences nécessitent une bonne technicité. Des compléments seront apportés dans les prochaines années dans ce domaine par de nouveaux guides sylvicoles.

Fiche transversale 2 : Le choix des essences à associer lors d'une régénération

Le choix d'essence doit être effectué de concert avec le choix de la stratégie de reconstitution (et de son design). Quelle que soit la stratégie de reconstitution adoptée, les essences mélangées devront être capables de fournir un peuplement à la fois productif et durable à l'échelle de la fin du siècle et devront répondre aux autres enjeux du propriétaire forestier. Le mélange conseillé doit être un compromis entre l'intérêt économique/écologique et l'investissement en travaux. Il va dépendre de la station (actuelle et future), de la synécologie des essences mélangées, de leur croissance relative, de leur aptitude à supporter la concurrence, de leur tolérance/résistance aux changements climatiques et de l'état de l'équilibre faune-flore (cf. Tableau 3).

Des essences productives adaptées au milieu

Le diagnostic stationnel (exposition, topographie, alimentation en eau, richesse du sol...) est incontournable pour choisir les essences qui composeront le mélange. Il permet d'identifier les essences capables d'assurer une production satisfaisante dans une situation donnée mais aussi capables de s'adapter aux conditions environnementales futures (sous l'influence du changement climatique). L'autoécologie des essences (étude de l'action du milieu sur la morphologie, la physiologie et le comportement d'une espèce) définit les limites de tolérance et les préférences des espèces considérées isolément vis à vis de différents facteurs écologiques et permet d'identifier **une liste d'essences productives adaptées à la station actuelle et future**. L'utilisation d'outil comme **forecast by BioClimSol** en France ou le **fichier écologique des essences** en Wallonie permet d'aider le propriétaire / gestionnaire à choisir des essences adaptées à ses projets de reconstitution tout en prenant en compte le contexte local et le climat futur.

Certaines stations sont plus favorables aux mélanges car l'éventail d'espèces adaptées y est plus grand (sur plateaux calcaires par exemple) alors que d'autres stations présentent des caractéristiques limitantes avec un éventail d'espèces adaptées plus restreint. Par exemple, l'association de plus de quatre essences en milieu acide est très difficile.

Pour choisir des essences de production il faut également s'intéresser au **potentiel invasif** de certaines essences dans certaines situations. Par exemple, il est conseillé d'éviter d'introduire le robinier dans les stations forestières les plus riches, notamment les stations alluviales dans lesquelles il pourrait devenir invasif.

Au-delà du choix des essences se pose le **choix des provenances** : hétérogénéité locale (par exemple : fond de vallée, zone sommitale) ou hétérogénéité à plus large échelle (importation de plants inter-régions).

La synécologie des essences

La complexité des interactions entre essences rend la synécologie des essences (le comportement des essences en mélange intime) difficile à étudier. Les interactions entre essences peuvent être de nature (facilitation, neutralisme ou compétition), d'intensité et d'importance variées et sont souvent surtout connues à « dire d'experts ». Tous les cas existent lorsque l'on s'intéresse aux mélanges : certains mélanges sont favorables au développement des deux essences, d'autres plus ou moins défavorables à l'une ou aux deux essences... Pour rajouter à la difficulté de prendre en compte ces interactions ; ces dernières vont être modulées par de nombreux facteurs tels que le stade de vie, la densité respective des espèces en présence, les stratégies et les aptitudes de ces espèces, ainsi que l'environnement biotique et abiotique (disponibilité en ressources, pression des ongulés sauvages...). Ainsi, **avant d'installer un mélange donné, il faut se renseigner sur les interactions entre les essences constitutives**.

Il semble intéressant de choisir un mélange d'essences aux caractéristiques complémentaires en termes d'exploitation des ressources communes et de services. Cependant cette complémentarité est discutée au sein de la communauté scientifique (amplitude, échelle d'étude, conditions environnementales...).

La croissance relative des différentes essences et leur aptitude à supporter la concurrence

Pour choisir des essences capables de pousser ensemble, il faut s'intéresser à leurs courbes de croissance respectives en fonction du temps :

- Si les **rythmes de croissance sont identiques**, les deux essences peuvent **se développer** plus facilement ensemble **sans que l'une prenne systématiquement le dessus sur l'autre**. Cependant, ce cas de figure est rare.
- Si les **rythmes de croissance différents**, il faut considérer cette différence pour **éviter qu'une essence**

prenne le dessus sur l'autre : utiliser des schémas de plantation adaptés, travailler pour doser le mélange... Par exemple, dans le cas du mélange chêne - mélèze : la forte croissance du mélèze lui permet d'atteindre rapidement un plafond de hauteur (entre 24-30 m à 50 ans) alors que le chêne se développe beaucoup plus lentement (entre 15 et 30 m à 100 ans).

Nota. Le rythme de croissance est à **croiser avec la tolérance à l'ombre des essences présentes**. Certaines essences peuvent se développer moins vite mais être tolérantes à l'ombrage que peut produire la compétition interspécifique. Ces essences dominées en hauteur mais tolérantes peuvent avoir une production jugée satisfaisante, voire même qualitativement supérieure sous couvert (exemple : hêtre sous bouleau). Dans le cas du recours à la plantation, il est possible de décaler la plantation dans le temps pour profiter pleinement de l'ambiance forestière fournie par certaines essences sur les essences plus tolérantes à l'ombre. Par exemple, lorsque l'on souhaite installer un mélange épicéas - feuillus précieux : les feuillus précieux pourront être installés 2 à 4 ans après les épicéas.

La longévité et l'âge d'exploitabilité des essences en présence

Dans le cas de la SMCC, le sylviculteur est amené à **gérer ensemble des essences ayant des longévités et des âges d'exploitabilité contrastés**. Dans ces mélanges installés post-crise, une partie des essences doivent être récoltées assez précocement car elles perdent leur capacité de croissance et/ou se déprécient assez rapidement alors que la seconde partie va croître encore pendant des dizaines d'années. D'autres encore, peuvent à la fois être valorisées assez précocement ou plus tardivement sans se déprécier. Un suivi régulier du développement du mélange est important pour s'assurer que le peuplement ne devient pas monospécifique au cours du temps. Par exemple, le merisier, le frêne, l'aulne, le bouleau sont des essences à récolter précocement alors que le châtaignier, le mélèze, les érables, le douglas et les pins peuvent être valorisés précocement ou tardivement, suivant les types de produits que l'on vise et la fertilité de la station.

L'état de l'équilibre faune-flore

La gestion cynégétique visant à équilibrer les populations d'ongulés et les ressources alimentaires de leur milieu est essentielle pour permettre la régénération mélangée des peuplements forestiers (Junod, 2011). Les traits fonctionnels des espèces végétales (tolérance à l'abrouissement par exemple) combinés à la sélectivité des ongulés (espèces favorisées ou évitées) vont modifier l'abondance relative des espèces et leurs dynamiques (Côté et al., 2004). La sensibilité d'une essence à l'abrouissement dépend fortement de son aptitude à résister à l'abrouissement mais aussi de son appétence vis-à-vis des ongulés sauvages. En cas de déséquilibre, les grands ongulés sauvages peuvent être responsables :

- de la disparition de certaines espèces fortement appétentes (par exemple, alisier blanc et saule marsault) (Picard, 1976) ;
- de l'envahissement par certaines espèces tolérantes à l'abrouissement qui peuvent être fortement compétitrices pour la régénération (par exemple, ronce, genêt à balais, molinie) (Picard, 1976) ou passer du statut « d'espèce rare » à celui « d'espèce colonisatrice » en quelques décennies (Boulanger et al., 2011),
- de phénomène de substitution d'essences (Bernard et al., 2017).

Il est donc important d'évaluer la pression exercée par les ongulés sur la parcelle à reconstituer. Cette évaluation peut être facilitée par l'utilisation d'indices standardisés (par exemple : Indices de Changement Ecologique ICE ou encore via la méthode Brossier-Pallu, en cours de développement pour les peuplements irréguliers mais opérationnelle pour les plantations). Cette évaluation est d'autant plus importante que les zones à reconstituer sont souvent des zones privilégiées par les ongulés, capables de modifier leur comportement pour s'adapter à la profusion de nourriture que peu fournir une zone ouverte après crise.

En cas de déséquilibre marqué, le recours à la protection est souvent inévitable pour installer/maintenir un mélange, notamment lorsque les essences « objectif » sont sensibles à l'abrouissement (cf. fiche transversale 3).

Le rôle des essences en présence

Les essences en mélange peuvent avoir plusieurs rôles qui doivent être considérés lorsque l'on fait le choix des essences à associer :

- la production ;
- l'accompagnement de tiges d'avenir (protection, croissance en hauteur, amélioration de la qualité) ;
- l'amélioration de l'environnement ;
- la facilitation d'autres essences (ambiance forestière) ;
- les intérêts réels ou supposés relatifs aux mélanges (productivité supérieure, conservation et renforcement des services écosystémiques, amélioration de la biodiversité, potentiel d'adaptation aux marchés du bois, adaptation aux changements globaux, intérêts esthétiques...).

L'assurance vis-à-vis des perturbations et aléas climatiques

Le nombre, la nature et la proportion des essences dépendent des exigences du propriétaire forestier et de la perception qu'il a des risques qui pèsent sur sa forêt (perturbations extrêmes, modification de station, infestation d'insectes...) et ceci dans le respect des dispositions légales. Un propriétaire qui souhaite garder le plus longtemps possible un écosystème forestier devra investir plus fortement (*Brang et al., 2016*).

Pour aboutir à un compromis entre productivité et risque, il est intéressant de proposer un mélange d'essences ayant des propriétés différentes (cf. Tableau 4). Par exemple, dans le cadre du changement climatique, pour favoriser la résistance / résilience du peuplement il est possible de s'intéresser à trois axes complémentaires :

- respecter et favoriser les essences accompagnatrices les plus tolérantes aux sécheresses (tilleuls, alisiers...) ;
- favoriser des essences à bonne capacité d'adaptation (pins...) ;
- tester des nouvelles essences allochtones (en faible proportion).

La possibilité de suivi

Le choix des essences est impérativement à faire en fonction des possibilités de suivi si l'on veut éviter les situations où un fort investissement de départ n'est pas rentabilisé. Quel que soit le mélange choisi, il est important de suivre l'itinéraire retenu dans le temps et donc de mettre en œuvre les travaux prévus pour rentabiliser les investissements réalisés. Cependant, en fonction des essences mélangées, le besoin de suivi peut être important ou plus léger.

Tableau 3. Types d'essences à associer – exemple d'essences classées « à dire d'experts » et d'après Rameau et al. (1989).

			Exemples
types d'essences	Essences introduites	Essences plantées choisies pour remplir un/des objectifs (intérêt de production, adaptation aux changements globaux...)	Essences plantées choisies pour remplir un/des objectifs (intérêt de production, adaptation aux changements globaux...)
	Essences spontanées	Essences issues de la régénération naturelle	Essences issues de la régénération naturelle
	Essences productives	Essences destinées à la production de bois d'œuvre (bonne productivité pour la station, jugées d'intérêt par le propriétaire...)	Chêne sessile, chêne pédonculé, alisier blanc, alisier torminal...
	Essences d'accompagnement	Essence pour éduquer les tiges d'avenir (amélioration de forme, protection...), apporter de la diversité, améliorer l'environnement, faciliter l'installation d'autres essences...	Bouleau verruqueux, charme...
	Essences résistantes à un risque	Essences permettant de s'adapter à un stress ou une perturbation (tempête, sécheresse estivale, neiges lourdes, infestation d'insectes...). Le degré de tolérance/résistance/résilience est à fixer en fonction des enjeux du propriétaire et de sa perception des risques qui pèsent sur les écosystèmes forestiers.	Tolérance à la sécheresse estivale : • Supposées tolérantes : alisier blanc, alisier torminal, érable champêtre, pin noir, robinier pseudoaccacia, chêne pubescent, cèdre de l'Atlas... • Incertaines : charme, érable plane, érable sycomore, merisier, mélèze, chêne sessile, chêne pédonculé, sorbier des oiseleurs, tilleul à petite feuille, tilleul à grandes feuilles... • Supposées peu tolérantes : sapin blanc, douglas, chêne pédonculé, pin de Weymouth, aulne glutineux, orme de montagne, orme lisse...
	Essences à croissance lente	Essences à croissance précoce faible	Chêne sessile, chêne pédonculé...
	Essence à croissance rapide	Essences à croissance précoce importante	Merisier, bouleau verruqueux...
	Age d'exploitabilité précoce	Essences qui se récoltent généralement tôt	Merisier, frêne, aulne glutineux, bouleau verruqueux...
	Age d'exploitabilité long	Essences qui se récoltent généralement tardivement	Chêne sessile, chêne pédonculé, hêtre, alisier torminal, cormier, tilleul à petites feuilles, tilleul à grandes feuilles, érable champêtre, charme...
	Age d'exploitabilité flexible	Essences qui se récoltent précocement ou tardivement	Châtaignier, douglas, pin sylvestre...
	Essences tolérantes à l'ombre	Essences capables de se maintenir /développer à l'ombre	Sapin blanc, hêtre...
	Essences peu tolérantes à l'ombre	Essences peu tolérantes à l'ombre	Bouleau verruqueux, alisier blanc, pin sylvestre...

Fiche transversale 3 : Le choix des protections contre les grands ongulés sauvages

Il existe plusieurs types de protections contre l'abroustissement par les grands ongulés sauvages qui ont chacun leurs avantages et inconvénients (Tableau 4). Ces avantages et inconvénients permettent de prendre une décision éclairée quant au type de protections utilisé.

Tableau 4. Comparatif des trois grands types de protections disponibles adapté d'après Van Lerberghe et Balleux (2005)

	Protection collective	Protection individuelle Protection « mécanique »	Protection individuelle Répulsif « chimique »
Exemples	Enclos (mais aussi clôtures électriques).	Gaine, manchon grillagé, tube abris, arbre à fer, pince protège bourgeons...	Trico, Arbinol B.
Avantages	Ce type de protections constitue un obstacle durable contre tout type de dégâts sur les plants (abroustissement mais aussi écorçage et frotti). Ces protections n'endommagent pas les arbres. La protection concerne aussi les essences d'accompagnement. Le coût/plant de ces dispositifs est compétitif lorsqu'une grande surface est à protéger.	Le coût est plus faible qu'une protection collective en cas de plantation à faible densité ou lorsque peu de semis issus de la régénération naturelle sont à protéger. La pose est aisée. La capacité d'accueil de la faune est maintenue par la libre circulation des animaux entre les protections individuelles. Ces protections facilitent le repérage des plants et semis d'intérêt lors des travaux ultérieurs. Les usagers peuvent circuler librement dans la plantation / régénération naturelle (chasseurs...).	Les répulsifs sont rapides à mettre en place. La pose est aisée. La capacité d'accueil de la faune est maintenue par la libre circulation des animaux. Les usagers peuvent circuler librement dans la plantation / régénération naturelle (chasseurs...).
Inconvénients	Ce type de protection nécessite une surveillance régulière pour vérifier son étanchéité, surtout si la surface protégée est grande. Le coût est élevé pour les petites surfaces et les faibles densités de plants. Le temps d'installation est important et la pose complexe d'autant plus avec le relief. L'étanchéité est faible et à renforcer en relief marqué (fossé, dénivellation naturelle). La capacité d'accueil diminue localement et peut causer une intensification des dégâts en dehors de la zone protégée. Il est souvent nécessaire de retirer la protection lorsque la régénération est suffisamment grande (sauf si la matière peut rester en forêt ; ex. lattis bois).	Le coût est élevé pour les plantations denses ou de grande surface. L'efficacité des dispositifs utilisés n'est jamais totale, en particulier en cas de forte densité d'ongulés. La résistance aux intempéries peut être médiocre. Les protections peuvent déformer les plants. La dépose est obligatoire pour éviter les problèmes sanitaires, les incrustations dans le bois et la pollution environnementale (par le plastique des manchons notamment).	Ces protections ont un coût élevé. Elles nécessitent souvent un renouvellement dans l'année. L'efficacité des dispositifs utilisés n'est jamais totale, en particulier en cas de forte densité d'ongulés. La faune peut développer une accoutumance qui diminue l'efficacité de la protection. Possible effet néfaste pour la croissance selon les produits utilisés ?



Photo. Enclos en futaie irrégulière. Louis-Adrien Lagneau © CNPF

DISCUSSION DE LA DEMARCHE ET PERSPECTIVES

La compréhension des écosystèmes au cœur des choix de stratégie de reconstitution

Améliorer nos connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes et sur les dynamiques naturelles de reconstitution est important pour mieux caractériser et discriminer les stratégies de reconstitution possibles.

Les pratiques actuelles s'appuient souvent sur des savoirs empiriques détenus par des gestionnaires forestiers et synthétisés dans des guides. Pour permettre l'acquisition de nouvelles connaissances, la recherche doit s'intéresser aux « informations utiles » ; des informations qui élargissent les alternatives, clarifient les choix et permettent aux décideurs d'atteindre les résultats prévus (McNie, 2007). Cependant, les recherches, même les plus fondamentales, permettent l'acquisition de nouvelles connaissances sur lesquelles s'appuyer pour faire avancer l'aide à la décision de gestion.

Des expérimentations permettant d'évaluer l'adéquation entre stratégies et enjeux

Le tableau 1 propose quelques éléments de réflexion permettant de lier enjeux de reconstitution forestière et stratégie choisie. Elle a été construite à dire d'expert et à partir d'ateliers de travail organisés entre les partenaires d'Askafor. La mise en place de dispositifs expérimentaux de suivi dans des forêts en cours de reconstitution, utilisant ces différentes stratégies, permettrait de mieux documenter cette relation « enjeu-stratégie de reconstitution » qui est au centre de toute décision de gestion forestière.

D'autres stratégies de renouvellement à explorer

Le panel de stratégies proposé dans le cadre de ce guide n'est pas exhaustif et d'autres stratégies de reconstitution sont possibles comme la régénération artificielle par semis direct, par transplantation de sauvageons, ou encore la régénération artificielle par recépage. Ces stratégies ne sont pas développées dans ce guide car moins documentées et moins répandues que celles décrites dans le cadre de ce travail. Néanmoins, elles peuvent tout à fait être adaptées à certaines situations de reconstitution. Un propriétaire intéressé par ces alternatives peut se renseigner dans d'autres guides sylvicoles spécialisés.

Adaptation des stratégies à la perturbation

Les dynamiques de régénération mises en place après une crise forestière dépendent :

- des caractéristiques intrinsèques de la crise (intensité, durée, emprise...) ;
- des caractéristiques des forêts touchées (structure, composition, maturité, état sanitaire, arbres relictuels...) ;
- des conditions environnementales : type de station, dynamiques propres à la zone biogéographique, conditions climatiques qui ont précédées et suivi la crise (gel, pluviométrie...), conditions biotiques (abondance de gibier...).

Ainsi, les stratégies proposées dans ce guide sont « généralisées » et leur déclinaison est envisagée dans le cadre d'un futur travail, pour mieux s'adapter aux différentes dynamiques possibles.

ANNEXE 1 : REFERENTIEL DES PRINCIPES DE LA SMCC

Les cinq principaux objectifs de la smcc :

- **Rechercher la multifonctionnalité forestière.** Proposer des réponses aux attentes de la société, aussi bien écologiques, qu'économiques ou sociales, si possible à l'échelle du peuplement.
- Favoriser les solutions fondées sur la nature. S'appuyer en priorité sur les dynamiques naturelles des écosystèmes forestiers, ou s'en inspirer pour les orienter au besoin.
- **S'inscrire dans l'obtention d'une haute valeur ajoutée du bois et d'une économie de moyens.** Produire des bois de la meilleure qualité possible, pour alimenter la filière bois avec un matériau renouvelable et aux qualités technologiques reconnues pour la construction, la menuiserie, l'isolation thermique et phonique...
- Favoriser la résistance, la résilience et l'adaptabilité face aux changements climatiques. S'appuyer sur les qualités (écologiques, économiques, paysagères...) de chaque arbre au sein d'un peuplement. Ainsi, en tout point de la forêt, les essences et les arbres susceptibles d'être les plus aptes à résister aux changements climatiques peuvent être privilégiés.
- **Mettre le propriétaire et le sylviculteur au cœur des décisions.** S'appuyer sur des observations et des diagnostics fins, permettant d'engager des actes de gestion (coupes, travaux) en fonction des objectifs recherchés par le propriétaire.

Les principes essentiels de la smcc :

- **Maintenir ou restaurer un couvert arboré permanent** en évitant les à-coups trop brutaux. Par le terme « couvert », on entend essentiellement la logique de maintien de « l'ambiance forestière », garante notamment d'une tempérance des écarts thermiques saisonniers. Il doit être ajusté pour permettre aux essences de lumière ou demi-lumière, souvent plus résistante à la sécheresse, de s'exprimer.
- **Rechercher un peuplement diversifié** et favoriser les essences minoritaires.
- **S'appuyer le plus possible sur les dynamiques naturelles et sur les qualités ou comportement de chaque arbre ou essence.** La SMCC est une « sylviculture d'arbre ». S'appuyer sur les dynamiques naturelles, en les orientant au besoin à l'aide d'interventions légères mais fréquentes pour favoriser les processus participant à la sélection des essences et des individus les plus performants, permet de réaliser une économie d'investissements. Le recours à la plantation, notamment pour diversifier et enrichir avec des essences plus résistantes vis-à-vis du changement climatique, est tout à fait envisageable, en s'appuyant chaque fois que possible sur l'accompagnement naturel. Cet accompagnement participe à la diversification des essences et permet de limiter les coûts, diversifier les ressources des ongulés sauvages...
- **Rechercher la production de gros bois de la meilleure qualité possible**, dès à présent et dans le futur, en préservant ou en reconstituant un capital sur pied producteur de qualité autour de valeurs-cibles, ni trop élevées, ni trop basses.
- **Préserver dès que possible des arbres porteurs de micro-habitats et des bois morts** au sein du peuplement car ils participent au fonctionnement de l'écosystème.
- **Assurer la qualité de l'exploitation des bois** de façon à préserver toutes les fonctions du peuplement après un chantier, à travers le respect de l'écosystème (en particulier des sols, des cours d'eaux et des autres milieux naturels intraforestiers avec, par exemple, l'installation de réseaux de cloisonnements d'exploitation) mais également de toutes les tiges utiles au fonctionnement économique et écologique du peuplement, qu'il s'agisse d'arbres mature, de perches ou de semis.
- **Maintenir ou mettre en valeur des arbres qui se distinguent** par leur beauté, leurs dimensions, ou leur âge, ainsi que les éléments du paysage (point de vue, bâti, vestiges...) remarquables pour l'œil humain, par exemple lorsque la proximité d'infrastructures d'accueil du public préexistantes le justifie.

Ainsi, la SMCC est une sylviculture d'ajustements successifs et contrôlés qui répond pleinement au principe de la gestion adaptative recherchée pour répondre aux enjeux du changement climatique.

Les principes énoncés ici sont issus d'une **réflexion menée par l'ensemble des partenaires du projet Askafor** de manière à proposer un référentiel commun permettant de capitaliser les connaissances et compétences nécessaires à la mise en place de la SMCC. Ces principes sont développés plus en détail dans des documents disponibles en ligne sur le site internet du projet : askafor.eu

ANNEXE 2 : CONSTRUCTION DU TABLEAU 2

Tableau 5. Relation entre (1) les différentes stratégies proposées dans ce guide et (2) les enjeux et objectifs que les propriétaires peuvent assigner à leur forêt.

Niveau de réponse à l'enjeux :	bon	moyen	faible
--------------------------------	-----	-------	--------

		Stratégies de renouvellement			
		Valorisation de la régénération naturelle	Enrichissement à grand espacement ou par placeaux	Enrichissement par bouquets, bouquets et placeaux ou bandes	Plantation en plein mélange par bouquets, bandes, lignes ou pied à pied
		A	B1	B2	C
Intérêts et contraintes	Production de bois	Objectif de production	- Favorable à la production de bois d'œuvre. Des travaux et un suivi de la régénération sont souvent nécessaires pour avoir à terme un peuplement de qualité et de composition satisfaisante.	- La production de bois d'œuvre, en valorisant les plants introduits, peut être complétée par une valorisation du recru naturel dans les inter-espaces.	- L'objectif est de valoriser les plants introduits pour rentabiliser les investissements faits.
		Minimiser les coûts de production - installation	- Pas ou peu d'investissement de départ (hors protections éventuelles).	- Coût d'installation élevé (coût individuel des plants, protection contre le gibier). - Adaptation des investissements aux besoins (quantité de plants...).	- Coût d'installation très élevé (coût individuel des plants, protection contre le gibier).
		Minimiser les coûts de production - stades de croissance	- Travaux et suivi nécessaires pour avoir à terme un peuplement de qualité et de composition satisfaisante.	- Travaux et suivi nécessaires pour avoir à terme un peuplement de qualité et de composition satisfaisante.	- Travaux et suivi nécessaires pour avoir à terme un peuplement de qualité et de composition satisfaisante (accompagnement peu dense).
		Favoriser les dynamiques naturelles (valoriser l'existant)	- Favorable aux premiers stades de la dynamique naturelle (essences pionnières) qui peuvent servir de production intermédiaire si elles sont gérées dans ce sens. - La germination <i>in situ</i> permet la formation d'un système racinaire profond. - Les individus sont adaptés aux conditions locales. Nota. Les semenciers doivent être en bon état sanitaire, en densité suffisante, avec une bonne distribution spatiale et être en adéquation avec les stations.	- Permet de laisser une place aux dynamiques naturelles entre les zones enrichies.	- Permet de laisser une place aux dynamiques naturelles entre les zones enrichies.

Stratégies de renouvellement				
	Valorisation de la régénération naturelle	Enrichissement à grand espacement ou par placeaux	Enrichissement par bouquets, bouquets et placeaux ou bandes	Plantation en plein mélange par bouquets, bandes, lignes ou pied à pied
	A	B1	B2	C
Intérêts et contraintes	Précautions d'exploitation	- Attention particulière à apporter car on cherche à conserver l'ensemble du potentiel. - Rarement de travaux de préparation du sol. - Individus d'essences « objectif » peuvent bénéficier de l'effet d'accompagnement (gainage, amélioration de la forme...). - Conduite du peuplement moins documentée et normée que les pratiques plus "classiques". - Nécessité de travaux ultérieurs à ne pas négliger pour obtenir un peuplement de qualité et maintenir le mélange dans le temps. - Difficulté à trouver et suivre les semis. - Importance de réaliser un suivi régulier sur le long terme.	- Attention particulière à apporter car on cherche à conserver l'ensemble du potentiel. - Travaux de préparation du sol sur des parcelles ou sur totales. - Individus d'essences « objectif » peuvent bénéficier de l'effet d'accompagnement (gainage, amélioration de la forme...). - Conduite du peuplement moins documentée et normée que les pratiques plus "classiques". - Difficulté à retrouver les plants si schéma non réfléchi. Plants plus facile à retrouver dans le cas des enrichissements par petits collectifs que pour les plants individuels. - Dans la mesure où l'on compte valoriser la régénération naturelle, ces semis peuvent être plus difficiles à suivre.	/
	Facilité technique à réaliser les travaux et à les suivre			- Travaux de préparation du sol sur de grandes surfaces. - Conduite du peuplement bien documentée et normée (cf. guides sylvicoles). - Accès et composition fixés dès le départ : facilité de pilotage des opérations.
	Facilité pour la commercialisation des bois	La facilité de commercialisation des bois dépend fortement de paramètres extérieurs à l'écosystème forestier (taille de la propriété, déserte...).		
Intérêts et contraintes	Capacité du peuplement à résister et à être résilient	- Sensibilité de la régénération naturelle mois forte que celle des plants, surtout en présence de nourriture alternative. - En cas de déséquilibre forêt-gibier, il faut envisager de protéger la zone à régénérer.	- Les plants introduits sont appétents. - En cas de déséquilibre faune-flore, il faut envisager de protéger au minimum les plants introduits.	- Les plants introduits sont appétents. - En cas de déséquilibre faune-flore, il faut envisager de protéger au minimum les plants introduits. - Absence/forte diminution de nourriture alternative sur la surface reconstituée
	Sécheresses et chaleurs estivales / bio-agresseurs	- Mélanges potentiels "imposés" car le peuplement est issu uniquement de la régénération naturelle. - Nécessité de travailler pour orienter vers un mélange satisfaisant pour le propriétaire (éviter dominance d'une essence d'intérêt limité, éviter la disparition d'essence de fort intérêt...).	- Possibilité de choisir des essences à introduire complémentaires à la régénération naturelle pour répondre au mieux aux enjeux et risques (essences adaptées au climat futur, essences résistantes à différentes contraintes).	- Possibilité de composer son mélange pour répondre au mieux aux enjeux et risques (essences adaptées au climat futur, essences résistantes à différentes contraintes).
	Biodiversité	Peu de consensus scientifique		
Intérêts et contraintes	Protection des sols, des eaux	- Passage d'engins lourds souvent limité à l'opération de récolte. - Travaux de préparation de sol limités.	- Les travaux sont souvent localisés donc moins perturbants.	- Les travaux sont souvent partiellement localisés donc moins perturbants.
	Stockage de carbone	Peu de consensus scientifique		
	Effet sur le paysage	- Difficile à objectiver. - Effet sur le paysage souvent "bien" perçu (interventions humaines supposées moindres).	- Difficile à objectiver. - Effet fort sur le paysage.	- Travaux de préparation du sol plus intenses donc la perturbation du sol est potentiellement élevée.
Intérêts et contraintes	Innovation et communication	- Pratiques assez connues et suivies.	- Pratiques intéressantes pour leur caractère innovant et faisant rarement l'objet d'un suivi.	- Pratiques assez connues et suivies.

RÉFÉRENCES

- BARTELINK H.H., OLSTHOORN A.F.M., 1999. Introduction: mixed forest in western Europe, dans *Management of mixed-species forest: silviculture and economics*, p. 9-16.
- BASTIEN Y., GAUBERVILLE C., 2011. Vocabulaire forestier. Ecologie, gestion et conservation des espaces boisés, Paris, Institut pour le développement forestier, 608 p.
- BECQUEY J., 2008. Pour alléger le suivi des plantations: le mélange avec des essences secondaires, *Revue Forestière Française*, 60, 2, p. 289-303.
- BECQUEY J., FORMERY T., PAILLASSA É., 2002. Enseignement, recommandations et anticipation en forêt privée, *Revue Forestière Française*.
- BERNARD M., BOULANGER V., DUPOUEY J.-L., LAURENT L., MONTPIED P., MORIN X., PICARD J.-F., SAÏD S., 2017. Deer browsing promotes Norway spruce at the expense of silver fir in the forest regeneration phase, *Forest Ecology and Management*, 400, p. 269-277.
- BIROT Y., TERRASSON D., FORMERY T., ROMAN-AMAT B., 2000. Expertise collective sur les tempêtes, la sensibilité des forêts, et sur leur reconstitution, GIP ECOFOR.
- BOULANGER V., BALTZINGER C., SAÏD S., BALLON P., NINGRE F., PICARD J.-F., DUPOUEY J.-L., 2011. Deer-mediated expansion of a rare plant species, *Plant Ecology*, 212, 2, p. 307-314.
- BRANG P., KÜCHLI C., SCHWITTER R., BUGMANN H., AMMANN P., 2016. 5.1 Stratégies sylvicoles et changements climatiques,.
- BRAVO-OVIEDO A., PRETZSCH H., AMMER C., ANDENMATTEN E., BARBATI A., BARREIRO S., BRANG P., BRAVO F., COLL L., CORONA P., OUDEN J., 2014. European mixed forests: Definition and research perspectives, *Forest Systems*, 23.
- COLLET C., GIBAUD G., GIRARD Q., DASSOT M., WEHRLÉN L., RICHTER C., PIAT J., FRAYSSE J.-Y., 2015. Contrôler la fougère aigle pour réussir les plantations, *Forêt Entreprise*, 221, p. p 28-33.
- CORDONNIER T., GOSSELIN F., 2009. La gestion forestière adaptative: intégrer l'acquisition de connaissances parmi les objectifs de gestion, *Revue forestière française*, 61, 2, p. 131-143.
- CÔTÉ S.D., ROONEY T.P., TREMBLAY J.-P., DUSSAULT C., WALLER D.M., 2004. Ecological impacts of deer overabundance, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, p. 113-147.
- DASSOT M., COLLET C., GIRARD Q., GIBAUD G., PIAT J., WEHRLÉN L., RICHTER C., FRAYSSE J.-Y., 2016. Méthodes alternatives de contrôle de la molinie et de préparation du sol pour réussir les plantations, *Rendez-vous Techniques ONF*, 50, p. p 3-10.
- DROUINEAU S., LAROUSSINIE O., BIROT Y., TERRASSON D., FORMERY T., AMAT B.R., 2000. Expertise collective sur les tempêtes, la sensibilité des forêts, et sur leur reconstitution, *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 20, p. 336.
- GAUQUELIN X., BRED A., LEGAY M., NAGELEISEN L.-M., PICARD O., 2010. Guide de gestion des forêts en crise sanitaire, ONF-Office National des Forêts et Institut pour le Développement Forestier IDF.
- GOSSELIN F., BOUGET C., 2003. L'évolution des pratiques d'exploitation forestières pourrait bénéficier à la biodiversité: réflexions scientifiques autour du guide de reconstitution de l'ONF, suite à la tempête, *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, 35, p. 61-73.
- HAVET N., BONNAULT A. DE, BOUCHEZ P., 2021. Les plantations en points d'appui: un thème d'étude cher au CETEF de la Somme, *Forêt entreprise*, 259, p. 6-9.

- HETIER J.-P., 2000. Les questions à se poser pour définir une stratégie de l'après feu, Forêt méditerranéenne.
- JACTEL H., BROCKERHOFF E., PIOU D., 2008. Le risque sanitaire dans les forêts mélangées, Revue Forestière Française.
- JUNOD P., 2011. Forêt finement mélangée, une réalité à promouvoir| Finely mixed forest, an asset to be encouraged, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 162, 3, p. 51-58.
- LAURENT L., LACOMBE E., 2021. Guide pratique pour l'optimisation de la reconstitution forestière post-tempête.
- LEGAY M., CORDONNIER T., DHOTE J., 2008. Des forêts mélangées pour composer avec les changements climatiques, Revue Forestière Française.
- LEGAY M., GINISTY C., BRÉDA N., 2006. Que peut faire le gestionnaire forestier face au risque de sécheresse?, Rendez-vous Techniques de l'ONF, 11, p. 35-40.
- MCNIE E.C., 2007. Reconciling the supply of scientific information with user demands: an analysis of the problem and review of the literature, Environmental Science & Policy, 10, 1, p. 17-38.
- MORNEAU F., DUPREZ C., HERVE J.C., 2008. Les forêts mélangées en France métropolitaine, Caractérisation à partir des résultats de l'Inventaire Forestier National. Rev For Fr, 60, p. 107-120.
- MUYS B., AUBINET M., 2010. Peuplements mélangés et productivité, Forêt Wallonne, 106, p. 27-32.
- PICARD J.-F., 1976. Les goûts alimentaires des cervidés et leurs conséquences. Premières conclusions sur deux années d'expérimentation, Revue forestière française, 28, 2, p. 107-114.
- PREVOSTO B., RIPERT C., 2011. Les forêts mélangées en région méditerranéenne: quels bénéfices et comment créer le mélange?, Forêt méditerranéenne, 2, p. 187-196.
- PREVOSTO B., 2020. Adapter la gestion pour répondre au défi climatique: l'exemple de la forêt méditerranéenne, Sciences Eaux Territoires, 3, p. 44-49.
- RAMEAU J.-C., MANSION D., DUME G., 1989. Flore forestière française: Plaines et collines, Forêt privée française.
- RIOU-NIVERT P., 1985. Proposition d'une méthode de plantation par bouquets, Forêt Entreprise, 27, p. 20-26.
- SANCHEZ C., 2013. La sylviculture Pro Silva en Wallonie: Mesures et recommandations du DNF, Forêt Wallonne.
- SARDIN T., BOCK J., BECQUEY J., 2008. Les peuplements mélangés: enjeux et interrogations des gestionnaires, Revue Forestière Française.
- SPITTLEHOUSE D.L., 2005. Integrating climate change adaptation into forest management, The Forestry Chronicle, 81, 5, p. 691-695.
- VAN LERBERGHE P., BALLEUX P., 2005. La protection totale des arbres contre les dégâts d'animaux, Les Manchons Grillagés en Plastique. Forêt-Entreprise, 161, p. 28-36.
- WILHELM G.J., RIEGER H., 2017. Stratégie QD: Une gestion de la forêt basée sur la qualité et les cycles naturels, CNPF-IDF, 202 p.
- WILHELM G.-J., VALLAURI D., PABLO E. DE, WENKER T., WINKLER L., FILLON R., 2008. La naturalité dans les pratiques de gestion des forêts productives du Palatinat.

Remerciements

Merci à l'ensemble des partenaires du projet Askafor. Merci en particulier à Hugues Claessens, Sébastien Daviller, Philippe Durand, Olivier Lanter, Gauthier Ligot, Nicolas Luigi, Benoit Méheux, Rodolphe Pierrat, Philippe Riou Nivert, Christine Sanchez, Bastien Sante, Denis Schmitt, Eric Sevrin, Isabelle Van Driessche, Bernard Viry, Bertrand von Loë et Georg Wilhelm pour leur relecture du document.

Financement

Union européenne – Fonds européen de développement régional (FEDER), dans le cadre du programme Interreg Grande Région.

GUIDE PRATIQUE

POUR FAVORISER LES RENOUVELLEMENTS MÉLANGÉS DANS LES PEUPLEMENTS FORESTIERS GÉRÉS SELON LES PRINCIPES DE LA SYLVICULTURE MÉLANGÉE À COUVERT CONTINU

Reconstitution post-crise

Lisa Laurent
Maude Cavaliere
Eric Lacombe



ASKA FOR

askafor.eu



Interreg 
Grande Région | Großregion
Fonds européen de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

FORÊT
NATURE

AgroParisTech



 **LIÈGE université**
Gembloux
Agro-Bio Tech

 **UCLouvain**
Earth and Life Institute


SRFB • KBBM



 **Wallonie**
environnement
SPW

 **Landesforsten**
Rheinland-Platz



SaarForst
Landesbetrieb

SAARLAND



 **LE GOUVERNEMENT**
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Environnement, du Climat
et du Développement durable
Administration de la nature et des forêts

INRAE


Office National des Forêts


CNPFP
Centre National
de la Propriété Forestière
GRAND EST