



ASKAFOR

# PLAN D'EXPÉRIMENTATION

FAVORISER L'INSTALLATION ET LA CROISSANCE  
D'UNE RÉGÉNÉRATION MÉLANGÉE DANS LE CADRE DE  
LA SYLVICULTURE MÉLANGÉE À COUVERT CONTINU  
(SMCC)

GESTION COURANTE ET APRÈS CRISE

LISA LAURENT  
MAUDE CAVALIERE  
CAROLE ALLARD DE GRANDMAISON  
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, abrutissement, 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.

### **Carole Allard de Grandmaison**

*Chargée de mission  
UMR Silva*

Carole Allard de Grandmaison est ingénieure forestier dans l'UMR Silva (Université de Lorraine, INRAE et AgroParisTech). Elle travaille en Recherche & Développement sur la thématique du renouvellement mélangé des peuplements gérés en Sylviculture Mélangée à Couvert Continu.

### **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., Cavalière, M., Allard de Grandmaison, C., Lacombe, E., 2022. Plan d'expérimentation. Favoriser l'installation d'une régénération mélangée dans le cadre de la Sylviculture Mélangée à Couvert Continu (SMCC).  
Projet Interreg Grande Région Askafor, 55 p.

## Table des matières

A.	Contexte : de nouvelles expérimentations à réfléchir pour répondre aux enjeux des changements globaux .....	4
1.	Le changement climatique : installer des peuplements plus adaptés et plus résilients grâce au mélange d'essences .....	4
2.	La recherche scientifique : indispensable pour aider à la prise de décision ? .....	4
3.	Objectif de ce travail dans le cadre d'Askafor .....	5
4.	Cadrage du travail et définition de l'objet d'étude .....	5
5.	Démarche suivie : du recensement des préoccupations à la proposition d'expérimentations .....	7
6.	Une réflexion concertée .....	7
B.	Etape 1 : Recensement des questionnements des gestionnaires forestiers .....	8
1.	Objectif et démarche .....	8
2.	Recensement des thématiques concernant l'adaptation des renouvellements par petits collectifs dans le cadre de la SMCC .....	9
3.	Recensement des thématiques concernant l'adaptation des reconstitutions post-crise 10	
C.	Etape 2 : Priorisation des questionnements par un panel de gestionnaires .....	14
1.	Objectif et démarche .....	14
2.	Informations générale sur l'enquête et informations sur les sondés .....	14
3.	La régénération par petits collectifs en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue .....	14
4.	La régénération en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue post-crise .	15
D.	Etape 3 : Confirmation de l'intérêt pour la recherche .....	19
1.	Objectifs et démarche .....	19
2.	La régénération par petits collectifs en contexte de SMCC .....	19
3.	La régénération en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue post-crise .	21
4.	Point de discussion et études complémentaires .....	25
E.	Etapes 4. Construction des options de recherche .....	26
1.	Objectif et démarche .....	26
2.	Points d'attentions .....	26

3. La régénération par petits collectifs en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue.....	29
4. La régénération en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue post-crise : observatoire des stratégies de reconstitution post-scolytes.....	33
5. La régénération en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue post-crise : expérimentation de R&D .....	33
F. Choix transversaux.....	42
1. Le choix des essences .....	42
G. Références .....	45
H. Annexe 1. Enquête sur hiérarchisation des questions de gestion sur la thématique de la reconstitution mélangée .....	47
I. Annexe 2. Référentiel « objectifs et principes fondamentaux de la SMCC » issu des travaux d’Askafor.....	51

## A. CONTEXTE : DE NOUVELLES EXPÉRIMENTATIONS À RÉFLÉCHIR POUR RÉPONDRE AUX ENJEUX DES CHANGEMENTS GLOBAUX

### *1. Le changement climatique : installer des peuplements plus adaptés et plus résilients grâce au mélange d'essences*

Ces dernières années, une réflexion sur l'importance de prendre en compte le climat futur lors de l'installation de nouveaux peuplements forestiers vient bouleverser les anciennes pratiques de régénération. Les propriétaires et gestionnaires forestiers s'interrogent sur la meilleure gestion à adopter pour renouveler leur forêt de manière à avoir un revenu sylvicole satisfaisant tout en augmentant la résilience et la résistance des peuplements futurs et en conservant un bon état écologique à long terme.

La création de **forêts hétérogènes et en particulier le mélange d'essences** sont considérés par de nombreux acteurs forestiers (propriétaires, scientifiques et gestionnaires) comme une solution pour permettre l'adaptation des écosystèmes forestiers au changement climatique et pour ouvrir des opportunités de valorisation des bois 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).

### *2. La recherche scientifique : indispensable pour aider à la prise de décision ?*

Jusqu'à maintenant, les forestiers installent et gèrent les mélanges principalement de manière empirique et c'est pourquoi il est important que les chercheurs **valident leurs pratiques et répondent à leurs interrogations techniques en mettant en place des expérimentations scientifiques adaptées**. Depuis les années 1990 la recherche s'intéresse davantage aux thématiques orientées « recherche des mécanismes » (écologiques, physiologiques...) qu'aux recherches plus orientées « sylviculture ». Ces résultats scientifiques peuvent donc mettre en évidence des liens de causalités et identifier les mécanismes sous-jacents mais ne permettent pas de fournir au gestionnaire des solutions de gestion « clés en main » (Cordonnier et Gosselin, 2009). En effet, il a été montré que les résultats issus de la recherche sont difficilement compatibles avec les contraintes de la gestion pour plusieurs raisons (Bunnell et Huggard, 1999 ; De Montgolfier et Natali, 1984 ; Gosselin, 2004) :

- les résultats et concepts scientifiques sont en perpétuelle évolution ;
- les concepts et théories décrits par la recherche sont idéalisés (simplifiés) ;
- les résultats de recherche sont précis et s'intègrent difficilement les uns avec les autres ;
- la dynamique temporelle est rarement étudiée (e.g. long terme...) ;
- les échelles de gestion et la variabilité auxquelles le gestionnaire forestier est confronté ne sont pas prises en compte.

Ainsi, de nombreux auteurs préconisent d'aller vers une meilleure **interconnexion de la recherche et de la gestion si l'on veut apporter l'expertise scientifique nécessaire à la mise en place d'une gestion raisonnée**. Plusieurs pistes permettant de mieux intégrer gestion et recherche ont déjà été identifiées par certains scientifiques :

- Délaisser en partie l'objectif de compréhension des mécanismes impliqués en faveur de l'obtention d'informations à large échelle sur la **généralité des motifs** (Bunnell, 1989).
- Mettre en place des **dispositifs de « gestion expérimentale »**. En effet, l'intégration gestion-recherche est maximale quand on pratique une gestion expérimentale. C'est-à-dire lorsque les différents « traitements » évalués sont des types de gestions (Gosselin, 2004). Cette approche a l'avantage de permettre aux chercheurs de réaliser des évaluations rigoureuses des traitements appliqués (test d'hypothèses, répétition, randomisation, mise en place de blocs)(Schwarz, 1998).
- Aller vers des **projets mixtes** capable de répondre à la fois à des questions de gestion et a des questions scientifiques.

### *3. Objectif de ce travail dans le cadre d'Askafor*

Le projet Askafor, permet d'initier une réflexion sur les différentes stratégies et techniques opérationnelles qu'il est possible d'envisager pour renouveler les peuplements forestiers dans le cadre de la sylviculture mélangée à couvert continu (SMCC). L'objectif de ce document est de **proposer des expérimentations scientifiques permettant d'apporter de nouvelles connaissances afin d'aider les gestionnaires forestiers à faire leur choix parmi ses techniques dans le cadre spécifique de la SMCC** (techniques de plantation, coûts, comportement des essences, utilisation des recrûs naturels...).

L'objectif de ce travail n'est pas d'aboutir à la proposition d'une unique expérimentation scientifique mais de **formaliser une réflexion générale pour proposer un panel de pistes à explorer**. Étant donné son caractère exploratoire, ce travail permet d'ouvrir plusieurs options (dimensionnement des expérimentations non définies, possibilité de suivi temporel incertain...). Quelques-unes de ces pistes sont ensuite développées plus en détail pour proposer des exemples d'expérimentations concrètes qui répondent aux enjeux actuels (**partie E page 26**).

### *4. Cadrage du travail et définition de l'objet d'étude*

Les réflexions développées dans le cadre de ce travail s'intéressent à des stratégies de renouvellement respectant les principes de la SMCC. Ainsi, elles s'inscrivent dans la recherche (1) de solutions **favorables aux dynamiques naturelles**, (2) d'un **peuplement diversifié**, (3) de la **production de gros bois de qualité**, (4) de **pratiques favorables à la multifonctionnalité des forêts** (cf. « **référentiel sur les objectifs et pratiques de la SMCC** » disponible en **Annexe 2 pour plus de précisions**).

Lorsque l'on pratique la SMCC, il y a deux contextes dans lesquelles il y a un besoin de régénération qui peut être identifié :

- **1)** un contexte de **renouvellement en petits collectifs** au sein de trouées artificielles ou naturelles dans le cadre de la gestion « SMCC - courante » (c'est-à-dire hors d'un contexte de crise);
- **2)** un contexte de **reconstitution forestière post-crise** (déperissements massifs, tempêtes...).

Si la SMCC s'inscrit dans le principe de multifonctionnalité forestière, ce travail **se concentre sur l'aspect « technique »** en s'affranchissant en grande partie de l'acceptabilité sociétale des propositions et d'autres critères comme les services écosystémiques, les attentes de la filière, la biodiversité...

## 5. Démarche suivie : du recensement des préoccupations à la proposition d'expérimentations

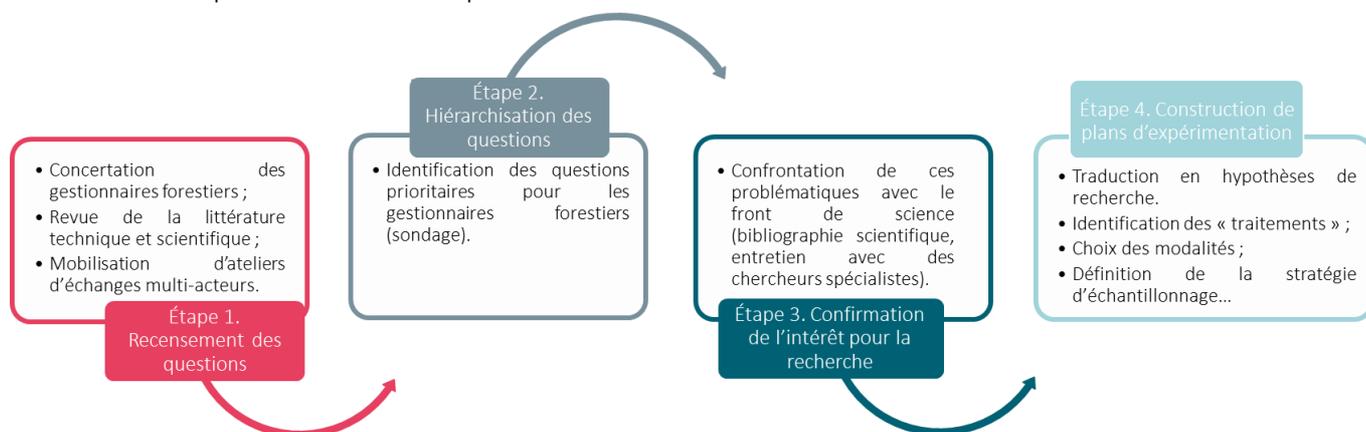
Pour répondre à l'objectif d'acquisition scientifique de nouvelles connaissances nécessaires à l'adaptation des pratiques de gestion aux changements globaux, nous avons découpé notre démarche en quatre étapes clés (Figure 1) :

**Étape 1** : recensement des questionnements des gestionnaires forestiers ;

**Étape 2** : priorisation des questionnements par un panel de gestionnaires ;

**Étape 3** : confirmation de l'intérêt des questionnements classés prioritaires par les gestionnaires pour les chercheurs spécialistes du domaine ;

**Étape 4** : proposition de quelques hypothèses de travail et construction de plans d'expérimentations adaptés.



**Figure 1.** Démarche de construction des pistes de recherche à explorer dans le cadre d'un plan d'expérimentation.

## 6. Une réflexion concertée

Ce travail est la synthèse d'une réflexion menée en concertation avec de nombreux scientifiques et gestionnaires forestiers (INRAE, AgroParisTech, Université de Gembloux, université de Louvain, CNPF, ONF...). Cette réflexion menée par Askafor a été réalisée en concertation avec deux projets français s'intéressant au renouvellement mélangé des forêts: (1) Forêt irrégulière École (FIE) et (2) Expérimenter et Guider pour initier la diversité des essences forestières (EGIDE). Cette concertation a permis de concevoir des propositions cohérentes et complémentaires à l'échelle nationale et internationale

## B. ETAPE 1 : RECENSEMENT DES QUESTIONNEMENTS DES GESTIONNAIRES FORESTIERS

### 1. Objectif et démarche

Les différents **échanges formels et informels** que nous avons pu avoir avec des gestionnaires dans le cadre d'Askafor (partenaires du projet) mais aussi lors de travaux parallèles (ateliers, tournées terrain, webinaires, projets antérieurs ...) confirment le besoin d'éclairer les choix des gestionnaires qui souhaitent adapter leurs peuplements aux changements globaux. De nombreux questionnements concernent en particulier les méthodes pour installer et maintenir le mélange. Ces échanges nous ont permis de **synthétiser et formaliser une liste de thématiques auxquelles les différents questionnements qui nous ont été remontés peuvent être rattachés**. Nous avons en parallèle complété la liste de ces thématiques grâce à une **revue de la littérature technique**. La démarche suivie a été la même dans les deux contextes étudiés ; le contexte de renouvellement par petits collectifs et le contexte post-crise.

## 2. Recensement des thématiques concernant l'adaptation des renouvellements par petits collectifs dans le cadre de la SMCC

Ce recensement a permis d'identifier huit thématiques qui sont d'intérêt pour les gestionnaires forestiers. Ces thématiques sont présentées dans le **Tableau 1**.

**Tableau 1.** Recensement des principales thématiques d'intérêt pour améliorer nos connaissances sur l'installation et la gestion des régénérations dans un contexte de renouvellement en petits collectifs au sein de trouées artificielles ou naturelles dans le cadre de la gestion SMCC. Recensement effectué grâce à une revue de la littérature technique et scientifique ainsi qu'à l'organisation de tournées et d'ateliers d'échanges multi acteurs.

Thématique
Diagnostic de la régénération naturelle en vue de sa gestion ou de son complément et en tenant compte de l'évolution du climat et de la présence de semenciers...
Localisation préférentielle des essences (naturelles ou introduites) dans les trouées (nord, centre...)
Compétition entre semis/plants et disponibilité en ressources (synécologie, agrandissement progressif des trouées)
Techniques d'entretien des régénérations et plantations dans les trouées
Schémas et techniques d'introduction de plants dans les trouées
Techniques de protection des semis et plants en collectifs dans les trouées
Qualité et croissance des semis et plants dans les trouées
Morphologie des trouées (taille, forme, lien avec la gestion du peuplement adulte)

### 3. Recensement des thématiques concernant l'adaptation des reconstitutions post-crise

Ce recensement a permis d'identifier 12 axes qui sont ensuite déclinés en une cinquantaine de thématiques d'intérêt pour les gestionnaires forestiers. Ces axes et thématiques sont présentés dans le [Tableau 2](#).

**Tableau 2.** Recensement des principaux axes et thématiques d'intérêt pour améliorer nos connaissances sur l'installation et la gestion des reconstitution post-crise soumises aux changements globaux grâce à une revue de la littérature technique et scientifique ainsi qu'à l'organisation de tournées et d'ateliers d'échanges multi acteurs.

Axe	Thématique
Rentabilité	Rentabilité sur le long terme par rapport aux marchés du bois
	Prise en compte des paiements pour services écosystémiques fournis par les peuplements reconstitués
	Coût de l'installation et du maintien du mélange
	Degré d'assurance contre les risques et incertitudes (composition)
Gestion des arbres sur pied (arbres relictuels, peuplement environnant)	Destination des arbres relictuels dans le temps (exploitation)
	Diversité d'un peuplement antécédent et son renouvellement post-crise (densité et composition de la régénération naturelle)
	Distance - abondance des semenciers et composition de la régénération naturelle
Rôles des essences ligneuses d'accompagnement	Techniques d'installation d'un bourrage favorable s'il est absent (semer ...)
	Rôle du bourrage (compétition, gainage, production...) et choix des essences de bourrage

<b>Choix des essences et provenances - synécologie</b>	Types de mélanges susceptibles de s'adapter à différents niveaux de risques (sécheresse, tempête, menaces sanitaires...)
	Performances des provenances allochtones et installation de peuplements résistants et résilients
	Synécologie entre essences (particulièrement entre les essences introduites et les essences autochtones)
	Performances des essences allochtones et installation de peuplements résistants et résilients
<b>Végétation accompagnatrice herbacée et arbustive</b>	Rôle du bourrage (compétition, gainage, production...) et choix des essences de bourrage
	Techniques d'installation d'un bourrage favorable s'il est absent (semer ...)
<b>Services écosystémiques et biodiversité</b>	Types de mélanges favorisant la biodiversité
	Nouveaux mélanges et biodiversité
	Hiérarchisation des services (production de bois, récréatif, couvert arborescent, piégeage carbone, chasse, maintien du sol...)
	Forêt mélangée reconstituée et qualité de l'air, de l'eau, du sol...
	Influence de l'échelle spatiale du mélange sur les services écosystémiques
<b>Stratégies de reconstitution (taux de mélange, modalité d'utilisation du recru, choix</b>	Renouvellement / introduction d'essences de lumière au sein de peuplements à base d'essences d'ombre
	Intérêt du mélange en fonction des situations (stations...)
	Influence des rémanents sur la composition, la croissance et la densité de la régénération

<b>régénération naturelle - plantation...)</b>	Influence du mélange sur les performances et la qualité des tiges au sein du peuplement (ex. élagage naturel, fourchaison, croissance, rectitude, prospection racinaire...)
	Niveau de mélange (nombre d'essences, proportions)
	Diagnostic du potentiel de la régénération naturelle pour contribuer à un peuplement mélangé de production
	Reprises et croissances en fonction des stratégies de reconstitution (plantation en plein, plantation dans un recru déjà installé...)
<b>Travaux sylvicoles</b>	Qualité des plants issus de pépinière
	Organisation de chantier et surcout, notamment en fonction du design de plantation
	Techniques de maintien en mélange d'essences aux comportements différents (entretien)
	Techniques de plantation et de préparation des plantations en plein
	Identification des interventions nécessaires pour le maintien du mélange (diagnostic)
	Techniques de plantation et de préparation des plantations en enrichissement
<b>Design des schémas de reconstitution</b>	Tenir compte de l'effet lisière (semenciers, effet masque...)
	Échelle temporelle du mélange (mélange temporaire, cycle entier...)
	Échelle spatiale du mélange (pied à pied, bouquet, parquet...) notamment par rapport aux essences peu compétitives
	Plantation en enrichissement dans le recru
	Structure spatiale de la reconstitution et performances d'essences peu compétitives

<b>Équilibre faune-flore</b>	Design de plantation et protection contre les grands ongulés sauvages dans le cas spécifique de la plantation par placeaux (association avec des essences évitées...)
	Essences introduites appétentes et déséquilibre faune-flore
	Design de plantation et protection contre les grands ongulés sauvages (bouquet, recru)
	Techniques de protection en fonction de la densité des grands ongulés sauvages, du design, du type de mélange
	Seuil de population et types de mélanges
<b>Attentes de la société et de la filière</b>	Partage d'information gestionnaire - industriel pour permettre à ces derniers de s'adapter aux forêts de demain
	Méthodes et outils pour mieux partager les incertitudes du forestier à moyen et long terme
	Identifier les freins au renouvellement mélangé (techniques, sociétales, administratifs, politiques...)
	Essences résistantes peu valorisées actuellement et valorisation ultérieure par la filière (érable champêtre, alisier blanc...)
	Méthodes et outils facilitant la construction des scénarios en prenant en compte les attentes de la société et les approches multifonctionnelles (analyse multicritères)
	Perception des méthodes de reconstitution par le grand public, les gestionnaires et les écologues (plantation en plein, plantation en enrichissement, degré de mélange) et co-construction de scénarios
	Perception des nouvelles essences par le grand public, les gestionnaires et les écologues et co-construction de scénarios
<b>Gestion préventive des peuplements dépérissant</b>	Intérêt d'anticiper la régénération des peuplements d'épicéas hors station mais non dépérissant (coupe partielle préventive...)

## C. ETAPE 2 : PRIORISATION DES QUESTIONNEMENTS PAR UN PANEL DE GESTIONNAIRES.

### 1. Objectif et démarche

L'étape du recensement a permis d'identifier une soixantaine de thématiques d'intérêt (**Tableau 1** et **Tableau 2**). Pour pouvoir sélectionner les thématiques les plus pertinentes à traduire en dispositifs de recherche, il est incontournable de **quantifier l'importance relative accordée à ces thématiques par les gestionnaires forestiers**. Pour cela, nous avons proposé **une enquête** à destination des gestionnaires forestiers (cf. enquête complète en **Annexe 1 page 45**). L'enquête a permis de **trier les thématiques en fonction d'un niveau d'intérêt attribué par les gestionnaires forestiers**.

### 2. Informations générale sur l'enquête et informations sur les sondés

**Durée du sondage** : L'enquête a été publiée fin octobre 2021 et clôturée le 30 novembre 2021.

**Les sondés** : 20 acteurs forestiers ont répondu au sondage (ingénieurs forestiers, techniciens forestiers, experts forestiers...). Il s'agit majoritairement de gestionnaires intéressés par l'optimisation de leurs pratiques et ayant souvent un lien plus ou moins étroit avec le monde de la recherche. Il ne s'agit pas uniquement de gestionnaires pratiquant la SMCC.

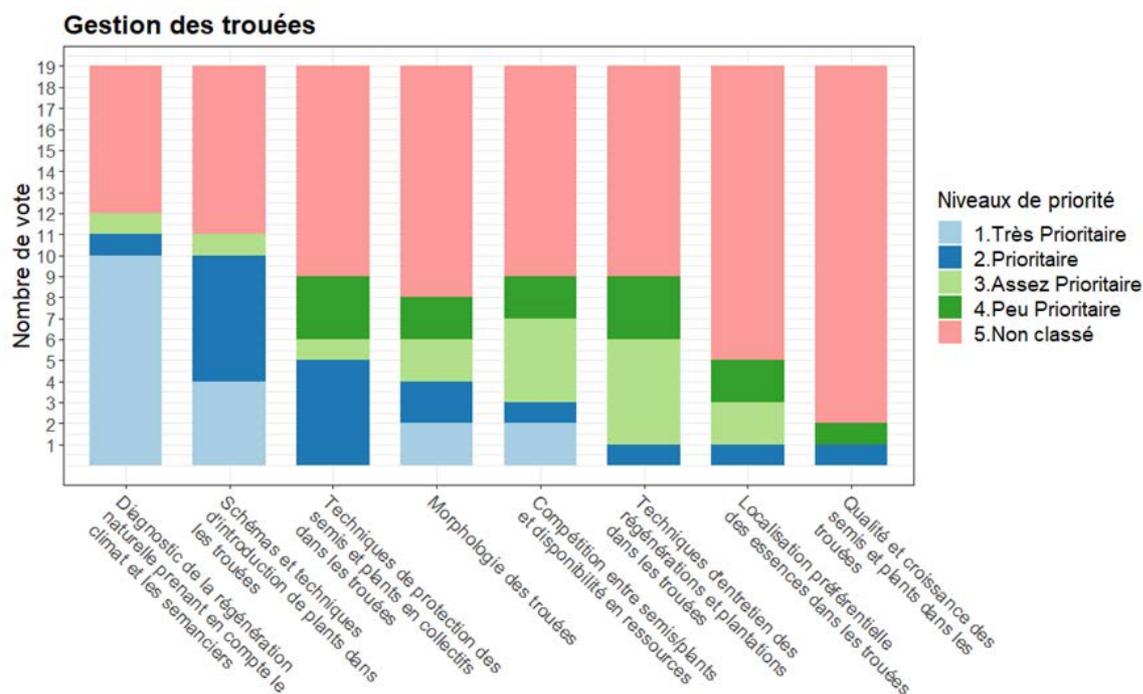
**Point d'attention** : Du fait du faible nombre de sondés le résultat de ce sondage n'est pas représentatif de l'opinion de l'ensemble des gestionnaires forestiers mais uniquement du petit panel de sondés. Ainsi, les résultats présentés ci-dessous permettent de donner un ordre de grandeur mais restent parcellaires et imprécis.

### 3. La régénération par petits collectifs en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue

La réflexion autour du renouvellement par petits collectifs dans le cadre de la gestion en SMCC se concentrera sur les trois thématiques les plus importantes pour les gestionnaires sondés (**Figure 2**) :

- Le « **diagnostic de la régénération naturelle** en vue de sa gestion ou de son complément et en tenant compte de l'évolution du climat et de la présence de semenciers » est la sous-thématique classée majoritairement en priorité de niveau 1 par les gestionnaires sondés (53 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1, et 58 % en priorité numéro 1 ou 2).
- L'amélioration des connaissances sur les « **schémas et techniques d'introduction de plants dans les trouées** » est la deuxième thématique d'intérêt (21 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1, et 53 % en priorité numéro 1 ou 2).

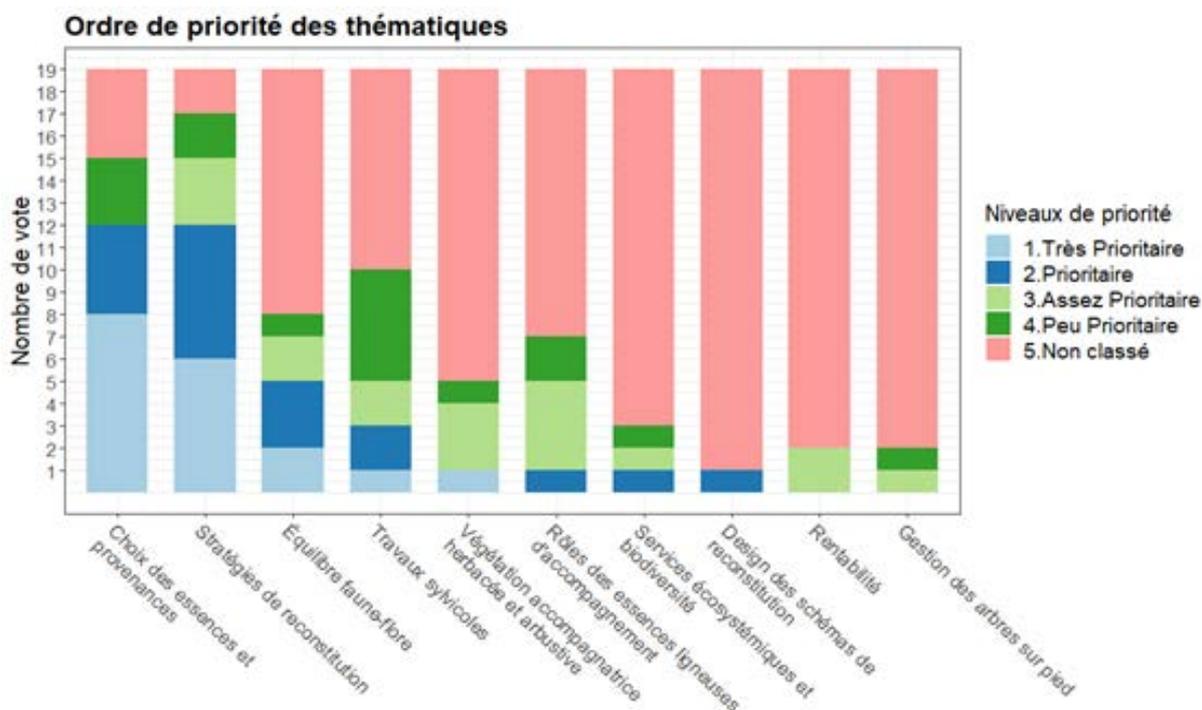
- Les « techniques de protection des semis et plants en collectifs dans les trouées » est également fortement représentée dans les priorités remontées par les gestionnaires (26 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 2).



**Figure 2.** Hiérarchisation des 8 thématiques principales de préoccupations potentielles des gestionnaires forestiers concernant le renouvellement par petits collectifs dans le cadre de la gestion en SMCC.

#### 4. La régénération en contexte de sylviculture mélangée à couvert continu post-crise

La réflexion autour de la reconstitution post-crise se concentrera sur les quatre axes les plus importants pour les gestionnaires sondés (Figure 3) :



**Figure 3.** Hiérarchisation des 10 axes principaux de préoccupations potentielles des gestionnaires forestiers concernant la régénération post-crise.

a. Axe 1 : le choix des essences.

Avec 42 % des gestionnaires sondés l’ayant classé en priorité numéro 1 (et 63 % en priorité numéro 1 ou 2), l’amélioration des connaissances sur le **choix des essences** est un besoin partagé par la majorité des gestionnaires. L’identification des essences qui pourront être associées pour fournir l’ossature d’un peuplement durable dans le temps, à l’échelle de la fin du siècle est donc au cœur des besoins des gestionnaires forestiers. Le sondage montre un intérêt variable des gestionnaires pour les thématiques identifiées même si la thématique la plus mise en avant est celle du « **types de mélanges susceptibles de s'adapter à différents niveaux de risques** (sécheresse, tempête, menaces sanitaires...) » (37 % des gestionnaires sondés l’ayant classé en priorité numéro 1, et 74 % en priorité numéro 1 ou 2).

b. Axe 2 : intérêts et désavantages des différentes stratégies de reconstitution

Avec 32 % des gestionnaires sondés l’ayant classé en priorité numéro 1 (et 63 % en priorité numéro 1 ou 2), l’amélioration des connaissances sur les **intérêts et désavantages des différentes stratégies de reconstitution** est le deuxième axe identifié comme d’intérêt prioritaire par les gestionnaires forestiers. Ces derniers portent une attention particulière (ordre décroissant de priorité) :

- au **niveau de mélange du peuplement** (21 % des gestionnaires sondés l’ayant classé en priorité numéro 1, et 53% en priorité numéro 1 ou 2) ;

- au **diagnostic du potentiel de la régénération naturelle** pour contribuer à un peuplement mélangé de production (26 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1, et 37 % en priorité numéro 1 ou 2) ;

#### C. Axe 3 : prise en compte de l'équilibre faune-flore

Avec 10 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1 (et 26 % en priorité numéro 1 ou 2), **l'équilibre faune-flore** est le troisième axe le plus fréquemment identifié comme étant d'intérêt dans le cadre d'une acquisition de connaissance sur l'installation des mélanges. Au vu des commentaires laissés par certains sondés, il apparaît que certains gestionnaires considèrent le déséquilibre faune-flore comme un contexte écologique contraignant plus que comme une thématique sur laquelle de nouvelles connaissances doivent encore être apportées. En effet, plusieurs gestionnaires qui n'ont pas mis l'équilibre faune-flore dans les thématiques d'intérêt fort considèrent que la solution pour lever la contrainte à l'installation du mélange (et à l'installation de la régénération de manière générale) est déjà connue et soulignent l'importance du contrôle des populations par la chasse notamment. Cependant, croisé avec le choix du design de plantation, l'équilibre faune-flore peut alors devenir un enjeu de recherche important comme souligné par l'un des sondés. La hiérarchisation des thématiques fait ressortir l'ordre de priorité suivant (ordre décroissant de priorité) :

- les **techniques de protection** en fonction de la densité des grands ongulés sauvages, du design, du type de mélange (26 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1, et 47 % en priorité numéro 1 ou 2) ;
- le **design de plantation et protection contre les grands ongulés sauvages dans le cas spécifique de la plantation par placeaux** (association avec des essences évitées...) (16 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1, et 37 % en priorité numéro 1 ou 2) ;
- le **seuil de population et types de mélanges** (26 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1, et 32 % en priorité numéro 1 ou 2).

#### d. Axe 4 : les travaux sylvicoles

Avec 5 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1 (et 16 % en priorité numéro 1 ou 2), apporter de nouvelles connaissances sur **les travaux sylvicoles** paraît être un axe de recherche important pour les gestionnaires forestiers. Concernant les travaux sylvicoles, la priorité est donnée (ordre décroissant de priorité) :

- aux **techniques de plantation et de préparation des plantations en enrichissement** (37 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1, et 58 % en priorité numéro 1 ou 2) ;

- aux **techniques de maintien en mélange d'essences aux comportements différents** (entretien) (11 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1, et 58 % en priorité numéro 1 ou 2) ;
- à **l'identification des interventions nécessaires pour le maintien du mélange** (diagnostic) (26 % des gestionnaires sondés l'ayant classé en priorité numéro 1, et 37 % en priorité numéro 1 ou 2).

e. Autres thématiques

Les autres axes et thématiques référencés dans le **Tableau 1** n'apparaissent que de manière secondaire dans les priorités des gestionnaires et ne sont donc pas développées dans ce document.

## D. ETAPE 3 : CONFIRMATION DE L'INTÉRÊT POUR LA RECHERCHE

### 1. Objectifs et démarche

Après avoir identifié les questions prioritaires pour les gestionnaires forestiers, le travail a consisté à **séparer le besoin de transfert de connaissance du besoin d'acquisition de nouvelles connaissances**. L'intérêt scientifique des thématiques classées comme prioritaires par les gestionnaires forestiers sondés a été confrontée aux fronts de science. Pour cela, ce document se base sur 1) **une revue de la bibliographie** sur les thématiques retenues et 2) une **consultation des scientifiques spécialisés** de ces domaines.

L'objectif de ce double filtre (gestionnaires et chercheurs) pour identifier des thématiques de recherche est de :

- favoriser les collaborations sur le long terme ;
- optimiser la relation gestion/recherche ;
- favoriser l'implication des acteurs sur le long terme ;
- identifier les questions de recherche qui entrent dans les domaines de recherche d'AgroParisTech sans être étudiées par d'autres équipes.

### 2. La régénération par petits collectifs en contexte de SMCC

- a. Thématique 1 : diagnostic de la régénération naturelle en vue de sa gestion ou de son complément et en tenant compte de l'évolution du climat et de la présence de semenciers

Il existe plusieurs études visant à caractériser le potentiel d'avenir des régénérations naturelles (cf. projet « optimisation des travaux sylvicoles post-tempête ») mais peu prennent en compte l'adaptation aux changements globaux. En effet, l'incertitude autour des changements globaux rend difficile sa prise en compte dans les travaux de recherche fondamentale et de recherche appliquée. Ainsi, il y a un intérêt fort pour le **développement d'indicateurs permettant d'identifier des conditions de lumière optimales pour l'installation de certaines essences d'intérêt fort comme le chêne ou des essences introduites adaptées au climat futur**. En effet, au cœur de la question du diagnostic de la régénération naturelle se trouve la question du dosage de la lumière. Quelles sont les conditions lumineuses optimales pour installer et maintenir les semis/plants de différentes essences ? Comment gérer le peuplement pour créer ces conditions de lumières optimales (et sa dynamique dans le temps car les besoins évoluent en fonction du stade de développement des essences) ? Ainsi, pour traduire les besoins de lumière des différentes essences en recommandations sylvicoles, il est intéressant **1) de comprendre les besoins en ressources des essences d'intérêt** (issues de la régénération naturelles ou introduites) et **2) de caractériser la relation entre structure du peuplement et conditions lumineuses** (e.g. part du taillis...). Dans ce cadre, le développement d'indicateurs pourrait permettre de savoir rapidement si une zone de régénération reçoit suffisamment de lumière

pour permettre la croissance des essences d'intérêt (e.g. indices de croissance des semis, utilisation d'appareils de mesure, observation du peuplement environnant, ...).

Ce n'est pas vraiment la morphologie de la trouée qui importe mais plutôt l'éclaircissement. **Quelle gestion pratiquer pour obtenir le niveau d'éclaircissement optimal** notamment en ce qui concerne l'interception par le taillis. Il peut également être intéressant de séparer l'effet de la lumière directe et indirecte (besoin lumière/directe /lumière diffuse dépend de l'âge) (e.g. le taillis modifie plus la lumière diffuse alors que la canopée affecte majoritairement la lumière directe). D'autres facteurs environnementaux (microclimat, disponibilité en eau du sol) doivent être suivis car ils varient fortement au sein des trouées.

Une autre question est celle de l'identification des causes de blocage de la régénération naturelle dans certaines zones. La question se pose notamment dans des forêts gérées en irrégulier qui ont du mal à régénérer des essences de lumière appétentes (e.g. chêne, feuillus précieux...). Dans ce cadre **croiser les facteurs de blocage potentiel pour les hiérarchiser** est un axe de recherche intéressant et encore peu étudié aujourd'hui : croiser « **grands ongulés sauvages** » x « **éclaircissement** » x « **travaux** » (compétition intra et interspécifique).

*Modalités potentielles* : gradient lumière-directe - lumière indirecte ; morphologie/dynamique des trouées ; modalité de gestion du taillis ; croisements de gradient de présence de semis préexistants/plants et d'autres gradients (lumière, grands ongulés sauvages, fructification) ; croisement de gradients de couverture de l'étage dominant et du-sous-étage pour obtenir des conditions de lumière optimales à la croissance des essences d'intérêt ; tests de gestions différentes du sous-étage et de l'étage dominant (taux de prélèvement).

#### b. Thématique 2 : schémas et techniques d'introduction de plants dans les trouées

Les documents permettant de comparer les « **designs** » d'installation du mélange sont très rares et les travaux scientifiques quasiment inexistants. Ce manque d'information sur le « design » est d'autant plus fort que les expérimentations passées ne prenaient pas en compte le contexte actuel de changement climatique et de surabondance des grands ongulés sauvages. Ainsi, les travaux passés sont difficiles à transposer aux situations d'aujourd'hui et il est important de mieux connaître les intérêts, avantages et désavantages des différents « design » possibles. Dans ce contexte l'identification de **la localisation d'introduction des plants au sein de la trouée peut être intéressante**. Notamment car il reste des incertitudes sur le croisement de la disponibilité en ressources au sein d'une trouée.

*Modalités potentielles* : nombre de plants introduits ; distances entre plants ; design des placeaux introduits (proportions des essences/ équilibre essence d'intérêt sylvicole actuel fort/ essence adaptée au climat futur / essence d'accompagnement favorable), localisation spatiale des placeaux dans la trouée.

c. Thématique 3 : techniques de protection des semis et plants en collectifs dans les trouées

Il est déjà bien admis que le renouvellement forestier est très difficile en situation de déséquilibre faune-flore. Les points d'intérêt des gestionnaires tournent autour de la question « comment avoir toujours des grands ongulés sauvages tout en diminuant sa pression sur les plants ? ». Plusieurs leviers sont possibles : (1) le contrôle de la population des grands ongulés sauvages (plan de chasse), (2) la protection des régénérations. Cette thématique est développée plus en détail dans la partie qui concerne la reconstitution post-crise (**paragraphe E. 3.C** page 22)

3. *La régénération en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue post-crise*

a. Axe 1 : le choix des essences.

Plusieurs équipes de recherche se penchent déjà sur la thématique du choix des essences. Certaines s'intéressent à identifier les essences en adéquation avec la station future (développement de l'outil BioClimSol du CNPF et de l'outil ClimEssences du RMT AFORCE, projet Caravaniks), à tester des essences allochtones (projet îlots d'avenir, projet TREC) et des provenances (projet Giono), à s'intéresser au brassage génétique (projet Espérance / RENEssence). Cependant, ces travaux s'intéressent souvent à des peuplements purs et il existe très peu de travaux scientifiques concernant des peuplements mélangés et encore moins permettant d'étudier des mélanges réfléchis pour répondre aux risques exacerbés par les changements globaux (ex. gradient de résistance à la sécheresse estivale...). Ces nouveaux mélanges à réfléchir sont très peu documentés car ils résultent de la prise en compte d'enjeux récents. Ainsi, le suivi des différents **types de mélanges susceptibles de s'adapter à différents niveaux de risques (sécheresse, tempête, menaces sanitaires...)** est la thématique qui est au croisement de l'intérêt pratique pour les gestionnaires et de l'apport de nouvelles connaissances théoriques pour les chercheurs. En complément, au vu de l'importance croissante accordée au recru naturel **les associations entre essences naturelles ou entre essences naturelles et essences plantées** est à étudier plus en détail.

*Modalités potentielles* : essences mélangées (nombre, proportion...) ; mélanges d'essence de différents niveaux de tolérances aux conditions climatiques futures – association entre essences introduites et recru naturel.

b. Axe 2 : intérêts et désavantages des différentes stratégies de reconstitution

Cette thématique a un intérêt très fort pour les gestionnaires mais la grande variabilité de stratégies (régénération naturelle, enrichissement, plantation en plein...) ne permet pas d'apporter une réponse complète à cette question. De plus, au sein d'une stratégie de reconstitution il y a une multitude de pratiques possibles, en termes de design d'installation, de niveau de mélange (parquets, bouquets, placeaux, bandes...) ou en terme de travaux

sylvicoles (cassage, annélation, détourage). Au vu de cette diversité, une solution intéressante pourrait être le couplage entre :

- **une expérimentation scientifique** visant à améliorer les connaissances disponibles sur l'une des stratégies de reconstitution les moins connues et les plus innovantes ;
- **et le recours à des dispositifs expérimentaux type « observatoire »** en complément pour permettre une généralisation des résultats à une échelle d'intérêt pour les gestionnaires forestiers. Cet observatoire pourrait également permettre de suivre d'autres stratégies de reconstitution dans d'autres contextes.

Plusieurs sous-thématiques ont été identifiées comme d'intérêt fort le niveau de mélange du peuplement. Dans ce cadre, des questions partiellement étudiées par les scientifiques restent d'un fort intérêt comme **l'étude de l'effet des proportions relatives des essences ? Le nombre d'essences ?**

En complément, il existe très peu de suivi des performances et de la qualité des tiges au sein du peuplement, en particulier après travaux d'amélioration (ex. élagage naturel, fourchaison, croissance, rectitude, prospection racinaire...). Ainsi, si le suivi des performances n'est pas prioritaire il reste intéressant de le suivre dans le temps pour les gestionnaires comme pour les chercheurs qui ont très peu de travaux sur la qualité des bois (notamment sa dynamique temporelle et leur réponse aux travaux sylvicoles). **Si le suivi de la qualité et des performances ne semble pas prioritaire elle peut être suivie pour ajouter une plus-value à une expérimentation sur le mélange.**

*Modalités potentielles* : comparaison des stratégies (régénérations naturelles, enrichissement, régénérations en plein, plantations avec matrice artificielle) et des scénarios sylvicoles qui en découlent.

### C. Axe 3 : prise en compte de l'équilibre faune-flore

Il est déjà bien admis que le renouvellement forestier est très difficile en situation de déséquilibre faune-flore. Les points d'intérêt des gestionnaires tournent autour de la question « comment avoir toujours des grands ongulés sauvages tout en diminuant sa pression sur les plants ? ». Plusieurs leviers sont possibles : **(1)** le contrôle de la population des grands ongulés sauvages (plan de chasse), **(2)** la protection des régénérations.

#### *Seuil de population et effets sur la régénération (densité, diversité...)*

Les chercheurs spécialisés consultés ont souligné la difficulté pratique à contrôler le niveau de pression des grands ongulés sauvages pour plusieurs raisons :

- Nécessité d'implication forte des chasseurs dans la démarche ;
- Nécessité d'avoir des déplacements de population contrôlés.

Une piste d'alternative au contrôle du niveau de population qui peut être envisagée est la création d'un paysage de la peur (fréquentation différente de plusieurs zones pour créer des réponses comportementales). Cette réflexion sort légèrement du strict cadre d'Askafor car d'autres équipes de recherche sont mieux placées pour porter les expérimentations dans ce domaine (équipes de recherche de l'OFB).

*Modalités potentielles* : niveau de pression de chasse ; niveau de fréquentation par le « public » différente ; niveau de pression des grands ongulés sauvages.

#### *Evaluation des techniques de protection « classiques »*

La récurrence de la problématique de la surabondance des ongulés sauvages, amène à se concentrer sur des questions permettant d'apporter des éclairages pour effectuer des choix de gestion dans le contexte actuel de déséquilibre faune-flore. Une possibilité est l'installation de protections « classiques » qui se divisent en deux grands groupes :

- **Les protections individuelles** : permettent de conserver l'abrouissement sur la végétation accompagnatrice et donc d'éviter de modifier la dynamique naturelle en présence des grands ongulés sauvages (explosion de certaines espèces ayant une stratégie de type « sit and wait » présente dans des conditions plus difficiles et qui attendent une levée de la contrainte pour exploser (la contrainte levée est l'abrouissement dans le cadre de la pose d'enclos). Les protections individuelles modifient souvent la croissance des plants qui s'étiolent et peuvent être plus frêles et donc moins résistants.
- **Les protections collectives** : la protection concerne l'ensemble de la communauté végétale. Plus la surface / nombre de plants à protéger est important plus la pose d'enclos devient intéressante financièrement comparé à la protection individuelle.

*Modalités potentielles* : Protection individuelle versus collective, type de protection.

*Attention* : Quelle que soit l'expérimentation mise en place, il faut réfléchir au type de protection que l'on souhaite utiliser si l'écosystème n'est pas en équilibre.

#### *Design de plantation et protection contre les grands ongulés sauvages dans le cas spécifique de la plantation par placeaux*

Les travaux de recherche permettant d'éclairer sur les « designs » d'installation du mélange sont très rares alors qu'il est important de mieux connaître les intérêts, avantages et désavantages des différents « design » possibles. Ce manque d'information sur le « design » est d'autant plus fort que les expérimentations passées ne prenaient pas en compte le contexte actuel de changement climatique et de surabondance des grands ongulés sauvages. Ainsi, ils sont difficiles à transposer aux situations d'aujourd'hui.

Il semble intéressant de se concentrer sur des questions permettant d'apporter des éclairages pour effectuer des choix de gestion dans le contexte actuel de déséquilibre faune-flore. Pour cela, il est possible de s'intéresser aux moyens de protéger les régénérations :

- L'utilisation de l'**organisation du schéma d'implantation** pour maximiser les chances de réussites des essences d'intérêts en les protégeant contre les grands ongulés sauvages (à l'intérieur des placeaux, entre placeaux, dans la matrice).
- Les **associations d'essences** au sein des placeaux peuvent être favorables à la protection des plants d'intérêt sylvicole contre les grands ongulés sauvages. Il semble intéressant d'étudier la possibilité de protéger les essences d'intérêt sylvicole que l'on souhaite favoriser en jouant sur les appétences relatives des essences associées (théorie de la résistance/susceptibilité associative et de de la résistance/susceptibilité associative par contraste).

*Modalités potentielles* : design répulsif (appétence différentielle des essences en mélanges) ; répartition inter et intra-placeaux ; densité relative des essences appétentes et évitées ; type d'essence accompagnatrice ; travaux en complément pour gérer la compétition interspécifique ; diversité au sein du placeau ; Effet de la présence-absence d'une matrice ; Effets paysagers.

- La présence d'obstacles mécaniques au sein des placeaux peut être favorable à la protection de la régénération. Dans ce sens, il est possible de laisser sur place les houppiers des bois récoltés. Il pourrait s'agir d'une solution peu chère alternative aux dispositifs de protection « classiques » (moins chère, sans plastique). Ces effets positifs pour la protection des plants sont à mettre en balance avec l'augmentation du risque de prédation par les rongeurs dans les houppiers (Hagge et al., 2019).

*Modalités potentielles* : Houppiers-démontés ou entiers ; effets sur les performances de la régénération (survie, déformation, croissance...) ; durée de la protection ; effet de la taille du houppier, de sa hauteur, de son essence (résineux-feuillus, chêne-hêtre) ; houppiers en feuilles-hors feuilles ; suivis de la régénération naturelle / de graines semées / de plants ; protection spatialisée (centre, périphérie du houppier) ; emplacement du houppier (sous semencier, sur régénération acquise) ; Amélioration de la survie / architecture de la régénération.

#### *Autre thématique d'intérêt identifié par les chercheur*

Un autre axe de recherche possible est de s'intéresser à la possibilité de « booster » la croissance de la régénération. Plusieurs pistes sont possibles pour booster la croissance :

- le recépage permettant de stimuler la croissance de nouvelles tiges à partir de leur souche ou racines coupées;

- l'utilisation de protections conçues à cet effet (e.g. Silva tube -E2D : tubes carrés en plastique blanc translucide qui accélèrent la croissance des semis en créant une ambiance plus humide et chaude).
- la fertilisation peut permettre d'accélérer la croissance des plants en leur apportant de nombreux éléments nutritifs dont ils ont besoin et qui sont en quantité limitée dans les sols forestiers. En contrepartie les semis fertilisés sont plus appétents.
- une mise en lumière forte permet de booster la croissance des semis mais risque de (1) favoriser le développement d'espèces très compétitives (e.g. ronce), et (2) de rendre le microclimat moins favorable ce qui pourrait entraîner une moins bonne conformation des tiges en pleine lumière (e.g. forte branchaison).
- la plantation de semis plus hauts que ceux plantés actuellement qui peuvent sortir rapidement des grands ongulés sauvages (hauteur > 1 m).

#### d. Axe 4 : les travaux sylvicoles

*Techniques de plantation et de préparation des plantations en enrichissement, techniques de maintien en mélange d'essences aux comportements différents (entretien), identification des interventions nécessaires pour le maintien du mélange (diagnostic).*

La recherche sur les techniques de plantation est une recherche à part qui a été beaucoup explorée auparavant mais qui a été délaissée ces dernières décennies. Or, dans le contexte actuel de changement globaux et de tests de nouveaux mélanges, les expérimentations sur l'installation de mélange et sur les techniques permettant d'optimiser les itinéraires sont aux cœurs des préoccupations des gestionnaires. La diversité des pratiques possibles rend difficile l'expérimentation scientifique rigoureuse et les chercheurs s'intéressant à cette thématique doivent restreindre le cadre (e.g. s'intéresser uniquement à un type de travail).

Souvent, dans certains mélanges (ex. chêne-hêtre) quel que soit le niveau de lumière il faudra recourir à des travaux pour sortir certaines essences (ex. chêne). Une des questions intéressante est de définir des signaux permettant de lancer les travaux pour qu'ils soient optimaux.

*Modalités potentielles : itinéraires différents ; fréquence d'intervention ; différents niveaux des travaux ; types de travaux pratiqués ; période de réalisation des travaux.*

#### 4. Point de discussion et études complémentaires

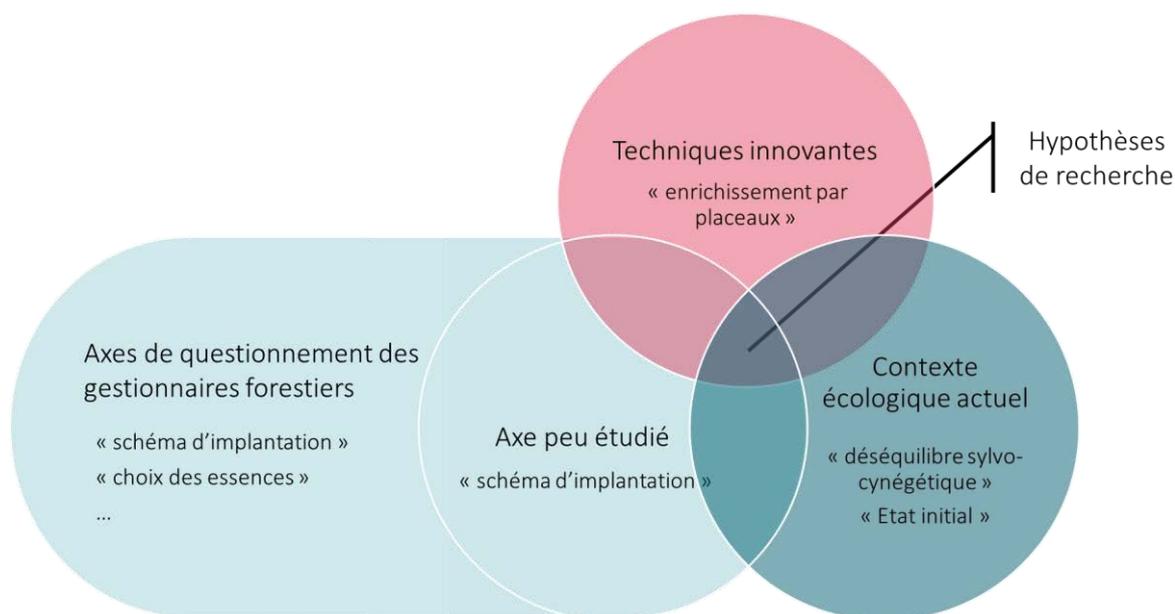
- Intérêt de suivre le microclimat à l'aide de capteurs et aussi l'ensemble des conditions environnementales susceptibles d'avoir un effet sur les performances des semis.
- Possibilité de coupler avec des études sur le sol et de s'associer dans un deuxième temps à des chercheurs de ce domaine.
- Possibilité de coupler avec des études sur la biodiversité.

## E. ETAPES 4. CONSTRUCTION DES OPTIONS DE RECHERCHE

### 1. Objectif et démarche

L'objectif de cette partie est de sélectionner et approfondir plusieurs questions de recherche qui ont le quadruple avantage **(1)** de répondre à un besoin des gestionnaires forestiers cherchant à installer des peuplements mélangés, **(2)** de ne pas être déjà l'objet de plusieurs autres projets de recherche et d'être situé à la marge des connaissances scientifiques actuelles (sur un front de science ; présentant donc un fort intérêt pour les chercheurs), **(3)** de prendre en compte le contexte écologique actuel **(4)** de permettre l'apport de connaissances sur des techniques innovantes peu évaluées scientifiquement (**Figure 4**).

A partir des éléments de discussion présentés dans les **parties C et D**, nous proposons plusieurs exemples d'expérimentation à mettre en place parmi lesquelles de futurs partenaires et financeurs pourront se positionner. Évidemment, de nombreuses autres expérimentations sont possibles et restent à construire avec les éléments de réflexion proposées dans les **parties C et D**.



**Figure 4.** Démarche de définition des options de recherche.

### 2. Points d'attentions

#### a. Construction de l'expérimentation

La littérature ainsi que nos projets passés nous ont amené à identifier plusieurs points auxquels il faut apporter une attention particulière lors de la construction des hypothèses de recherche et dispositifs expérimentaux :

- Prendre en compte la complexité du système forestier (interactions multiples).
- Penser à l'avance aux analyses des données pour pouvoir obtenir des résultats robustes.

- Prévoir un suivi sur le long terme. En effet, les dynamiques de succession peuvent changer au cours du temps. Par exemple la dynamique peut être favorable à une essence dans les premières années et être favorable ensuite à une autre essence.
- Fixer au maximum les conditions écologiques (et les quantifier) pour se concentrer sur l'étude des mélanges et des interactions inter et intra-spécifiques. Suivre un maximum de paramètres explicatifs pour pouvoir expliquer au mieux les processus.
- Réfléchir à la mise en place des dispositifs et aux besoins de financements pour l'installation, la mesure et les travaux dans les dispositifs :
  - o favoriser l'implication des propriétaires et gestionnaires des sites sélectionnés.
  - o évaluer la possibilité du partage de frais avec prise en compte du surcout de la plantation particulière par des financements complémentaires.
- Réfléchir à l'échelle spatiale. Il faut également réfléchir en amont le changement d'échelle de suivi dans le long terme (échelle du plateau, échelle de la parcelle, échelle du plant...). Il est important d'anticiper autant que possible l'évolution du peuplement si l'on souhaite s'intéresser au maintien du mélange en plus de son installation.
- Prendre en compte les travaux sylvicoles, quasiment jamais pratiqués dans des expérimentations à visé scientifique.
- Réfléchir au type de protection que l'on souhaite utiliser.

b. Le contexte écologique –l'étudier ou s'en affranchir ?

*L'intégration de l'équilibre faune-flore*

Au-delà de la question du changement climatique, les gestionnaires autant que les scientifiques, soulignent l'importance de l'équilibre faune-flore dans la réussite de la régénération d'un peuplement aujourd'hui. En effet, la surabondance des grands ongulés sauvage est identifiée comme l'une des principales causes des difficultés de régénération des peuplements forestiers. Ainsi, l'installation d'un peuplement mélangé ne peut être pensée sans tenir compte et/ou évaluer l'effet de la grande faune sur la reconstitution.

Trois manières de prendre en compte l'équilibre faune-flore sont possibles :

- caractériser finement l'effet des ongulés ;
- proposer des pratiques permettant de reconstituer malgré la forte présence des ongulés sauvages ;
- s'affranchir du facteur « ongulé sauvage » en protégeant la totalité de l'expérimentation de manière à s'affranchir de cet effet « grands ongulés sauvages » en protégeant l'ensemble des dispositifs test. Évidemment, l'effet des grands ongulés sauvages pourra être évalué en parallèle sous condition d'apport financier supplémentaire car cette évaluation obligerait à doubler les dispositifs suivis.

### *Caractérisation de l'état initial*

L'état initial va fortement influencer la réussite de la régénération (encombrement, couverture arborée, fructification, recru, l'exploitation...). Ainsi, il est important de pouvoir caractériser la variation des effets en fonction de cette diversité d'état initial. Il est d'autant plus important de prendre en compte l'état initial dans cette réflexion car il conditionne fortement les stratégies de reconstitution possibles (enrichissement si suffisamment de recru, travail du sol si envahi pour la végétation accompagnatrice, intérêt des potentiels semenciers...).

Un autre exemple concret de l'importance de la prise en compte de l'état initial dans cette réflexion : dans le cas des peuplements mono-spécifiques menacés de dépérissements massifs dans le futur (e.g. épicéas de plaine pas encore attaqués par les scolytes) une stratégie peut être de préparer la transition vers un peuplement plus adapté. Pour cela il est possible d'exploiter une partie des bois mais de conserver une partie de la couverture arborée. Les enjeux et le design de l'introduction de petits collectifs dans ce cas diffèrent fortement du cas post-crise dans lequel le couvert arboré est quasiment inexistant. En effet, en modifiant la couverture arborée on modifie également la sensibilité du peuplement à certains aléas climatiques comme les tempêtes par exemple.

**Choix d'orientation** : uniformisation des conditions initiales pour s'affranchir au maximum des effets des conditions environnementales :

- en situation de gestion courante: stations / peuplements antécédent semblables.
- en situation post-crise : stations / peuplements antécédent semblables et recru peu dense (situation préoccupante pour les gestionnaires).

#### *c. Sélection des sites, planification du suivi et financement*

La recherche de terrains d'étude pour installer ces expérimentations pourrait s'envisager avec la mise en place d'un financement et prise en charge des surcoûts d'installation des petits collectifs /protection /travaux par rapport au coût « classique ». Dans ce cas, l'implication des acteurs associés à ces terrains d'étude est importante pour assurer une réalisation efficace des travaux et un suivi pertinent et pérenne.

### 3. *La régénération par petits collectifs en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue*

Information préliminaire : Réflexion et proposition en lien avec le projet Forêt irrégulière école 2 (FIE2) qui est localisé spécifiquement en forêt d'Auberive (France).

Les interactions sont au centre des manques identifiés au sein de connaissances scientifiques. En effet, de nombreux chercheurs ont souligné l'importance de centrer les expérimentations futures sur les interactions écologiques multiples. Par exemple, Barrere et al., (2021) ont mis en évidence une interaction entre disponibilité en lumière et abrutissement pour expliquer le développement des régénérations de chêne : le manque de lumière limite la croissance des chênes sous couvert alors que c'est l'abrutissement qui a le plus d'effet dans les trouées.

**Thématique retenue :** Hiérarchisation des facteurs de blocage de la régénération naturelle : croisement de trois facteurs de blocage potentiel de la régénération naturelle : les grands ongulés sauvages – la disponibilité en lumière et les pratiques sylvicoles (travaux visant à contenir la régénération).

⇒ **Une expérimentation mise en place dans le cadre du projet FIE s'intéresse à cette question.**

#### a. Hypothèses de recherche

**Hypothèse 1 :** Part des différents facteurs et de leurs interactions dans les performances de la régénération naturelle.

**Méthodologie :** Analyse des performances brutes ou passage par le calcul d'indices de compétition (intensité, importance : modification de performance par les voisins).

#### b. Réflexion sur le choix des traitements

La hiérarchisation des facteurs et l'étude de leur interaction n'est possible qu'en croisant plusieurs modalités de chaque facteur suivant un plan équilibré.

Étant donné que le nombre de modalités étudié maximum par facteur est restreint (coût) et que l'importance relative de ces facteurs est inconnue, il faut se concentrer sur **deux ou trois modalités très contrastées par facteur** pour avoir une première approche de ces relations. Si un choix doit être fait il vaut mieux favoriser la diversité des essences suivies que la multiplication des modalités au sein d'un facteur.

- les essences étudiées doivent être issues de la régénération naturelle, être fortement présentes naturellement et avoir des comportements très différents.

**Choix.** Etudier le **hêtre, le charme, l'épicéa, le sapin** qui sont très présents et représentent des compétiteurs potentiels forts pour les essences plus héliophiles et/ou appétentes. Suivre également des essences à fort intérêt économique ou un intérêt d'adaptation aux conditions climatiques futures (**chênes, érable champêtre, merisier...**) ou **d'autres essences**

**fortement présentes (pin sylvestre). Un nombre d'essences = 6 les plus présentes (nombre dépendant du financement)?**

- les stations (peuplement environnant, peuplement antécédent, pH, présence de calcaire, hydromorphie, topographie, altitude...);

**Choix.** Installer ces dispositifs croisés dans différentes conditions environnementales le long d'un ou plusieurs gradients en fonction **(1)** des propriétaires intéressés par le projet, **(2)** des moyens alloués au projet.

- La prise en compte de la pression des ongulés - protection ;

**Choix.** Etudier **deux modalités contrastées** et pour faciliter l'entretien et augmenter la surface protégée nous favorisons l'utilisation d'enclos. En parallèle la quantification de la pression exercée par les ongulés pourrait s'effectuer via le suivi d'un indice de consommation couplé à la pose de pièges photographiques.

- Gestion de la compétition : avec et sans travaux sylvicoles (cassage) ;

**Choix.** Pour éviter la multiplication des traitements, trois modalités de travaux contrastées semblent intéressante : **absence de travaux / travaux extrêmes éliminant toute compétition / travaux visant à contenir la compétition aérienne en dessous d'un seuil fixé** (e.g. 80% de la hauteur). Ainsi, il faut objectiver et quantifier au maximum les travaux réalisés. Le protocole reste à définir : conditions pour déclencher les travaux, hauteur de cassage des tiges accompagnatrices, intensité du dégagement...

- La couverture arborescente ;

**Choix.** Etudier trois modalités contrastées : **5-10% d'éclaircissement relatif 15-20 et 25/30**. Se servir de l'hétérogénéité au sein d'une forêt pour présélectionner trois zones et orienter dans un second temps la disponibilité en lumière (caractérisation via des photographies hémisphériques pour caractériser la modalité).

- La hauteur des plants ;

**Choix.** La sensibilité des plants en fonction de leur hauteur doit être utilisée comme paramètre décisif. Certains auteurs posent l'hypothèse que les plants sont plus fortement soumis à abrutissement lorsqu'ils ont une hauteur comprise entre 30 et 70 cm de hauteur pour le chevreuil (Ballon et al., 1999). D'autres, mettent a barre à 50 cm de hauteur (Borowski et al., 2021). Les plants des différentes essences doivent être situés dans la même gamme de hauteur au début de l'expérimentation car l'abrutissement dépend de la hauteur (Borowski et al., 2021). Nous proposons de sélectionner **des plants d'environ 30 cm de hauteur pour suivre leur devenir : une fourchette de 20 à 40 cm. Ajouter des critères d'architecture : Pas plus de deux ramifications.**

- Autres facteurs de blocages potentiels ;

**Choix.** En complément, si dans certaines situations la production de graine ou la germination sont identifiés comme des potentiels facteurs de blocage on pourra envisager

de compléter le suivi de la régénération naturelle par le semis et la quantification des fructifications au niveau local.

- La capacité d'accueil des grands ongulés sauvages;

**Choix.** Il y a un intérêt fort à s'intéresser à l'effet de la capacité d'accueil et de la localisation des zones favorables sur la vulnérabilité face aux grands ongulés sauvages car il a été montré que certaines zones sont particulièrement fréquentées par les grands ongulés sauvages (c'est le cas des trouées issues de peuplements dévastés). Suivi de la capacité d'accueil entre les placeaux et dans le paysage alentour : la disponibilité en ressource peut être estimée en terme de pourcentage de couverture de toutes les essences présentes (herbacées arbustives, arborescentes) (Moser 2006) d'une hauteur maximale donnée (1m20 pour le chevreuil, 2m pour le cerf). La nature de l'accompagnement est importante à caractériser car en fonction de la phénologie et de la saison la végétation accompagnatrice peut être ou non une ressource alternative.

c. Schéma expérimental

Au minimum trente semis suivis par combinaison de modalités et par essence.

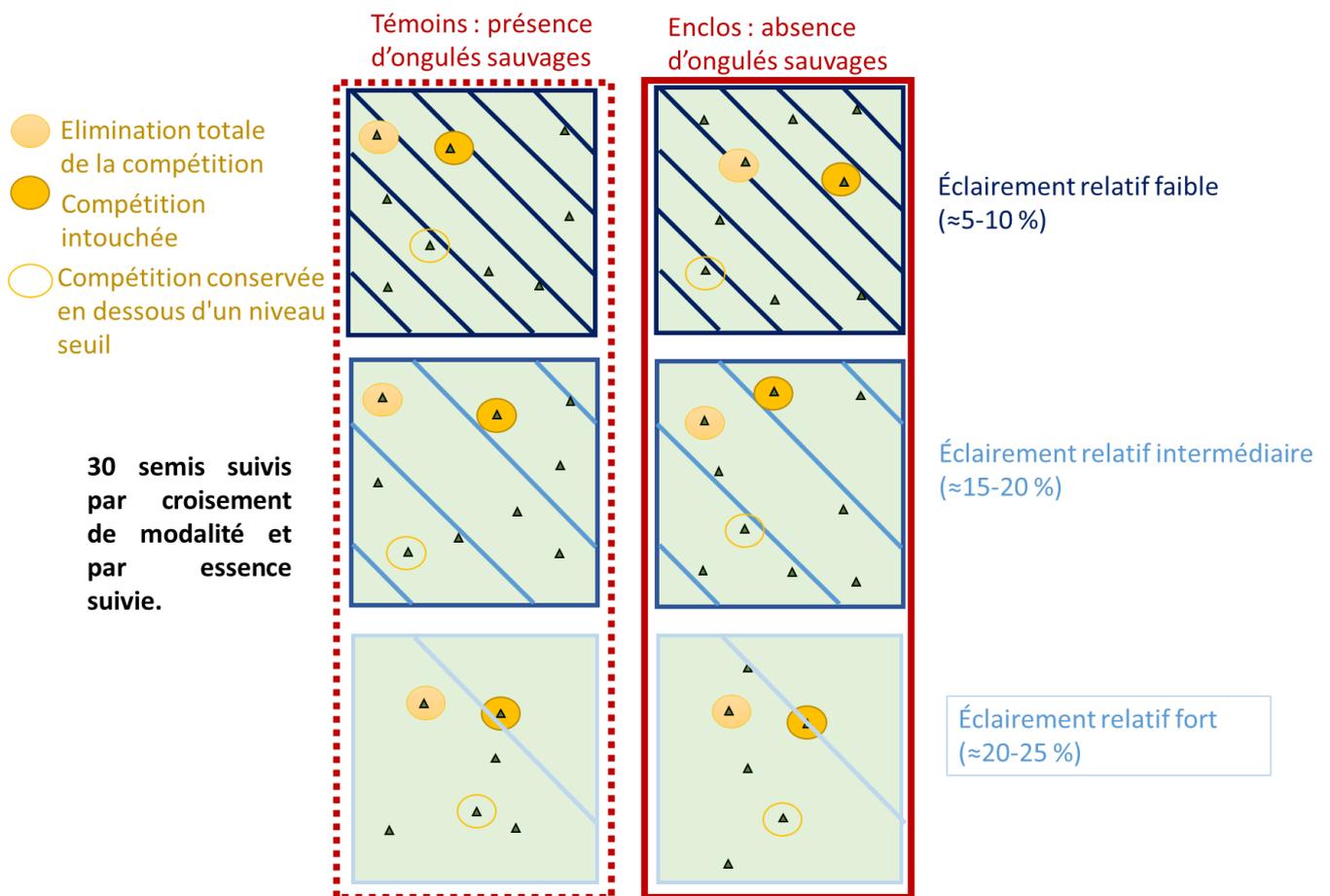


Figure 5. Schéma expérimental simplifié pour une essence.

**Stratégie d'échantillonnage :** Au minimum

- 30 semis \* 12 modalités => **360 semis suivis par essence**

**Durée de l'expérimentation :**

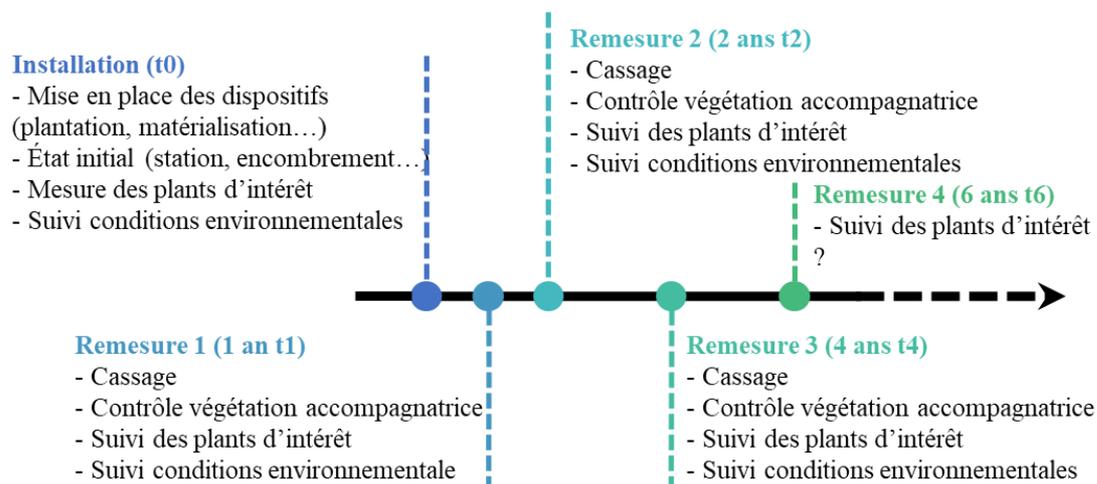
4 ans pour suivre l'installation ; au moins 12 ans pour avoir des données à moyen terme (**Figure 10**), plus long suivi pour du long terme (20-30-40 ans).

d. Options supplémentaires / complémentaires

L'augmentation du nombre d'essences suivies (voir dans un second temps : le suivi d'essences introduites).

Dynamique des communautés végétales (attention ne pas rater l'état initial).=> Apparition d'essences/disparition d'essences...

e. Chronologie des mesures



**Figure 6.** Planification des suivis dans le temps.

#### *4. La régénération en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue post-crise : observatoire des stratégies de reconstitution post-scolytes*

**Thématique retenue :** Observatoire des stratégies de reconstitution post-scolytes.

Réflexion et propositions complémentaires au projet Expérimenter et Guider pour Initier la Diversité des Essences forestières (EGIDE) qui est localisé spécifiquement dans la région Grand-Est. Askafor s'intéresse en particulier à la stratégie d'enrichissement par placeaux, ce qui n'est pas le cas du projet EGIDE qui étend la réflexion à la reconstitution par bouquets, par bandes ou lignes.

##### a. Méthodologie

**Méthodologie :** Croisement de trois facteurs sur un même site :

- Enrichissement par placeaux ;
- Témoins : libre évolution et régénération naturelle travaillée ;
- Il semble intéressant d'étudier une grande variété de situations de départ comme par exemple (présence/absence de recru).

##### b. Réflexion sur le choix des « traitements »

Étude et comparaison d'au minimum trois traitements par sites :

- une zone témoins laissée en libre évolution pour pouvoir caractériser la réussite de la régénération avec un investissement nul ;
- une zone où la régénération naturelle est travaillée pour servir de référence de valorisation de l'existant ;
- et une zone dans laquelle un enrichissement par plateau est pratiqué.

##### c. Schéma expérimental

A définir dans le futur en fonction des projets déjà en cours pour proposer des compléments cohérents.

#### *5. La régénération en contexte de sylviculture mélangée à couvert continue post-crise : expérimentation de R&D*

**Thématique retenue :** design des placeaux pour favoriser le développement des tiges d'avenir en mélange et protéger les plants contre les grands ongulés sauvages.

Croisement des facteurs suivants :

- Plants d'intérêts protégés ou non ;
- Accompagnement par des essences différentes ;
- Travaux déclenchés par un niveau de compétition donné.

##### a. Hypothèses de recherche

**Hypothèse 1 :** En étant associé à l'échelle du plateau à d'autres tiges, les plants d'essences d'intérêt vont avoir de meilleures performances que lorsqu'elles se développent seules et l'effet dépend de l'essence accompagnante et de l'essence cible.

**Prédiction 1 :** Les plants d'essence d'intérêt vont avoir de meilleures performances (taux de survie, croissance, architecture) lorsqu'ils sont associés à d'autres tiges et l'effet dépend de l'essence accompagnante et de l'essence cible.

**Hypothèse 2 :** La présence des grands ongulés sauvages modifie les interactions entre espèces (intensité de l'interaction entre les plants d'intérêt et les plants accompagnants) et l'effet dépend de l'appétence relative des essences présentes.

**Hypothèse 2.a :** En étant associé à l'échelle du plateau à de l'accompagnement, les plants d'essences d'intérêt vont être protégés des grands ongulés sauvages ce qui va améliorer leurs performances.

**Prédiction 1 :** L'effet positif de la présence d'accompagnement sur les performances des plants d'intérêt est plus fort en présence des grands ongulés sauvages.

**Prédiction 2 :** L'intensité et l'importance de l'effet positif va dépendre de l'appétence relative des essences présentes : lorsque l'accompagnement est plus appétent ou moins appétent que l'essence cible l'effet positif sera plus fort.

**Hypothèse 2.b :** La croissance des plants d'essences d'intérêt vont être favorisés par rapport à l'accompagnement s'ils bénéficient d'une protection individuelle.

**Prédiction 1 :** Les plants protégés vont être moins soumis à la compétition de l'accompagnement.

**Prédiction 2 :** Les plants protégés vont donc vont nécessiter des interventions en travaux moins fréquentes.

**Prérequis :** Tous les individus d'une même essence ont la même appétence, l'appétence relative des essences en présence est admise. Il est possible d'envisager de tester ces prérequis dans le cadre d'une expérimentation complémentaire.

**Théories :** résistance associative (les ongulés sélectionnent à l'échelle inter-placeaux) et résistance associative par contraste (les ongulés sélectionnent à l'échelle intra-placeaux).

## b. Méthodologie

**Méthodologie :** Analyse des performances brutes ou passage par le calcul d'indices de compétition (intensité, importance : modification de performance par les voisins).

## c. Réflexion sur le choix des « traitements » :

Pour proposer un plan d'échantillonnage complet il va falloir statuer sur la variabilité des facteurs qui peuvent influencer la réussite de la reconstitution par placeaux :

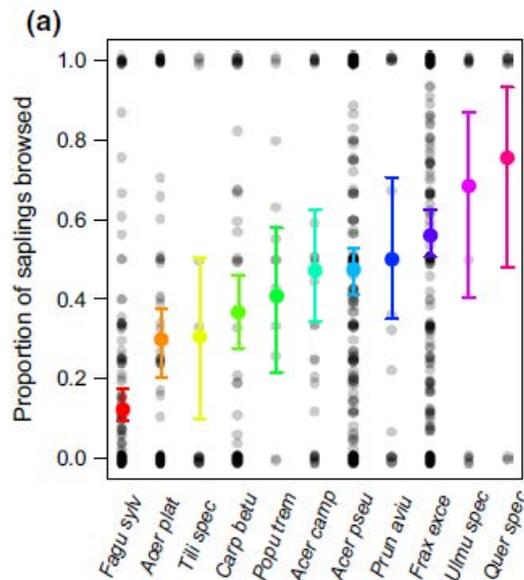
- Le mélange à l'intérieur de la parcelle et les essences « objectif » par placeaux (essences allochtones, essences autochtones, provenances variées) ;

**Choix.** Deux essences « objectif » différentes pour pouvoir obtenir un mélange à long terme à l'échelle de la parcelle (en complément des essences de mélanges conservées dans les espaces inter-placeaux). Pas plus de deux essences testées pour limiter les facteurs de variabilité et avoir des résultats robustes. Une essence autochtone et une essence allochtone plus résistante à une potentielle augmentation des sécheresses estivales (intensité, fréquence...). Pour le choix des essences il faut garder en tête que si les feuillus sont consommés en été, les résineux sont consommés préférentiellement en hivers. Association de deux essences « objectif »: chêne et cormier (Tableau 3).

- Les essences accompagnantes pour tester la potentielle amélioration de forme ;  
**Choix.** La visite de plusieurs tests de reconstitution par placeaux innovante ont mis en évidence un potentiel intérêt d'associer des chêne à des essences dynamiques à croissance rapide comme le charme. Dans certaine forêts, les chênes plantés avec un accompagnement de charme semblent présenter une meilleure forme au bout de 20 ans que les chênes ayant poussé entre eux. Utiliser le charme (*Carpinus betulus*) comme essence d'accompagnement pour tester une amélioration de forme.
- Les essences accompagnantes pour tester la protection potentielle face aux grands ongulés sauvages (protection par des essences non appétentes ? protection par des essences plus appétentes ?) ;  
**Choix.** Trois cas de figures : des placeaux constitués d'une seule espèce ; des placeaux constitué d'un accompagnement avec des essences plus appétentes pour tester la résistance associative par contraste, des placeaux avec une essence accompagnante évitée pour tester la résistance associative (Figure 7).

**Tableau 3.** Proposition de duos d'essences à installer au sein d'un même placeau

Essence objectif	Essence évitée	Essence préférée	
<i>Quercus petraea</i>	<i>Fagus sylvatica</i> (Verheyden et al., 1998)	<i>Cornus mas</i> (Tixier et al., 1997)	Choix d'essences d'accompagnement feuillues car en feuilles au même moment que l'essence objectif : lors de la saison de végétation.
<i>Sorbus domestica</i>	<i>Fagus sylvatica</i> (Verheyden et al., 1998)	<i>Cornus mas</i> (Tixier et al., 1997)	



**Figure 7.** Exemple de rangement des essences en fonction de leur appétence vis à vis des grands ongulés sauvages (Ohse et al., 2017).

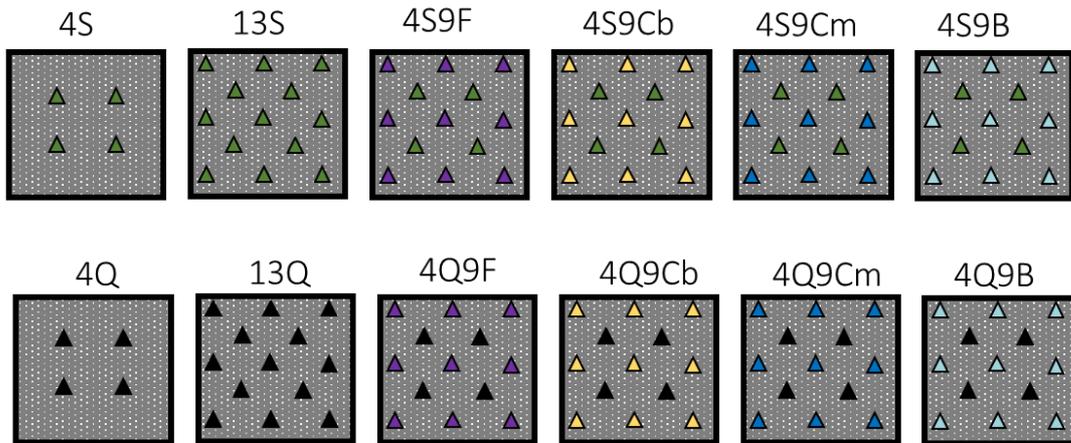
- Les stations (peuplement antécédent, pH, présence de calcaire, hydromorphie, topographie, altitude...);  
**Choix.** Une seule station type pour pouvoir se concentrer sur d'autres variables explicatives – choix de la station à faire en fonction des propriétaires intéressés par le projet.
- La taille du plateau (1 individu, 5 individus, 9 individus, 13 individus...);  
**Choix.** Des plateaux à 13 plants sauf les plateaux témoins dans lesquels l'essence se développe par quatre plants d'intérêt « seuls ». Suivi de quatre plants de l'essence objectif (au centre du plateau) pour éviter les effets de mortalité de l'unique individu suivi.
- La prise en compte de la pression des ongulés - protection;  
**Choix.** Le suivi de la pression exercée par les ongulés pourrait s'effectuer via le suivi d'un indice de consommation couplé à la pose de pièges photographiques. En parallèle l'étude de la compétition entre essence en absence d'ongulés peut se faire via l'installation de protections individuelles ou d'enclos. Pour éviter l'invasion d'essences compétitrice, notamment herbacée, nous favorisons l'utilisation de protections individuelles uniquement sur les plants d'intérêt. De plus, l'utilisation de protections individuelle permet de laisser l'accompagnement dans les mêmes conditions (même parcelle, même pression d'abrouissement, même intensité de compétition herbacée...). Par contre le suivi doit être régulier pour éviter la détérioration des protections.
- Avec et sans travaux sylvicoles (cassage);  
**Choix.** Pour éviter la multiplication des traitements, une seule modalité de travaux permettrait de s'affranchir de cette variable. La condition est d'aller soit vers l'absence de travaux soit vers l'uniformisation des travaux effectués avec des règles strictes. Dans l'idée

de maximiser l'apport de cette expérimentation et de se rapprocher des conditions de gestions « réelles », le recours à des travaux systématique est retenu mais il faut objectiver et quantifier au maximum les travaux réalisés. Le protocole reste à définir : conditions pour déclencher les travaux, hauteur de cassage des tiges accompagnatrices, intensité du dégagement...

- Différentes modalités de travail du sol dans les placeaux ;  
**Choix.** Pour éviter la multiplication des traitements, une seule modalité de travaux du sol pour s'affranchir de cette variable.
- La hauteur des plants ;  
**Choix.** La sensibilité des plants en fonction de leur hauteur doit être utilisée comme paramètre décisif. Certains auteurs posent l'hypothèse que les plants sont plus fortement soumis à abrutissement lorsqu'ils ont une hauteur comprise entre 30 et 70 cm de hauteur pour le chevreuil (Ballon et al., 1999)). D'autres, mettent a barre à 50 cm de hauteur (Borowski et al., 2021). Les plants étant issus de pépinière étant plus appétents, la hauteur des plants devra être d'environ 30 cm pour limiter l'abrutissement la première année d'installation. Les plants des différentes essences doivent avoir la même hauteur au départ car l'abrutissement dépend de la hauteur (Borowski et al., 2021).
- La capacité d'accueil des grands ongulés sauvages.  
**Choix.** Il y a un intérêt fort à s'intéresser à l'effet de la capacité d'accueil et de la localisation des zones favorables sur la vulnérabilité aux grands ongulés sauvages car il a été montré que certaines zones sont particulièrement fréquentées par les grands ongulés sauvages (c'est le cas des trouées issues de peuplements dévastés). Suivi de la capacité d'accueil entre les placeaux et dans le paysage alentour :
  - o Évaluation de la capacité d'accueil/pression locale exercée par les grands ongulés sauvages selon une grille systématique dans les espaces inter-placeau et dans le paysage autour.
  - o la disponibilité en ressource peut être estimée en terme de pourcentage de couverture de toutes les essences présentes (herbacées arbustives, arborescentes) (Moser et al., 2006) d'une hauteur maximale donnée (1m20 pour le chevreuil, 2m pour le cerf). La nature de l'accompagnement est importante à caractériser car en fonction de la phénologie et de la saison la végétation accompagnatrice peut être ou non une ressource alternative.

#### d. Schéma expérimental

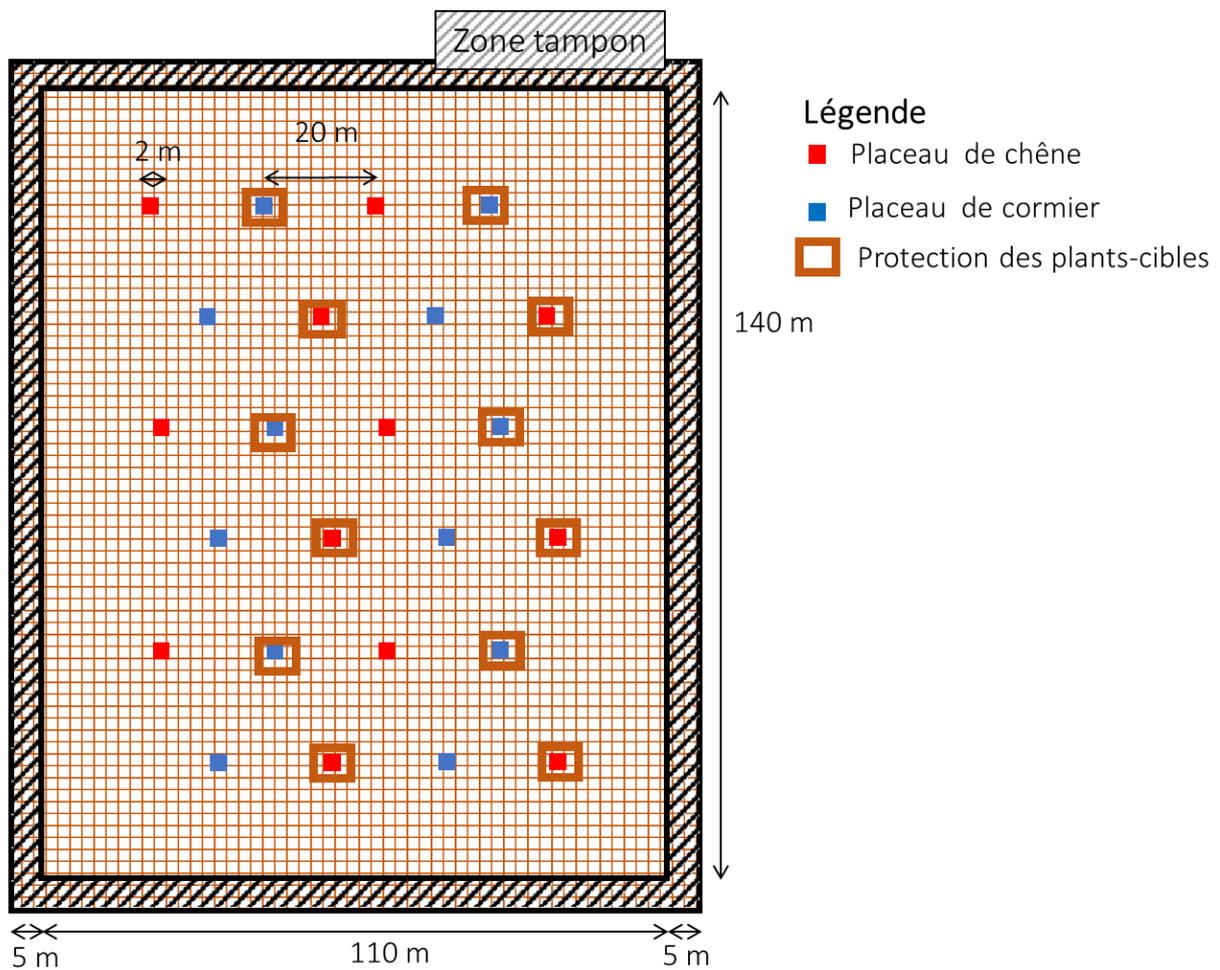
Pour répondre aux questions suivantes et respecter les choix explicités ci-dessus, il a été choisi de proposer 12 grands types de placeaux.



### Légende

-  Plant d'essence d'intérêt sylvicole cormier (*Sorbus domestica*)
-  Plant d'essence d'intérêt sylvicole chêne (*Quercus petraea*)
-  Plant d'essence favorable pour la forme : charme (*Carpinus betulus*)
-  Plant d'essence favorable pour la forme : bouleau (*Betula pendula*)
-  Plant d'essence accompagnante évitée : hêtre (*Fagus sylvatica*)
-  Plant d'essence accompagnante appétente : cornouiller (*Cornus mas*)

**Figure 8.** Schéma des 12 types de placeaux à implanter (avec et sans protections individuelles = 24 modalités suivies).



**Figure 9.** Exemple d'organisation des placeaux au sein des traitements (présence/absence de grands ongulés sauvages) pour un site. Au moins 10 sites suivis.

**Stratégie d'échantillonnage :** Au minimum

- 24 placeaux \* 10 sites => **240 placeaux suivis**
- 240 placeaux \* 13 plants suivis par placeaux => **3120 plants suivis** (dont **960 plants cibles**)

**Durée de l'expérimentation :**

4 ans pour suivre l'installation ; au moins 12 ans pour avoir des données à moyen terme (**Figure 10**), plus long suivi pour du long terme (20-30-40 ans).

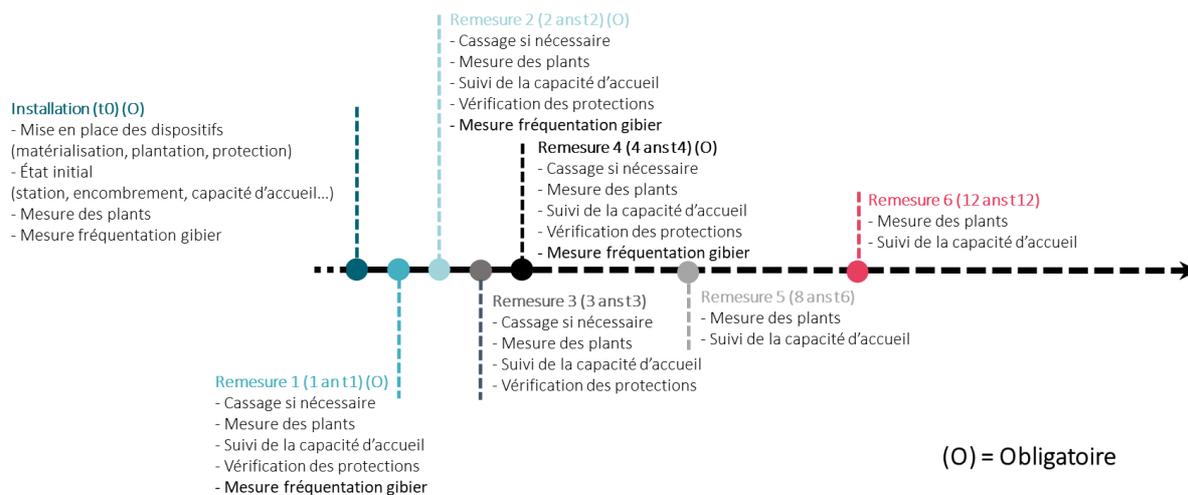


Figure 10. Chronologie potentielle de l'expérimentation

### Coût prévisionnel :

Tableau 4. Coûts prévisionnels de l'installation (hors coût de personnel).

Type de dépense	Détail de la dépense	Outil	Coût unitaire	Quantité	Coût total
Installation	Matérialisation – 10 sites	Piquets (1 par plateau 240)	0.50 € HT	240	120 € HT
Travail préalable du sol		Mini-pelle - sous soleur multifonction	5.8 € HT par plateau	240	1392 € HT
Plantation	Plants		1.27 c HT	3120	3962.4 € HT
	Plantation		1.04 € HT	3120	3244.8 € HT
	Regarni potentiel (plant +plantation)		1.27+ 1.04 € HT	?	?
Protection	Protection individuelle		1.20 € HT	480 (plants cibles)	576 € HT

Total prévisionnel : 9295.2 € HT

### Points de discussion :

- Chaque individu a son propre comportement et l'échelle spatiale étudiée correspond au domaine vital de seulement quelques chevreuils.

- L'ouverture de la canopée modifie la disponibilité en lumière et la capacité d'accueil et le comportement des ongulés sauvages (Ohse et al., 2017).
- La chasse peut modifier le comportement de prospection des ongulés sauvages et les différences de pratiques de chasse modifier la fréquentation entre sites et modalités à l'intérieur d'un site.
- Si absence d'effet, effet neutre : la différence d'appétence pourrait ne pas être suffisante ou la pression des grands ongulés sauvages trop forte pour permettre un choix.
- La question des dégâts par frottis n'est pas abordée dans la première approche même si elle constitue un souci important pour l'avenir de certaines régénérations. Cependant elle intervient plus tard dans l'acquisition de la régénération.
- Les patch les plus diversifiés augmentent la probabilité de consommation des semis (Borowski et al., 2021).
- Il est possible d'envisager deux passages par année mesurée, un au début de la saison de végétation et un deuxième passage à la fin pour séparer les abrouissements d'hivers des abrouissement d'été.
- Autres facteurs qui peuvent expliquer la différence : la qualité nutritive respectives (Champagne et al., 2018) des plants, la phénologie des dommages ?
- Les comportements pourraient être modulés par la présence ou non de prédateurs.
- Dans la nature, les comportements alimentaires peuvent être très différentes en raison notamment de phénomènes d'accoutumance ou de comportement site-spécifiques (Ballon et al., 1999)
- Les plants d'accompagnement sont maintenus par cassage à une hauteur donnée (ex. moins de 90% de la hauteur des plants d'intérêt) pour contrôler la compétition par la lumière les premières années.
- Absence de compensation de l'abrouissement en hauteur du plant.
- Quantifier la fréquentation des dispositifs par les ongulés sauvages.
- Contrôler/quantifier les autres facteurs possibles (rongeurs, sécheresse...).
- La pression d'abrouissement n'est pas forte au point que les ongulés se rabattent même sur les essences évitées. En effet, une densité forte augmente leur sélectivité pour les essences non appétentes (Borowski et al., 2021).

#### e. Options supplémentaires / complémentaires

**Option1. Placeaux avec diversité le long d'un gradient de degré de résistance à la sécheresse.** Il est possible d'envisager des placeaux avec plusieurs essences « objectif » situées sur un gradient de tolérance aux sécheresses pour permettre d'adapter le choix de l'arbre le plus intéressant (forme, diversité...) au climat futur (gestion des incertitudes). Cependant il faut proposer des design permettant de prendre en compte la diversité des traits des essences et qui évite l'élimination d'une ou plusieurs des essences « objectif » par l'essence la plus compétitive.

## Option 2. Suivi de la modification microclimatique dans les placeaux.

Il est possible d'envisager un suivi des conditions microclimatique dans les placeaux pour étudier les différents effets.

### F. CHOIX TRANSVERSAUX

#### 1. Le choix des essences

**Tableau 5.** Essences d'intérêt potentielles et leurs caractéristiques.

Essence	Caractéristiques et intérêt
Hêtre <i>Fagus sylvatica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fort intérêt sylvicole actuel mais dépérissement fort dans la grande région : semble peu adapté au climat futur.</li> <li>- Très compétitif.</li> </ul>
Chêne sessile <i>Quercus petraea</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fort intérêt sylvicole actuel et potentielle capacité d'adaptation intermédiaire aux conditions futures. Attention, des dépérissements sont observés actuellement sur des chênes adultes et leur adaptation au futur climat est très incertaine.</li> <li>- Intérêt d'introduire par plantation pour être sûr que ce ne sont pas des chênes pédonculés (distinction complexe, en particulier dans les jeunes stades).</li> <li>- Forte appétence.</li> </ul>
Charme <i>Carpinus betulus</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intérêt sylvicole pas toujours reconnu.</li> <li>- Appétence modérée.</li> </ul>
Merisier <i>Prunus avium</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fort intérêt sylvicole actuel et potentielle capacité d'adaptation intéressante aux conditions futures (essence précieuse disséminée).</li> <li>- Faible tolérance aux sols argileux et à la présence de carbonate de calcium dans les horizons superficiels.</li> <li>- Forte appétence.</li> </ul>
Alisier blanc <i>Sorbus aria</i> Alisier torminal <i>Sorbus torminalis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fort intérêt sylvicole actuel et potentielle capacité d'adaptation intéressante aux conditions futures (essence précieuse disséminée).</li> <li>- Forte appétence.</li> </ul>
Erable champêtre <i>Acer campestre</i> Erable sycomore <i>Acer pseudoplatanus</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fort intérêt sylvicole actuel et potentielle capacité d'adaptation intéressante aux conditions futures. L'érable champêtre semble être le plus résistant à la sécheresse et les autres érables ne tolèrent pas bien la sécheresse.</li> <li>- Forte appétence.</li> </ul>

Erable plane <i>Acer platanoides</i>	
Cormier <i>Sorbus domestica</i> Poirier <i>Pyrus pyraster</i>	- Fort intérêt sylvicole actuel et potentielle capacité d'adaptation intéressante aux conditions futures (essence précieuse disséminée). - Forte appétence.
Tilleul à grandes feuilles <i>Tilia platyphyllos</i>	- Fort intérêt sylvicole actuel et potentielle capacité d'adaptation intéressante aux conditions futures.
Erable à feuille d'Obier <i>Acer opalus</i>	- Potentiel capacité d'adaptation très intéressante aux conditions futures (se trouve usuellement dans des climats plus chauds et secs que ceux de la grande région).
Chêne pubescent <i>Quercus pubescens</i>	- Fort intérêt sylvicole actuel et potentielle capacité d'adaptation intéressante aux conditions futures.

**Tableau 6.** Essences d'accompagnement potentielles et leurs caractéristiques.

Essence	Caractéristiques et intérêt
Bouleaux <i>Betula pendula</i> <i>Betula pubescens</i>	- Intérêt pour une production intermédiaire. - Intérêt d'accompagnement des tiges d'intérêt sylvicole. - Intérêt d'introduire par plantation pour être sûr que ce ne sont pas des chênes pédonculés (distinction complexe, en particulier dans les jeunes stades).
Hêtre <i>Fagus sylvatica</i>	- Fortement présent naturellement dans de nombreuses régénérations de la grande région. - Très compétitif donc le maintien d'autres essences en mélange dans une matrice de hêtre nécessite souvent des travaux sylvicoles. - Non appétent donc qui présente un intérêt pour protéger des plants d'intérêt des grands ongulés sauvages.
Charme <i>Carpinus betulus</i>	- Intérêt pour l'éducation des tiges d'intérêt sylvicole fort. - Appétence modérée.
Cornouiller mâle <i>Cornus mas</i>	- Très forte appétence et croissance compensatoire suite à abroustissement rendant le cornouiller intéressant comme essence permettant de protéger des essences d'intérêt des grands ongulés sauvages.

<p>Aubépine  <i>Crataegus monogyne</i>  <i>Crataegus laevigata</i></p>	<p>- Épines fortement présentes rendant l'aubépine intéressante comme essence permettant de protéger des essences d'intérêt des grands ongulés sauvages.</p>
<p>Prunellier  <i>Prunus spinosa</i></p>	<p>- Épines fortement présentes rendant l'aubépine intéressante comme essence permettant de protéger des essences d'intérêt des grands ongulés sauvages.</p>

## G. RÉFÉRENCES

- BALLON P., GUIBERT B., HAMARD J.-P., GUILLON N., GUILLON N., BOSCARDIN Y., 1999. Sensibilité de quelques essences forestières de reboisement à l'abrutissement par le chevreuil (*Capreolus capreolus*)., *Revue forestière française*.
- BARRERE J., PETERSSON L.K., BOULANGER V., COLLET C., FELTON A.M., LÖF M., SAÏD S., 2021. Canopy openness and exclusion of wild ungulates act synergistically to improve oak natural regeneration, *Forest Ecology and Management*, 487, p. 118976.
- BOROWSKI Z., GIL W., BARTOŃ K., ZAJĄCZKOWSKI G., ŁUKASZEWICZ J., TITTENBRUN A., RADLIŃSKI B., 2021. Density-related effect of red deer browsing on palatable and unpalatable tree species and forest regeneration dynamics, *Forest Ecology and Management*, 496, p. 119442.
- BUNNELL F.L., 1989. *Alchemy and uncertainty: what good are models?*, US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- BUNNELL F.L., HUGGARD D.J., 1999. Biodiversity across spatial and temporal scales: problems and opportunities, *Forest ecology and Management*, 115, 2-3, p. 113-126.
- CHAMPAGNE E., MOORE B.D., CÔTÉ S.D., TREMBLAY J.-P., 2018. Spatial correlations between browsing on balsam fir by white-tailed deer and the nutritional value of neighboring winter forage, *Ecology and Evolution*, 8, 5, p. 2812-2823.
- 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.
- DE MONTGOLFIER J., NATALI J.-M., 1984. Vers une gestion patrimoniale des espaces naturels. Une méthode d'analyse et d'aide à la décision, *Aménagement et nature*.
- GOSSELIN F., 2004. Intégrer recherche scientifique en écologie et gestion dans le cadre de l'ingénierie écologique : intérêts et limites, *Ingénieries*, p. 113-120.
- HAGGE J., MÜLLER J., BÄSSLER C., BIEBL S.S., BRANDL R., DREXLER M., GRUPPE A., HOTES S., HOTHORN T., LANGHAMMER P., 2019. Deadwood retention in forests lowers short-term browsing pressure on silver fir saplings by overabundant deer, *Forest Ecology and Management*, 451, p. 117531.
- MOSER B., SCHÜTZ M., HINDENLANG K.E., 2006. Importance of alternative food resources for browsing by roe deer on deciduous trees: the role of food availability and species quality, *Forest Ecology and Management*, 226, 1-3, p. 248-255.
- OHSE B., SEELE C., HOLZWARTH F., WIRTH C., 2017. Different facets of tree sapling diversity influence browsing intensity by deer dependent on spatial scale, *Ecology and Evolution*, 7, 17, p. 6779-6789.

SCHWARZ N., 1998. Accessible content and accessibility experiences: The interplay of declarative and experiential information in judgment, *Personality and Social Psychology Review*, 2, 2, p. 87-99.

TIXIER H., DUNCAN P., SCEHOVIC J., YANT A., GLEIZES M., LILA M., 1997. Food selection by European roe deer (*Capreolus capreolus*): effects of plant chemistry, and consequences for the nutritional value of their diets, *Journal of Zoology*, 242, 2, p. 229-245.

VERHEYDEN H., DUNCAN P., BALLON P., GUILLON N., 1998. Selection of hardwood saplings by european roe deer: effects of variation in the availability of palatable species and of understory vegetation, *Revue d'écologie*, 53, p. 245-253.

## H. ANNEXE 1. ENQUÊTE SUR HIÉRARCHISATION DES QUESTIONS DE GESTION SUR LA THÉMATIQUE DE LA RECONSTITUTION MÉLANGÉE

Ce sondage a été créé via le site web framaforms : < <https://framaforms.org/abc/fr/>>

### Hierarchisation des questions de gestion sur la thématique de la reconstitution mélangée



**Contexte :**

Ces dernières années, une réflexion sur l'importance de prendre en compte le climat futur lors de l'installation de nouveaux peuplements vient bouleverser les anciennes pratiques de reconstitution. Le mélange d'essences est considéré par de nombreux acteurs forestiers comme une solution pour permettre l'adaptation des écosystèmes forestiers aux changements climatiques et pour ouvrir des opportunités de valorisation des bois dans un contexte d'incertitudes. Cependant, jusqu'à maintenant, les forestiers installent et gèrent les mélanges principalement de manière empirique.

**Objectif :**

Aider les chercheurs à identifier les thématiques et interrogations jugées prioritaires par les gestionnaires forestiers. Les résultats de cette enquête serviront à proposer des orientations de recherche plus intégratrices des problématiques rencontrées par les gestionnaires.

**Durée estimée :**

10 minutes

Seuls les champs contenant une \* sont obligatoires.

**Organisme \***

**Fonction \***

**Pays \***

**Région \***

**Ancienneté dans le métier**

[PAGE SUIVANTE >](#)

Figure 11. Prise d'informations générales sur le sondé.

## Hierarchisation des questions de gestion sur la thématique de la reconstitution mélangée



### Objectif :

Identifier les 4 thématiques de recherche prioritaires dans le cadre de l'amélioration des techniques d'installation d'un peuplement mélangé dans un contexte post-crise (tempêtes, scolytes...).

La thématique classée en 1 étant la plus importante, suivie de la thématique classée en 2... Une seule case doit être cochée par colonne.

	1	2	3	4	Autre
Equilibre faune-flore	<input type="radio"/>				
Design des schémas de reconstitution	<input type="radio"/>				
Végétation accompagnatrice herbacée et arbustive	<input type="radio"/>				
Rentabilité	<input type="radio"/>				
Gestion des arbres sur pied (arbres relictuels, peuplement environnant)	<input type="radio"/>				
Stratégies de reconstitution (taux de mélange, modalité d'utilisation du recru, choix régénération naturelle - plantation...)	<input type="radio"/>				
Services écosystémiques et biodiversité	<input type="radio"/>				
Rôles des essences ligneuses d'accompagnement	<input type="radio"/>				
Choix des essences et provenances - synécologie	<input type="radio"/>				
Travaux sylvicoles	<input type="radio"/>				

### Remarques et ajouts de thématiques

< PAGE PRÉCÉDENTE

PAGE SUIVANTE >

Figure 12. Hiérarchisation des thématiques d'intérêt.

# Hierarchisation des questions de gestion sur la thématique de la reconstitution mélangée



**Objectif :**

Identifier entre 1 et 4 sous-thématiques de recherche prioritaires au sein de chaque thématique.  
 La sous-thématique classée en 1 étant la plus importante, suivie de la sous thématique classée en 2...  
 Une seule case doit être cochée par colonne.

**Thématique 1 : stratégies de reconstitution (taux de mélange, modalité d'utilisation du recru, choix régénération naturelle - plantation...)**

	1	2	3	4	Autre
Diagnostic du potentiel de la régénération naturelle pour contribuer à un peuplement mélangé de production	<input type="radio"/>				
Influence du mélange sur les performances et la qualité des tiges au sein du peuplement (ex. élagage naturel, fourchaison, croissance, rectitude, prospection racinaire...)	<input type="radio"/>				
Reprises et croissances en fonction des stratégies de reconstitution (plantation en plein, plantation dans un recru déjà installé...)	<input type="radio"/>				
Intérêt du mélange en fonction des situations (stations...)	<input type="radio"/>				
Renouvellement / introduction d'essences de lumière au sein de peuplements à base d'essences d'ombre	<input type="radio"/>				
Influence des rémanents sur la composition, la croissance et la densité de la régénération	<input type="radio"/>				
Niveau de mélange (nombre d'essences, proportions)	<input type="radio"/>				

**Remarques et ajouts de sous-thématiques**

Figure 13. Exemple de hiérarchisation des sous-thématiques d'intérêt à l'intérieur des thématiques. Pour les autres sous-thématiques voir les tableaux X et X.

## Hierarchisation des questions de gestion sur la thématique de la reconstitution mélangée



### Remarques

### Contact - mail

Facultatif, utilisé pour avoir un retour sur les résultats de l'enquête si vous le souhaitez.

< PAGE PRÉCÉDENTE

SOUMETTRE

Figure 14. Coordonnées des sondés pour accéder au retour.

## I. ANNEXE 2. RÉFÉRENTIEL « OBJECTIFS ET PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA SMCC » ISSU DES TRAVAUX D'ASKAFOR

### a. 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, etc.
- **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.

### b. 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. Le mélange est un atout pour la pratique de la SMCC.
- **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 », qui va optimiser les écarts-type plutôt que les valeurs moyennes. 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, qui participe à la diversification des essences et permet de limiter les coûts, les abrouissements, etc.

- **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'eau et des autres milieux naturels intraforestiers) mais également de toutes les tiges utiles au fonctionnement économique et écologique du peuplement, qu'il s'agisse d'arbres, 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 objectifs et principes résumés 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 : <https://askafor.eu/>

#### **Remerciements**

Merci à l'ensemble des personnels des organismes partenaires du projet Askafor

Merci également aux gestionnaires et chercheurs pour leur aide dans l'identification des questions à l'interface gestion-recherche.

#### **Financement**

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

# PLAN D'EXPÉRIMENTATION

## FAVORISER L'INSTALLATION D'UNE RÉGÉNÉRATION MÉLANGÉE DANS LE CADRE DE LA SYLVICULTURE MÉLANGÉE À COUVERT CONTINU (SMCC)

Gestion courante et après crise

Lisa Laurent  
Maude Cavaliere  
Carole Allard de Grandmaison  
Eric Lacombe



ASKAFOR  
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

 CNPF  
Centre National  
de la Forêt  
GRAND EST