

Etude prospective sur les plantations mixtes en Hauts-de-France



Dominante d'approfondissement Gestion Forestière

Camille ALMEIDA ARAUJO

Stage effectué du : 02/03/20 au 28/08/20

Au : CRPF Hauts-de-France

Maître de stage : Noémi HAVET

Enseignant référent : Éric LACOMBE

Année 2019 - 2020

*Etude prospective sur les plantations mixtes
en Hauts-de-France*

Dominante d'approfondissement Gestion Forestière

Camille ALMEIDA ARAUJO

Stage effectué du : 02/03/20 au 28/08/20

Au : CRPF Hauts-de-France

Maître de stage : Noémi HAVET

Enseignant référent : Éric LACOMBE

Année 2019 - 2020

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE

AgroParisTech	TRAVAIL D'ÉLÈVE
TITRE : Etude prospective sur les plantations mixtes	Mots clés : plantation, mixte, changements climatiques
AUTRICE : ALMEIDA ARAUJO Camille	Année : 2020
Caractéristiques : 1 volume ; 58 pages ; 11 figures ; 18 tableaux ; 4 annexes ; bibliographie.	

CADRE DU TRAVAIL		
ORGANISME DE STAGE : Centre National de la Propriété Forestière des Hauts-de-France		
Nom du responsable : HAVET Noémi		
Fonction : Ingénieure Forestière Expérimentation – Développement - Changement Climatique – Carbone - Eau		
Nom du correspondant APT : LACOMBE Eric		
<input type="checkbox"/> 1A <input type="checkbox"/> 2A <input checked="" type="checkbox"/> 3A	<input type="checkbox"/> Stage entreprise <input type="checkbox"/> Stage assistant ingénieur <input checked="" type="checkbox"/> Stage fin d'études Date de remise :	<input type="checkbox"/> Autre

SUITE À DONNER (à compléter par AgroParisTech)
<input type="checkbox"/> Consultable et diffusable <input type="checkbox"/> Confidentiel de façon permanente <input type="checkbox"/> Confidentiel jusqu'au/...../....., puis diffusable

Résumé

Les changements climatiques menacent la pérennité des forêts et leur adaptation est un enjeu majeur auquel les forestiers sont confrontés (ONERC, 2014). La meilleure résilience aux aléas des peuplements mélangés les place comme piste prometteuse à suivre dans le cadre de la recherche de solutions face aux changements climatiques. Les peuplements mixtes sont des systèmes complexes peu étudiés, bien qu'apportant de nombreux avantages face aux incertitudes climatiques et du marché du bois (LEGAY, CORDONNIER et DHOTE, 2008).

Les objectifs de cette étude sont de savoir s'il existe des dispositifs intéressants à tester dans le cadre du réseau d'expérimentation du CRPF Hauts-de-France pour obtenir des peuplements productifs, esthétiques et résilients vis-à-vis des changements climatiques.

L'étude s'est déroulée en quatre phases, une recherche bibliographique, une enquête auprès des acteurs du monde forestier, une campagne de terrain et l'élaboration de scénarios de plantations mixtes en accord avec les informations recueillies tout au long de l'étude.

Les entretiens ont montré que les propriétaires et les gestionnaires sont favorable à la mise en place de plantations mixtes. Leur rareté s'explique par le manque de références sur le sujet, aussi bien dans la littérature technique que sur le terrain, et par conséquent chez les forestiers. La campagne de terrain a permis de déceler les points critiques de la gestion des plantations mixtes. Un besoin d'expérimentation et de documentation technique sur les plantations mixtes a été identifié. Pour commencer à répondre à ces besoins, des scénarios de plantations mixtes à tester ont été créés, intégrant la problématique des changements climatiques.

Abstract

The sustainability and adaptation of forests over climate change is a major issue of growing concern to all foresters (ONERC, 2014). In this context, the *Centre Régional de la Propriété Forestière des Hauts-de-France* (Hauts-de-France Regional Centre for Forest Property, CRPF) decided to conduct a study on the development of mixed planting. Mixed stands are complex and rarely studied systems, although they offer many advantages to face climate change and future timber market uncertainties.

The purpose of this study is to find interesting mixed planting types to be tested by the CRPF Hauts-de-France, in order to obtain productive, aesthetic and climate-resilient stands.

The study was carried out in four steps: literature review, surveying of forestry stakeholders, field work and development of mixed planting scenarios in accordance with the information collected throughout the study.

Interviews showed that forest owners and managers are not reluctant to establishing mixed planting. Their scarcity is explained by the lack of references on the subject, both in technical literature and in field work. The field campaign enabled the identification of critical points in mixed planting management. A lack of experimentation and technical documentation on mixed plantations has been highlighted. In order to address this problem, mixed planting scenarios which encompass climate change issues were created and are to be tested.

Engagement de non-plagiat

❶ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive ; recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

❷ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages *in extenso*, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

❸ Sanctions

- En cas de manquement à ces consignes, la direction des études et de la pédagogie ou le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

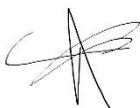
❹ Engagement

Je soussignée ALMEIDA ARAUJO Camille,

reconnais avoir lu et m'engage à respecter l'engagement de non-plagiat.

À Amiens, le 27/08/2020.

Signature :



Remerciements

Je souhaite à remercier l'ensemble de l'équipe du CRPF Hauts-de-France pour son accueil et sa bienveillance. Merci à ceux qui ont accepté de m'accompagner sur le terrain à la recherche de peuplements mixtes, pas toujours facile à trouver...

Je remercie particulièrement mes encadrants, Noémi Havet et Gilles Poulain de m'avoir permis de faire ce stage, pour leur confiance et leur soutien tout au long de celui-ci. Merci à Eric Lacombe pour son suivi et ses précieux conseils.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers les acteurs forestiers qui ont répondu à mes sollicitations au cours de cette étude. Bien sûr, je remercie les professionnels et les propriétaires qui ont accepté de participer à l'enquête. Merci aux propriétaires qui m'ont ouvert leur forêt pour que je puisse observer des peuplements mixtes en place.

Enfin, pour leur soutien sans faille en pleine pandémie et à des centaines de kilomètres merci à mes camarades de promotion et amis.

Table des matières

Table des illustrations	4
Index des sigles et abréviations	5
Introduction	7
I. Contexte et objectifs	8
1.1 Présentation de la structure d'accueil	8
1.2 Contexte forestier des Hauts-de-France.....	8
1.3 Objectifs et démarche de la présente étude.....	9
1.4 État de l'art des peuplements mixtes	10
1.4.1 Plantation et forêt : résineuse/feuillue, mélangée/mixte	10
1.4.2 Pourquoi des forêts mélangées ?	12
II. Organisation des entretiens individuels et des relevés de terrain	19
2.1 Phase d'entretien	19
2.2 Campagne de relevés terrain	20
III. Résultats des phases d'enquête et de terrain	21
3.1 Retour des entretiens	21
3.1.1 Les exemples d'associations mixtes connus	22
3.1.2 Quels schémas de plantation pour les mélanges résineux-feuillus ?	22
3.1.3 Choix des écartements entre résineux-feuillus	24
3.1.4 Les causes d'échecs dans les plantations mixtes	24
3.1.5 La perception des personnes enquêtées sur les plantations mixtes.....	24
3.1.6 Les points d'attention lors de la mise en place de plantations mixtes	27
3.1.7 Comparaison entre les résultats des entretiens et ceux de la recherche bibliographique	28
3.2 Etat des lieux des plantations mixtes en Hauts-de-France	29
3.2.1 Résultats.....	29
3.2.2 Présentation de peuplements mixtes observés.....	31
3.2.3 Hypothèses tirées du terrain	35
3.2.4 Synthèse des apports de la campagne de terrain.....	36
IV. Création des scénarios de plantations mixtes	36
4.1 Les associations mixtes.....	36
4.2 Le choix des écartements entre essences	36
4.3 Les schémas de plantations	37
4.4 Itinéraire technique adapté aux plantations mixtes.....	38
V. Limites et perspectives	39
Conclusion	41
Bibliographie	42
Annexes	48
Annexe 1 : Guides d'entretien	48
1.1 Guide d'entretien pour les propriétaires forestiers	48

1.2 Guide d'entretien pour les gestionnaires forestiers	49
1.3 Guide d'entretien pour les personnels du réseau CNPF et les institutionnels forestiers	50
Annexe 2 : Protocole de relevé suivi lors de la campagne de terrain	51
Annexe 3 : Fiche de relevé terrain	52
Annexe 4 : Tableau des stations forestières relevées sur le terrain	53
Annexe 5 : Proposition de scénarios de plantations mixtes	54
5.1 Tableau des exemples d'associations mixtes (non exhaustives) vues sur le terrain ou à tester	54
5.2 Tableau des exemples d'associations mixtes vues sur le terrain et à tester par type de schéma	55
5.3 Fiches scénarios de plantations mixtes	56

Table des illustrations

<i>Figure 1 — Carte de la répartition des surfaces forestières en Hauts-de-France</i>	9
<i>Figure 2 — Etapes de l'étude</i>	10
<i>Figure 3 — Carte de la répartition et de la composition des peuplements mélangés</i>	11
<i>Figure 4 — Schéma des bénéfices apportés par les forêts mixtes</i>	12
<i>Figure 5 — Schéma des difficultés des plantations mixtes</i>	15
<i>Figure 6 — Productivité comparée d'essences feuillues et du Douglas, peuplements normand en majorité issus de taillis</i>	18
<i>Figure 7 — Répartition des enquêtés par catégorie socio-professionnelle et nationalité</i>	19
<i>Figure 8 — Répartition de la richesse chimique des peuplements visités</i>	30
<i>Figure 9 — Schéma de la plantation mixte par bandes et lignes de Chênes rouge d'Amérique et d'Epicéas communs</i>	32
<i>Figure 10 — Photo du peuplement mixte par bandes et lignes Chênes rouge d'Amérique et d'Epicéas communs</i>	33
<i>Figure 11 — Schéma de la plantation mixte par bandes de Hêtres, Merisiers et Epicéas communs</i>	34
<i>Figure 12 — Photo du peuplement mixte par bandes de Hêtres, Merisiers et Epicéas communs</i>	35
<i>Figure 13 — Exemple de schéma de mise en place de cloisonnement</i>	37
<i>Tableau 1 — Exemples d'associations mixtes plantées ou non citées dans la littérature forestière</i>	11
<i>Tableau 2 — Concepts intervenant dans les interactions entre essences</i>	13
<i>Tableau 3 — Distribution spatiale du mélange dans les plantations mixtes</i>	16
<i>Tableau 4 — Structure verticale des plantations mixtes</i>	17
<i>Tableau 5 — Récapitulatif des relevés terrain</i>	21
<i>Tableau 6 — Récapitulatif des relevés terrain par département</i>	21
<i>Tableau 7 — Sous-thèmes les plus abordés lors des entretiens par les acteurs forestiers</i>	21
<i>Tableau 8 — Associations d'essences (non exhaustives) citées lors des entretiens</i>	22
<i>Tableau 9 — Avantages et inconvénients des différents schémas de distribution cités lors des entretiens</i>	23
<i>Tableau 10 — Difficultés et bénéfices des plantations mixtes cités lors des entretiens</i>	25
<i>Tableau 11 — Arguments de sensibilisation et attentes vis-à-vis de la recherche et des expérimentations sur les plantations mixtes cités lors des entretiens</i>	27
<i>Tableau 12 — Aides à la plantation en Hauts-de-France</i>	29
<i>Tableau 13 — Essences observées en mélange sur le terrain sur 48 relevés</i>	29
<i>Tableau 14 — Associations d'essences (non exhaustives) observés sur le terrain et leur occurrence</i>	30
<i>Tableau 15 — Répartition des schémas de plantation observés sur le terrain et leur occurrence</i>	31
<i>Tableau 16 — Diamètres moyens et hauteurs moyennes</i>	32
<i>Tableau 17 — Diamètres moyens, hauteurs moyennes et coefficient d'élancement</i>	34
<i>Tableau 18 — Distances minimales entre essences au stade bois moyen</i>	37
<i>Tableau 19 — Exemple d'itinéraire sylvicole pour une plantation mixte</i>	38
<i>Tableau 20 — Estimation du coût de mise en place et de suivi sur 12 ans d'une plantation mixte</i>	39

Index des sigles et abréviations

Asbl : Association sans but lucratif

BFC : Bourgogne Franche-Comté

BPL : Bretagne-Pays de la Loire

BTA : Boisement de Terres Agricoles

CEGEB : Conseils Expertises Gestion d'Espaces Boisés

CETEF : Centre d'Etudes Techniques et Economiques Forestières

CDAF : Centre de développement agroforestier de Chimay asbl

CNPF : Centre National de la Propriété Forestière

CTUR : Commission Technique de l'Union Régionale

COFORAISNE : Coopérative Forestière de l'Aisne

COFNOR : Coopérative Forestière du Nord

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière

DDT : Direction Départementale des Territoires

DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la mer

DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, l'Agriculture et de la Forêt

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EG : Éléments Grossiers

FAO : Food and Agriculture Organization

FEADER : Font Européen Agricole pour le Développement Rural

FFN : Fonds Forestier National

FORBIO : Évaluation des effets de la diversité d'essence sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes forestiers

FORECCAsT : Forêt et Changements Climatiques

GE : Grand Est

GFP : Gestionnaire Forestier Professionnel

HdF : Hauts-de-France

IDF : Institut pour le Développement Forestier

IdF-CVdL : Ile-de-France Centre-Val de Loire

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

MAAF : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt

NSF2a : Nord Seine Forêt 2a

ONF : Office National des Forêts

OPTMix : Oak Pine Tree Mixture

PEI : Partenariat Européen pour l'Innovation

PSG : Plan Simple de Gestion

RAISON : Réseau d'Adaptation Innovantes et de Sylvicultures Originales de Normandie

RFF : Revue Forestière Française

SRFB : Société Royale Forestière de Belgique

TTC : Toute Taxe Comprise

Introduction

Les écosystèmes forestiers ont un rôle important à jouer dans l'atténuation des changements climatiques, notamment par leur participation dans le cycle du carbone (séquestration et stockage du dioxyde de carbone atmosphérique, substitution aux énergies fossiles).

En plus de cela, les milieux forestiers fournissent d'autres services écosystémiques, en lien avec l'atténuation des changements climatiques comme par exemple :

- la protection contre les aléas (avalanches, chutes de blocs, glissements de terrain, érosion de surface...);
- la création d'îlots de fraîcheur ;
- l'amélioration de la qualité de l'eau ;
- être supports de biodiversité ;
- etc.

La pérennité, et donc l'adaptation des forêts au climat futur, est un enjeu majeur qui questionne de plus en plus les forestiers (ONERC, 2014). En effet, la forêt rend de nombreux services ; mais elle subit aussi les conséquences des changements climatiques. Les peuplements mélangés sont mis en avant pour leur meilleure résilience aux aléas, ils pourraient être une solution face aux changements climatiques.

Dans ce contexte, le Centre Régional de la Propriété Forestière des Hauts-de-France (CRPF) a décidé de mener une étude sur le développement des peuplements mixtes dans les plantations. Les objectifs de cette étude sont de savoir s'il existe des dispositifs intéressants, passés, actuels ou futurs à tester dans le cadre du réseau d'expérimentation du CRPF Hauts-de-France en termes de mélange spécifique et de disposition spatiale ; pour obtenir des peuplements productifs, esthétiques et résilients vis-à-vis des changements climatiques.

Dans la première partie de ce mémoire seront présentés les éléments de contextes et les objectifs de l'étude, puis dans une seconde partie la démarche de réalisation de celle-ci. Les résultats de l'étude et les scénarios de plantation mixte seront exposés dans les troisième et quatrième parties du rapport.

I. Contexte et objectifs

Dans la suite du mémoire, les termes forêt/peuplement/plantation mixte feront référence aux **formations arborées** dont le **taux de couvert de feuillus ou de résineux** est **supérieur** ou **égal** à **50 %** et **inférieur** à **75 %** (IGN, 2014). La présente étude est centrée sur les peuplements mixtes plantés. Les aspects de la mise en place à la commercialisation de ces peuplements seront abordés, les questions de régénération et de renouvellement des peuplements mixtes ne seront pas développées.

1.1 Présentation de la structure d'accueil

Le CNPF, **établissement public à caractère administratif**, décliné en délégation régionale (CRPF), est en charge du développement de la **gestion durable** des propriétés forestières **privées**. Le CRPF Hauts-de-France créé en 1963, en est une délégation régionale depuis 2010. Les missions du CRPF fixées par l'article L321-1 du code forestier (nouveau) sont les suivantes :

- Orienter la gestion des forêts privées notamment via l'instruction et l'agrément des documents de gestion durable ;
- Mobiliser et dynamiser la filière Forêt/Bois en regroupant les propriétaires et en mobilisant les ressources forestières ou non ;
- Conseiller et former les propriétaires à la gestion forestière par le biais des cycles de formation et de visites-conseils ;
- Installer des placettes expérimentales (techniques sylvicoles et matériel végétal) ;
- Réaliser et éditer des brochures techniques.

1.2 Contexte forestier des Hauts-de-France

La forêt en Hauts-de-France couvre **14 %** du territoire soit environ **460 000 ha**. La propriété privée représente **74 %** de cette surface. Les essences **feuillues** sont **majoritaires**, 95 % contre 5 % de résineux (IGN, 2019). Les feuillus les plus présents sont les **chênes** (sessile et pédonculé), le **Hêtre** et le **Frêne**. Les résineux sont minoritaires du fait des bons terrains favorables à la production de feuillus de qualité. Ils sont présents dans les boisements aidés par le FFN des années 50, aux années 90, ou sur des sols médiocres, comme les pins sur les sols sableux.

La figure 1 présente la répartition des surfaces forestières en Hauts-de-France. Le **faible taux** de boisement est en partie lié aux forts **défrichements** des XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles pour l'agriculture ainsi qu'à la **Première Guerre mondiale**. La **forte population** et l'**industrie minière** présentes dans le Nord sont d'autres causes de la réduction de cette surface. La reconquête de la forêt a été plus tardive dans la région car les défrichements se sont poursuivis jusqu'au début du XX^{ème} siècle avec l'essor de la culture de la betterave à sucre (CRPF HdF, 2018).

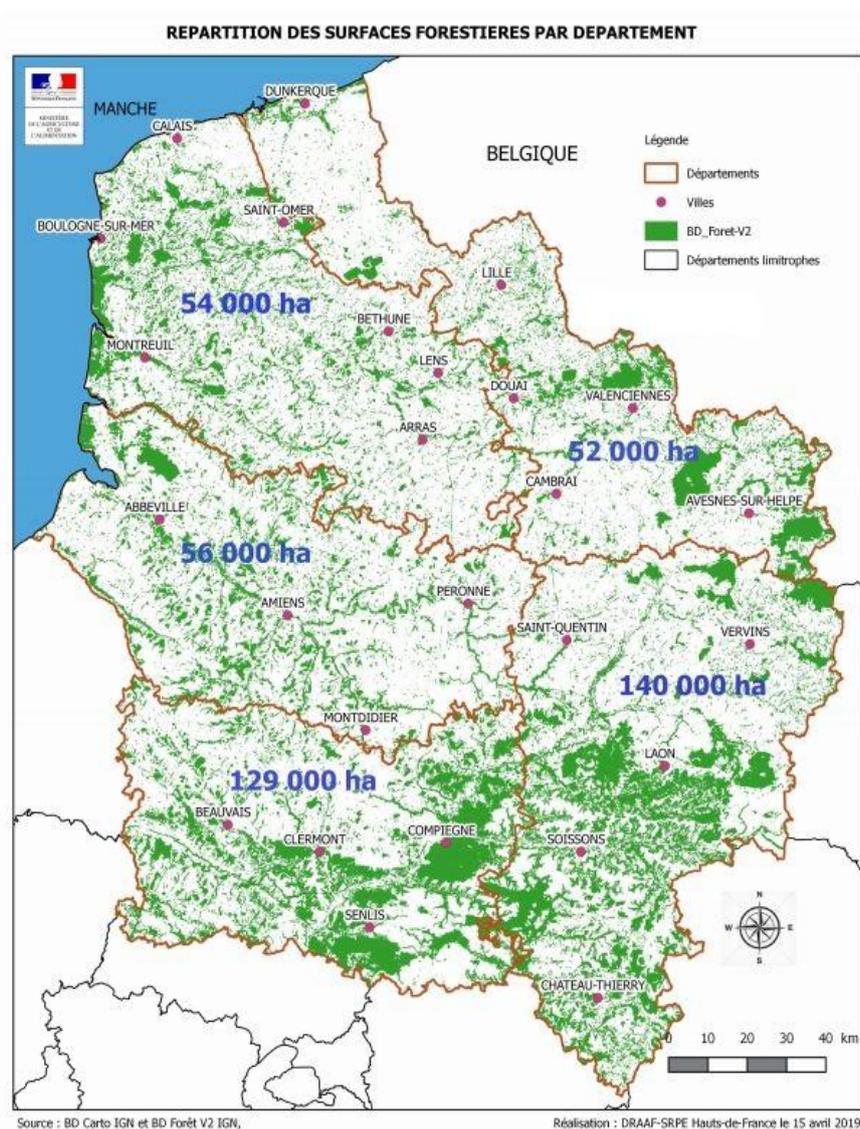


Figure 1 — Carte de la répartition des surfaces forestières en Hauts-de-France.
Source : DRAAF HdF modifiée, 2019.

1.3 Objectifs et démarche de la présente étude

Pour répondre aux enjeux des changements climatiques quant à la résilience des peuplements, le CRPF Hauts-de-France souhaite **développer les peuplements mélangés** associant des essences feuillues et résineuses. Le déploiement des plantations mixtes permettra d'**augmenter la ressource en résineux** des Hauts-de-France. L'association du feuillu aux résineux est un moyen d'assurer la production de résineux tout en limitant leur **impact paysager** qui freine certains propriétaires.

Cette étude cherche à répondre aux interrogations suivantes : Quels sont les **atouts** et les **faiblesses** des plantations mixtes ? Les peuplements mixtes sont-ils une solution pour la **résilience** des forêts face aux **changements climatiques** ? Comment **associer les résineux** et les **feuillus** dans les plantations mixtes ? Comment **déployer les plantations mixtes** en Hauts-de-France ?

Pour répondre à ces questions, l'étude présente une **synthèse des savoirs** sur les plantations mixtes de la littérature et des acteurs forestiers. Ainsi que **des scénarios de plantations mixtes** et un **itinéraire technique adapté** à celles-ci. Le but étant l'utilisation des résultats de cette étude dans le cadre des actions d'expérimentations, de formation et de vulgarisation du CRPF.

La figure 2 présente la démarche suivie pour répondre à cette étude.

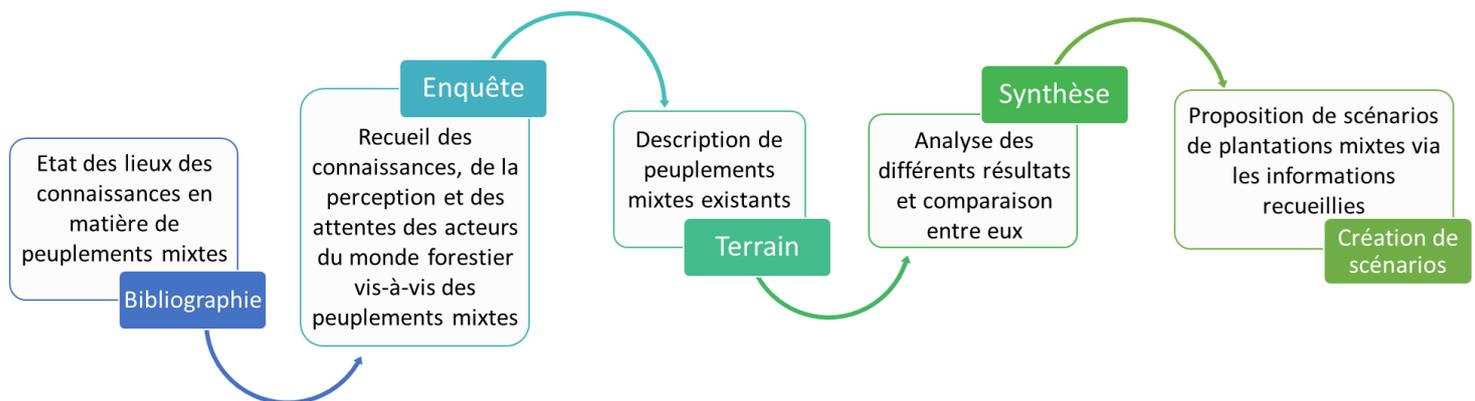


Figure 2 — Etapes de l'étude

Dans un premier temps, une phase de bibliographie est réalisée, afin d'établir un **état des lieux** des connaissances sur les plantations mixtes. Ce préalable permet de définir les **limites de l'étude** et de préparer la phase d'enquête.

Les entretiens avec les acteurs du monde forestier ont pour but d'évaluer les **connaissances**, la **perception** des interlocuteurs vis-à-vis des plantations mixtes et leurs **attentes** sur le sujet.

Dans un troisième temps, une campagne de terrain a suivi pour compiler les **informations dendrométriques** et **descriptives** des peuplements mixtes répertoriés, pour une valorisation future lors de formations par exemple. De plus, ces données serviront lors de l'élaboration des **scénarios** de plantation. Les **causes d'échecs ou de réussite** des plantations ont pu être identifiées lors de la campagne de terrain.

L'ensemble des résultats recueillis vont être analysés et synthétisés. Les éléments de chaque phase seront confrontés pour évaluer la **cohérence** de ceux-ci et dégager des **généralités** ainsi que des **tendances** sur les plantations mixtes.

La dernière phase de l'étude va aboutir à l'**élaboration des scénarios de plantation**, en accord avec les informations recueillies tout au long de l'étude.

Chacune des étapes et les conclusions auxquelles elles ont abouti ont été discutées et validées avec les encadrants du stage.

1.4 État de l'art des peuplements mixtes

1.4.1 Plantation et forêt : résineuse/feuillue, mélangée/mixte

D'après l'IGN (DU PUY et al., 2017), en France, environ **2,1 millions d'hectares** de forêts sont issus de **plantation**. La majorité des forêts plantées sont résineuses. Elles représentent 1,7 millions d'hectares soit près de **80 % des forêts plantées**. Le massif forestier landais, 1 million d'hectares dont une forte proportion de plantation résineuse, contribue fortement à ce chiffre (DREAL Aquitaine, 2013). 24 % des forêts plantées sont publiques, contre 76 % appartenant à des propriétaires privés. Les trois essences les plus plantées sont le Pin maritime (*Pinus maritima*), le Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) et l'Epicéa commun (*Picea abies*).

Les forêts mélangées, **plantées et non plantées**, couvrent **7,2 millions d'hectares** en France, dont **1,9 millions d'hectares** (27 %) sont des peuplements **mixtes**. **67%** des peuplements mélangés plantés et non plantés sont composés d'essences feuillues, contre **6 %** de mélanges de résineux. Les mélanges feuillus les plus courants sont ceux associant les Chênes (*Quercus spp*) : Chênes/Charme (*Carpinus betulus*), Chênes/Hêtre (*Fagus sylvatica*) et Chênes/Frêne (*Fraxinus excelsior*). (MORNEAU et al., 2016).

Les forêts **mélangées plantées** représentent **330 000 hectares**. Les mélanges les plus fréquents sont : Sapin pectiné (*Abies alba*) /Epicéa commun, Epicéa commun/Douglas et Sapin pectiné/Douglas. Les mélanges de résineux **plantés** sont les plus fréquents, a contrario les mélanges de feuillus **plantés** représentent à peine quelques milliers d’hectares (DU PUY et al., 2017). Les peuplements mixtes sont principalement présents dans les **zones de montagne** (Figure 3).

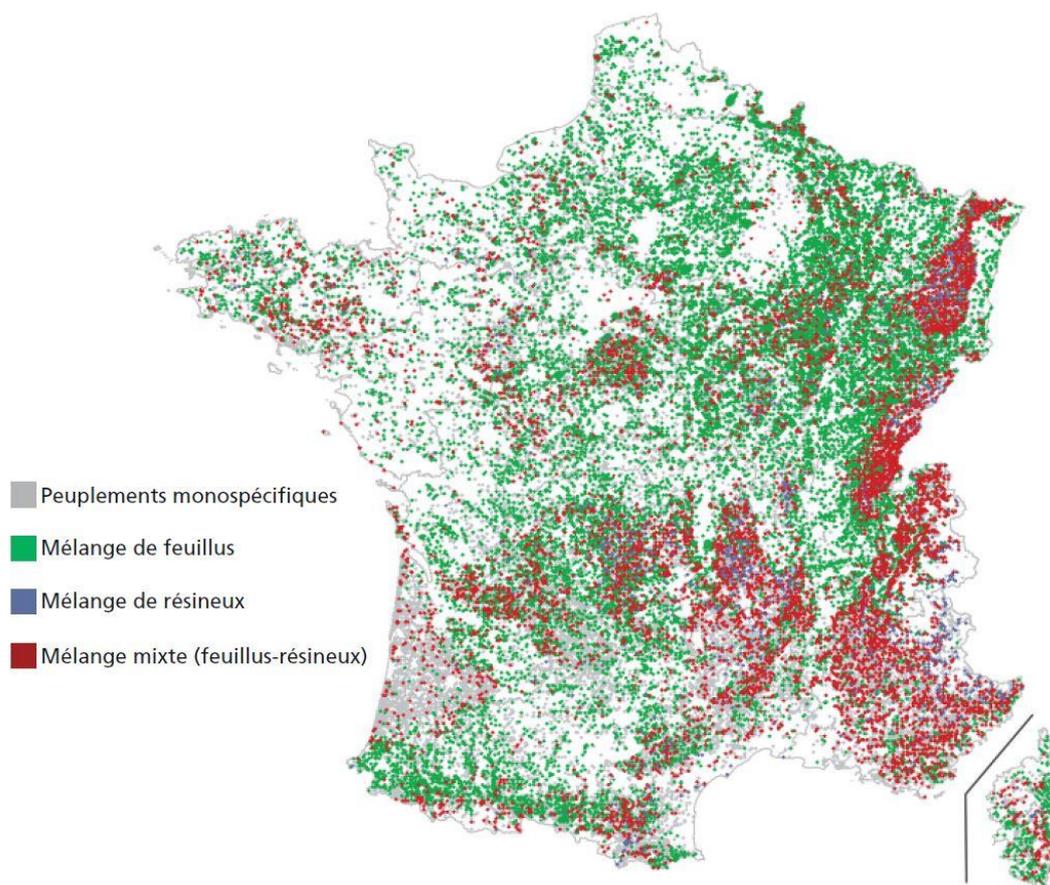


Figure 3— Carte de la répartition et de la composition des peuplements mélangés
Source : MORNEAU, 2016.

Tableau 1 — Exemples d’associations mixtes plantées ou non citées dans la littérature forestière

Référence	Essence 1	Essence 2
DHOTE et al., 2005	Douglas	Aulne spp
DOSSIER et PAPLORAY, 2001	Mélèze	Hêtre
CHAROY, 2020	Pin spp	Bouleau
BALANDIER et al., 2008 NEBOUT, 2008 a et b PEROT, GOREAUD et GINISTY, 2008 GAUDIO et al., 2011 PEROT et al., 2011	Pin spp	Chêne sessile
DE VAISSIERE et al., 1960 WILLIS et al., 2019	Pin spp	Feuillus
DEL RIO, CONDES et STERBA, 2013	Pin spp	Hêtre

Dans le tableau 1, sont regroupées des associations mixtes d’essences citées dans la littérature forestière. Entre autres, le mélange **Chêne sessile et Pin sylvestre/Pin Laricio** a été étudié dans la forêt domaniale d’Orléans

dans le cadre du projet OPTMix de l'INRAE. Cette étude s'intéresse notamment à la structure des peuplements, leur croissance, leur productivité et leur régénération. (BALANDIER et al., 2008 ; PEROT, GOREAUD et GINISTY, 2008 ; GAUDIO et al., 2011 ; Pérot et al., 2011).

Les propriétaires forestiers ont recours aux plantations pour différentes raisons : plantation sur terrain nu lors d'un **changement d'affectation des sols** (boisement de terres agricoles), après une **coupe définitive** où la régénération naturelle de l'essence désirée n'a pas pu être obtenue (compétition, envahissement par des herbacées, les ronces, les fougères, la molinie etc.) ou encore si l'essence principale n'est plus adéquate (raison sanitaire, adaptation à la station). Les plantations sont utilisées pour **enrichir un peuplement** régénéré naturellement, compléter les espaces laissés vides par une perturbation ou par un changement de micro-topographie, où le recru n'a pas réussi à s'installer. Planter est aussi une solution d'**adaptation des essences** aux changements climatiques et aux demandes du marché du bois, cela est d'autant plus intéressant de diversifier les essences (LEGAY, CORDONNIER et DHOTE, 2008). Cette étude est majoritairement centrée sur les **boisements sur terrains nus** (après coupe rase ou boisements de terres agricoles), permettant d'assurer un mélange dès la mise en place du peuplement.

1.4.2 Pourquoi des forêts mélangées ?

i. Les bénéfices du mélange

Dans la littérature de nombreux arguments en faveur des forêts mélangées sont avancés et sont transposables aux forêts mixtes. En effet l'introduction de plusieurs essences en forêt permet de mieux la **préparer aux changements globaux** (LEGAY, CORDONNIER et DHOTE, 2008). L'**autécologie** des essences, c'est-à-dire leurs capacités à répondre biologiquement vis-à-vis des paramètres physico-chimiques de l'environnement et la **synécologie**, à savoir l'étude des comportements des essences entre elles (SARDIN, BOCK et BECQUEY, 2008), aident à déterminer quel(s) mélange(s) réaliser et de quelle façon associer les essences. Ces deux sciences permettent de déterminer les **interactions** entre les essences et les avantages procurés par leur association. Le tableau 2 présente les différents concepts intervenant dans les interactions entre essences. La figure 4 présente certains bénéfices apportés par les forêts mixtes qui sont détaillés par la suite.

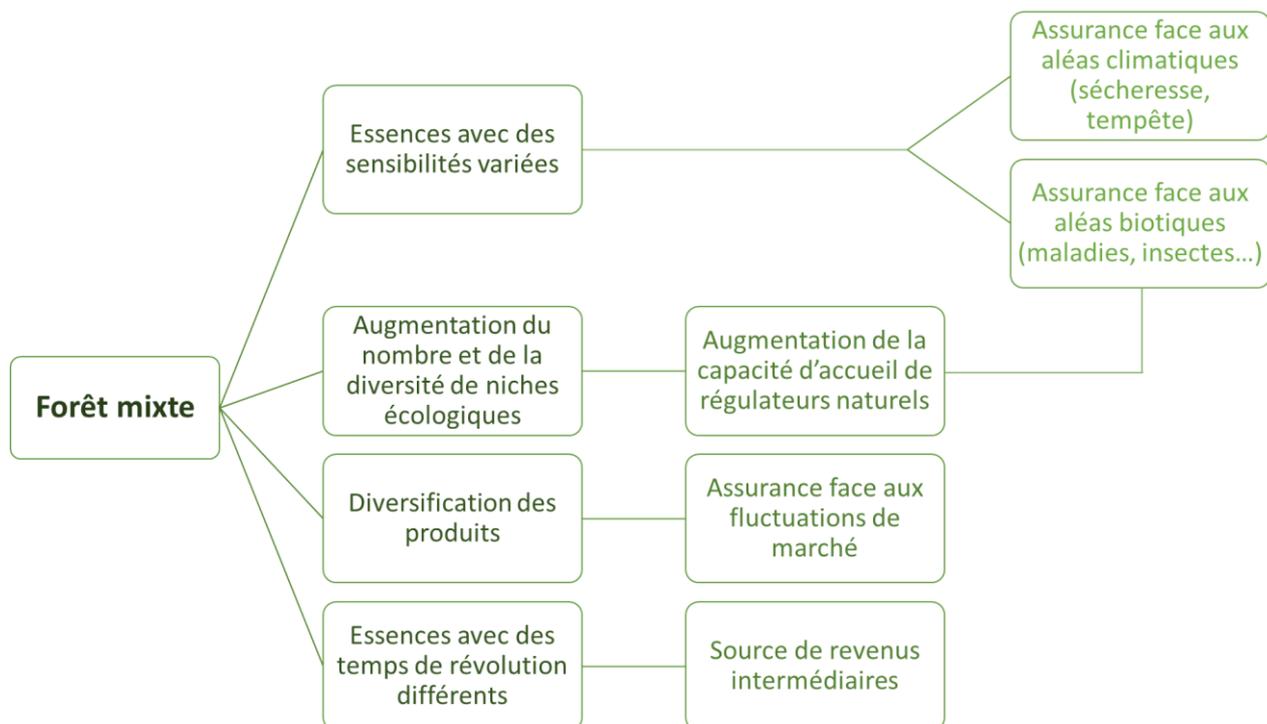


Figure 4 — Schéma des bénéfices apportés par les forêts mixtes

Tableau 2 — Concepts intervenant dans les interactions entre essences

Concept	Détails	Références bibliographique
Concurrence dite « vraie »	Utilisation de la même niche écologique (lumière, nutriment, accès eau) et donc forte compétition . Observée dans les peuplements monospécifiques par exemple.	VANDERMEER, 1989
Compensation	Dans les peuplements avec une structuration, âge/stade de développement ou un mélange d'essences ayant des niches écologiques complémentaires . Ce dont une essence n'a pas besoin est utilisé par d'autres. Les besoins sont différents dans le temps et l'espace (systèmes racinaires différents, décalage du démarrage de la photosynthèse entre résineux et feuillus etc.) Plus les comportements sont contrastés plus la complémentarité est bénéfique.	VANDERMEER, 1989 LU et al., 2018
Facilitation	Une essence procure un avantage aux autres, par exemple les espèces fixatrices d'azote atmosphérique augmentent la quantité d'azote disponible dans le sol pour des essences non fixatrices d'azote. Augmentation de la productivité moyenne des essences.	CALLAWAY, 1995 KELTY, 2006
Compensation fonctionnelle	Une essence en difficulté (sanitaire/climatique), par son affaiblissement, libère des ressources de sa niche écologique pour d'autres. Productivité moyenne du peuplement plus importante et une variabilité de productivité plus faible .	LOREAU et al., 2002 PEROT et al., 2011

Le mélange est communément présenté comme une **assurance pour le forestier**. Le fait d'avoir un peuplement comportant **plusieurs essences** permet au propriétaire de répartir les **risques** (aléas climatiques : tempête, sécheresse etc. ou biotique : attaque d'insectes, parasites etc.) sur différentes essences. Cette hypothèse « de l'assurance », beaucoup débattue en écologie (MCNAUGHTON, 1977), repose sur la **compensation fonctionnelle** entre espèces et leur capacité de réagir différemment face à un phénomène perturbateur. Les peuplements mélangés peuvent donc être plus résistants, mais surtout plus **résilients** après le passage d'un aléa biotique ou abiotique (DHOTE et al., 2005). Il est vrai que si une essence n'est plus adaptée demain d'autres sont déjà en place pour limiter les pertes (PEROT et VALLET, 2012). La vitesse des changements climatiques restant inconnue, il est difficile de savoir si les essences actuellement présentent auront le temps de **s'adapter au climat** ou si la **migration des essences** méridionale sera suffisamment rapide pour coloniser les zones septentrionales. (LEFEVRE et al., 2015 ; CLAESSENS, 2016).

Les phénomènes de **compensation** et de **facilitation**, définis dans le tableau 2, sont observés dans les forêts mélangées. La création de plantation mixte doit les prendre en compte, par exemple lors du choix des essences associées. Le mélange d'essences héliophile et sciaphile est intéressant pour la gestion de la lumière au sein du peuplement. Les **interactions positives** produites par les phénomènes de compensation et de facilitation permettent la création de synergies entre essences, augmentant la productivité du peuplement. (PEROT et VALLET, 2012).

Le mélange permet d'augmenter le nombre et la diversité de **niches écologiques**. La probabilité d'abriter des régulateurs naturels des populations de ravageurs est donc plus élevée dans les peuplements mélangés. (BRANQUART et DE KEERSMAEKER, 2010). Cette biorégulation permet d'augmenter la **résistance** du peuplement face aux attaques d'insectes. Cependant, si les insectes sont généralistes, les effets positifs du mélange sont plus faibles car toutes les essences peuvent être attaquées. Alors que dans le cas d'un ravageur spécialiste (*Chalara fraxinea* sur les frênes, *Bostryche typographe* principalement sur les épicéas), le mélange réduit la densité de l'essence sensible diminuant ainsi le risque d'attaque. (JACTEL, BROCKERHOFF et DUELLI, 2005 ; INRA, 2010).

Du fait de la diversité de niches écologiques dans les peuplements mélangés, la **biodiversité y est favorisée**. Cependant, elle n'est pas nécessairement plus importante que dans les peuplements monospécifiques, d'autres paramètres rentrent en ligne de compte dont l'ancienneté de l'état boisé, le degré de naturalité du peuplement

ou l'historique de la gestion menée. Certaines associations sont plus propices à l'accueil de la biodiversité que d'autres. La biodiversité floristique par exemple est surtout liée à la quantité de lumière incidente au niveau de la strate herbacée et à la fertilité du sol.

La **résistance au vent** est parfois avancée comme argument en faveur des forêts mélangées. Cependant, plusieurs facteurs influent sur la résistance des forêts au vent et le mélange **n'est pas un facteur favorable toujours vérifié**. La résistance intrinsèque des essences et la structure du peuplement sont des facteurs importants (DHOTE et al., 2005). La sylviculture menée intervient également comme facteur de résistance au vent. Le mélange est intéressant face aux risques de tempête car il augmente la résilience des peuplements qui subissent alors des dégâts intermédiaires (BECQUEY, 1992).

Le mélange d'essences présente des **avantages économiques** plus directs que celui d'une « assurance » sur le long terme. Les essences sont différentes en qualités de bois et en usages, leur commercialisation permet de répondre à différents marchés, ce qui peut être intéressant pour faire face aux **fluctuations des prix des bois** marchés et limiter les pertes liées à un changement de celui-ci. Le mélange d'essences de courte et de longue révolution permet d'avoir une ou des **essence(s) relais**, source de revenus intermédiaires pour le propriétaire (KELTY, 2006).

Un autre avantage économique apporté par les plantations : l'**amélioration de la forme** des arbres et donc de leur qualité. Une des essences peut servir d'abri latéral à d'autres et les gagner, permettant de réduire le nombre de passage en élagage. (BECQUEY, 2008).

Enfin, les forêts mélangées ou mixtes possèdent une **dimension esthétique**, elles sont plus appréciées par le grand public pour qui elles ont une valeur esthétique plus grande que les forêts monospécifiques (SARDIN, BOCK et BECQUEY, 2008 ; WILLIS, 2019). Ces atouts paysagers ne sont pas à négliger notamment en raison de la pression extérieure grandissante sur les forêts, surtout aux abords des villes et des grandes métropoles (WILLIS, 2019).

Les bénéfices énoncés s'appliquent en totalité sur les forêts mixtes. Le CRPF Hauts-de-France souhaite développer des mélanges mixtes en région non seulement pour **ses atouts** mais aussi pour répondre davantage aux **lois du marché** actuel sur les besoins en essences résineuses qui font défaut dans la région. Les aspects esthétiques de ce type de peuplement ne sont pas en reste.

ii. Les difficultés du mélange

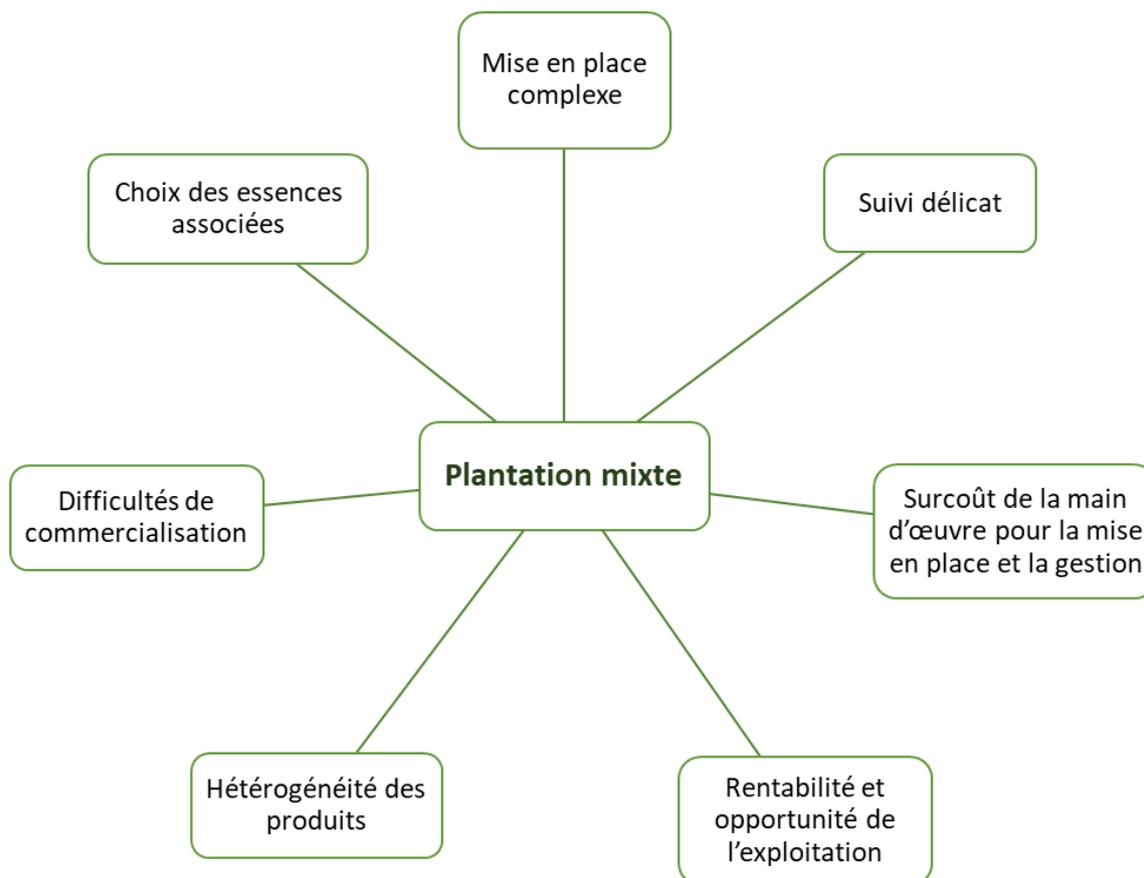


Figure 5 — Schéma des difficultés des plantations mixtes

Les arguments allant à l'encontre du mélange en forêt sont en partie liés aux **coûts de gestion** et de **mise en place** dans le cas d'une plantation. L'installation de la plantation est supposée plus **complexe** quand plus d'une essence doit être plantée, cela est d'autant plus vrai que le nombre d'essences est important. Les chantiers de plantations mixtes peuvent engendrer un **surcoût de la main d'œuvre**, cependant en fonction du schéma de plantation choisi et de la préparation en amont du chantier cette complexité peut être amoindrie.

En amont de la plantation, une étude de station (profondeur, structure, texture du sol, données climatiques etc.) doit être réalisée pour choisir les essences à planter (MAAF, 2014). Il faut aussi établir le **schéma de plantation**. Dans le cas des plantations mélangées ce schéma est plus complexe, mais sa bonne préparation permettra une meilleure efficacité sur le terrain. Il faut déterminer la **distribution spatiale** du mélange et sa **structure verticale**, les tableaux 3 et 4 présentent les différentes dispositions possibles.

Tableau 3 — Distribution spatiale du mélange dans les plantations mixtes Source texte : CDAF, 2008.
Source image : freepik.com

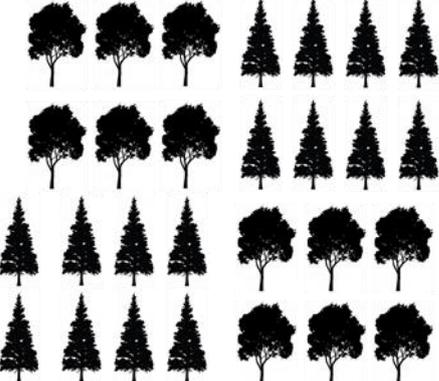
Distribution spatiale	Schéma
Pied à pied	
Par ligne	
Par bande (minimum deux lignes)	
Par bouquet (surface < 50 ares)	
Par parquet (surface > 50 ares)	

Tableau 4 — Structure verticale des plantations mixtes Source texte : CDAF, 2008. Source image : freepik.com

Structure verticale	Schéma
Mélange dans le même étage (mélange principal)	
Une essence ou plusieurs plantées pour accompagner une essence objectif (mélange d'accompagnement)	
Une essence plantée sous le couvert d'un autre (mélange subordonné)	

Le suivi d'un peuplement mixte est plus délicat, il a besoin d'être **surveillé** régulièrement particulièrement pour suivre les interactions entre les essences et réagir à temps pour effectuer les travaux d'entretiens et les éclaircies (SCHÜTZ, 1990).

La **longévité du mélange** peut être plus ou moins importante en fonction de la gestion et des âges d'exploitabilité des essences. Certains mélanges subordonnés ne sont pas voués à rester en mélange, comme dans le cas des **essences accessoires** ou **transitoires** qui accompagnent le peuplement principal pendant une période limitée définie (SCHÜTZ, 1990). Les peuplements mixtes composés d'une **essence longévive** et d'une **essence relais**, ne sont bien souvent pas destinés demeurer en mélange sur le long terme. La révolution de l'essence relais étant plus courte, elle sera récoltée plus tôt et la seconde essence finit son cycle dans un peuplement devenu monospécifique ou peu mélangé.

Le **maintien d'un mélange** pérenne est un frein éventuel car cela nécessite une **technicité** plus coûteuse, via une main-d'œuvre formée capable de gérer les différences de dynamique spatiale et temporelle des essences (CDAF, 2008). Ces différences de dynamiques (figure 6) entre essences doivent être intégré dans les réflexions de **choix des essences** associées mais aussi en termes de **rythme d'interventions** et de **sylviculture** (WILHELM et RIEGER, 2017).

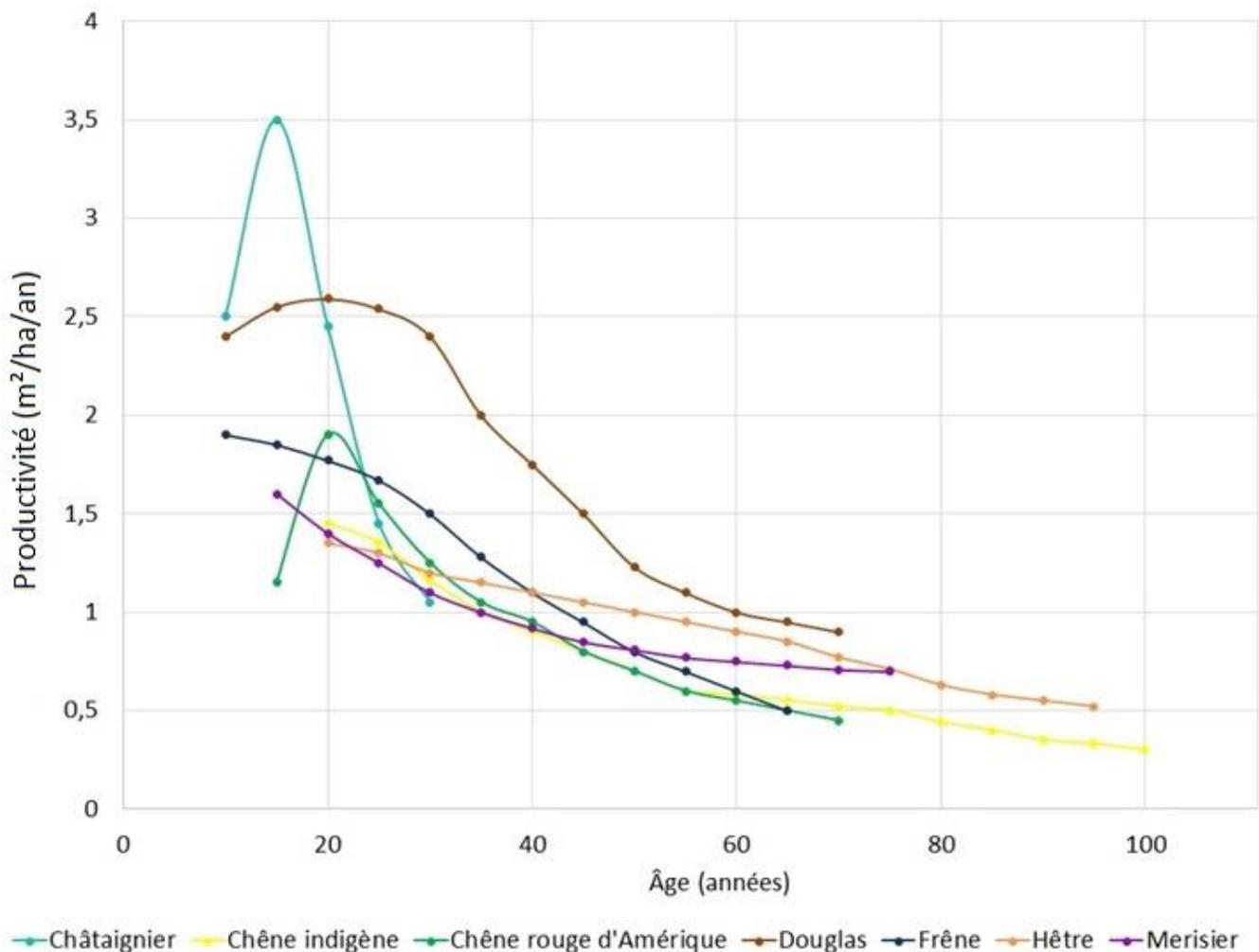


Figure 6 — Productivité comparée d'essences feuillues et du Douglas, peuplements normands en majorité issus de taillis. Source : DUYCK, 2004 modifiée.

Une **irrégularisation** du peuplement peut être observée, due à l'**hétérogénéité de croissance** des essences en mélange cela peut être vu comme un avantage ou un inconvénient en fonction du souhait du propriétaire (BECQUEY, 2013).

Le choix des essences à mélanger doit être réfléchi pour éviter les interactions de **compétition interspécifique avec effet négatif**, à l'instar de l'allélopathie (GALLET et PELLISSIER, 2002). De plus, la nature des interactions, positive ou négative, dépend parfois du **stade de développement** des espèces. La compétition interspécifique peut s'accroître à la maturité des essences (PEROT et al., 2011).

Le mélange d'essences apporte des avantages face au marché du bois et des inconvénients. La **commercialisation des produits** est plus complexe, car la filière cherche des lots de produits homogènes qui peuvent être plus difficile à fournir dans le cas des peuplements mélangés (SARDIN, BOCK et BECQUEY, 2008 ; BECQUEY, 2013). En fonction du degré de mélange l'**exploitation** peut poser des problèmes si la quantité de produits homogènes est insuffisante ou s'il est difficile d'accéder à l'essence cible (CDAF, 2008). Pour éviter cela, il faut réfléchir à la phase d'exploitation des bois lors de la mise en place d'une plantation ou de la désignation des arbres objectifs.

iii. Bilan

Après cette synthèse des arguments en faveur et à l'encontre des plantations mixtes, la réflexion préalable au **choix des essences** apparaît comme essentielle. Elle doit prendre en compte plusieurs paramètres dont la

station forestière, la tolérance à l’ombrage, la compétition inter/intra-spécifique, la sensibilité/résistance aux aléas climatiques ou biologiques etc. Malgré les nombreux avantages de la plantation mixte, le **frein principal** identifié est directement lié à la **volonté et la motivation du propriétaire**. En effet, la création d’un peuplement, **mixte ou non**, nécessite un investissement économique et humain important. Les plantations forestières ont besoin d’être suivies régulièrement.

Après avoir dressé l’état de l’art des connaissances de la littérature en matière de plantations mixtes, il est nécessaire d’étudier la réalité du terrain. La partie suivante présente la mise en place de l’enquête et de la phase de terrain.

II. Organisation des entretiens individuels et des relevés de terrain

2.1 Phase d’entretien

Objectifs

Le but de ces entretiens est de faire le point sur les **connaissances** et **attentes** des personnes interrogées sur le sujet, pour évaluer les éventuelles lacunes auxquelles l’étude pourra répondre. Les entretiens permettent de connaître l’**avis** et l’**intérêt** des acteurs vis-à-vis des plantations mixtes. De plus, ils apportent de nouveaux éléments à l’étude qui ne sont pas apparus lors de la phase de bibliographie, et permettent de confronter les informations bibliographiques aux personnes interrogées.

Panel d’enquêtés

Les entretiens ont permis d’interroger **40 personnes**, des personnels du CNPF et de l’IDF, des gestionnaires, des propriétaires et des personnels d’autres organismes (organismes forestiers, chercheurs, universitaires etc.). La liste des contacts a été proposée par les encadrants de l’étude, de plus certaines personnes enquêtées ont proposé des contacts complémentaires. La ventilation des personnes interrogées par catégorie socio-professionnelle et par nationalité est présentée dans la figure 7 ; les personnels du CNPF et de l’IDF interrogés viennent de différentes régions.

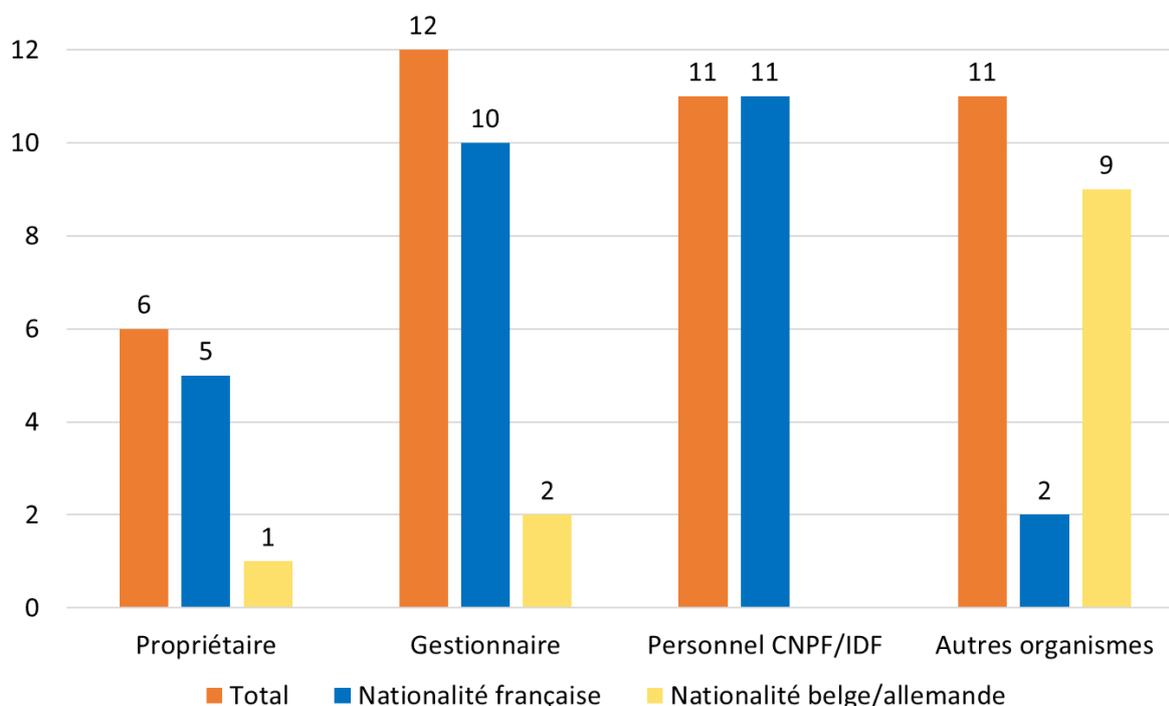


Figure 7 — Répartition des enquêtés par catégorie socio-professionnelle et nationalité

Déroulé des entretiens

Les entretiens sont **semi-directif**, les thèmes abordés ont été réfléchis en amont et sont apportés au fur et à mesure de la discussion de façon à ce que la personne interrogée ne se sente pas enfermée dans des questions trop cloisonnées (BAUMEIER, 2016).

Trois guides d'entretiens ont été produits : propriétaires, gestionnaires, et institutionnels et personnels CNPF/IDF. Ces guides se trouvent en annexe 1, ils sont similaires avec quelques variantes en fonction du profil professionnel des enquêtés.

Après une présentation de l'étude, il est demandé à la personne interrogée de se présenter. Pour les propriétaires, une présentation de leur propriété est demandée, ce qui permet de faire le point sur leurs **pratiques sylvicoles**. Les gestionnaires quant à eux, sont interrogés sur les pratiques sylvicoles des propriétaires et les **différents profils de propriétaires** qu'ils rencontrent. Ils sont aussi questionnés sur leurs pratiques sylvicoles.

Après avoir explicité la définition de peuplements mixtes, les enquêtés sont questionnés sur ceux-ci. Les thèmes suivants ont été amenés :

- Associations mixtes connues ;
- Schémas de distribution de la plantation ;
- Avis sur les plantations mixtes ;
- Raisons d'échec ;
- Avantages des plantations mixtes ;
- Freins/difficultés des plantations mixtes ;
- Arguments pour sensibiliser les acteurs forestiers ;
- Attentes vis-à-vis de la recherche (appliquée/fondamentale) et des expérimentations.

A la suite des entretiens, les notes prises sont compilées en compte-rendu et analysées.

2.2 Campagne de relevés terrain

Objectifs

Le but de la phase de terrain est de dresser un **état des lieux** non exhaustif des peuplements mixtes en Hauts-de-France, pour connaître les **associations d'essences** déjà mises en place, les **dispositions** et les **écartements** pratiqués entre résineux et feuillus. La visite des peuplements permet d'identifier en cas d'échec la ou les raison(s) de celui-ci (adaptation à la station, manque de suivi, retard dans les entretiens/éclaircies, mélange inadapté etc.).

Déroulé de la campagne de terrain

20 journées de terrain ont été réalisées. Les peuplements visités ont été en grande partie indiqués par les personnels du CNPF Hauts-de-France, l'étude des PSG a souvent permis de trouver d'autres peuplements dans les propriétés où des visites étaient prévues. Quelques peuplements ont été additionnés à cette base via une extraction depuis la base de données des documents de gestion durable « Merlin » du CNPF.

En annexes 2 et 3 se trouve le protocole de relevé et la fiche de relevé terrain. Un **sondage pédologique** a été réalisé dans chaque peuplement, pour déterminer la **station forestière**. En plus d'une **description générale** par commentaires (état sanitaire, disposition des essences etc.), des mesures de **diamètre** et de **hauteur moyenne** ont été prises. La **surface terrière** a été relevée dans les peuplements où la **densité** n'a pas pu être calculée avec les écartements entre les arbres. Un traitement statistique poussé des données récoltées n'est pas possible du fait de la variabilité importante des peuplements rencontrés (association d'essences, disposition, âge etc.).

Les tableaux 5 et 6 résument le nombre de relevés terrain. Les sites prévus correspondent à l'ensemble des sites indiqués par les personnels CRPF ou trouvés grâce à la base de données. Après consultation des PSG ou discussion avec le gestionnaire, certains peuplements ont été **supprimés** car ils ne présentaient **pas d'intérêt** pour l'étude, les sites restants sont appelés **sites visités**. Une partie des sites visités n'ont **pas été relevés** car

une fois vus sur le terrain ils ne présentaient pas d'intérêt pour l'étude. Les peuplements considérés comme inintéressants pour l'étude sont des peuplements où les résineux ou les feuillus ont été **exploités**, où le pourcentage de **mélange est faible**, où les résineux et les feuillus ne sont **pas en mélange** dans le même étage (*i.e.* : taillis de feuillus sous une futaie de résineux) etc.

Tableau 5 — Récapitulatif des relevés terrain

Nombre de sites prévus	Nombre de sites visités	Nombre de sites relevés	Nombre de propriétés prévues	Nombre de propriétés visitées	Nombre de propriétés relevées
97	90	50	47	45	35

Tableau 6 — Récapitulatif des relevés terrain par département

	Aisne	Nord	Oise	Pas-de-Calais	Somme
Nombre de propriétés relevées	4	10	7	3	11
Nombre de sites relevés	6	13	9	3	19

N.B. : Par site est entendu le nombre de peuplements, il est donc possible qu'une propriété englobe plusieurs sites.

III. Résultats des phases d'enquête et de terrain

3.1 Retour des entretiens

Les résultats des entretiens ont dans un premier temps été regroupés dans une grille où les propos bruts tenus par les personnes enquêtées sont triés par thème. Cette première étape a permis de dégager des sous-thèmes partagés, ou non, entre les différentes personnes interrogées. Dans cette seconde grille chaque ligne correspond à un sous-thème et les colonnes à une personne interrogée, si celle-ci a abordé ce sous-thème la cellule est complétée avec un « 1 », sinon avec un « 0 ». Cela a permis de savoir quels sous-thèmes sont les plus partagés entre les acteurs. Le tableau 7 résume les sous-thèmes les plus abordés, c'est-à-dire par au moins un quart des personnes interrogées, soit 10 personnes. Les entretiens étant semi-directifs tous les sous-thèmes n'ont pas été évoqués par les personnes interrogées, cependant cela ne signifie pas qu'elles sont en désaccord avec ceux-ci. Les résultats de ces entretiens ont donc une **valeur qualitative et non quantitative**.

Tableau 7 — Sous-thèmes les plus abordés lors des entretiens par les acteurs forestiers

Thèmes	Sous thèmes	Nombres de citation	%
Avantages	Assurance face aux risques liés aux changements climatiques, sanitaires, aléas, marchés	22	55
	Essence relais/revenu intermédiaire	15	38
	Amélioration de la résilience des peuplements	14	35
	Intérêt paysager	12	30
	Solution face aux changements climatiques	11	28
	Diversification des revenus	10	25
	Favorable à la biodiversité/diversité d'habitats	12	30
Freins/ difficultés	Blocage psychologique, habitudes	11	28
	Manque de références/données techniques	17	43
	Complexité des premières éclaircies/travaux	15	38
	Différence de croissance des essences	13	33

Arguments	Dilution des risques liés aux changements climatiques, sanitaires, aléas, marchés	23	58
	Bénéfice économique	13	33
Points d'attention	Adaptation des essences à la station	12	30
	Réfléchir aux phases d'entretien/exploitation	12	30
	Planter dans le recru	10	25
	Blocage administratif : conditions pour les subventions	11	28

Ce sont les sous-thèmes sur les points positifs et négatifs des plantations mixtes, et sur les arguments à mettre en avant pour valoriser ces peuplements qui ont été énoncés par le plus d'acteurs. Un consensus, plus ou moins grand, semble exister sur ces affirmations.

3.1.1 Les exemples d'associations mixtes connus

Globalement **peu d'exemples** de peuplements artificiels ont été cités, plutôt des exemples de peuplements naturels ou semi-naturels (sous couvert/utilisation du recru/enrichissement de la régénération naturelle etc.). Les quelques exemples sont souvent âgés, peu de personnes interrogées ont connaissance de peuplements mixtes mis en place récemment. Cependant, plusieurs programmes expérimentaux avec des plantations mixtes se lancent ou ont été lancés récemment : FORBIO en Belgique, PEI Douglas en Bourgogne et FORECCAS en Occitanie, ce qui montre l'actuel intérêt du monde forestier pour cette thématique. Le tableau 8 présente quelques exemples d'associations données par les enquêtés. Les **mélanges Chênes/Pins** et **Hêtre/Pins** ont été les plus cités ainsi que le mélange **Hêtre/Epicéas** typique des forêts montagnardes. Les associations proposées sont pour la plupart composées de chênes, essence emblématique de la région Hauts-de-France.

Tableau 8 — Associations d'essences (non exhaustives) citées lors des entretiens

Essence 1	Essence 2	Essence 3	Nombre d'occurrence
Chêne sessile ou pédonculé	Douglas		5
Chêne sessile ou pédonculé	Douglas	Hêtre	3
Chêne sessile ou pédonculé	Pins (sylvestre, noir, Laricio...)		9
Chêne sessile ou pédonculé	Sapins (de Vancouver, de Nordmann, pectiné)		4
Chêne rouge	Douglas		2
Chêne rouge	Pins (sylvestre ou Laricio)		3
Hêtre	Douglas		3
Hêtre	Epicéa commun		7
Hêtre	Sapins (de Vancouver, de Nordmann, pectiné)		3
Hêtre	Pins (sylvestre, noir, Laricio, de Salzmann)		10
Chêne rouge	Châtaignier	Douglas	3

3.1.2 Quels schémas de plantation pour les mélanges résineux-feuillus ?

Le schéma de plantation doit être réfléchi en fonction des essences plantées et de leur rythme de croissance (4 personnes interrogées). Une des personnes enquêtées juge problématique le respect du schéma de plantation par

les planteurs. La **disposition** doit aussi être pensée en termes d'**exploitation**, de réseau de cloisonnement et de réalisation des **travaux** et **entretiens** quel que soit le schéma appliqué (4 personnes interrogées).

Le tableau 9, ci-dessous, regroupe les avantages et les inconvénients cités lors des entretiens de chaque schéma de distribution.

Tableau 9 — Avantages et inconvénients des différents schémas de distribution cités lors des entretiens

Schéma	Avantages	Inconvénients
Pied à pied	- Mise en place facilitée pour des schémas très systématiques avec une ouverture des potets à la mini pelle (<u>2 interrogés</u>).	- Complexe pour les planteurs, besoin d'encadrement et d'organisation de la part du chef de chantier et du gestionnaire, pré-piquetage (<u>10 interrogés</u>) ; - Difficile à gérer par la suite et donc déconseillé chez les propriétaires manquant de technique (dégagements, entretiens , choix pour les éclaircies etc.) et/ ou d'assiduité dans leur gestion (<u>6 interrogés</u>) ; - Risque d'obtenir un peuplement monospécifique si une essence est favorisée par rapport à l'autre ou si une essence prend le dessus sur l'autre (<u>3 interrogés</u>) ; - Forte compétition interspécifique (<u>2 interrogés</u>).
Pied à pied aléatoire	- Mise en place simple (<u>1 interrogé</u>).	- Peu de recul sur cette méthode (<u>2 interrogés</u>).
Ligne	- Mise en place simple (<u>8 interrogés</u>) ; - Utile si les rythmes de croissance des essences sont différents (<u>2 interrogés</u>) ; - Facilite la mise en place de cloisonnements via la récolte de produit par exemple résineux valorisable en trituration, les feuillus de faible diamètre étant plus difficilement commercialisables (<u>1 interrogé</u>).	- Compétition interspécifique pouvant être accrue (<u>1 interrogé</u>) ; - Mélange sur la ligne possible mais complexifiant le dispositif (<u>1 interrogé</u>).
Bande	- Mise en place simple (<u>7 interrogés</u>) ; - Utile si les rythmes de croissance des essences sont différents et que la compétition interspécifique est forte (<u>3 interrogés</u>) ; - Limitation des dégâts d'exploitation, chaque essence étant « localisée » (<u>1 interrogé</u>).	
Bouquet	- Utile si les rythmes de croissance des essences sont différents et que la compétition interspécifique est forte (<u>4 interrogés</u>).	- Mise en place complexe , besoin d'un pré-piquetage (<u>5 interrogés</u>).

Parquet	- Utile si les rythmes de croissance des essences sont différents et que la compétition interspécifique est forte (<u>3 interrogés</u>).	- L'importance des surfaces questionne sur la réelle fonction du mélange (<u>2 interrogés</u>).
----------------	--	--

3.1.3 Choix des écartements entre résineux-feuillus

Le choix des écartements entre résineux et feuillus est un des points les plus importants lors de la mise en place de plantations mixtes. Cette thématique a **peu été abordée** lors des entretiens, l'écartement est différent en fonction des essences et des schémas de distribution des essences, les personnes interrogées n'ont **pas de références** sur ce point. Quelques acteurs ont notifié un réel **besoin de données techniques** sur les écartements à pratiquer dans le cas de mélanges mixtes. Dans un premier temps une étude du comportement de chaque essence est nécessaire suivie d'une étude du comportement des essences en association.

3.1.4 Les causes d'échecs dans les plantations mixtes

Comme cela a été souligné plus haut, les personnes enquêtées disposent d'un **recul** limité sur les peuplements artificiels : soit ils n'ont pas été suivis et il est difficile de tirer des conclusions ; soit les peuplements ont été mis en place depuis peu ou n'ont pas encore été mis en place (FORBIO, FORECCAsT, PEI Douglas). Les peuplements mixtes réussis connus sont souvent âgés, datant des années où le FFN assurait le financement des plantations. Une partie des réussites évoquées sont **issues de peuplements naturels/semi-naturels**.

Les **différences de croissance** des essences ont été évoquées par 3 personnes interrogées comme pouvant mener à un échec, si une essence prend le dessus et que le mélange n'est pas encouragé lors des premiers dégagements.

Les causes d'échecs des plantations mixtes citées par les personnes enquêtées sont liées aux **plantations en général**, par exemple l'appétence des essences pour le **gibier** (3 personnes interrogées) et l'adaptation des essences à la station (2 personnes interrogées). La **qualité de la plantation** a été évoquée par 3 personnes enquêtées, et 7 ont cité les aléas climatiques (**sécheresses**) comme causes d'échecs de plantation.

2 personnes enquêtées pensent que les échecs sont liés au **manque de suivi**, d'**organisation** et de **technique** (réseau de cloisonnement/d'exploitation, réalisation des travaux/entretiens/lères éclaircies).

3.1.5 La perception des personnes enquêtées sur les plantations mixtes

Tous n'ont pas énoncé les mêmes avantages ou difficultés des plantations mixtes, en revanche certains points ont été mis avant par plusieurs acteurs. L'ensemble de ces points sont explicités ci-après dans le tableau 10.

Tableau 10 — Difficultés et bénéfices des plantations mixtes cités lors des entretiens

Difficultés	Avantages
<ul style="list-style-type: none"> - Manque de références via des peuplements mûrs démonstratifs et de données techniques (écartements à pratiquer entre les essences, couple d'essence, itinéraire de gestion à suivre etc.). (17 interrogés) - Manque de « culture forestière mixte », propriétaires et gestionnaires conservateurs qui ont du mal à se projeter. (11 interrogés) - Propriétaire pas « apte » à suivre un tel peuplement. (4 interrogés) - Echec des plantations dans le contexte actuel. (1 interrogé) - Frais de gestion au démarrage de la plantation parfois accrus, car il faut être très interventionniste. (2 interrogés) - Besoin de technicité chez les gestionnaires pour la mise en place et la gestion. (8 interrogés). Quelques acteurs pensent que le frein technique est plus important dans la gestion courante que dans la mise en place des peuplements. (5 interrogés) - Complexité des premiers dégagements et éclaircies pour maintenir le mélange (choix des essences, risque de favoriser une des essences...). (15 interrogés) - Être plus interventionniste dans les débuts du peuplement pour éviter de « perdre » une des essences. (4 interrogés) - Besoin d'un suivi rigoureux, d'autant plus si les rythmes de croissance sont très différents. (2 interrogés) - Difficultés de maintien du mélange. (7 interrogés) - Différences de croissance entre résineux et feuillus. (13 interrogés) - L'impact des résineux sur le sol et la litière forestière dans le long terme. (2 interrogés) - Logiques sylvicoles et commerciales des peuplements résineux et des peuplements feuillus divergents, besoin de créer ou l'apprendre de nouveaux modes de gestion hybride. (4 interrogés) - Différences de produit (mobilisation de volume suffisant, multiplication des clients à gérer dans une coupe, difficulté de commercialisation etc.). (9 interrogés) Quelques acteurs voient cet inconvénient comme un faux problème pouvant être dépassé avec le temps. (2 interrogés) 	<ul style="list-style-type: none"> - Intérêts économiques, diversification des revenus. (10 interrogés) - Essence relais : revenu intermédiaire. (15 interrogés) - Rééquilibrage de la balance commerciale nationale via la production de bois de résineux, Forte production de feuillus exportés et déficit en résineux majoritairement transformés. (4 interrogés) - Réduction de l'investissement en plants feuillus, plus chers que les plants résineux. (6 interrogés) - Plantation sous couvert d'un peuplement existant, enrichissement de peuplement pauvre, évitement des coupes rases dépensières, diminution des investissements pour le reboisement en plein. (2 interrogés) - Amélioration de la forme avec le gainage d'une essence et limitation des travaux d'égelage. (7 interrogés). - Garantir le maintien d'une ambiance forestière en cas de dépérissement ou d'aléas touchant une des essences, dilution des risques. (22 interrogés) - Une solution face aux changements climatiques. (11 interrogés) - Peuplements plus résilients face aux aléas climatiques et sanitaires. (14 interrogés) - Peuplements plus résistants face aux aléas climatiques et sanitaires. (3 interrogés) - Favorable à la biodiversité, création d'habitats variés. (12 interrogés) - Augmentation de la productivité du peuplement par la complémentarité entre essences et optimisation de l'utilisation des niches écologiques. (8 interrogés) - Propice à la mise en place de la régénération naturelle. (2 interrogés) - Protection contre les ravageurs (insectes, gibier...) : dilution des essences sensibles et diminution de l'attractivité du peuplement, diminution de la densité de plantation et donc des coûts. (9 interrogés)

<ul style="list-style-type: none"> - Le morcellement de la forêt privée. (<u>1 interrogé</u>) - Surface minimale nécessaire à l'échelle d'un massif (6/8 ha). (<u>6 interrogés</u>) - Changements de propriétaire et continuité des projets dans le temps. (<u>3 interrogés</u>) - Acceptation de la plantation mixte : blocage des gestionnaires (<u>2 interrogés</u>) et/ou des propriétaires (<u>3 interrogés</u>) - Réticence à l'encontre des résineux : faible présence des résineux en Hauts-de-France et crises sanitaires les touchant. (<u>5 interrogés</u>) - Impact paysager des plantations par lignes ou par bandes, surtout en situation de pente. (<u>4 interrogés</u>). - Blocages administratifs et réglementaires pour les aides à la plantation (réglementation des origines, de la densité, des pourcentages de mélange, complexité des dossiers...). (<u>11 interrogés</u>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Esthétisme des peuplements mixtes apprécié du grand public et des propriétaires par rapport aux peuplements résineux monospécifiques. (<u>12 interrogés</u>)
--	---

Face aux différentes crises climatiques et sanitaires actuelles et passées les propriétaires s'interrogent sur l'avenir de leurs forêts, les plantations mixtes font partie des solutions à mettre en place. Cependant pour convaincre les propriétaires et les gestionnaires il faut adapter son discours aux motivations et attentes de ces derniers. Le tableau 11 regroupe les arguments à mettre en avant pour **valoriser les plantations mixtes**, et les **attentes des acteurs** sur le sujet vis-à-vis de la recherche et de l'expérimentation.

Tableau 11 — Arguments de sensibilisation et attentes vis-à-vis de la recherche et des expérimentations sur les plantations mixtes cités lors des entretiens

Arguments	Attentes
<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve de pédagogie pour ne pas perdre ou rebuter les propriétaires si les concepts sont trop abstraits ; - Présenter un cas concret avec des données techniques, un itinéraire à suivre permettant de mettre en place le système facilement ; - Présenter les bénéfices apportés par les résineux à leurs forêts. (9 interrogés) - Mettre en avant les bénéfices économiques : la diversité de revenus via la diversité de produits, la rationalisation des coûts (planter en faible densité les résineux et en forte densité feuillus pour économiser sur les travaux d'élagage, les protections gibier...). (13 interrogés) - Continuer de produire des résineux en limitant les problèmes de reprise des plantations monospécifiques résineuses. (4 interrogés) - Avoir un argumentaire démontrant que la productivité d'une plantation mixte n'est pas nécessairement inférieure à celle d'une plantation monospécifique. (4 interrogés) - Dilution des risques face aux changements climatiques, des aléas climatiques, sanitaires ou encore économiques. (23 interrogés) - Une solution face aux incertitudes, garantir la pérennité des peuplements (6 interrogés). - Facilité d'obtention de régénération naturelle. (1 interrogé) -Esthétisme et paysage. (6 interrogés) - Fonction cynégétique, création de fourrés et de caches avec l'implantation de résineux. (3 interrogés) -Amélioration de la biodiversité. (6 interrogés) 	<ul style="list-style-type: none"> - Etudes actuelles très ciblées sur un couple d'essence ou un type d'interaction (stress hydrique, exploration de la ressource lumineuse, pathologies etc.). (3 interrogés) - Pas ou peu d'éléments généraux sur les associations mixtes dans ces études. (5 interrogés) - Reproductibilité de l'association d'un environnement à l'autre, modification des interactions. (7 interrogés) - Proposition d'un panel d'essences pouvant être associées et avec un rôle précis (objectif, accompagnement, bourrage, protection, amélioration du sol, biodiversité etc.). (4 interrogés) - Itinéraires techniques concrets prêts à l'emploi découlant d'expérimentations réalisées de façon réalistes et chapeautées par les propriétaires. (5 interrogés) - Typologie des schémas de plantation mixte présentant les écartements à pratiquer entre essences. (1 interrogé) - Etudes sur l'autécologie et la synécologie par les organismes de recherche fondamentale plutôt que sur des expérimentations terrains et la création d'itinéraires. (4 interrogés) - Réponses sur les essences exotiques/atypiques, le besoin en nouvelles essences résineuses. (5 interrogés)

3.1.6 Les points d'attention lors de la mise en place de plantations mixtes

La mise en place de peuplements mixtes doit être faite en prenant en compte un certain nombre d'éléments, ces points critiques sont détaillés ci-après.

De nombreuses personnes enquêtées ont abordé les thématiques d'**adaptation** des **essences** à la **station** (12 citations) et de **cohérence** des **associations d'essences** en fonction de leurs interactions (4 citations). Lors de la mise en place de plantation mixte il faut étudier la **sensibilité** de chacune aux **différents aléas** que pourra subir le peuplement par la suite, que ce soient des aléas **climatiques** ou **sanitaires**. La sensibilité des essences

à la dent du gibier est aussi à prendre en compte, d'autant plus quand de grandes surfaces sont plantées. Une des solutions consiste à diminuer la densité des essences appétentes et les protéger. (2 interrogés) Ces différents éléments doivent être étudiés afin de **limiter les échecs** de la plantation. Il est important de simuler le développement du **peuplement adulte**, les éléments soulevés précédemment pouvant évoluer en fonction des phases de développement du peuplement (3 interrogés).

Tout au long de la vie du peuplement et plus particulièrement lors des phases d'entretien et d'exploitation il faut garder en tête et donc avoir bien défini les **objectifs du peuplement** et de chaque essence (biodiversité, accompagnement, valorisation commerciale etc.) (12 interrogés). Cette anticipation évite la disparition du mélange recherché en raison d'un **manque de suivi** ou par **mauvaises décisions** lors des premières éclaircies (5 interrogés).

Avant la réalisation d'une plantation mixte il est indispensable d'avoir réfléchi à la possible **valorisation commerciale** des produits du peuplement, si un but économique lui est attribué (3 interrogés). Outre la commercialisation des produits, leur **exploitation** doit être rendue possible via la création de cloisonnements d'exploitation. La mise en place des cloisonnements doit être pensée dès le choix de la disposition des plants.

Quelques personnes interrogées pensent que pour réussir une plantation il faut d'abord laisser s'installer le **recru** après une coupe à blanc (10 interrogés). Il est vrai qu'entre les sécheresses et les dégâts de gibier, renouveler les forêts devient de plus en plus **complexe** ces dernières années, sachant que les surfaces à reboiser sont importantes à cause des crises sanitaires actuelles et à venir. L'utilisation du recru permet dans un premier temps d'observer les essences venant spontanément et pouvant être gardées pour accompagner les essences qui seront plantées en enrichissement. Il pourra servir de **bourrage** pour améliorer la forme des arbres et de protection contre le gibier, contre les vents desséchants. Le recru crée une ambiance forestière favorisant la reprise des plants (communication personnelle, 15/05/2020).

Les freins techniques soulevés par les acteurs pourront en partie être résolus quand les **dispositifs expérimentaux** auront permis d'obtenir des données et des itinéraires techniques. Néanmoins, une partie des difficultés identifiées sont surmontables dès maintenant. Quelques freins sont qualifiés de faux problèmes ou sont liés à des habitudes, ceux-ci pourront être éliminés en améliorant les connaissances et en diffusant davantage les informations.

3.1.7 Comparaison entre les résultats des entretiens et ceux de la recherche bibliographique

Les éléments trouvés dans la bibliographie ont partiellement été repris par les personnes interrogés lors des entretiens. Au niveau des **avantages** et des **difficultés** des plantations mixtes l'ensemble des informations bibliographiques a été cité par les enquêtés. La phase d'entretien a permis de **contextualiser ces informations**.

Les difficultés qui sont ressorties des entretiens sont plus nombreuses que dans la bibliographie, certaines étant **liées aux territoires** ou à la **problématique de la propriété privée**. Parmi ces difficultés : le manque de « culture forestière mixte », la réticence à l'encontre des résineux (propre à la région HdF), le morcellement de la forêt privée ou encore les changements de propriétaire et la continuité des projets dans le temps.

La question du coût des plantations mixtes, présenté comme **significativement plus élevé** dans la bibliographie, a donné lieu à des réponses plus nuancées des enquêtés. Le frein économique n'a pas été énoncé frontalement : « Planter mixte coûte plus cher. ». Les acteurs interrogés sont conscients qu'une analyse économique complète est nécessaire pour tirer ce type de conclusions. D'autant plus que les prix des feuillus sont très variables selon les essences, les volumes unitaires et les qualités contrairement à ceux des résineux, qui plafonnent plus rapidement. Cependant, le retour sur investissement est éventuellement plus long dans le cas des feuillus. Mais les personnes interrogées sont en accord avec la bibliographique pour dire que les **frais de démarrage sont plus importants** dans le cas d'une plantation mixte.

La problématique de l'obtention d'aides à la plantation a été soulevée lors des entretiens, en effet les plantations mixtes **ne sont pas éligibles** à certaines subventions.

Tableau 12 — Aides à la plantation en Hauts-de-France

Sources : DDTM Nord - Pas de Calais, 2019 ; DDT Picardie, 2019 ; Reforest'Action, 2019 ; Plantons pour l'avenir, 2019 ; CNPF, 2019.

Nom de l'aide	Type d'aide	Détails
FEADER Nord Pas de Calais/Picardie	Aide publique pour les BTA	Plantation d'essences indigènes excluant donc les résineux
Reforest'Action	Financement privé	Plantation de Chêne rouge d'Amérique proscrite, surface minimale de 2 ha ou 1 500 plants
Plantons pour l'avenir	Financement privé	Surface minimale de 1 ha
Label Bas Carbone	Financement privé	Surface minimale de 0,5 ha

La thématique des schémas de plantation a permis de faire ressortir les avantages et les inconvénients de ceux-ci lors des entretiens. Cependant, la **structuration spatiale** des mélanges a peu été abordée. Cela est en partie dû au fait que les questions relatives aux entretiens ont été uniquement posées dans le contexte de **plantation sur sol nu**. Les personnes interrogées ont donc peu évoqué ou détaillé le cas des plantations sous couvert ou dans le recru.

Les exemples proposés par les personnes enquêtées recourent partiellement ceux de la bibliographie, comme le mélange Chêne sessile/Pin sylvestre.

L'avantage des entretiens est d'avoir **facilité la récupération d'informations non documentées** ou difficile à obtenir via une recherche bibliographique. Les entretiens ont fait ressortir la **réalité du terrain** et des problématiques qui lui sont liées. Ils ont permis de connaître les **attentes** des interrogés vis-à-vis de la recherche et des expérimentations. Les entretiens ont mis en lumière les **points à mettre en avant** pour sensibiliser les propriétaires et les gestionnaires aux plantations mixtes.

3.2 Etat des lieux des plantations mixtes en Hauts-de-France

3.2.1 Résultats

Le panel d'essences **feuillues** observées est **plus important** que celui d'essences **résineuses**, respectivement 17 et 9 essences. Le nombre d'occurrence de chacune et la fréquence associée sont répertoriés dans le tableau 13. Sur les 50 relevés le **Hêtre** est associé dans **66 %** des mélanges et le **Douglas** dans **43 %**.

Tableau 13 — Essences observées en mélange sur le terrain sur 48 relevés

Essences feuillues	Nombre d'occurrence	Pourcentage	Essences résineuses	Nombre d'occurrence	Pourcentage
Bouleau	10	21	Douglas	20	43
Châtaignier	8	17	Epicéa commun	10	21
Charme	10	21	Epicéa de Sitka	2	4
Chêne sessile	8	17	Mélèze sp	13	28
Chêne pédonculé	12	26	Pin sylvestre	9	19
Chêne rouge	10	21	Pin noir	4	9
Erbable plane	2	4	Sapin pectiné	2	4
Erbable sycomore	7	15	Sapin de Vancouver	2	4
Frêne	6	13	Sapin de Nordmann	1	2
Hêtre	31	66	Cèdre de l'Atlas	1	2
Merisier	9	19			
Alisier torminal	1	2			
Aulne sp	1	2			
Erbable champêtre	1	2			

Noyer hybride	1	2			
Tremble	1	2			
Tilleul à grandes feuilles	1	2			

Les stations forestières relevées sur le terrain sont listées en annexe 4. Des peuplements mixtes ont été rencontrés sur une large gamme de station, **terrain très acide à calcaire**, avec des **potentialités sylvicoles** très variables, de **très faibles à très bonnes**. **30 peuplements** (60 %) sont situés sur des terrains ayant un niveau trophique allant **d'assez acide à peu acide** (figure 8). Ceci s'explique notamment par le fait que la majorité des essences résineuses plantées sont **acidiphiles**. De plus, une partie des essences feuillues observées sont **acidiphiles** ou **acidiclives**, comme le Hêtre, le Châtaignier ou le Chêne rouge.

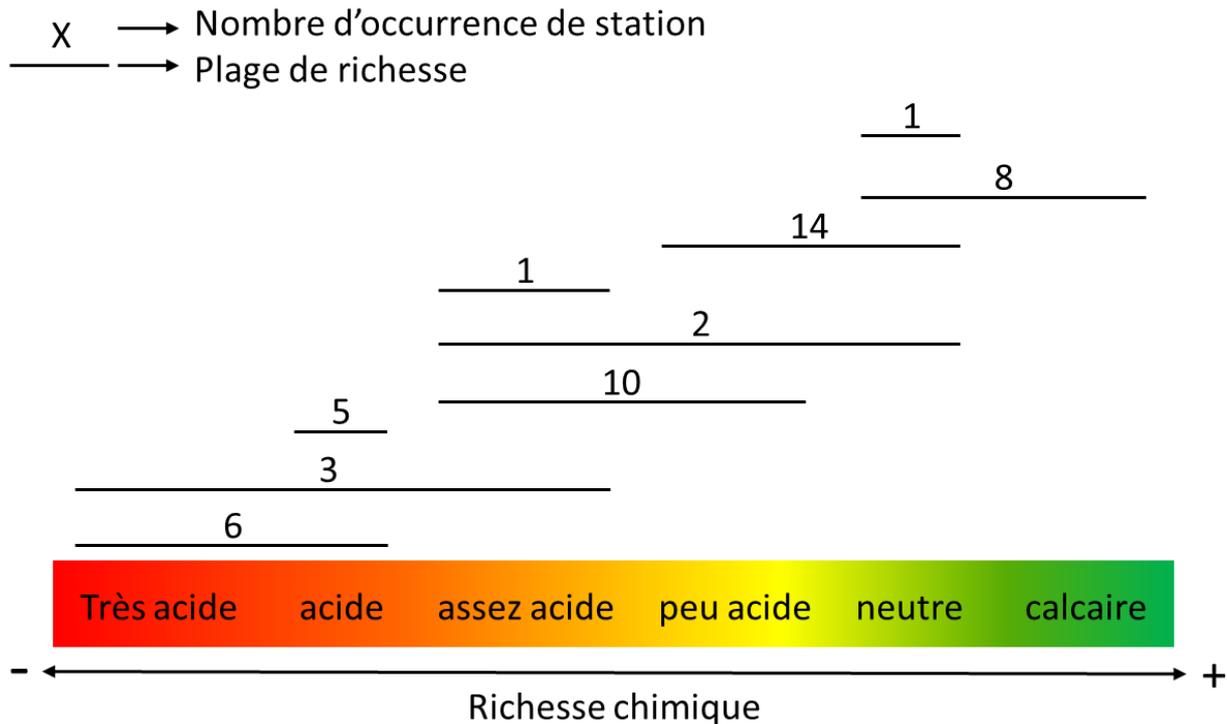


Figure 8 — Répartition de la richesse chimique des peuplements visités

Certains mélanges ont été observés plus que d'autres, le tableau 14 regroupe une partie des mélanges observés, dont les plus fréquents. Du point de vue de l'autécologie et des stations, les **associations** d'essences sont plutôt **cohérentes**.

La différence de **rythme de croissance** entre les essences n'a pas empêché leurs associations, reste à savoir si le peuplement obtenu est satisfaisant. En effet, le Mélèze et surtout le Douglas ont des rythmes de croissance largement supérieurs à la plupart des feuillus auxquels ils sont associés. Le Chêne rouge a un rythme de croissance soutenu, son association avec des résineux est donc intéressante.

Tableau 14— Associations d'essences (non exhaustives) observées sur le terrain et leur occurrence

Essence 1	Essence 2	Essence 3	Nombre d'occurrence
Châtaignier	Douglas		3
Châtaignier	Douglas	Mélèze	3
Douglas	Chêne sessile ou pédonculé		6
Douglas	Chêne rouge		4

Douglas	Chêne rouge	Hêtre	2
Douglas	Hêtre		2
Douglas	Hêtre	Mélèze	2
Douglas	Merisier		2
Hêtre	Epicéa commun		5
Hêtre	Mélèze		3
Hêtre	Mélèze	Chêne sessile ou pédonculé	3
Mélèze	Chêne sessile ou pédonculé		2
Pin sylvestre	Chêne sessile ou pédonculé	Hêtre	4
Pin noir	Hêtre		2

Le tableau 15 présente le nombre d'occurrences des différents schémas de plantation.

Le **mélange intime** est celui qui a été le plus observé, il correspond aux peuplements adultes pour lesquels le schéma de plantation initial n'a pas été retrouvé ou les peuplements issus, tout ou partie, de régénération naturelle. Une partie de ces peuplements est **bien venante**, les entretiens et les éclaircies ont été faits. En revanche, certains peuplements n'ont pas été entretenus ou les essences ne sont **pas adaptées à la station**, le mélange est présent mais les arbres sont de mauvaise qualité.

Les mélanges par **bandes**, alternant trois lignes d'une essence et trois lignes d'une autre, ne sont **pas satisfaisants en termes de conduite sylvicole**. Les arbres des lignes extérieures subissent un **effet de bordure** qui altère leur forme, seuls les arbres des lignes centrales ont un port satisfaisant. Il est donc judicieux d'**augmenter** le **nombre de lignes** par bandes ou d'augmenter l'écartement entre les bandes feuillues et résineuses.

L'alternance de **lignes** résineuses et feuillues est aussi bien représentée avec **10 occurrences**. Cependant, les feuillus sont dépassés par les résineux sur 6 des dispositifs. Les peuplements sont en **retard d'éclaircie** et certains n'ont même jamais été éclaircis.

Tableau 15 — Répartition des schémas de plantation observés sur le terrain et leur occurrence

Schéma	Nb occurrence
Bande	5
Bande et ligne	5
Bouquet	4
Ligne	10
Pied à pied	4
Mélange intime	22

3.2.2 Présentation de peuplements mixtes observés

La figure 9 représente schématiquement un peuplement mixte visité dans une propriété dans l'Aisne. Le peuplement est issu d'une plantation de **1991** et est situé sur une station correspondant à l'unité stationnelle 12 du guide des stations forestières du Soissonnais : **Chênaie sur sable neutre et frais**. Les essences sont en limite de station car le sol pouvant devenir sec en situation de sécheresse posera problème, particulièrement aux Epicéas communs. Cependant le sol n'est **pas argileux** et ne présente **pas d'engorgement**, caractéristiques craintes par l'Epicéa commun et le Chêne rouge d'Amérique ni d'**horizon calcaire** craint par le Chêne rouge. Les Epicéas comme les Chênes rouges ne présentent pas de problèmes sanitaires.

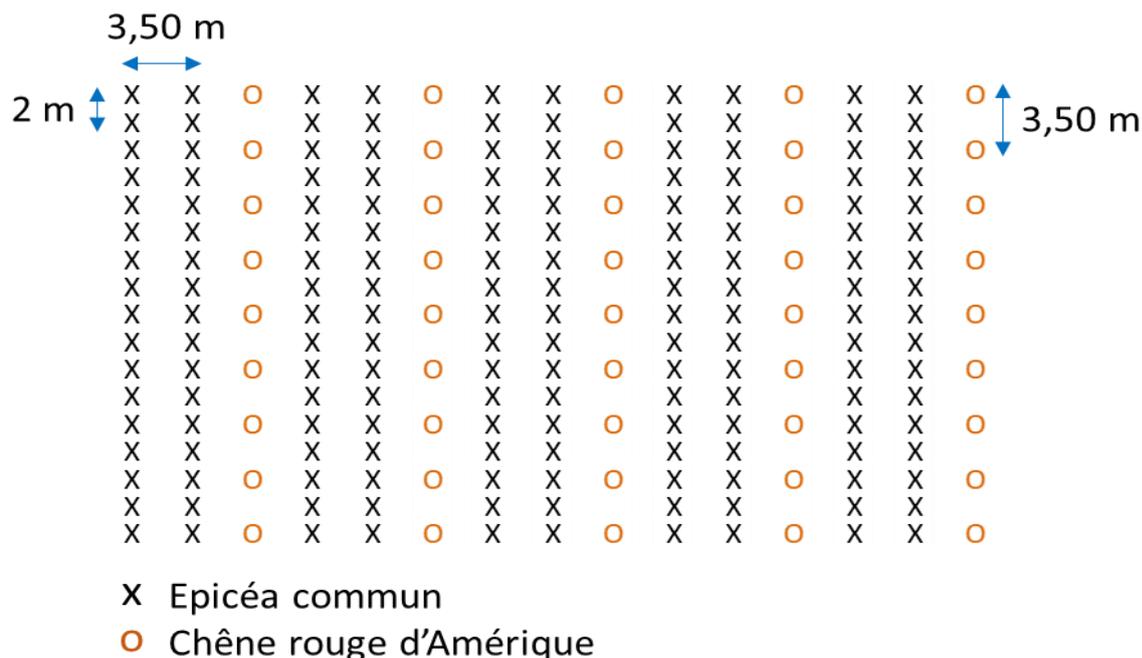


Figure 9 — Schéma de la plantation mixte par bandes et lignes de Chênes rouge d'Amérique et d'Epicéas communs

Les chênes ont été élagués tardivement sur 6 m. Une éclaircie sélective a été réalisée en 2017. La surface terrière actuelle est de 27 m²/ha, la densité de plantation initiale étant d'environ 1 200 plants/ha. Les diamètres moyens et les hauteurs moyennes sont résumés dans le tableau 16.

Tableau 16 — Diamètres moyens et hauteurs moyennes

Essence	Diamètre moyen	Hauteur moyenne
Epicéa commun	27	19
Chêne rouge d'Amérique	34	19

Ce peuplement mixte est une réussite, le mélange a été **maintenu dans le temps** et les deux essences ont eu assez d'espace pour se développer. En revanche la forme des arbres est **peu satisfaisante**, notamment celle des chênes. La **taille** et l'**élagage** des arbres doivent être faits pour obtenir de belles formes d'arbres, ici le mélange mixte n'a pas permis à lui seul une amélioration de la qualité des arbres. Une deuxième éclaircie en faveur des beaux Chênes rouge et Epicéas est à prévoir dans les prochaines années.



Figure 10 — Photo du peuplement mixte par bandes et lignes Chênes rouge d'Amérique et d'Epicéas communs Source : Camille Almeida Araujo.

La figure 11 représente schématiquement un peuplement mixte visité dans le Nord. Le peuplement est issu d'un BTA de **1995**, l'objectif initial était la production de sapin de Noël. Le peuplement repose sur l'unité stationnelle 9 du guide des stations forestières Ardenne primaire : **Chênaie-hêtraie sur sol acide drainé caillouteux**. La station est adaptée pour le Hêtre et l'Epicéa, mais limite pour le Merisier vis-à-vis de l'acidité et de la faible profondeur du sol (plus de 25% d'éléments grossier à 40 cm). Les essences ne présentent actuellement pas de problèmes sanitaires.

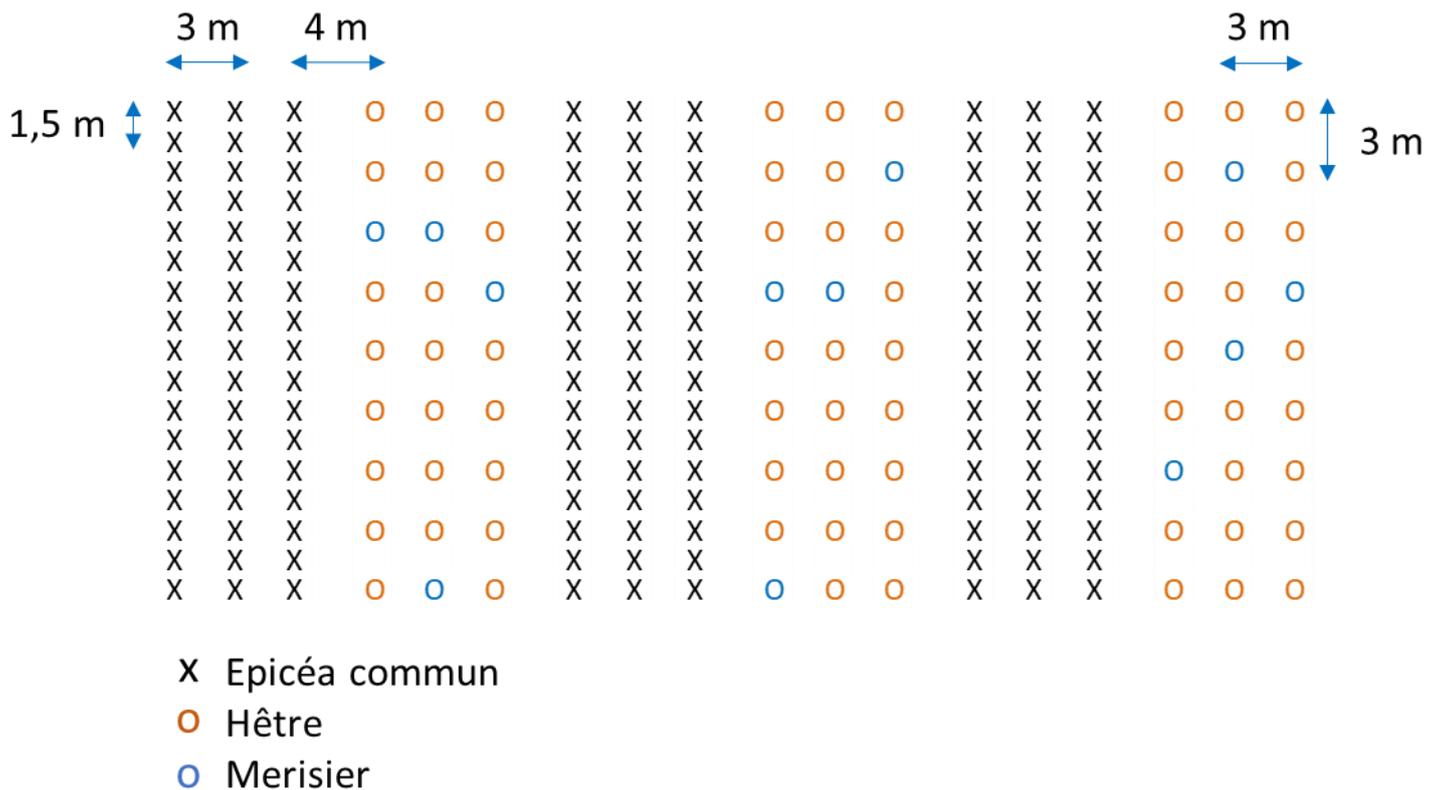


Figure 11 — Schéma de la plantation mixte par bandes de Hêtres, Merisiers et Epicéas communs

Une partie des Hêtres et des Merisiers a été **élaguée sur 6 m**. Aucune éclaircie n'a été réalisée, la densité de plantation initiale étant d'environ **1 600 plants/ha**. Les diamètres moyens et les hauteurs moyennes sont résumés dans le tableau 17.

Tableau 17 — Diamètres moyens, hauteurs moyennes et coefficient d'élanacement

Essence	Diamètre moyen	Hauteur moyenne	Coefficient d'élanacement (H/d)
Epicéa commun	19	20	105
Hêtre	21	17	81
Merisier	21	18	86

Ce peuplement mixte est en **échec**, le mélange a été maintenu dans le temps mais les essences n'ont pas assez d'espace pour se développer. La forme des Hêtres et des Merisiers, malgré l'élagage, n'est pas satisfaisante. Les Epicéas n'ont pas été élagués. Le peuplement est en **retard d'éclaircie**, il faudrait exploiter une ligne systématique d'Epicéa et réaliser une éclaircie sélective légère dans les feuillus, puis revenir tous les 5/6 ans pour réaliser des éclaircies sélectives. Cependant, il est fort à parier que les essences ne vont pas ou très peu réagir à des éclaircies si tardives. De plus, les coefficients d'élanacement sont supérieurs à 80 ce qui signifie que le **peuplement** est **instable**. Lors des éclaircies il faut veiller à être progressif pour ne pas le déstabiliser. Au vu du faible volume à exploiter et de la qualité médiocre des produits, leur **commercialisation** risque d'être **complexe et peu rentable**.



Figure 12 — Photo du peuplement mixte par bandes de Hêtres, Merisiers et Epicéas communs
Source : Camille Almeida Araujo.

3.2.3 Hypothèses tirées du terrain

Les causes d'échecs des peuplements sont majoritairement le **manque d'entretien** (retard d'éclaircie, taille de formation) et les **écartements insuffisants** entre feuillus et résineux. Quelques peuplements ne sont pas adaptés à la station. Dans le cas des schémas de plantation pied à pied et par lignes les essences associées sont proches spatialement et interagissent donc plus. D'un point de vue cultural, il est préférable de pratiquer des **écartements importants** entre les résineux et les feuillus pour ce type de schéma et d'éviter d'associer des essences ayant des **rythmes de croissance** trop différents. Ces précautions limiteront la perte d'une essence ou du mélange.

3.2.4 Synthèse des apports de la campagne de terrain

La bibliographie et les entretiens n'ont pas permis d'obtenir de réponses sur les **écartements** à pratiquer entre résineux et feuillus. De même, ces deux phases n'ont pas apporté de réponses sur des **itinéraires** types pour les peuplements mixtes. La phase de terrain a en partie répondu à ces questionnements via les relevés effectués. Les retours du terrain ont permis de connaître les **causes d'échec** des plantations mixtes et de confirmer celles déjà obtenues par les entretiens. Cette phase a aussi permis d'enrichir la liste d'**associations résineux/feuillus**, amorcée par l'étude bibliographique et les entretiens.

Les **attentes** des acteurs ont pu transparaitre grâce aux entretiens, qui ont mis en lumière un questionnement plus général sur l'avenir de la forêt face aux **changements climatiques**. Il est vrai que les peuplements mixtes observés sur le terrain sont adaptés aux conditions climatiques actuelles ; qu'en sera-t-il dans les prochaines décennies ? C'est dans cette idée que des associations avec des essences encore atypiques sont proposées dans les scénarios de plantations mixtes.

IV. Création des scénarios de plantations mixtes

Les scénarios de plantations ont été créés à partir des informations recueillies dans la littérature, auprès des acteurs forestiers et sur le terrain. Ces scénarios sont proposés à titre d'exemple de ce qu'il est possible de faire en matière de plantation mixte. Les références et les retours étant peu nombreux sur le sujet, il n'est pas possible de garantir la réussite des plantations proposées. De plus, les scénarios sont modulables tant au niveau des associations que des écartements ou des schémas.

Le document regroupant les scénarios est disponible en annexe 5.

4.1 Les associations mixtes

La première partie du document présente des propositions d'associations mixtes. Certaines associations ont **déjà été vues** sur le terrain, les autres sont **proposées** pour test. Les couples d'essences dit « à tester » sont composés d'une à deux **essences atypiques**. Par atypique est entendu des essences **exotiques** ou **méridionales**, pas ou peu implantées en région Hauts-de-France ; entre autres le Pin maritime, le Cèdre de l'Atlas ou le Chêne pubescent. Les acteurs forestiers interrogés se questionnent sur le faciès de la forêt dans les prochaines décennies, il a donc été choisi de proposer des dispositifs de plantations mixtes avec des essences potentiellement d'avenir.

Les associations proposées sont ensuite ventilées par type de schéma. Les couples essences-schéma sont réfléchis en fonction des rythmes de croissance et des peuplements observés sur le terrain. Par exemple le Douglas est conseillé en plantation par **bandes** pour éviter qu'il étouffe les feuillus ayant une **croissance plus lente** que lui. Le Douglas peut en revanche être proposé en plantation par **ligne** avec le Chêne rouge qui a un rythme de **croissance plus soutenu**.

4.2 Le choix des écartements entre essences

Les écartements et les densités proposés pour chaque mélange sont tirés d'une **recherche bibliographique**, ces données viennent de documents édités par différents CRPF. Les distances proposées pour les interlignes entre les résineux et les feuillus sont de **4 m**, **7 m** et **8 m**. Elles ont été **déterminées à dire d'expert** grâce aux observations faites lors de la campagne de terrain. Le tableau 18 présente des distances minimales entre essences au stade bois moyen. Ces distances ont permis de définir les distances proposées pour les interlignes résineux/feuillus. Ces distances peuvent être réfléchies avec l'installation des cloisonnements. Dans le cas d'un schéma par bande l'interligne résineux/feuillus sera mise en place avec la création des cloisonnements.

Tableau 18 — Distances minimales entre essences au stade bois moyen. Source : Observations faites par POULAIN Gilles (CNPf) et DUPAYAGE Laurent (COFNOR) dans le bois de Beumont Est Nord

Ecartement minimum entre essences	Douglas	Mélèze	Hêtre	Chêne rouge d'Amérique /Châtaignier
Douglas		8 m	6/7 m	8/10 m
Mélèze	8 m		5/6 m	8 m
Hêtre	6/7 m	5/6 m		
Chêne rouge d'Amérique /Châtaignier	8/10 m	8 m		

4.3 Les schémas de plantations

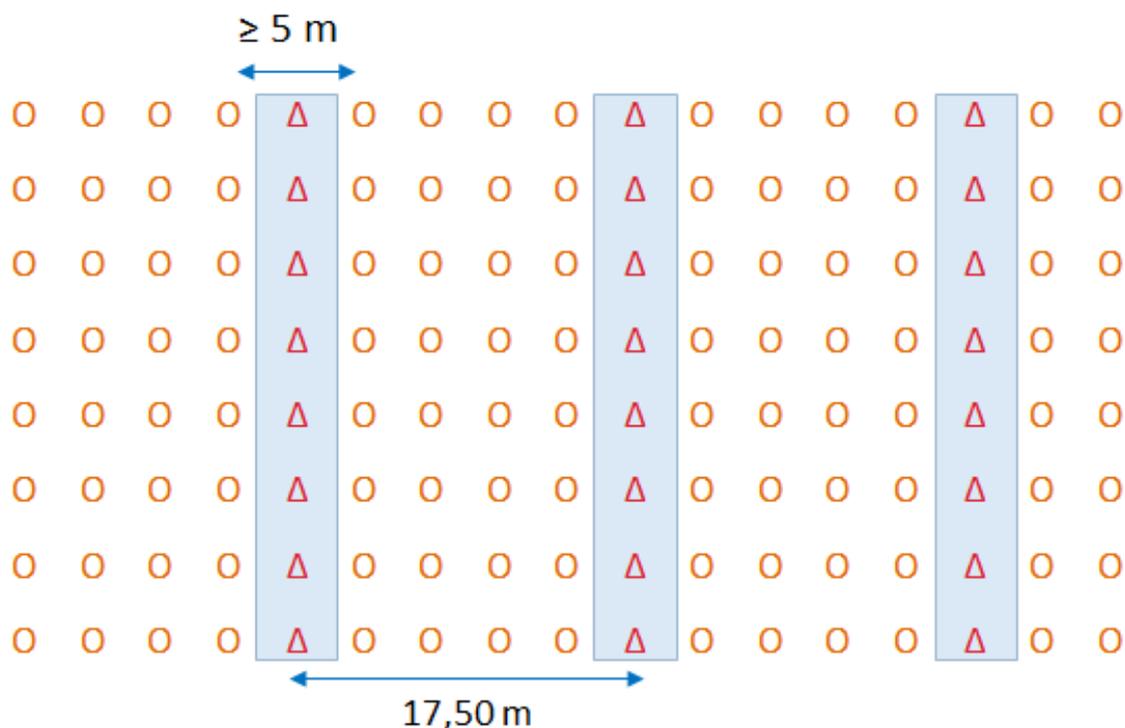
Cinq schémas sont retenus dans les scénarios, le mélange par **bande**, par **ligne**, par **bouquet**, par **placeau d'enrichissement** dans le recru et un mélange ligne/pied à pied. Le mélange **pied à pied** a été écarté car les retours des entretiens le présentent comme **complexe** à la mise en place de la plantation et pour son suivi. De plus, au vu de la **différence de croissance** entre résineux et feuillus ce schéma est peu adapté. Le mélange par **parquet** de plus de 50 ares n'est pas présenté car l'**intérêt du mélange** est questionné, notamment vis-à-vis de la **résilience du peuplement**.

Le mélange par bande de **plus de trois lignes** est conseillé. Les peuplements observés sur le terrain présentent des **effets de bordures** sur les lignes extérieures affectant la croissance des arbres et leur qualité. Augmenter le nombre de ligne et la distance de l'interligne résineux/feuillus permettra de limiter ces effets.

Le mélange par placeau d'enrichissement est une proposition découlant de la **mise en avant par les enquêtés** lors des entretiens de l'importance de l'**utilisation du recru**.

Il est important de réfléchir à la mise en place des cloisonnements d'exploitation lors de la création d'une plantation. Des cloisonnements d'**au moins 5m** de large permettant la **mécanisation** de l'exploitation sont préconisés, en laissant un entraxe de **17,50 m** (figure 13).

Figure 13 — Exemple de schéma de mise en place de cloisonnement



La création de ces cloisonnements pourra se faire via la récolte d'une ligne de **résineux** ou d'**essence à fort potentiel de biomasse**, comme le Bouleau ou l'Aulne de Corse, préalablement installée. Il est aussi possible de ne pas planter les cloisonnements et d'y **laisser s'installer le recru**, sauf dans le cas de BTA ou d'une forte concurrence avec la végétation herbacée (fougère aigle, molinie etc.). En fonction de l'écartement choisi entre les lignes, les cloisonnements pourront être assez larges (> 6 m), l'installation du recru permettra de réduire cette emprise.

Pour le mélange par **plateau d'enrichissement**, la création de cloisonnements verticaux et horizontaux tous les **13 m** par récolte ou mise à terre du recru est proposée.

4.4 Itinéraire technique adapté aux plantations mixtes

Le tableau 19 présente l'itinéraire technique proposé pour le suivi d'une plantation mixte. Celui-ci peut être modulé en fonction du budget et des habitudes de gestions. La principale difficulté pour la gestion d'un peuplement mixte est le **décalage du calendrier** entre les feuillus et les résineux. Il faut réussir à combiner les interventions pour **réduire les coûts** et limiter le nombre de passage dans le peuplement. Tout au long de la vie du peuplement il faut rester vigilant et **intervenir au bon moment** pour que le **mélange perdure**.

Les feuillus sont de préférence à protéger contre le gibier avec des **protections plastiques** de type gaine, les résineux (sauf les pins) traités deux fois par an avec le répulsif à base de graisse de mouton **Trico®**.

De façon à **limiter les coûts** des dégagements mécaniques, seulement **une interligne sur deux** est gyrobroyée à chaque passage. L'interligne n'ayant pas été dégagée la fois précédente le sera au passage suivant.

Tableau 19 — Exemple d'itinéraire sylvicole pour une plantation mixte. Sources : Brochures CRPF HdF, BFC, IdF-CVdL

Année	Intervention	Dimension
n - 1 à n	Préparation du terrain	
n	Mise en place des plants et des protections	
n + 1	Traitement Trico® des résineux 2 fois par an, regarnis éventuels	
	Dégagement mécanique au gyrobroyeur	
n + 2	Traitement Trico® des résineux 2 fois par an	
	Dégagement mécanique au gyrobroyeur + dégagement sur la ligne/bloc manuel	
n + 3	Traitement Trico® des résineux 2 fois par an	
n + 4	Dégagement mécanique au gyrobroyeur + dégagement sur la ligne/bloc manuel	
	Gyrobroyage, taille de formation	
n + 6	Gyrobroyage, taille de formation	
n + 8	Gyrobroyage, taille de formation	
n + 10	Elagage des résineux à 3 m	Hauteur moyenne 8-10 m Diamètre des branches à élaguer < 3 cm
	Elagage des feuillus à 2 m	Diamètre des branches à élaguer < 3 cm
	Enlèvement des protections	Diamètre moyen 10-12 cm
n + 12	Dépressage/détourage	
	Prédésignation et élagage des feuillus à 4 m	
n + 15	Désignation et élagage des feuillus à 6 m	
n + 18	Dépressage/détourage	
	Désignation et élagage des résineux à 6 m	Hauteur moyenne 12-15 m
n + 20	Ouverture des cloisonnements d'exploitation	

Le coût estimé de mise en place et de suivi sur 12 ans d'une plantation mixte varie de **6 800 à 9 585 €/ha**. Le détail des coûts est précisé dans le tableau 20. Les coûts d'installation de la plantation représentent presque la moitié du coût total.

Tableau 20 — Estimation du coût de mise en place et de suivi sur 12 ans d'une plantation mixte
Sources : Brochures CRPF HdF, BFC, IdF-CVdL

Année	Intervention	Coût TTC
n - 1 à n	Préparation du terrain	3 000 - 4 500 €/ha
n	Mise en place des plants et des protections	
n + 1	Traitement Trico® des résineux 2 fois par an, regarnis éventuels	200 - 240 €/ha
	Dégagement mécanique au gyrobroyeur	150 - 250 €/ha
n + 2	Traitement Trico® des résineux 2 fois par an	200 - 240 €/ha
	Dégagement mécanique au gyrobroyeur	150 - 250 €/ha
	Dégagement manuel sur la ligne/bloc	250 - 300 €/ha
n + 3	Traitement Trico® des résineux 2 fois par an	200 - 240 €/ha
n + 4	Dégagement mécanique au gyrobroyeur	150 - 250 €/ha
	Dégagement manuel sur la ligne/bloc	250 - 300 €/ha
	Taille de formation	300 - 450 €/ha pour 600 plants/ha
n + 6	Dégagement mécanique au gyrobroyeur	150 - 250 €/ha
	Taille de formation	350 - 400 €/ha pour 400 plants/ha
n + 8	Dégagement mécanique au gyrobroyeur	150 - 250 €/ha
	Taille de formation	400 - 450 €/ha pour 250-300 plants/ha
	Elagage des feuillus à 2 m	200 - 250 €/ha pour 120-200 tiges/ha
n + 10	Elagage des résineux à 3 m	300 - 350 €/ha pour 120-150 tiges/ha
	Enlèvement des protections	400 - 500 €/ha
n + 12	Dépressage/détourage	400 - 600 €/ha
	Prédésignation et élagage des feuillus à 4 m	300 - 350 €/ha pour 150 tiges/ha
X	Coût d'installation (~ 50% du coût total)	3 000 - 4 500 €/ha
	Coût de suivi	3 800 - 5 085 €/ha
	Total	6 800 - 9 585 €/ha

V. Limites et perspectives

Les objectifs de l'étude ont été atteints, cependant des améliorations pourront être apportées pour la compléter et l'enrichir par la suite.

Dans la phase bibliographique, un **historique** de l'évolution des plantations mixtes en France et en Hauts-de-France aurait permis de connaître les raisons leur développement par le passé, et de comprendre pourquoi, et comment les mettre en avant aujourd'hui. Cela n'a pas été réalisé dans cette étude par manque de temps et difficultés d'accès à ces informations.

Les **interactions entre essences** sont de plus en plus étudiées de nos jours, par exemple le travail de SIMARD (2009) sur les interactions intraspécifiques des Douglas ou de PHILIP et al. (2010) sur les interactions

interspécifiques entre le Douglas et le Bouleau. Ces aspects ont été cités dans l'étude comme des avantages des plantations mixtes. En revanche, les scénarios proposés ne prennent pas en compte ces questions. Une étude plus approfondie sur la synécologie aurait permis de proposer des associations d'essences pour lesquelles des interactions positives sont démontrées dans la littérature. Cela aurait aussi permis de déceler des associations à proscrire dans le cas d'interactions négatives pouvant diminuer la qualité des arbres.

La problématique de la **régénération**, naturelle ou non, des plantations mixtes n'a pas été abordée au cours du stage. Cependant, cette facette est non négligeable d'autant plus dans le contexte des changements climatiques et mérite d'être étudiée et documentée par la suite.

Au cours de l'étude les **plantations** ont souvent été **remises en cause**, en effet les récentes évolutions du climat leur portent préjudice et questionne leur avenir. Bien qu'écartées lors de cette étude, l'utilisation du recru, la plantation sous couvert ou la gestion à couvert continu sont des alternatives possibles à la plantation sur terrain nu.

Les **associations mixtes** proposées sont pour la plupart composées de **deux essences**, par la suite ces associations pourront être complétées et composées de plus de deux essences.

Lors de la phase d'entretien, le panel d'enquêtés aurait pu être plus exhaustifs. **Plus de propriétaires** aurait pu être interrogés via un tirage aléatoire par tranche de surface sur la base de données du CRPF. Cela aurait permis de recueillir l'avis de propriétaires moins investis dans le monde forestier que ceux qui ont été consultés.

Les résultats de ces entretiens ont une valeur qualitative et non quantitative. Il sera intéressant par la suite de créer un **questionnaire** à questions fermées (échelle de notation de Likert : pas du tout d'accord à tout à fait d'accord) reprenant les différents sous-thèmes et les scénarios pour les confrontés à l'avis d'un plus grand échantillonnage. Ce type de questionnaire permettra d'obtenir des résultats plus probants et **statistiquement exploitables**. De plus, ce questionnaire permettra d'avoir un retour des acteurs forestiers sur les conclusions de l'étude et les scénarios créés.

Les projet ESPERANCE, mené au niveau national, et **RAISON**, mené par le CRPF Normandie, s'intéressent aux essences atypiques pouvant être adaptées aux changements climatiques. Les projets sont en cours, mais il sera intéressant de confronter les résultats de ceux-ci à ceux de cette étude. Les essences et les potentielles associations mixtes qui auront été étudiées pourront **enrichir les propositions d'associations mixtes** faites dans les scénarios.

La **motivation des propriétaires** forestiers, s'appuyant sur celle de leur gestionnaire, est la clé de la réussite des plantations forestières, les points forts des plantations mixtes révélé par cette étude doivent être mis en avant pour leur déploiement. Un itinéraire technique de plantation mixte et le détail des coûts de mise en place et des premiers entretiens de celui-ci ont été établis. Pour valider rigoureusement la **faisabilité des plantations mixtes** présentées, une **analyse technico-économique** des scénarios est nécessaire. Cette analyse sera un support de plus pour inciter à la réalisation de plantations mixtes.

Enfin, l'étude s'est focalisée en **forêt privée** et il aurait été intéressant d'étudier les implantations existantes en **forêt publique**.

Conclusion

L'étude porte sur l'**état de l'art des plantations mixtes** et leurs **perspectives d'avenir** en région Hauts-de-France. Les peuplements mixtes sont des systèmes complexes encore peu étudiés de nos jours, bien qu'apportant de nombreux **avantages** face aux **incertitudes climatiques** et du **marché du bois**. Les forestiers en sont conscients et les entretiens ont montré que les propriétaires et les gestionnaires ne sont **pas réticents** à la mise en place de plantations mixtes. Leur rareté s'explique par le **manque de références** sur le sujet, aussi bien dans la **littérature** technique que sur le **terrain**, et par conséquent chez les forestiers.

Parmi les peuplements mixtes visités, peu ont reçu un **suivi adéquat**. Cette observation rejoint les conclusions précédentes sur le défaut d'**outils techniques** clés en main pour les gestionnaires et les propriétaires. La campagne de terrain a permis de déceler les **points critiques** de la gestion des plantations mixtes. Elle a également permis d'élargir le panel d'associations d'essences et de conception de plantation mixte.

Un **besoin d'expérimentation** et de **documentation technique** sur les plantations mixtes a été identifié. Pour commencer à répondre à ces besoins, des **scénarios** de plantations mixtes **à tester** ont été créés à partir des éléments de bibliographies, des retours des entretiens et de la campagne de terrain. Ces différentes phases ont permis de construire des propositions **en accord avec les besoins** des acteurs forestiers, les potentialités des essences et du terrain.

La problématique des changements climatiques étant inévitable, des propositions l'intégrant ont été faites. Ces propositions pourront être complétées par des études sur les essences adaptées au futur climat des Hauts-de-France.

Les résultats et les conclusions obtenus par cette étude serviront de base pour la réalisation de **document de vulgarisation** à destination des acteurs du monde forestier. Ils seront valorisés lors de **formations** ou de **réunions d'informations** sur les plantations mixtes. Ces événements permettront d'entamer un dialogue qui apportera de **nouveaux éléments** et fera **évoluer l'étude**.

Bibliographie

- ANNE, Hélène, 2009. *Etude de faisabilité : Produire plus de bois et investir dans le renouvellement régional des résineux. tout en préservant mieux la biodiversité forestière.*
- BALANDIER, Philippe, DUMAS, Yann, PHILIPPE, Gwenaël, GAUDIO, Noémie, GINISTY, Christian, 2008. *Réseaux de reconstitution après tempête : Régénération naturelle du pin sylvestre en forêt mélangée chêne-pin de l'Orléanais.* Forêt - entreprise No. 183, pp. 24-27.
- BARBIER, Stéphane, GOSSELIN, Frédéric, BALANDIER, Philippe, 2008. *Le mélange d'essences est-il favorable à la diversité végétale en forêt ?.* RFF LX, pp. 159-167.
- BECQUEY, Jacques, 1992. *A quelle densité planter des feuillus précieux ? : Quelques éléments de réflexion....* RFF XLIV, pp. 71-76.
- BECQUEY, Jacques, 2006. *L'accompagnement du planteur.* Forêt - entreprise No. 170, pp. 56-57.
- BECQUEY, Jacques, 2008. *Les plantations mélangées par lignes. remises au goût du jour.* Forêt - entreprise No. 178, pp. 39-42.
- BECQUEY, Jacques, 2008. *Quelle plantation mélangée pour quel objectif ?.* Forêt - entreprise No. 178, pp. 10-11..
- BECQUEY, Jacques, 2011. *Retour sur un mélange... de connaissances et d'expériences.* Forêt Wallonne No. 111, pp. 16-22.
- BECQUEY, Jacques, 2013. *Boisement mélangé : quand et comment ?.* Forêt - entreprise No. 209, pp. 18-19.
- BLANCHIN, Julien, SINOUE, Eric, 2017. *La gestion des peuplements mélangés 1ère partie : concevoir son projet de plantation.* Bulletin de liaison des sylviculteurs Bretons No. 84, pp. 2-3.
- BLANCHIN, Julien, SINOUE, Eric, COLOMBET, Michel, 2018. *La conduite des plantations mélangées.* Bois et Forêt de l'Ouest No. 1, pp. 2-4.
- BOCK, Jérôme, RICHTER, Claudine, FRANC, Alain, 2005. *Panorama : les forêts mélangées dans le Nord de la France.* Rendez-vous techniques No.10, pp. 36-42.
- BOWLER, Diana, BUYUNG-ALI, Lisette, KNIGHT, Teri M., PULLIN, Andrew, 2010. *Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence.* Landscape and urban planning.
- BRANQUART, Étienne, DE KEERSMAEKER, Luc, 2010. *Impact de la diversité ligneuse sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers : Effet du mélange d'essences sur la biodiversité forestière.* Forêt Wallonne No. 106, pp. 17-26.
- BRISTOW, Mila, NICHOLS, Doland J, VANCLAY, Jérôme K, 2006. *Mixed species plantations: prospects and challenges.*
- CALLAWAY, Ragan M, 1995. *Positive interactions among plants.* The Botanical Review 61, pp. 306-349.
- CDAF, 2008. *Guide n° 004 Normes de travaux forestiers : Méthodes de plantation.*
- CDAF, 2008. *Guide n° 007 Orientation sylvicole : Peuplements mélangés Atouts. modalités. perspectives.*
- CNPF, 2019. *Label Bas Carbone : Méthode boisement.*

- CHAPMAN, G. W, ALLAN, T.G, 1979. *Techniques de plantation forestière*.
- CHAROY, Pascal, 2020. *La diversité d'essences éloigne les ravageurs*. Forêts de France No. 630, pp. 30-31.
- CLAESSENS, Hugues, 2016. *Quelques considérations pour adapter nos forêts aux changements climatiques*. Silva Belgica Janvier-Février, pp. 20–29.
- COLIN, Francis, BRUNET, Yves, VINKLER, Isabelle, DHOTE, Jean-François, 2008. *Résistance aux vents forts des peuplements forestiers. et notamment des mélanges d'espèces*. RFF LX, pp. 191-205.
- CRPF HdF, 2018. *La forêt en HdF : Tout savoir sur la forêt publique et privée*. CRPF Hauts-de-France.
- DDT Picardie, 2019. *Sous-mesure 8.1 du PDR Picardie 2014-2020 « Aide au boisement et à la création de surfaces boisées » Appel à projets 2020 relatif à la Picardie*.
- DDTM Nord - Pas de Calais, 2019. « *Aide au boisement et à la création de surfaces boisées* » TO 08.01.01 du programme de développement rural 2014-2020 du Nord – Pas de Calais Appel à projets 2020.
- DEL RÍO, Miren, CONDÉS, Sonia, PRETZSCH, Hans, 2013. *Mixing effect on volume growth of Fagus sylvatica and Pinus sylvestris is modulate by stand density*. Forest ecology and management v.292, pp. 86-95.
- DEL RÍO, Miren, CONDÉS, Sonia, PRETZSCH, Hans, 2014. *Analyzing size-symmetric vs. size-asymmetric and intra- vs. inter-specific competition in beech (Fagus sylvatica L.) mixed stands*. Forest ecology and management v.325, pp. 90-98.
- DEULEUZE, Christine, 2006. *Plantations mélangées : une alternative aux plantations monospécifique d'épicéa ?*. Forêt - entreprise No. 170, pp. 13.
- DE VAISSIÈRE, J., POURTET, J., TURPIN, P., CHEVALIER, Y., 1960. *Notes forestières sur l'ouest de l'URSS de Léningrad à la Géorgie*. RFF, pp. 328-407.
- DHÔTE, Jean-François, CORDONNIER Thomas, DREYFUS Philippe, LE GOFF Noël, *Quelques enjeux autour des forêts hétérogènes tempérées*. Rendez-vous techniques No. 10, pp. 22-31. ONF. 2005.
- DI PLACIDO, Jonathan, BIGOT, Maryse, MICHAUD Daniel, DEULEUZE, Christine, PAIN Olivier, *Plantations mélangées d'épicéa commun et de bouleau*. Forêt - entreprise No. 170, pp. 19-20. CNPF. 2006.
- DI PLACIDO, Jonathan, COLSON Vincent, MICHAUD Daniel, DEULEUZE, Christine, *Plantations mélangées d'épicéa commun et de douglas*. Forêt - entreprise No. 170, pp. 16-18. CNPF. 2006.
- DI PLACIDO, Jonathan, DEULEUZE, Christine, BERTHELOT Alain, PAIN Olivier, 2006. *Plantations mélangées d'épicéa et de feuillus précieux*. Forêt - entreprise No. 170, pp. 14-15.
- DOSSIER, Caroline, PAPLORAY, 2001. Vincent, *Intérêt des mélanges d'essences en plantation : étude réalisée à partir de boisements mélangés en Basse-Normandie*.
- DRAAF Hauts-de-France, 2019. *Programme régional de la forêt et du bois 2020-2030 v2*. Région Hauts-de-France.
- DRAAFs, 2014. *Guide technique Réussir la plantation forestière : Contrôle et réception des travaux de reboisement 3ème édition*.
- DREAL Aquitaine, 2013. *Atelier «Massif forestier des Landes de Gascogne» : Valeurs et objectifs pour le massif forestier des Landes de Gascogne Partie I - Les valeurs du massif*.

- DU PUY, Solène, DERRIÈRE, Nathalie, WURPILLOT, Stéphanie, 2017. *La forêt plantée en France : état des lieux*. L'IF La feuille de l'Inventaire Forestier National.
- DUYCK, Daniel, 2004. *Sylviculture des feuillus à croissance rapide. Sylviculture des feuillus à croissance rapide*.
- ENNOS, Richard, COTTRELL, Joan, ELISABETH HALL, Jeanette, O'BRIEN, David, 2018. *Is the introduction of novel exotic forest tree species a rational response to rapid environmental change ? - A British perspective*. Forest ecology and management v.432, pp. 718-728.
- GAUDIO, Noémie, BALANDIER Philippe, DUMAS Yann, GINISTY, Christian, 2011. *Régénération naturelle du pin sylvestre sous couvert : contrainte de la végétation monopoliste de sous-bois en milieu acide*. Rendez-vous techniques No. 33-34. ONF.
- GALLET, Christiane, PELLISSIER François, 2002. *Interactions allélopathiques en milieu forestier*. RFF LIV, pp. 567-576.
- HECTOR, Andy, HAUTIER, Y., SANER, P., WACKER, L., BAGCHI, R., JOSHI, J., SCHERER-LORENZEN M., SPEHN, E. M., BAZELEY-WHITE, E., WEILENMANN, M., CALDEIRA, M. C., DIMITRAKOPOULOS, P. G., FINN, J. A., HUSS-DANELL, JUMPPONEN, K., A., MULDER, C. P. H., PALMBORG, C. PEREIRA, J. S., SIAMANTZIOURAS, A. S. D. TERRY, A. C., TROUMBIS, A. Y., SCHMID, B., LOREAU, M., 2010. *General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding*. Ecology v. 91. No. 8, pp. 2213-2220.
- IGN, *BD Forêt*® 2014. *Version 2 : Descriptif de contenu*.
- IGN, 2019. *Les forêts des Hauts-de-France*.
- INRA, 2010. *Les forêts mélangées moins infestées par les insectes ravageurs*.
- JACTEL, Hervé, BROCKERHOFF, Eckehard, DUELLI, Peter, 2005. *A Test of the Biodiversity-Stability Theory: Meta-analysis of Tree Species Diversity Effects on Insect Pest Infestations. and Re-examination of Responsible Factors*. Ecological studies v. 176, pp. 235-262.
- JACTEL, Hervé, BROCKERHOFF, Eckehard, 2007. *Pourquoi les forêts mélangées sont plus résistantes aux attaques d'insectes ravageurs*. REGEFOR 2007, Atelier Recherche et Gestion Forestière « Forêts mélangées : quels scénarios pour l'avenir? », 26-28 Juin 2007, Nancy (Champenois).
- JACTEL, Hervé, GRITTI, Emmanuel S., DRÖSSLER, Lars, FORRESTER, David I., MASON, W. L., MORIN, Xavier, H. PRETZSCH, B. CASTAGNEYROL, 2018. *Positive biodiversity-productivity relationships in forests: Climate matters*. Biology letter v.14, pp. 1-4.
- JACTEL, Hervé, 2018. *Plaidoyer pour les forêts mélangées. Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité*. pp. 1-3.
- KELTY, Matthew J, 2006. *The role of species mixtures in plantation forestry*, Forest ecology and management v.233, pp. 195-204.
- KORBOULEWSKY, Nathalie, BALANDIER, Philippe, DUMAS Yann, GOSSELIN Marion, MARELL Anders, PEROT, Thomas, 2020. *Quels intérêts et limites du mélange d'essence face aux changements globaux ?*. Forêt - entreprise No. 252, pp. 60-64.
- LANDEAU, Sandrine, LANDMANN, Guy, 2008. *Les peuplements forestiers mélangés. Introduction aux ateliers Recherche et Gestion forestière (Regefor) 2007*. RFF LX, pp. 99-105.
- LANIER, Louis. 1992. *La forêt doit-elle être mélangée ?*. RFF XLIV, pp. 105-128.

- LEFÈVRE, François, FADY, Bruno, JEAN, Florence, DAVI, Hendrik, PICHOT, Christian, ODDOU-MURATORIO, Sylvie, 2015. *Les processus biologiques de réponse des arbres et forêts au changement climatique : adaptation et plasticité phénotypique*. Innovations Agronomiques 47, pp. 63-79.
- LEGAY, Myriam, CORDONNIER, Thomas, DHOTE, Jean-François, 2008. *Des forêts mélangées pour composer avec les changements climatiques*. RFF LX, pp. 181-190.
- LEGAY, Myriam, LE BOULER Hervé, 2014. *Eléments d'histoire et de répartition géographique des essences forestières introduites en France métropolitaine*. Projet NOMADES - Fascicule 1.
- LOREAU, Michel, DOWNING, Amy L., EMMERSON, Mark C., GONZALEZ, Andrew, MARTINY, Jennifer B.H., INCHAUSTI, Pablo, JOSHI, Jasmin, NORBERG, J., SALA, O., 2002. *A new look at the relationship between diversity and stability*. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives, pp. 79-91. Oxford University Press.
- LU, Huicui, MOHREN, G.M.J., DEL RÍO, Miren, SCHELHAAS, Mart-Jan, BOUWMAN, Meike, STERCK, Frank J., 2018. *Species Mixing Effects on Forest Productivity: A Case Study at Stand-, Species- and Tree-Level in the Netherlands*. Forest v.9.
- MALLET, J, 1963. *Réflexion et observation sur quelques mélanges résineux - feuillus*. RFF, pp. 537-540.
- MCNAUGHTON, Samuel J, 1977. *Diversity and Stability of Ecological Communities: A Comment on the Role of Empiricism in Ecology*. The American Naturalist.
- MEREDIEU, Céline, BAILLY, Alain, BASTIEN, Jean-Charles, BERTHELOT, Alain, CAILLY, Priscilla, DANJON, Frédérique, FIQUEPRON Julien, GIRARD, Sabine, MARRON, Nicolas, MERZEAU, Dominique, ORAZIO, Christophe, PASTUSZKA, Patrick, RAFFIN, Annie, RICHTER Claudine, RIOU-NIVERT Philippe, 2019. *Définir une densité de plantation comment et pour quels objectifs ?*. Colloque « Dernières innovation sur la plantation forestière », 19 mars 2019, Paris.
- MICHALET, Richard, PAGES, Jean-Philippe, SACCONI, Patrick, BRUN, Jean-Jacques, 2008. *Les interactions entre espèces d'arbres dans les mélanges illustrées par le cas des feuillus et des conifères dans les forêts de montagne*. RFF LX, pp. 139-153.
- MICHELOT, Alice, GACHET, Sophie, LEGAY, Myriam, LANDMANN, Guy, 2013. *L'autécologie des essences forestières et son intégration dans les outils d'aide à la décision synthèse et évaluation : Etude menée dans le cadre du projet TRAITAUT « Traits fonctionnels et autécologie des essences forestières »*.
- MORNEAU, François, DUPREZ, Cédric, HERVE, Jean-Christophe, 2008. *Les forêts mélangées en France métropolitaine. Caractérisation à partir des résultats de l'Inventaire forestier national*. RFF LX, pp. 107-120.
- MORNEAU, François, VALLET, Patrick, TOÏGO, Maude, DALMASSO, Marine, 2016. *Les forêts mélangées*. L'IF La feuille de l'Inventaire Forestier National.
- MOYSES, François, 2020. *Les associations d'essence en plantations mélangées Approches fondamentales et illustrations chênes/résineux*. Silva Belgica No.1, pp. 36-45.
- NEBOUT, Jean-Paul, 2008. *Que faire dans des plantations de chêne et de pin mélangées par bandes ?*. Forêt - entreprise No. 178, pp. 12-16.
- NEBOUT, Jean-Paul, 2008. *A propos des plantations mélangées de Chêne sessile. Pin laricio de Corse et Pin sylvestre*. RFF LX, pp. 279-288.
- NEBOUT, Jean-Paul, 2009. *La plantation par points d'appui : une solution pour reconstituer ou enrichir les chênaies dépérissantes*. Forêt - entreprise No. 184, pp. 58-62.

- NEPVEU, Gérard, 2005. *Est-on en mesure aujourd'hui de prévoir la qualité du bois dans les peuplements hétérogènes ?*. Rendez-vous techniques No. 10, pp. 43-47.
- PAUL, Carola, BRANDL, Susanne, FRIEDRICH, Stefan, FALK, Wolfgang, HÄRTL, Fabian, KNOKE, Thomas, 2019. *Climate change and mixed forests: how do altered survival probabilities impact economically desirable species proportions of Norway spruce and European beech?* Annals of Forest Science.
- PEROT, Thomas, GOREAUD François, GINISTY Christian, 2008. *Quels modèles de croissance pour les peuplements mélangés Exemple du mélange Chêne sessile - Pin sylvestre*. RFF LX, pp. 215-232.
- PEROT, Thomas, DEULEUZE, Christine, JARRET, Pascal, MORNEAU, François, 2011. *Mélange d'essences et productivité application au mélange chêne sessile – pin sylvestre en forêt domaniale d'Orléans*. Rendez-vous techniques No. 33-34, pp. 11-17.
- PEROT, Thomas, VALLET, Patrick, 2012. *Des forêts mélangées. une stratégie pour produire du bois face aux enjeux énergétiques et climatiques ?*. Sciences Eaux & Territoires – Cahier spécial No. 2, pp. 6-11.
- PHILIP, Leanne, SIMARD, Suzanne, JONES, Melanie, 2010. *Pathways for below-ground carbon transfer between paper birch and Douglas-fir seedlings*. Plant Ecology & Diversity v.3, pp. 221-233.
- PICARD, Olivier, LEGAY, Myriam, LANDMANN, Guy, BERGER, Frédéric, RIOU-NIVERT, Philippe, GUILLET, Philippe, REBENDENNE, Matthieu, PEYRON, Alain, BAILLY, Jean-Luc, BELLIN, Isabelle, REYSSET, Bertrand, DUVERNOY, Jérôme, MONDON, Sylvain, 2014. *L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change : Rapport au Premier ministre et au Parlement*. La Documentation française.
- Plantons pour l'avenir, 2019. *Cahier des charges des Appel à projets nationaux « Plantons pour l'avenir » - Fonds de dotation*.
- RAKOTOARISON, Hanitra, CAILLY, Priscilla, DELEUZE, Christine, RICHTER, Claudine, BERTHELOT, Alain, 2015. *Plantations résineuses en conditions forestières : analyse économique des itinéraires dédiés et semi-dédiés pour augmenter la production de bois*. RFF LXVII, pp. 515-538.
- Reforest'Action, 2019. *Cahier des charges des projets de plantation SAISON 2019-20*.
- ROUX, Alice, DHOTE, Jean-François, 2017. *Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050*. Rapport d'étude pour le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, INRA et IGN.
- SARDIN, Thierry, BOCK, Jérôme, BECQUEY, Jacques, 2008. *Les peuplements mélangés : enjeux et interrogations des gestionnaires*. RFF LX, pp. 121-128.
- SCHÜTZ, Jean-Philippe, 1990. *Sylviculture 1: principes d'éducation des forêts*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- SCHÜTZ, Jean-Philippe, 1997. *Sylviculture 2: la gestion des forêts irrégulières et mélangées*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- SIMARD, Suzanne W, 2009. *The foundational role of mycorrhizal networks in self-organization of interior Douglas-fir forests*. Forest Ecology and Management, v. 258, pp. S95-S107.
- SRFB, 2018. *Mieux Exploiter la diversité Le point sur les essais de damiers en mélanges associatif*.
- TOÏGO, Maude, PEROT, Thomas, COURBAUD Benoît, VALLET Patrick, 2016. *Productivité des peuplements mélangés : quels effets des conditions environnementales dans les peuplements bi-spécifiques ?*. Rendez-vous techniques No .53, pp. 46-53.

VANDERMEER, John, 1989. *The ecology of intercropping*, Cambridge university press.

VERHEYEN, Kris, BRANQUART, Étienne, 2010. *La recherche sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes forestiers*. Forêt Wallonne No. 106, pp. 6-16.

VITU, Cyril, 2010. *Renouvellement des peuplements Pensez "mélange des essences" !*. Forêt de France No. 536, pp. 33-35. Forêts de France.

VITU, Cyril, 2013. *Technique : Installation des plantations : le maître mot c'est prévoir*. FLOREAL No. 91, pp. 6-7.

WILLIS, John L., GORDON, Jason S., TANGER, Shaun, BLAZIER, Michael A., SELF Andrew B., BRODBECK, Arnold, 2019. *Managing Mixed Stands: Reassessing a Forgotten Stand Type in the Southeastern United States*. Forest.

WILHELM, Georg Josef, RIEGER, Helmut, 2017. *Stratégie QD. Une gestion de la forêt basée sur la qualité et les cycles naturels*. CNPF et Forêt Wallonne asbl.

Annexes

Annexe 1 : Guides d'entretien

1.1 Guide d'entretien pour les propriétaires forestiers

Introduction

Thèmes

1. Présentation de l'interrogé

- Pourriez-vous vous présenter ? (*niveau d'implication et expérience dans le monde forestier : association, syndicat etc.*)
- Quels sont vos activités/vos engagements en lien avec la forêt ? Votre implication dans le milieu forestier ? Depuis combien de temps ? Origine de l'implication ?
- Nombre de forêts ? Surface ? Seul ou en groupement ? décisionnaire ?

2. Pratiques actuelles du propriétaire

- Taille, morcellement, localisation
- Origine de la propriété (*achat → pourquoi ? héritage, ...*)
- Types de **peuplement**, essences, âges ?
- Quelles **attentes**/quels **objectifs** avez-vous vis-à-vis de votre (la) forêt ?
- D'où proviennent vos connaissances sur la forêt et sa gestion ? (*sources d'informations/formations*)
- Faites-vous appel à un gestionnaire ou autre pour vous aider ?

3. Vision de l'acteur par rapport aux plantations mixtes

- Comment **définissez**-vous un peuplement mélangé ? un peuplement mixte ?
- Que pensez-vous des plantations mixtes ou mélangées ?
- Qu'est-ce qui vous a conduit à le faire ? Qu'est-ce qui vous a empêché de le faire ?
- Connaissez-vous d'autres propriétaires qui ont ce type de plantation dans leur propriété ? Qu'est-ce qui les a convaincus ?

4. Peuplement mélangé/mixte

- Quels mélanges feuillus/résineux connaissez-vous ?
- Quel(s) **schéma de plantation** est le plus adapté au mélange feuillus/résineux ? (*ligne, pied à pied, bouquet, parquet etc.*) Pourquoi ?
- Quel **écartement** choisir ? Entre résineux ? Entre feuillus ? Entre résineux - feuillus ?
- Quels sont les **difficultés** de mise en place, d'entretiens de ces distributions ?
- Comment gérer un tel peuplement ? (*éclaircies, itinéraires, régénération naturelle, maintien du mélange etc.*)
- Quelles sont les **raisons** principales des **échecs** de plantations mixtes ? (*Compétition, autécologie, station, écartement interplant/ligne etc.*)
- Avez-vous des exemples d'association d'essences qui peuvent fonctionner ? qui ne fonctionne pas ?
- Quels sont les **besoins** en matière de recherche et d'expérimentations sur les plantations et les peuplements mixtes ?

5. Pourquoi des peuplements mixtes

- Quels sont pour vous les **avantages** et les **inconvenients** du mélange en général ? du mélange feuillus/résineux ? plantation ou via la régénération naturelle ? *Évoquer les avantages et inconvenients trouvés dans la littérature qui ne sont pas cités par l'interrogé.*
- Quels **freins** identifiez-vous chez les autres propriétaires ?
- Quels-sont les **arguments** à mettre en avant pour **sensibiliser** les propriétaires à la plantation mixte ?

Clôture de l'entretien

Introduction

Thèmes

6. Présentation de l'interrogé

- Pourriez-vous vous présenter ?
- Présentez la structure que vous représentez ? (*Missions de la structure, votre place au sein de l'organisme...*).

7. Pratiques actuelles des propriétaires

- A quel **type de propriétaire** avez-vous couramment à faire ? (Tranche d'âge, intérêt pour la forêt, achat/héritage...)
- Taille, morcellement, localisation des propriétés ?
- Types de **peuplement**, essences, âges, origine ?
- Quels sont les **objectifs** principaux des propriétaires pour leur forêt ? Leurs attentes ?

8. Vision de l'acteur par rapport aux plantations mixtes

- Comment **définissez**-vous un peuplement mélangé ? un peuplement mixte ?
- Que pensez-vous des plantations mixtes ou mélangées ?
- L'avez-vous déjà expérimentée vous-même ?
- Qu'est-ce qui vous a conduit à le faire ? / Qu'est-ce qui vous a empêché de le faire ?
- Quels sont les **freins** ? (pour lui)
- Avez-vous des **propriétaires** qui sont **demandeurs** de ce type de plantation ? Qu'est-ce qui les a convaincus ?
- Pourquoi le proposez-vous ou non à vos propriétaires ? (*Blocage personnel, projection de la part du gestionnaire sur des possibles blocages, tests effectués*)

9. Peuplement mélangé/mixte

- Quels mélanges feuillus/résineux connaissez-vous ?
- Avez-vous des exemples d'association d'essence qui peuvent fonctionner ? qui ne fonctionne pas ?
- Quel(s) **schéma de plantation** est le plus adapté au mélange feuillus/résineux ? (*ligne, pied à pied, bouquet, parquet etc.*) Pourquoi ?
- Quel **écartement** choisir ? Entre résineux ? Entre feuillus ? Entre résineux - feuillus ?
- Quels sont les **difficultés** de mise en place, d'entretiens de ces distributions ? (*durabilité dans le temps*)
- Comment gérer un tel peuplement ? (*éclaircies, itinéraires, régénération naturelle, maintien du mélange etc.*)
- Quelles sont les **raisons** principales des **échecs** de plantations mixtes ? (*Compétition, autécologie, station, écartement interplant/ligne etc.*)
- Quels sont les **besoins** en matière de recherche et d'expérimentations sur les plantations et les peuplements mixtes ?
- Avez-vous changé vos pratiques ou envisagez-vous de les changer (soit en composition d'essences soit en mode d'implantation) sur les plantations mixtes ? si oui quoi ? et pourquoi ?

10. Pourquoi des peuplements mixtes

- Quels sont pour vous les **avantages** et les **inconvenients** du mélange feuillus/résineux ? plantation ou via la régénération naturelle ? *Évoquer les avantages et inconvenients trouvés dans la littérature qui ne sont pas cités par l'interrogé.*
- Quels **freins** identifiez-vous chez vos pairs ? les propriétaires ?
- Quels-sont les **arguments** à mettre en avant pour **sensibiliser** les gestionnaires à la plantation mixte ? les propriétaires ?

Clôture de l'entretien

Introduction

Thèmes

1. Présentation de l'interrogé

- Pourriez-vous vous présenter ?
- Présentez la structure que vous représentez ? (*Missions de la structure, votre place au sein de l'organisme...*).

2. Peuplement mélangé/mixte

- Comment **définissez**-vous un peuplement mélangé ? un peuplement mixte ?
- Quels mélanges feuillus/résineux connaissez-vous ?
- Avez-vous des exemples d'association d'essence qui peuvent fonctionner ? qui ne fonctionne pas ?
- Quel(s) **schéma de plantation** est le plus adapté au mélange feuillus/résineux en termes de **distribution spatiale** ? (*ligne, pied à pied, bouquet, parquet etc.*) de **structure verticale** finale du mélange ? (*mélange principal, mélange d'accompagnement, mélange subordonné*) Pourquoi ?
- Quel **écartement** choisir ? Entre résineux ? Entre feuillus ? Entre résineux - feuillus ?
- Quels sont les **difficultés** de mise en place, d'entretiens de ces distributions ? (*aborder la question de durabilité à moyen et long terme*)
- Comment gérer un tel peuplement ? (*éclaircies, itinéraires, régénération, maintien du mélange etc.*)
- Quelles sont les **raisons** principales des **échecs** de plantations mixtes ? (*Compétition, autécologie, station, écartement interplant/ligne etc.*)
- Quels sont les **besoins** en matière de recherche et d'expérimentations sur les plantations et les peuplements mixtes ?

3. Pourquoi des peuplements mixtes

- Quels sont pour vous les **avantages** et les **inconvenients** du mélange en général ? du mélange feuillus/résineux ? plantation ou via la régénération naturelle ? *Évoquer les avantages et inconvenients trouvés dans la littérature qui ne sont pas cités par l'interrogé.*
- Quels **freins** identifiez-vous au niveau des gestionnaires ? des propriétaires ?
- Quels-sont les **arguments** à mettre en avant pour **sensibiliser** les gestionnaires à la plantation mixte ? les propriétaires ?

Clôture de l'entretien

Annexe 2 : Protocole de relevé suivi lors de la campagne de terrain

Chaque relevé doit être identifier : numéro de PSG, identifiant de la propriété, identifiant du peuplement, date du relevé, opérateurs présents.

2.1 Sondage pédologique et détermination de la station

La récolte de données pédologiques consiste à réaliser un sondage à la tarière jusqu'à un mètres de profondeur, si possible, détermination du pourcentage d'éléments grossiers et de leur nature. La texture a été relevée pour chaque horizon, ainsi que les profondeurs d'apparition de taches d'hydromorphie, en distinguant l'oxydation de la réduction du fer. La présence de calcaire est testée pour chaque horizon avec de l'HCl. Le type d'humus est relevé.

Le type de station forestière est ensuite déterminé à l'aide du guide de station correspondant à la zone où le peuplement étudié se trouve. Un rapide repérage de la flore indicatrice peut être réalisé en cas d'hésitation pour la détermination de la station. Une fois la station trouvée, vérifier que la description faite par le guide correspond à ce qui est observé sur le terrain.

2.2 Description du peuplement

Les informations suivantes sont relevées pour chaque peuplement :

- Essences présentes au stade arboré ;
- Etat sanitaire du peuplement, détermination de la cause si possible ;
- Traces d'exploitation plus au moins récentes, repérage de la présence de souche notamment ;
- Type de peuplement (plantation, semi-naturel, naturel) ;
- Détermination du schéma de plantation si possible ;
- Evaluation globale de la qualité du peuplement par déambulation (rectitude, cylindricité, branchaison, taille et état des nœuds etc.).

2.3 Relevés dendrométrique

Détermination de la surface terrière du peuplement via un tour d'horizon relascopique avec le facteur adéquat, le diamètre des tiges précomptables est de 17,5 cm. Le diamètre et l'essence de l'arbre sont relevés. Le tour d'horizon relascopique permet de compléter l'évaluation globale de la qualité du peuplement.

La hauteur moyenne de chaque essence est prise à l'aide du vertex.

Les écartements entre essences sont relevés avec le vertex.

Annexe 3 : Fiche de relevé terrain

Identifiant propriété	Date	<u>Commentaires pré-terrain :</u>

Numéro de PSG		Opérateurs	
----------------------	--	-------------------	--

<u>Commentaires terrain :</u>

Traces d'exploitation	Etat sanitaire du peuplement	Type de peuplement

Essence 1	Essence 2	Essence 3	Essence 4	Autres essences

<u>Disposition de la plantation :</u>
<u>Commentaire sur la qualité globale du peuplement :</u>

Forme d'humus	
----------------------	--

Caractéristique	Horizon 1	Horizon 2	Horizon 3
Epaisseur horizon (cm)			
Texture			
Structure			
Effervescence terre fine			
Présence d'éléments grossiers			
Abondance EG (%)			
Taille EG (cm)			
Effervescence EG			
Présence EG secondaires			
Abondance EG secondaires (%)			
Taille EG secondaires (cm)			
Effervescence EG secondaires			
Trace d'hydromorphie			
Traces d'oxydation			
Traces de réduction			

Identifiant Peuplement		Facteur relascopique	
-------------------------------	--	-----------------------------	--

Essence	Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Commentaire

Annexe 4 : Tableau des stations forestières relevées sur le terrain

Guide des stations forestières	Unité stationnelle
Plateau Picard, Vimeu, Picardie Verte	6, 7, 9, 11, 14, 15
Artois, Ponthieu, Cambrésis, Santerre, Saint-Quentinois	C3, A2, L2
Vexin, Valois, Vieille France	1, 2, 3, 8
Soissonnais	9, 11, 12, 13
Ardenne Primaire, Hainaut, Thiérache, Champagne humide ardennaise	6, 7, 8, 9, 10, 12
Flandre et Bas-Pays de Flandre	3

Annexe 5 : Proposition de scénarios de plantations mixtes

5.1 Tableau des exemples d'associations mixtes (non exhaustives) vues sur le terrain ou à tester

Essence 1	Essence 2	Essence 3	Essence 4	Statut
Douglas	Châtaignier			Déjà vue ●
Douglas	Chêne rouge			Déjà vue
Douglas	Chêne sessile			Déjà vue *
Douglas	Hêtre			Déjà vue ●
Douglas	Hêtre	Chêne sessile	Merisier	Déjà vue * ●
Douglas	Mélèze	Hêtre		Déjà vue
Douglas	Merisier			Déjà vue ●
Mélèze	Châtaignier			Déjà vue *
Mélèze	Chêne sessile			Déjà vue
Mélèze	Douglas	Châtaignier	Chêne rouge	Déjà vue
Mélèze	Hêtre			Déjà vue
Mélèze	Hêtre	Chêne sessile		Déjà vue
Pin sylvestre	Chêne rouge			Déjà vue *
Pin sylvestre	Chêne rouge	Hêtre		Déjà vue ●
Pin sylvestre	Chêne sessile			Déjà vue *
Pin sylvestre	Chêne sessile	Hêtre		Déjà vue * ●
Pin noir	Hêtre			Déjà vue
Cèdre de l'Atlas	Chêne pubescent			<i>A tester</i> ●
Cèdre de l'Atlas	Chêne sessile			<i>A tester</i> ●
Pin maritime	Chêne rouge			<i>A tester</i> ●
Pin noir	Chêne pubescent			<i>A tester</i> ●
Sapin de Bornmuller	Chêne sessile			<i>A tester</i> ●
Sapin de Nordmann	Hêtre			<i>A tester</i> ●
Sapin de Nordmann	Chêne pubescent			<i>A tester</i> ●

* Déjà vue avec d'autres essences accompagnatrices minoritaires

Sensibilité aux changements climatiques : Forte (●) ; Faible (●).

5.2 Tableau des exemples d'associations mixtes vues sur le terrain et à tester par type de schéma

Schéma	Essence 1	Essence 2	Essence 3	Essence 4	Statut
Bande	Douglas	Châtaignier			A tester** ●
	Douglas	Chêne sessile			A tester**
	Douglas	Hêtre	Chêne sessile	Merisier	A tester** ●
	Douglas	Mélèze	Hêtre		A tester**
	Douglas	Merisier			A tester** ●
	Mélèze	Hêtre			A tester**
	Pin maritime	Chêne rouge			A tester** ●
Ligne	Douglas	Chêne rouge			<i>Déjà vue</i>
	Mélèze	Châtaignier			A tester**
	Mélèze	Chêne sessile			<i>Déjà vue</i>
	Mélèze	Douglas	Châtaignier	Chêne rouge	A tester**
	Mélèze	Hêtre			<i>Déjà vue</i>
	Mélèze	Hêtre	Chêne sessile		A tester**
	Sapin de Nordmann	Hêtre			A tester** ●
	Sapin de Nordmann	Chêne pubescent			A tester** ●
	Sapin de Bornmuller	Chêne sessile			A tester** ●
Bouquet	Pin sylvestre	Chêne rouge			A tester**
	Pin sylvestre	Chêne rouge	Hêtre		A tester** ●
	Pin sylvestre	Chêne sessile			A tester**
	Pin noir	Hêtre			A tester** ●
	Pin noir	Chêne pubescent			A tester**
	Cèdre de l'Atlas	Chêne pubescent			A tester** ●
	Cèdre de l'Atlas	Chêne sessile			A tester** ●
Placeau en point d'appui	Mélèze	Chêne sessile			A tester**
	Mélèze	Hêtre			A tester**
	Cèdre de l'Atlas	Chêne pubescent			A tester** ●
	Cèdre de l'Atlas	Chêne sessile			A tester** ●
	Pin noir	Chêne pubescent			A tester** ●

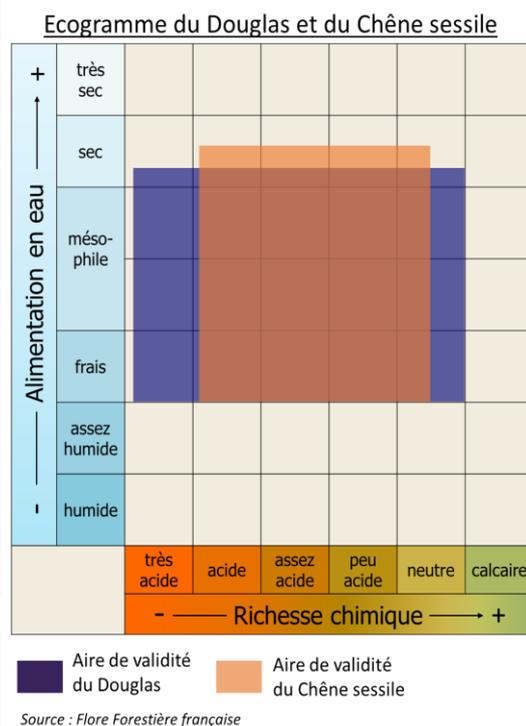
**A tester ou en cours de test

Sensibilité aux changements climatiques : Forte (●) ; Faible (●).

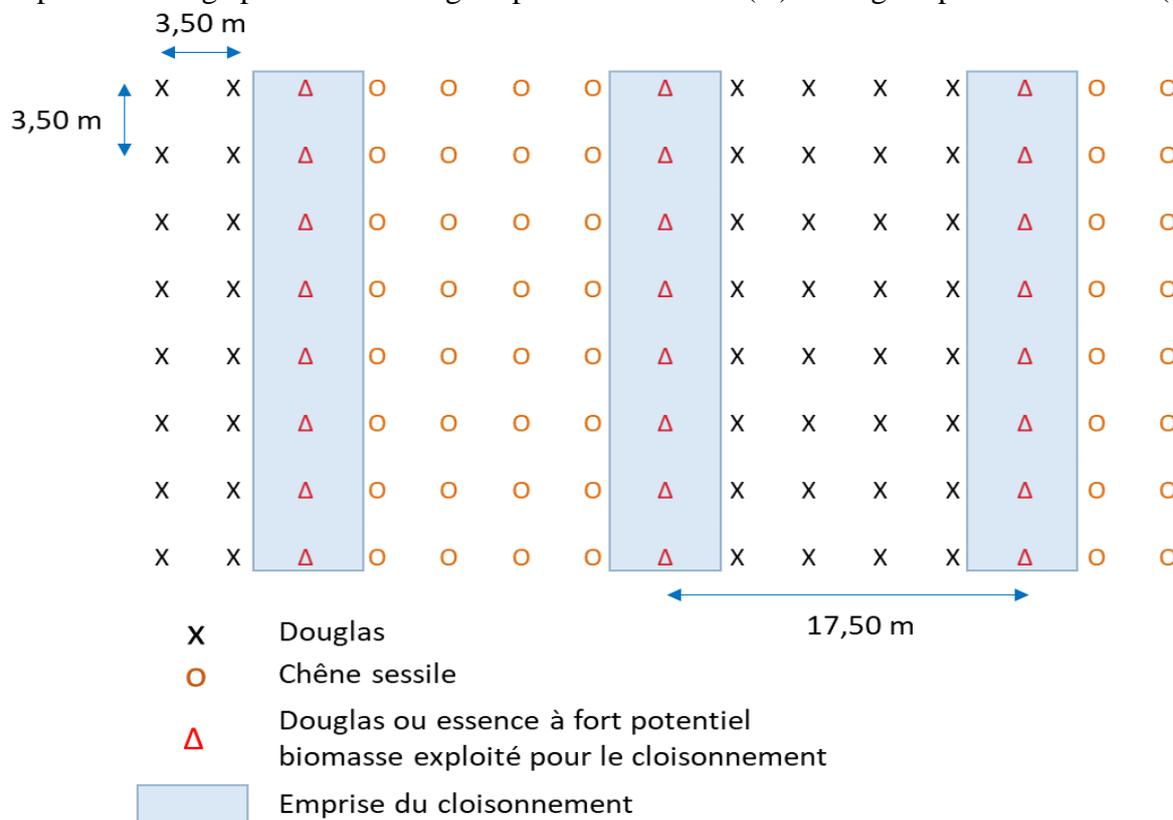
5.3 Fiches scénarios de plantations mixtes

Exemple d'une plantation mixte par bande, mélange Douglas/Chêne sessile

Douglas	Chêne sessile	
Essence de lumière, supporte un léger ombrage dans le jeune âge	Supporte un léger ombrage	
Pluviométrie > 700 mm/an	Pluviométrie > 600 mm/an	
Supporte la sécheresse estivale si la réserve utile du sol (risque de rougissements si forte chaleur)	Résiste assez bien à la sécheresse	
Sensible aux gelées tardives		
Calcifuge	Préférence pour les contextes non carbonatés acides à neutres	
Craint sols hydromorphe		
Craint sols compacts et superficiels		
Craint les embruns marins		
Sensible aux dégâts de gibier		
Propositions d'écartements (m) et de densité (plt/ha)	4 x 3,50	714
	3,50 x 3,50	816
	4 x 3	833



Exemple de mélange par bandes : 4 lignes pures de résineux (X) et 4 lignes pures de feuillus (O)

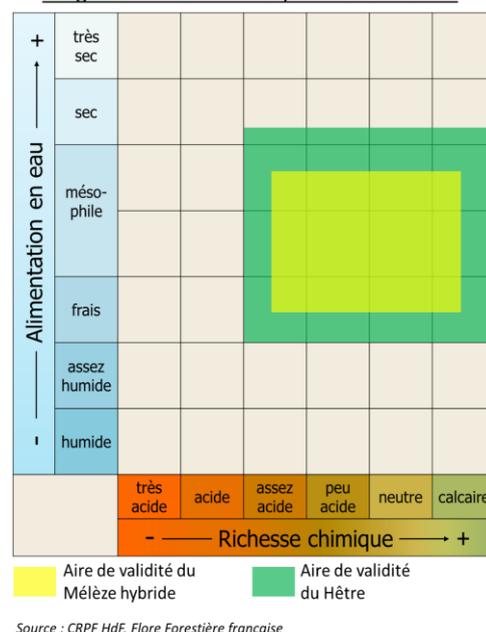


Observations : Création de cloisonnements : plantation et élimination (Δ) d'une ligne de résineux ou d'essence à fort potentiel biomasse. Il est aussi possible de ne pas planter les cloisonnements et d'y laisser s'installer le recru, sauf dans le cas de BTA ou d'une forte concurrence avec la végétation herbacée (fougère aigle, molinie etc.).

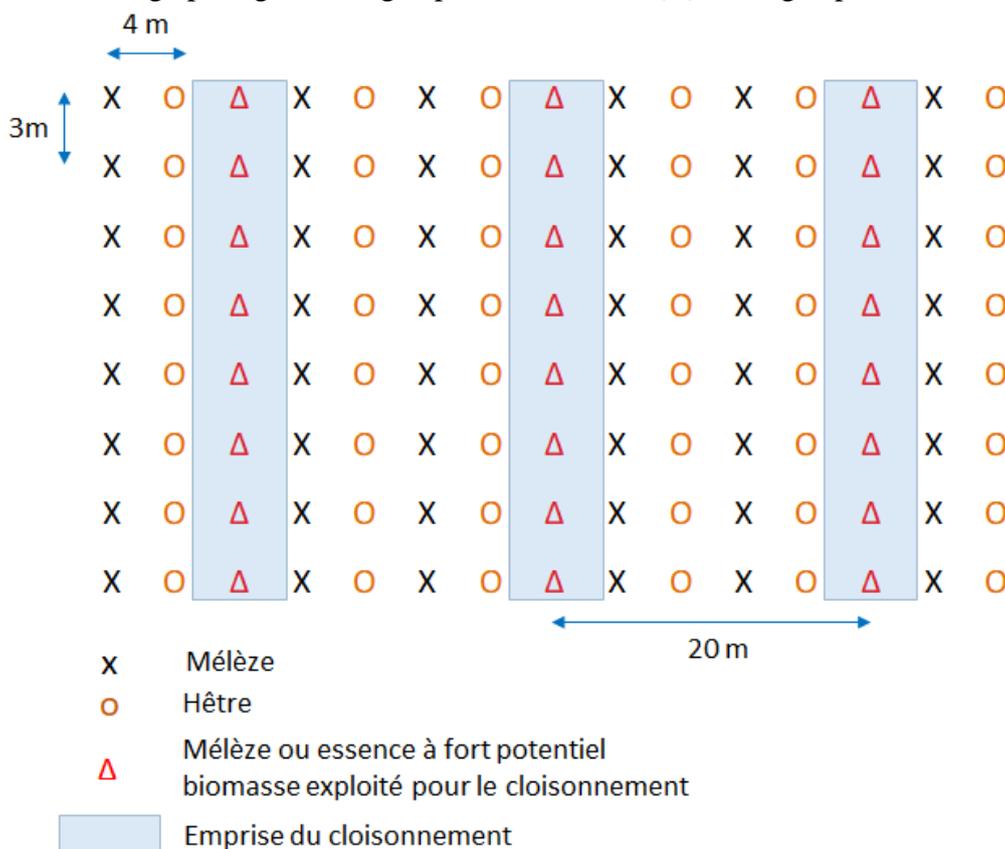
Exemple d'une plantation mixte par ligne, mélange Mélèze hybride/Hêtre

Mélèze hybride	Hêtre	
Essence de pleine lumière	Essence sciaphile	
Pluviométrie > 800 mm/an	Pluviométrie > 750 mm/an	
Peu exigeant vis-à-vis de la richesse chimique du sol $4 < \text{pH} < 7$	Sensible à l'engorgement	
Sols filtrants bien alimentés en eau	Tolère les contextes très acides à calcaires	
Sensible à la sécheresse		
Craint les sols argileux	Sensible aux gelées tardives	
Sensible au vent dans le jeune âge	Sensible aux coups de soleil	
Propositions d'écartements (m) et de densité (plt/ha)	4 x 3,50	714
	3,50 x 3,50	816
	4 x 3	833

Ecogramme du Mélèze hybride et du Hêtre



Exemple de mélange par lignes : 1 ligne pure de résineux (X) et 1 ligne pure de feuillus (O)

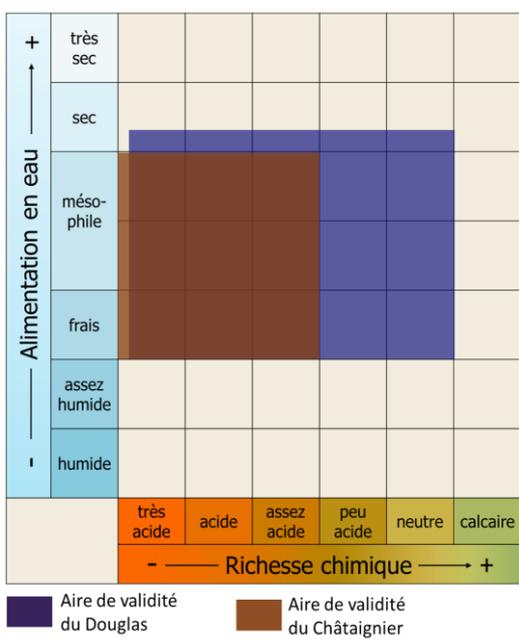


Observations : Création de cloisonnements : plantation et élimination (Δ) d'une ligne de résineux ou d'essence à fort potentiel biomasse. Il est aussi possible de ne pas planter les cloisonnements et d'y laisser s'installer le recru, sauf dans le cas de BTA ou d'une forte concurrence avec la végétation herbacée (fougère aigle, molinie etc.).

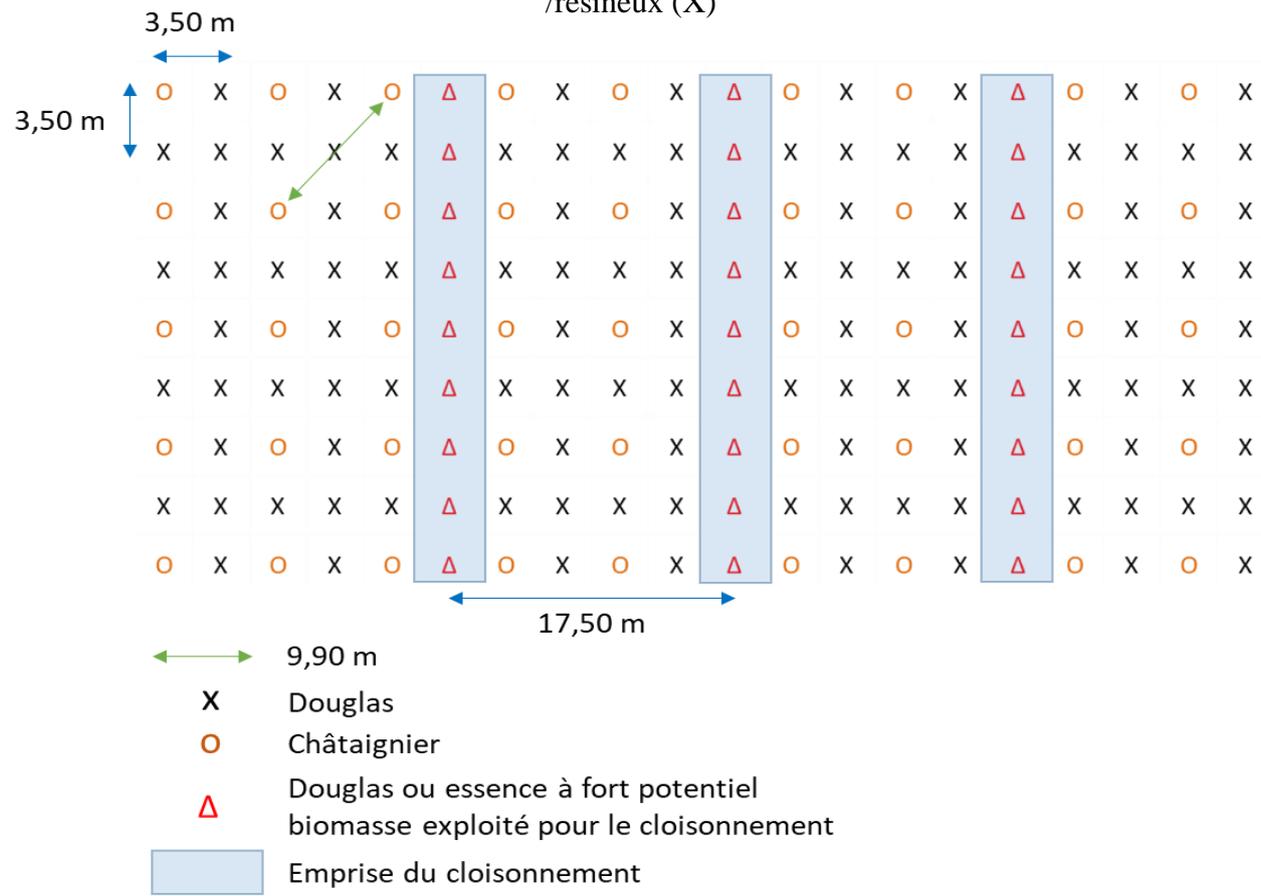
Exemple d'une plantation mixte ligne – pied à pied, mélange Douglas/Châtaignier

Douglas	Châtaignier	
Essence de lumière, supporte un léger ombrage dans le jeune âge	Essence thermophile et de pleine lumière	
Pluviométrie > 700 mm/an	Pluviométrie > 650 mm/an	
Supporte la sécheresse estivale si la réserve utile du sol (risque de rougissements si forte chaleur)		
Sensible aux gelées tardives		
Calcifuge		
Craint sols hydromorphe		
Craint sols compacts et superficiels		
Craint les embruns marins		
Sensible aux dégâts de gibier		
Propositions d'écartements (m) et de densité (plt/ha)	4 x 3,50	714
	3,50 x 3,50	816
	4 x 3	833

Ecogramme du Douglas et du Châtaignier



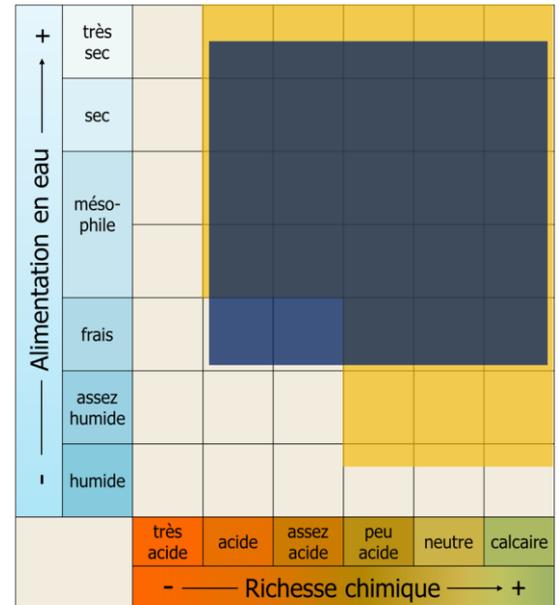
Exemple de mélange ligne/pied à pied : une ligne pure de résineux (X) et une ligne avec alternance feuillus (O) /résineux (X)



Observations : Création de cloisonnements : plantation et élimination (Δ) d'une ligne de résineux ou d'essence à fort potentiel biomasse. Il est aussi possible de ne pas planter les cloisonnements et d'y laisser s'installer le recru, sauf dans le cas de BTA ou d'une forte concurrence avec la végétation herbacée (fougère aigle, molinie etc.).

Exemple d'une plantation mixte par bouquet, mélange Cèdre de l'Atlas/ Chêne pubescent

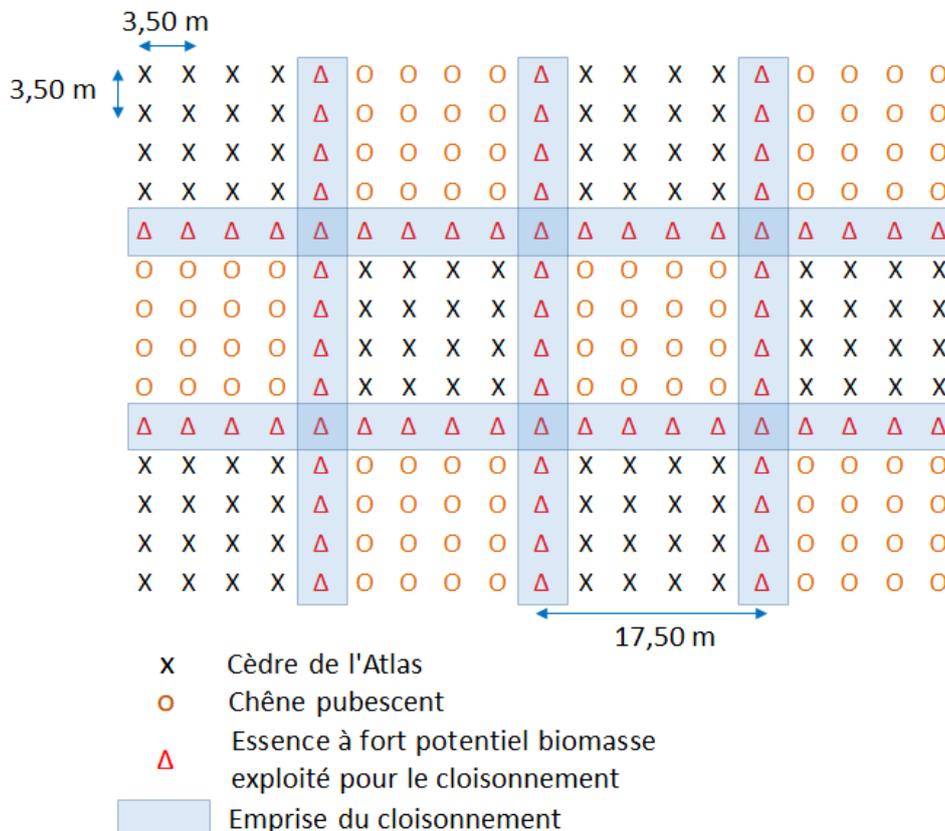
Cèdre de l'Atlas	Chêne pubescent	
Essence de lumière		
Pluviométrie > 700 mm/an	Pluviométrie > 500 mm/an	
Sensible à l'engorgement		
Résistant à la sécheresse en bonnes conditions de sol	Résistant à la sécheresse	
Tolère les contextes très acides à calcaires	Préfère les sols calcaires	
Sensible aux gelées tardives et précoces	Assez bonne résistance au gel	
Exigeant en chaleur		
Sensible au tassement		
Sensible aux dégâts de gibier		
Propositions d'écartements (m) et de densité (plt/ha)	4 x 3,50	714
	3,50 x 3,50	816
	4 x 3	833



Aire de validité du Cèdre de l'Atlas
 Aire de validité du Chêne pubescent

Source : Flore Forestière française

Exemple de mélange par bouquets purs de résineux (X) et de feuillus (O), 16 plants par bouquet

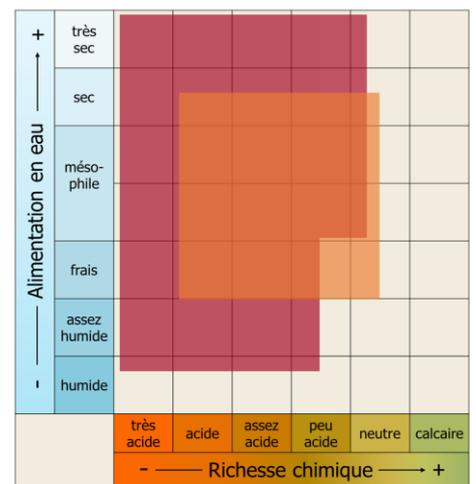


Observations : Création de cloisonnements : plantation et élimination (Δ) d'une ligne de résineux ou d'essence à fort potentiel biomasse. Il est aussi possible de ne pas planter les cloisonnements et d'y laisser s'installer le recru, sauf dans le cas de BTA ou d'une forte concurrence avec la végétation herbacée (fougère aigle, molinie etc.).

Exemple d'une plantation mixte par plateau, mélange Pin sylvestre/Chêne sessile

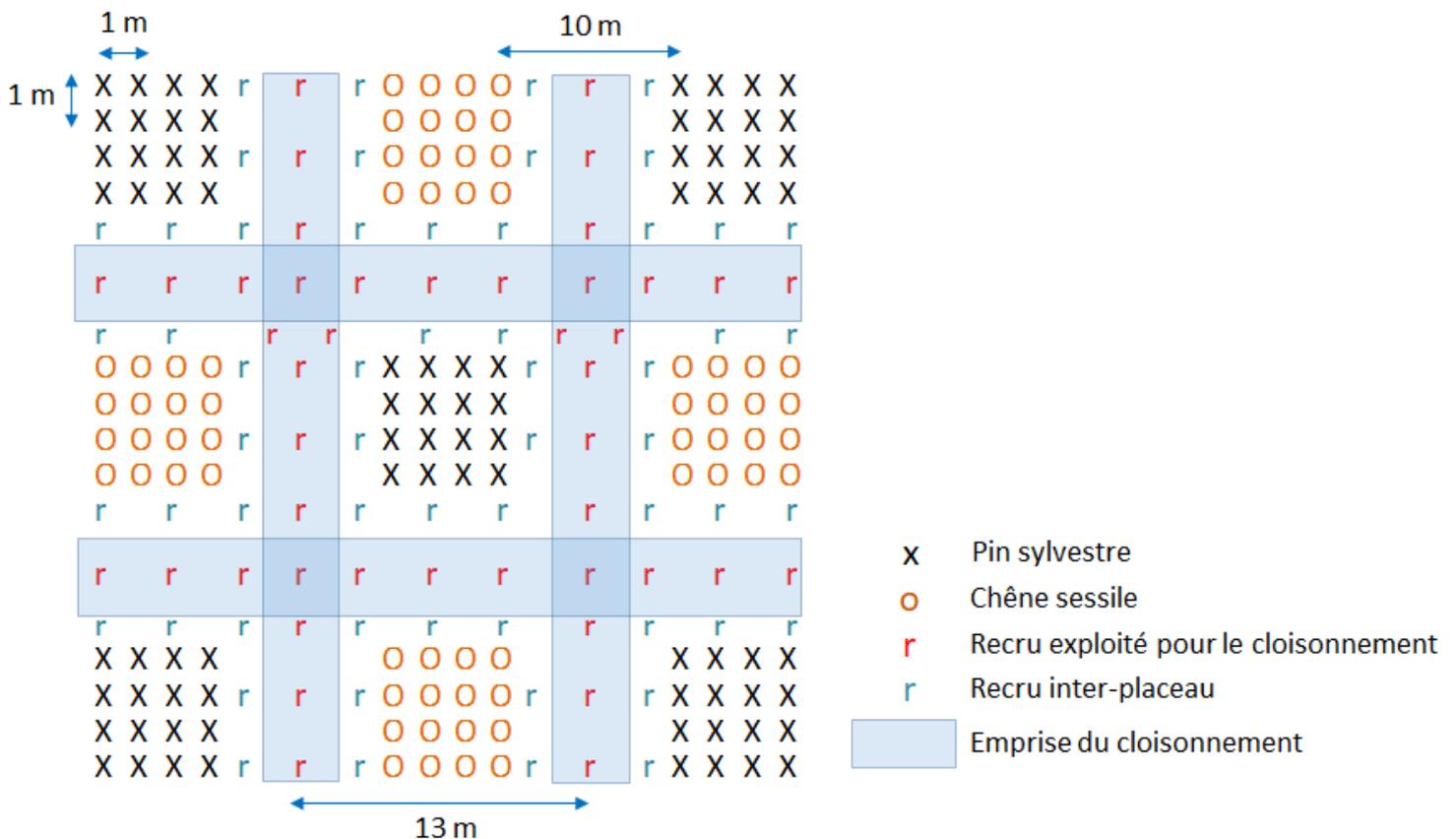
Pin sylvestre	Chêne sessile
Essence de pleine lumière	Supporte un léger ombrage
Pluviométrie > 500 mm/an	Pluviométrie > 600 mm/an
Essence frugale qui supporte les sols secs et pauvres	Résiste assez bien à la sécheresse
Sensible à l'engorgement permanent	Craint sols hydromorphe
Sensible aux sols carbonaté	Préférence pour les contextes non carbonatés acides à neutres
Ne supporte pas les sols compacts	Sensible aux gelées tardives

Ecogramme du Pin sylvestre et du Chêne sessile



Source : Flore Forestière française

Exemple de mélange par plateau d'enrichissement purs de résineux (X) et de feuillus (O) dans le recru (r) et création de cloisonnements avec le recru (r)



Observations : Les plants étant plantés densément il n'est pas nécessaire de les protéger contre le gibier, ou alors seulement protéger les plants de bordure. Cela permet de diminuer les coûts de mise en place de la plantation.