

**DISPOSITIF DU LASCAR – SUIVI APRÈS
5 ANS DE LA RÉGÉNÉRATION
EN PIN BLANC**

Présenté au :

**Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs
Direction de la gestion des forêts de l'Outaouais
Sébastien Meunier, ing.f., M. Sc**

Par :



Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Gilles Joanisse, Ph.D.
Frank Grenon, Ph.D.
Emmanuelle Boulfroy, M.Sc.

Mots-clés : pin blanc, éclaircie commerciale, coupe progressive, régénération, coupes progressives irrégulières, coupes progressives à régénération lente.

Référence à citer :

Lessard G., D. Blouin, G. Joannis, F. Grenon et E. Boulfroy, 2018. Dispositif du Lascar – Suivi après 5 ans de la régénération en pin blanc. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Québec. Rapport 2018-09. 48 pages + 1 annexe.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
REMERCIEMENTS	vi
RÉSUMÉ	vii
INTRODUCTION	1
OBJECTIFS	3
1. HYPOTHÈSES DE RECHERCHE	4
1.1. Composition, densité et distribution de la régénération (semis et gaules)	4
1.2. Présence de rouille vésiculeuse et du charançon	4
1.3. Besoin de dégagement	5
1.4. Hypothèses générales sur le scénario sylvicole prévu	5
2. MÉTHODES	6
2.1. Secteur à l'étude	6
2.2. Dispositif expérimental	6
2.3. Portrait dendrométrique de 2009	16
3. RÉSULTATS	20
3.1. Semis	20
3.2. Gaules	28
3.3. Rouille vésiculeuse du pin blanc (RVPB) et charançon	31
3.4. Lien entre la régénération en pin blanc (distribution-densité), la perturbation du sol et la quantité de pin blanc sur pied	31
3.5. Analyse du couvert avec les données lidar	32
3.6. Synthèse des résultats pour le pin blanc	37
4. DISCUSSION	38
4.1. Réponses aux hypothèses	38
4.2. Synthèse générale des traitements expérimentés	40
4.3. Synthèse générale du scénario selon l'axe de conversion assistée de la stratégie d'aménagement	43
5. RECOMMANDATIONS	46
5.1. Scénario d'aménagement	46
5.2. Scénario sylvicole actuel	46
5.3. Optimisation du scénario de succession assistée	46
5.4. Recherche en sylviculture	47
CONCLUSION	48
RÉFÉRENCES	49
ANNEXE 1. Détails du peuplement résiduel en 2009	51

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation du dispositif de pin blanc du Lascar	6
Figure 2. Localisation des blocs et traitements du dispositif expérimental de pin blanc du secteur Lascar	7
Figure 3. Plan de sondage pour le dispositif Lascar	8
Figure 4. Localisation des 5 microplacettes pour la régénération	15
Figure 5. Méthode pour déterminer la libre croissance d'une tige d'avenir.....	16
Figure 6. Distribution de la régénération en semis par groupe d'essence par traitement	22
Figure 7. Densité de la régénération en semis par groupe d'espèces par traitement.....	24
Figure 8. Hauteur (cm) de la régénération en semis par groupe d'espèces par traitement	26
Figure 9. Proportion de semis libres de croître par groupe d'espèces par traitement.....	28
Figure 10. Densité des gaules par groupe d'espèces et par traitement	30
Figure 11. Coefficient de distribution de la régénération du pin blanc en fonction de la perturbation du sol et de la surface terrière de pin blanc sur pied.....	32
Figure 12. Classe de hauteur de la canopée pour les 5 blocs (3 vues).....	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Description comparative des traitements	14
Tableau 2. Peuplement résiduel par traitement en 2009.....	17
Tableau 3. Densité de tiges à l'hectare et surface terrières des perches et le petit bois pour les différents traitements en 2009	18
Tableau 4. Perturbation de sol en 2009.....	19
Tableau 5. Densité et distribution des pins blancs par traitement en 2009.....	19
Tableau 6. Distribution de la régénération en semis par essence par traitement	21
Tableau 7. Distribution de la régénération en semis par groupe d'essence par traitement	21
Tableau 8. Densité (nb/ha) de la régénération en semis par espèce par traitement	23
Tableau 9. Densité (nb/ha) de la régénération en semis par groupe d'essences par traitement.....	23
Tableau 10. Hauteur (cm) de la régénération en semis par espèce par traitement.....	25
Tableau 11. Hauteur (cm) de la régénération en semis par groupe d'espèces par traitement.....	25
Tableau 12. Proportion de semis libres de croître par espèce par traitement	27
Tableau 13. Proportion de semis libres de croître par groupe d'espèces par traitement.....	27
Tableau 14. Densité des gaules par espèce et par traitement	29
Tableau 15. Densité des gaules par groupe d'espèces et par traitement.....	29
Tableau 16. Hauteur des gaules par espèce et par traitement.....	30
Tableau 17. Coefficient de distribution et densité de la régénération de pin blanc en fonction de la perturbation du sol	31
Tableau 18. Résultat de l'analyse du couvert forestier à partir des données Lidar compilées par placette d'inventaire.	33
Tableau 19. Synthèse des résultats pour le pin blanc par traitement	37
Tableau 20. Nombre et proportion de placette par classe de texture de sol par bloc	41
Tableau 21. Nombre et proportion de placette par classe de texture de sol par traitement.....	41

REMERCIEMENTS

Le CERFO remercie le Ministère Forêt Faune et Parc de l'Outaouais pour le financement de ce projet en 2017-2018. Le CERFO tient à souligner la collaboration particulière de M. Sébastien Meunier du MFFP-Outaouais pour son support, son encadrement et son implication tout au long du projet.

Le CERFO remercie également la Conférence régionale des élus de l'Outaouais pour la première partie du financement de ce projet faite en 2014-2015 par le biais du programme PDRF ainsi que les équipes de la Coopérative forestière des Hautes-Laurentides (CFHL) et de la Société sylvicole de la Haute-Gatineau (SSHG) pour la réalisation des inventaires sur le terrain.

RÉSUMÉ

Dans la région de l'Outaouais, comme dans d'autres régions au Québec, la régénération du PIB s'avère difficile, en lien avec la disparition des feux de forêt et les difficultés de reboisement du pin blanc dû à la présence de la rouille vésiculeuse. Or, la région a entrepris un virage dans sa nouvelle stratégie régionale de production de bois, également pour des fins de restauration de la biodiversité. Selon un récent projet (Lessard *et al.*, 2018), l'un des principaux axes de la stratégie d'aménagement pour l'augmentation de la résistance des forêts aux changements climatiques devrait être l'**instauration d'une succession assistée du pin blanc**.

Dans ce contexte à la fois de raréfaction, de baisses de possibilités du pin blanc et de difficultés sylvicoles à le régénérer, un projet de recherche a été initié en 2004 en Outaouais, près de Fort-Coulonge (Secteur Alexandre). Le présent projet réalisé dans le secteur Lascar près de Maniwaki en 2009 vise la poursuite du développement d'une stratégie alternative permettant de pallier la problématique de régénération du pin blanc. Dans un peuplement de 100 ans dominé par le pin blanc et évoluant actuellement vers des essences tolérantes de faible valeur (sous-couvert), un dispositif expérimental compare trois traitements sylvicoles soit : la coupe progressive uniforme (CPU), l'éclaircie commerciale de feuillus et de pins (ECF) et l'éclaircie commerciale de feuillus et de pins modifiée (ECFm).

Inspirée des travaux réalisés en Ontario, la CPU maintient un couvert d'espèces dominantes bien espacées avec l'intention de créer une abondante régénération de pin blanc sur toute la superficie. L'ECF, traitement habituellement prescrit au Québec pour ce type de situation, a pour objectif d'accélérer la croissance du diamètre des arbres résiduels; elle peut avoir comme effet accessoire d'installer la régénération en essences désirées. Enfin, l'ECFm découle d'une mauvaise transmission des consignes qui a fait en sorte de conserver uniquement les tiges martelées positivement, bien espacées. Ainsi transformée, cette intervention peut, en principe, être assimilée à un procédé de régénération par coupes progressives, mais avec un couvert résiduel un peu plus élevé et des tiges d'avenir mieux espacées.

Un suivi de la régénération réalisé 5 ans après la coupe (2014) permet de tirer certaines conclusions. L'**éclaircie commerciale feuillue modifiée (ECFm)**, qui est en réalité devenue une variante des coupes progressives, est ressortie comme le traitement le plus performant parmi les trois comparés, contrairement aux hypothèses qui favorisaient initialement la CPU. Il faut se rappeler qu'il n'a pas été possible pour le MRNF de scarifier le sol dans le chantier, à cause de contraintes logistiques et financières, et ce malgré les nombreuses recommandations à cet égard dans la littérature: ceci expliquerait en partie les faibles distributions et densités de régénération tout de même obtenues dans la CPU.

En se rappelant qu'il s'agit d'un seul dispositif, on en retire les enseignements suivants ; la coupe doit être assez forte pour favoriser la lumière au sol (en n'oubliant pas l'obstruction des perches et du petit bois); des modalités d'espacement en mètre entre les tiges du peuplement résiduel permettent un meilleur contrôle de la distribution du couvert semencier protecteur; le scarifiage fait partie des conditions de réussites, lorsqu'il est synchronisé avec une bonne année semencière. Il est important également de faire un suivi phytosanitaire. Le projet démontre également la possibilité, moyennant les modifications proposées, d'établir une futaie biétagée dont la maturité technique (pour l'étage supérieur) est prévue à 150 ans. Un cas d'éclaircie commerciale a également été installé et les suivis de croissance par arbre et à l'hectare permettront de documenter ce scénario équienné à structure régulière comparativement aux autres.

Des recommandations ont été proposées pour augmenter la performance du scénario actuel et la poursuite des recherches : elles concernent un dégagement à l'européenne à réaliser le plus tôt possible. Il y aurait aussi des interactions entre la présence de scarifiage, la densité des semenciers de pin blanc, la densité de couvert et le milieu (combinaison texture/épaisseur/drainage), mais elles demeurent à valider, puisque le dispositif n'a pas permis de les documenter avec précision à ce stade-ci. Finalement, l'axe d'aménagement de **succession assistée pour le pin blanc** doit maintenant être déployé.

INTRODUCTION

Dans la région de l'Outaouais, comme dans d'autres régions au Québec, la régénération du pin blanc s'avère difficile et la possibilité en bois d'œuvre s'en trouve affectée. En fait, la protection contre les feux de forêt et les régimes sylvicoles traditionnellement utilisés au Québec ne favorisent pas la régénération des superficies en pin blanc.

Or, la région de l'Outaouais a entrepris un virage pour favoriser le chêne rouge et le pin blanc : d'abord dans le cadre d'une fiche VOIC (MFFP 2017), où, pour des fins de restauration de la biodiversité, il est prescrit que les peuplements comprenant plus de 25% en surface terrière des deux espèces combinées doivent viser la production de ces espèces ; ensuite dans la stratégie de production de bois.

Dans ce contexte, un projet de recherche portant sur un nouveau traitement de coupe progressive uniforme (CPU) inspiré des travaux réalisés en Ontario a été initié en 2004 en Outaouais, près de Fort-Coulonge dans le secteur Alexandre. Le présent projet réalisé dans le secteur Lascar près de Maniwaki vise la poursuite du développement d'une stratégie alternative permettant de pallier la problématique de régénération du pin blanc. Ce dispositif expérimental compare trois traitements sylvicoles pour favoriser le pin blanc : soit, la coupe progressive uniforme (CPU), l'éclaircie commerciale de feuillus et de pins (ECF) et l'éclaircie commerciale de feuillus et de pins modifiée (ECFm). Les interventions réalisées en 2009 ont pour objectif de favoriser la croissance des tiges résiduelles et d'initier, dès que le peuplement atteint 100 ans, l'installation et le développement d'une régénération de pin blanc sous couvert de pins (structure irrégulière étagée) et ainsi maintenir sa production sur des sites qui, autrement, risqueraient d'évoluer vers des peuplements d'essences tolérantes de faible valeur.

Inspirée des travaux réalisés en Ontario, la CPU a pour objectifs de maintenir les fonctions écologiques des pinèdes et de régénérer adéquatement le pin blanc. L'ECF, quant à elle, correspond à la coupe normalement prescrite au Québec et a pour objectif d'accélérer la croissance du diamètre des arbres résiduels ; elle agit un peu comme une coupe préparatoire dans un procédé de régénération par coupes progressives. L'ECF peut avoir comme effet accessoire d'installer la régénération en essences désirées, ce qui a été suivi. Enfin, l'ECFm découle d'une mauvaise transmission des consignes qui a fait en sorte de conserver uniquement les tiges martelées positivement dans le cadre de l'ECF. Ainsi transformée, cette intervention peut, en principe, s'assimiler à un procédé de régénération par coupes progressives à la CPU avec moins de prélèvement.

Finalement, une autre démarche a été récemment mise en place, qui met l'accent sur l'importance de documenter la sylviculture du pin blanc. Ainsi, un projet financé par le programme d'innovation forestière du Centre canadien sur la Fibre de Bois (Lessard *et al.*, 2018) a permis de proposer des éléments de stratégies d'aménagements et de stratégies sylvicoles pour augmenter la résistance des forêts aux changements climatiques, en favorisant deux espèces, le pin blanc d'une part et le chêne rouge d'autre part. Le dispositif du Lascar couvre l'un des axes présentés dans la stratégie du pin blanc :

L'instauration d'une succession assistée pour les peuplements prêts à être récoltés, avec une présence importante de chêne rouge et de pin blanc (> 25 % pour faire référence à la fiche VOIC (MFFP 2017)) et d'un couvert protecteur pour installer la régénération (critère minimum de 55 % et plus de couvert ; prioriser même les peuplements avec plus de 65 % de couvert initial). Le procédé de régénération par coupes progressives régulières est alors considéré. L'enrichissement en sous-bois est nécessaire pour compléter la régénération naturelle, en vue de la recherche du plein boisement. Certaines exigences de zonage ou de biodiversité peuvent demander l'utilisation du procédé de régénération par coupes progressives irrégulières. Dans le cas du pin blanc, il demeure possible de maintenir une production de pin blanc sous ce régime. Cet axe est le plus porteur pour la production de peuplement avec pin blanc.

OBJECTIFS

Dans un peuplement sur sommet constitué à 50% de pins blancs accompagnés de sapins, d'épinettes blanches et d'érables rouges, le but du projet est de rechercher un nouveau scénario sylvicole pour régénérer le pin dans une perspective d'aménagement forestier durable. Il s'inscrit dans l'un des axes principaux de la stratégie d'aménagement proposée, soit la **succession assistée**. Le dispositif expérimental compare différentes combinaisons d'interventions visant à maintenir et augmenter la proportion de pin blanc dans la prochaine cohorte (structure irrégulière biétagée).

Le suivi de 2014, soit 5 ans après intervention (2009) permettra d'identifier les traitements qui ont permis les meilleurs succès d'installation en pin blanc. Les objectifs spécifiques du projet sont :

- Comparer la densité et la distribution de la régénération (semis et gaules) selon les traitements de CPU, ECF et d'ECFm;
- Comparer la qualité des tiges en régénération de pin blanc, dans les trois traitements;
- Comparer l'état de dégagement de la régénération dans les trois traitements;
- Évaluer la présence de rouille vésiculeuse du pin blanc sur les semis et les gaules et vérifier l'effet des divers traitements sur cette présence;
- Évaluer l'envahissement du charançon du pin blanc sur les semis et les gaules et vérifier l'effet des divers traitements sur cette présence;
- Évaluer la densité et la distribution des essences compétitrices et les besoins de dégagement de la régénération en essences désirées 5 ans après intervention;
- Formuler des recommandations sur les scénarios sylvicoles les plus performants pour l'implantation de peuplements à double cohorte de pin blanc.

1. HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

Le présent rapport repose sur la validation d'hypothèses de recherche. Elles sont présentées par catégories.

1.1. COMPOSITION, DENSITÉ ET DISTRIBUTION DE LA RÉGÉNÉRATION (SEMIS ET GAULES)

1.1.1. Distribution, densité, hauteur et libre de croître du pin blanc

- Les plus fortes distribution, densité et hauteur de régénération de pin blanc sont dans la CPU.
- La plus forte proportion de régénération de pin blanc libre de croître est dans CPU.

1.1.2. Distribution, densité, hauteur et libre de croître des essences désirées

- Les plus fortes distribution, densité et hauteur de régénération des essences désirées sont dans la CPU.
- La plus forte proportion de régénération des essences désirées libre de croître est dans CPU.

1.1.3. Distribution, densité, hauteur et libre de croître des essences non désirées

- Les plus fortes distribution, densité et hauteur de régénération des essences non désirées sont dans l'ECF.
- Une plus forte proportion de tiges libres de croître est dans la CPU.

1.1.4. Distribution, densité, hauteur et libre de croître des essences non commerciales

- Les plus fortes distribution, densité et hauteur de régénération des essences non commerciales sont dans l'ECF.
- Une plus forte proportion de tiges libres de croître est dans la CPU.

1.2. PRÉSENCE DE ROUILLE VÉSICULEUSE ET DU CHARANÇON

- Il y a davantage de cas de rouille vésiculeuse dans le traitement d'ECF, moins ouvert et plus susceptible au maintien d'une humidité matinale propice à la propagation de la rouille.
- Il y a davantage de cas de charançon du pin blanc dans le traitement CPU, qui est plus ouvert et présente des tiges apicales plus propices à accueillir la ponte.

1.3. BESOIN DE DÉGAGEMENT

- La régénération de pin blanc a besoin de dégagement maintenant dans tous les traitements (incluant le témoin).
- La régénération des essences désirées a besoin de dégagement maintenant dans tous les traitements (incluant le témoin).

1.4. HYPOTHÈSES GÉNÉRALES SUR LE SCÉNARIO SYLVICOLE PRÉVU

- La régénération et les gaules de pin blanc sont suffisamment nombreuses pour constituer une cohorte de régénération de plus de 2000 ti/ha dans le traitement de CPU seulement.
- La régénération et les gaules des essences désirées sont suffisamment nombreuses pour constituer une cohorte de régénération de plus de 2000 ti/ha dans le traitement de CPU seulement.

2. MÉTHODES

2.1. SECTEUR À L'ÉTUDE

Le territoire se situe dans la région de Maniwaki. Il fait partie de l'unité de paysage régionale du lac Notawissi de la sous-région écologique 4b-M, comprise dans le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'ouest (figure 1).

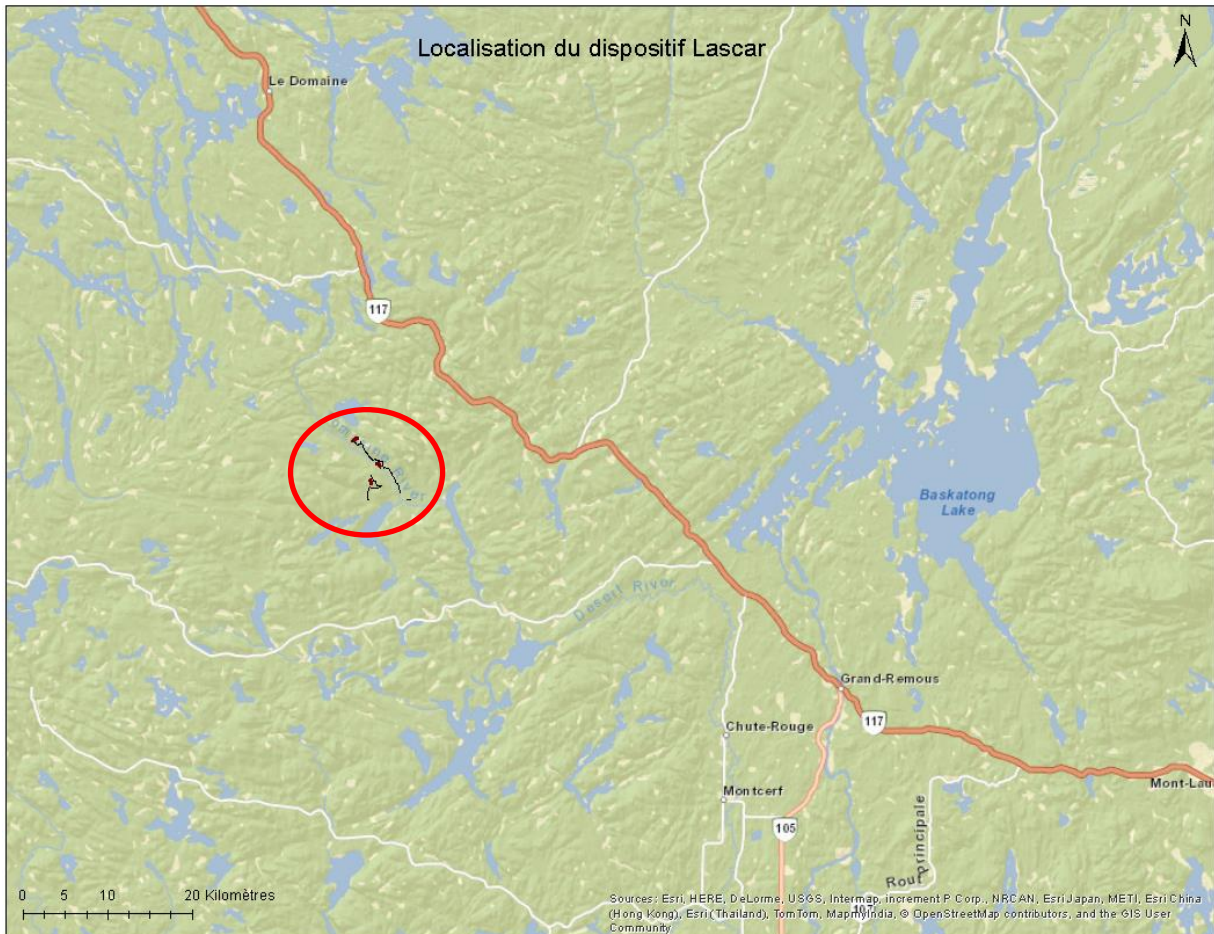


Figure 1. Localisation du dispositif de pin blanc du Lascar

2.2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Un dispositif constitué de 5 répétitions (blocs) des traitements distribués aléatoirement (coupe progressive uniforme (CPU), éclaircie commerciale de feuillus et de pins (ECF) et superficies témoin non traitées) a été implanté dans le secteur Lascar en 2009 (figure 2). L'ECF a été réalisée dans les blocs 1, 2 et 3, alors que l'ECFm a été réalisée dans les blocs 4 et 5 (figure 3).

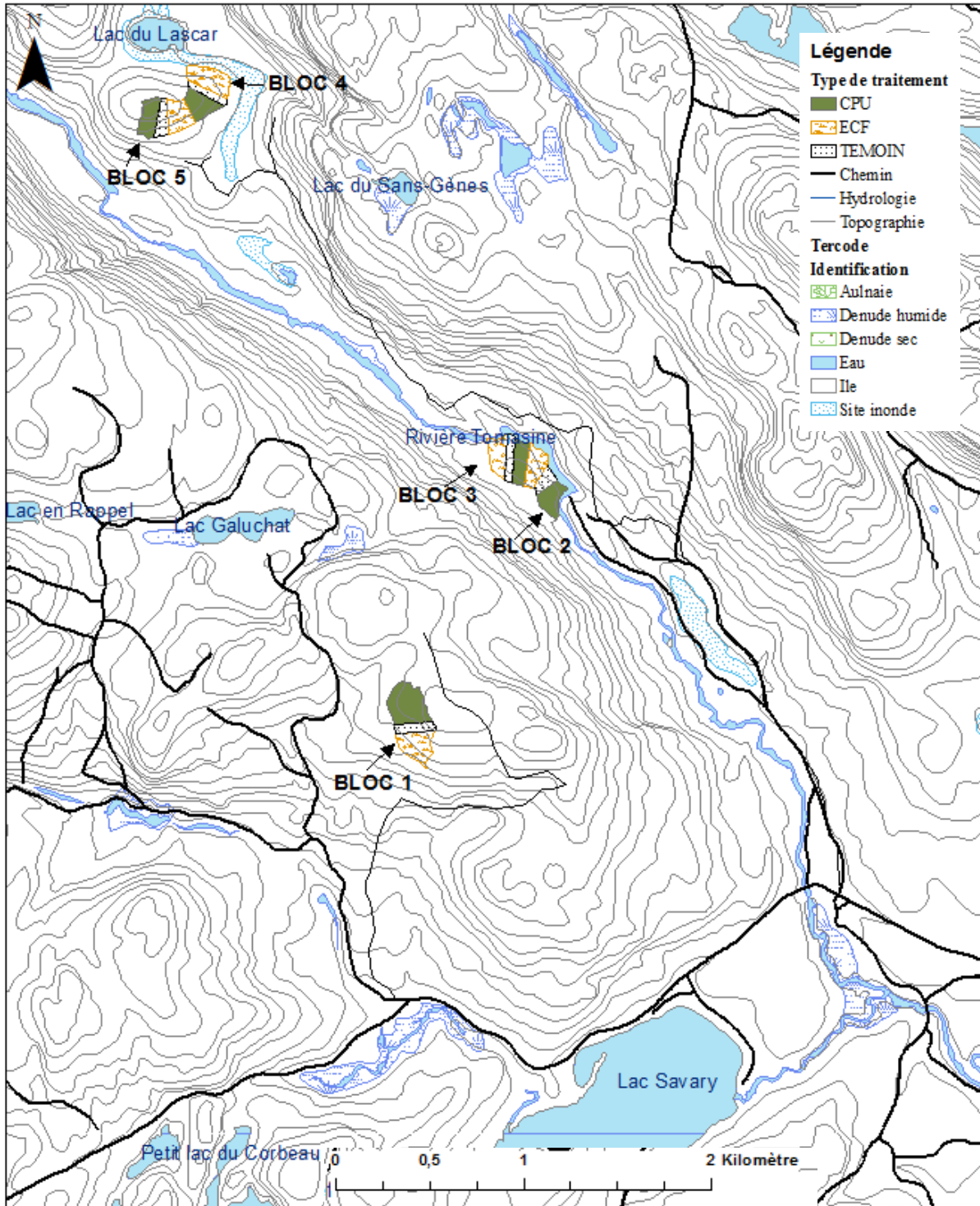


Figure 2. Localisation des blocs et traitements du dispositif expérimental de pin blanc du secteur Lascar

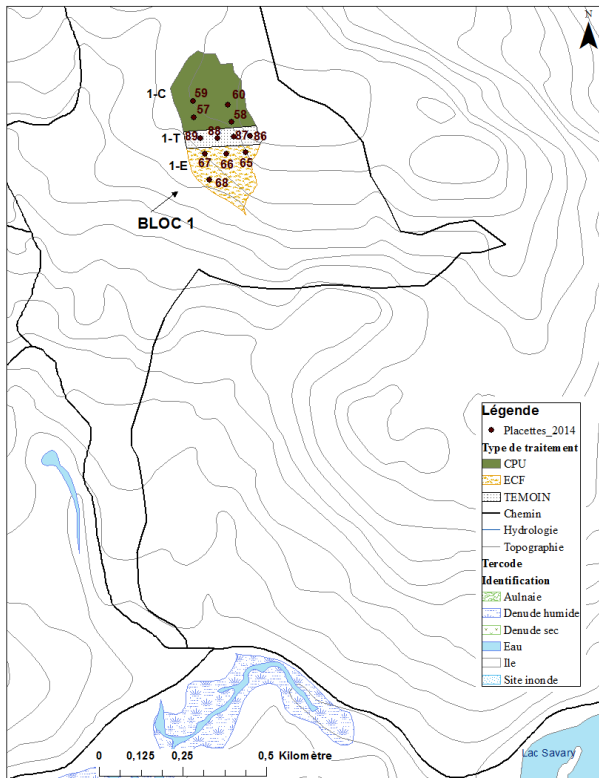
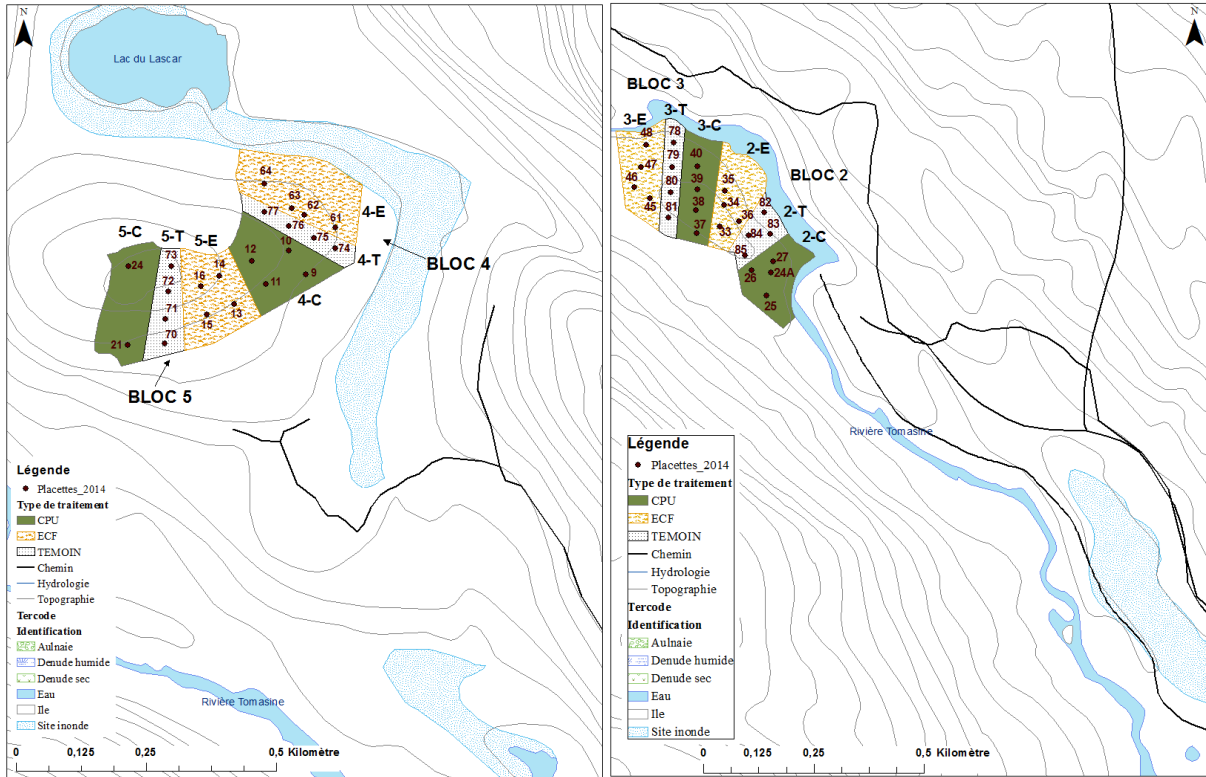


Figure 3. Plan de sondage pour le dispositif Lascar

2.2.1. Description des traitements

Les traitements expérimentés sont :

- La coupe progressive uniforme (CPU) ;
- La coupe d'éclaircie commerciale de feuillus et de pins (ECF) ;
- La coupe d'éclaircie commerciale de feuillus et de pins modifiée (ECFm) ;
- L'absence d'intervention dans les témoins non traités (TEM).

Les directives de martelage utilisées et certains paramètres descriptifs du dispositif sont tirés du rapport d'établissement du dispositif (Blouin *et al.*, 2009).

2.2.1.1. La coupe progressive uniforme (CPU)

Le scénario prévu pour la CPU en est un de coupe progressive à régénération lente (Nyland, 2002), puisqu'il est prévu de générer un peuplement comportant deux étages de pin avant la coupe finale, ce qui implique un délai d'installation de la régénération supérieur à 20 % de la révolution.

La réalisation du traitement de CPU a été supervisée par les agents du MRNF en collaboration avec ceux de l'OMNR. L'ensemble des peuplements du secteur Lascar avait déjà été martelé durant la saison 2007-2008. Le protocole de travail du MRNF est présenté ci-dessous.

Objectifs du traitement

L'objectif fondamental est de générer des conditions favorables à l'établissement d'une régénération en pin blanc, en quantité suffisante pour conduire à la formation d'une pinède. Pour ce faire, les objectifs spécifiques sont les suivants :

1. Obtenir une luminosité minimale au sol entre 40 et 50 % (pour limiter la compétition);
2. Distribuer uniformément les semenciers;
3. Réduire au maximum la végétation compétitrice;
4. Obtenir des microsites adéquats sur l'ensemble de la superficie.

Directives de martelage

Marteler positivement (en bleu) en ordre de priorité :

1. PIB
2. PIR
3. CHR
4. EPB
5. BOJ

Critères de sélection

- Prioriser les tiges dominantes de plus grand DHP de qualité C et R;
- Espacer de ½ couronne entre les cimes des tiges martelées (ce qui correspond à un espacement de 1,5 cime entre les arbres). Ceci se traduit souvent par un espacement équivalent à 40 % de la hauteur moyenne des tiges;
- Prioriser les plus belles tiges avec la cime de plus grande dimension, car ces tiges sont les meilleurs semenciers.

Autres directives

- Exclure les bosquets de petites tiges de pins ou de chênes;
- Marteler positivement les arbres en dépérissement avancé (les presque chicots), mettre un W (*Wildlife* pour arbre faunique). Viser la conservation de 8 à 10 tiges à l'hectare pour des considérations fauniques;
- S'il n'y a pas de PIB, viser quand même l'ombrage désiré en conservant les essences suivantes :
 1. ERS
 2. ERR
 3. BOP
 4. PEU

L'évaluation du martelage a porté prioritairement sur :

- Les choix des essences où le maintien d'ombrage a dû être considéré (utilisation d'une autre essence si absence de pins);
- L'espacement entre les pins (EPB, CHR et BOJ);
- La qualité du choix retenu = priorité C et R;
- Les diamètres du choix = plus grosses tiges;
- Le diamètre de cime.

La coupe progressive devait être éventuellement suivie d'une préparation de terrain en plein, lorsque surviendra une bonne année semencière, ce qui n'a finalement pas été fait.

2.2.1.2. La coupe d'éclaircie commerciale de feuillus et de pins (ECF)

L'éclaircie commerciale de feuillus et de pins (ECF) s'inscrit dans le cadre du régime régulier. La prescription a été élaborée selon la norme en vigueur (Instructions relatives 2008-2009, MRNF, 2008). La réalisation du traitement ECF a été supervisée par le CERFO. Les secteurs ayant déjà

été martelés selon la prescription de la CPU, des corrections de martelage ont dû être effectuées en plus des martelages positif et négatif tel que prescrit pour l'éclaircie.

Objectifs du traitement

Les objectifs du traitement sont les suivants (MRNF, 2008) :

1. Accélérer l'accroissement du diamètre des arbres résiduels;
2. À long terme, assurer l'établissement d'une régénération abondante en pin blanc (voir note). L'éclaircie sert aussi de coupe préparatoire pour favoriser les semenciers.

Soulignons que l'établissement de la régénération ne fait pas partie des objectifs normalement associés à l'éclaircie commerciale. Dans le cadre de l'éclaircie commerciale, l'établissement d'une régénération désirée constitue plutôt un effet accessoire qui n'est pas toujours observé. Le dispositif permettra d'évaluer dans quelle mesure cet effet accessoire peut effectivement survenir à la suite de ce traitement.

Consignes de martelage

Dans le cadre de cette intervention, le martelage a été effectué en deux temps. Tout d'abord un martelage positif a été réalisé pour identifier les tiges à éclaircir, puis un martelage négatif a permis d'identifier les tiges à abattre jusqu'à un seuil minimum à conserver.

Martelage par la méthode dite « positive »

- Identifier sur le terrain les tiges d'avenir d'essences désirées (voir la liste ci-dessous) que l'on choisit de favoriser et d'éclaircir : ces tiges font partie du capital forestier en croissance et occupent le couvert principal ou supérieur du peuplement.
- La quantité à éclaircir était de 100 tiges d'essences désirées pour la production de pin. Les tiges à éclaircir devaient être espacées le plus uniformément possible.

L'ordre de priorité des essences désirées (contient une bille de bois d'œuvre ou a un potentiel d'en produire) est :

1. Les pins blancs et rouges (S-C-R)
2. Les chênes
3. Les EP et PIG (C-R)
4. Les autres essences nobles (ERS, CET, BOJ) (R et C)
5. Les sapins (R)

Martelage par la méthode dite « négative »

- Identifier les tiges à abattre pour former un puits de lumière autour des tiges identifiées par la méthode dite « positive », afin de favoriser une augmentation de leur croissance et obtenir des arbres de plus grandes dimensions.
- Une tige sera considérée éclaircie lorsque le pourtour de la demie supérieure de sa cime aura été idéalement dégagé, sur une largeur d'environ trois mètres pour les feuillus et pins et deux mètres pour les résineux, sur au moins deux de ses quatre faces.

La surface terrière marchande résiduelle du capital forestier est d'au moins 16 m²/ha.

Les essences non désirées étaient, par ordre d'importance :

1. Bouleau à papier
2. Sapin (M-S-C)
3. Peupliers
4. Érable rouge
5. Hêtre

L'ordre de priorité des essences à marquer par la méthode dite négative était :

1. Les essences non désirées
2. Les sapins (R)
3. Les autres essences nobles (ERS, CET, BOJ)
4. Les EP et PIG
5. Les CHR
6. Les pins blancs et rouges

La priorité de récolte a été élaborée en commençant par :

1. Marquer les tiges de priorité de récolte M possédant au moins une bille de bois d'œuvre, en fonction de l'ordre de priorité des essences établies;
2. Marquer les tiges de priorité de récolte M de classe pâte, en fonction de l'ordre de priorité des essences;
3. Marquer les tiges de priorité de récolte S possédant au moins une bille de bois d'œuvre, en fonction de l'ordre de priorité des essences;
4. Marquer les tiges de priorité de récolte S, de classe pâte, en fonction de l'ordre de priorité des essences;
5. Marquer les tiges de priorité de récolte C et R, de classe pâte, en fonction de l'ordre de priorité des essences;

6. Marquer les tiges de priorité de récolte C et R, possédant au moins une bille de bois d'œuvre, en fonction de l'ordre de priorité des essences.

Le pourcentage de prélèvement désiré était de 25 % (issu du règlement (MRNF, 2008)).

2.2.1.3. La coupe d'éclaircie commerciale de feuillus et de pins modifiée (ECFm)

La réalisation du traitement ECFm découle d'une mauvaise transmission des consignes qui a fait en sorte de conserver uniquement les tiges martelées positivement dans le cadre de l'ECF. Ainsi transformée, cette intervention pourrait, en principe, être assimilée à une coupe progressive uniforme plus ouverte que la CPU (100 tiges/ha), à condition d'y adjoindre des mesures d'assistance à la régénération.

Consignes de martelage

Dans le cadre de cette intervention, seules les tiges identifiées lors du martelage positif ont été conservées.

Martelage par la méthode dite « positive »

- Identifier sur le terrain les tiges d'avenir d'essences désirées (voir la liste ci-dessous) que l'on choisit de favoriser et d'éclaircir : ces tiges font partie du capital forestier en croissance et occupent le couvert principal ou supérieur du peuplement.
- La quantité à éclaircir était de 100 tiges d'essences désirées pour la production de pin. Les tiges à éclaircir devaient être espacées le plus uniformément possible.

L'ordre de priorité des essences désirées (contient une bille de bois d'œuvre ou a un potentiel d'en produire) était :

1. Les pins blancs et rouges (S-C-R)
2. Les chênes
3. Les EP et PIG (C-R)
4. Les autres essences nobles (ERS, CET, BOJ) (R et C)
5. Les sapins (R)

2.2.1.4. Synthèse comparative des traitements

Le tableau 1 présente un résumé des traitements réalisés.

Tableau 1. Description comparative des traitements

	ECF	ECFM	CPU
Structure cible	Futaie régulière	Futaie régulière	Futaie biétagée
Procédé de régénération	Coupe progressive	Coupe progressive	Coupe progressive à régénération lente
Traitement	Éclaircie commerciale Coupe préparatoire	Éclaircie commerciale Coupe d'ensemencement	Coupe d'ensemencement
Origine	Instructions relatives 2008-2009 MRNF	Instructions relatives 2008-2009 MRNF (modifiée)	OMNR (Ontario)
Objectifs	Accélérer la croissance des tiges d'avenir sélectionnées	Accélérer la croissance des tiges d'avenir sélectionnées Installer la régénération de pin blanc	Installer la régénération de pin blanc
Martelage positif	Arbres d'avenir bien répartis	Arbres d'avenir bien répartis	Tiges dominantes, semenciers bien répartis
Martelage négatif	Détournage des tiges d'avenir	AUCUN, prélèvement de toutes les tiges marchandes résiduelles	AUCUN, prélèvement de toutes les tiges marchandes résiduelles
Prélèvement	Limité à 25 % prélèvement	Pas de limite	Pas de limite
Espacement	Au moins 100 ti/ha PIB (1 aux 10 m)	Au moins 100 ti/ha PIB (1 aux 10 m)	Demi-largeur de cime entre les arbres
Scarifiage	Pas planifié	En théorie, oui, mais non réalisé	En théorie, oui, mais non réalisé
Prochaine coupe	Éclaircie commerciale ou coupe d'ensemencement	Coupe secondaire	Coupe secondaire

2.2.2. Collecte de données

En 2009, un réseau de 60 placettes permanentes de 11,28 m pour la mesure du bois sur pied a été installé aléatoirement sur le terrain. Le centre de ces placettes est identifié par une fiche métallique munie d'une étiquette et d'un ruban d'hiver bleu. Les placettes de gaules sont mesurées à partir de ces mêmes centres sur un rayon de 5,64 m. Les mesures de semis sont faites, pour leur part, dans 5 microplacettes de 1,13 m de rayon, à l'intérieur des grandes placettes de 11,28 m de rayon (figure 4).

Ainsi, la régénération (15 cm à gaule (DHP de 2cm)) est dénombrée par essence et par classe de hauteur (15 à 60 cm et 61 cm à gaule), dans 5 microplacettes de 1,13 m de rayon (figure 4). Une microplacette est localisée au centre de la placette permanente (endroit où est localisée la fiche) et les 4 autres sont disposées à 5 m de distance par rapport à la placette centrale, selon les 4 points cardinaux. Le mesurage des gaules se fait par classe de 2 cm dans des placettes de 5,64 m de rayon à partir de la fiche centrale installée en 2009. De plus, dans les placettes de 5,64 m, 5 tiges d'avenir de pin blanc (lorsque possible) sont sélectionnées. La hauteur de ces

tiges est notée et on indique si la tige est libre de croître. Dans la négative, l'essence qui lui fait le plus de compétition, sa distance et sa hauteur sont notées. Pour le pin blanc, la présence de rouille ou de charançons du pin blanc est évaluée.

Ce même réseau de placettes d'inventaire a été utilisé en 2009 et 2014.

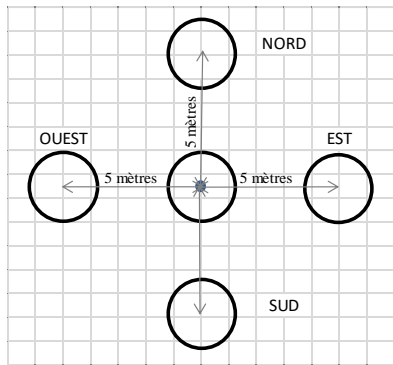


Figure 4. Localisation des 5 microplacettes pour la régénération

2.2.3. Notion de « libre de croître »

La notion de libre de croître se définit comme suit :

- **Libre de croître** : caractéristiques environnementales favorables au développement d'une tige d'avenir.
- **Non libre de croître** : une partie d'une tige nuisible est présente dans un cylindre de 1 m de rayon à partir de la limite extérieure de la cime, et ce, à partir du 2/3 de la hauteur totale de la tige d'avenir (figure 5).

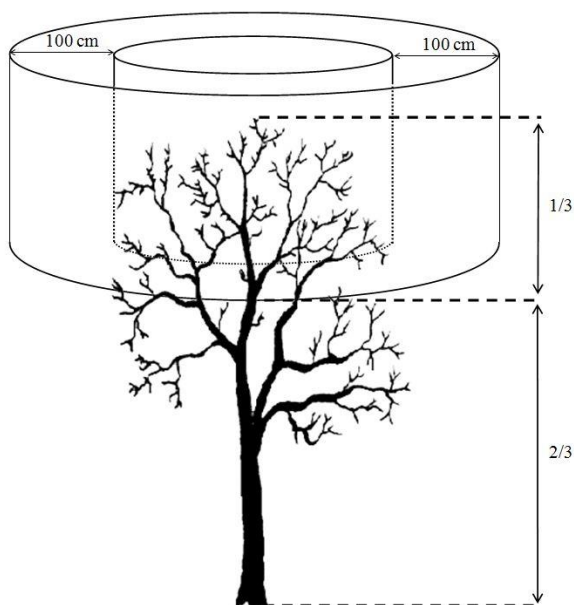


Figure 5. Méthode pour déterminer la libre croissance d'une tige d'avenir

2.2.4. Analyses statistiques et compilations

Les analyses statistiques ont été réalisées avec la procédure GLIMMIX de SAS 9.4. Les blocs ont été utilisés comme variable aléatoire. Le seuil utilisé pour identifier un effet comme étant significatif est $p < 0,05$. Pour les graphiques présentés sous forme d'histogrammes, des lettres différentes au-dessus des barres représentent une différence significative et la moustache représente l'écart-type. Dans les tableaux de la section Résultats, ce sont les moyennes et la comparaison entre les traitements qui sont présentées. Pour les compilations, les listes des espèces par groupes sont : désirées, non désirées et non commerciales, incluant :

- Désirées : PIB-PIR-CHR-BOJ
- Non désirées : SAB-EPB-EPN-THO-BOP-PET-PEG-ERR-ERS-HEG-FRN
- Non-commerciales : ERE-ERP-PRP-PRV-FEU-AUL-NOC-COC-SAL-VIL.

La régénération fait référence aux **semis** de plus de 15 cm de hauteur n'ayant pas atteint le stade de gaulis et les **gaulis** incluent les tiges de 1 à 9 cm de DHP.

2.3. PORTRAIT DENDROMÉTRIQUE DE 2009

Afin de mettre en contexte chacun des traitements décrits précédemment, cette section regroupe deux portraits, soit celui du peuplement résiduel pour chaque traitement puis l'état de la régénération 1 an après l'installation du dispositif.

2.3.1. Peuplement résiduel par traitement

Les données du peuplement résiduel après les interventions sont présentées au tableau 2 :

- Après les interventions initiales, dans tous les traitements, le pin blanc domine, particulièrement dans la CPU et l'ECFm,
- La surface terrière totale suit un gradient décroissant du témoin à la CPU, les résultats pour l'ECF et l'ECFm étant similaires.
- L'ECFm s'approche de la CPU en termes de proportion de pin blanc, mais s'en distingue par une surface terrière totale plus élevée et une surface terrière plus élevée de pin blanc (mais avec un intervalle plus élevé).
- La CPU présente la surface terrière totale résiduelle la plus faible, en lien avec le prélèvement qui y a été plus élevé.
- L'étendue des données est très élevée dans le cas du témoin.

Tel qu'on peut le constater dans l'annexe 1, le pin blanc est accompagné de :

- Dans l'ECF : sapin, épinette et bouleau blanc
- Dans ECFm : épinette
- Dans la CPI : un peu de sapin et d'épinette
- Dans le témoin : sapin, pin rouge, peuplier (PEG), érable rouge et bouleau blanc

Tableau 2. Peuplement résiduel par traitement en 2009

Surface terrière (m ² /ha)								
Traitement	G PiB	2sd	G totale	2sd	Proportion PIB	G initiale	2sd	% Prélèvement
Témoin	18,5	19,2	32,3	13,0	57,3%	32,3	13,0	0
ECF	14,3	9,5	22,8	2,0	62,7%	28,0	1,4	19
ECFM	18,5	7,6	22,7	1,9	85,9%	32,6	2,1	30
CPU	15,7	1,0	17,5	1,5	89,7%	29,1	4,1	40
Densités moyennes (tiges/ha)								
	Initiale	2sd	Résiduelle prévue	2sd	Résiduelle	2sd	Prélèvement Prévu	Prélèvement Réalisé
ECF	681	119	577	131	535	237	15%	21%
ECFM	663	141	606	106	288	177	8%	57%
CPU	722	224	98	41	219	78	86%	70%
Densités moyennes (tiges/h) et Surface terrière (m ² /ha) pour quelques essences								
	ESS	ti/ha	2sd	m ² /ha	2sd	Densité	Surface terrière	
ECF	PIB	113	88	14,3	9,5	21%	63%	
ECFM	PIB	125	0	19,5	7,6	43%	86%	
CPU	PIB	135	59	15,7	1,0	62%	89%	

ECF	SAB	213	109	2,4	1,4	40%	11%
ECFM	SAB	63	53	0,5	0,5	22%	2%
CPU	SAB	53	74	0,5	0,6	24%	3%
ECF	EP	71	75	2,2	3,5	13%	10%
ECFM	EP	22	44	1,4	3,1	8%	6%
CPU	EP	11	22	0,6	1,7	5%	4%
ECF	ERR	71	75	2,2	3,5	13%	10%
ECFM	ERR	66	44	0,6	0,3	23%	3%
CPU	ERR	11	22	0,6	1,7	5%	4%

Le tableau 3 présente une compilation des tiges de 10-22 et 24+ pour les données après coupe (APC) de 2009, pour les mêmes placettes que celles qui ont été relues en 2014. Fait intéressant, la densité de perches est plus du double dans la ECF que la ECFm en 2009 (4,5 fois plus de surface terrière), suggérant probablement que le couvert est plus fermé dans l'ECF que ECFm. Il y a un peu plus de perches dans ECFm (119) que dans CPU (81).

Tableau 3. Densité de tiges à l'hectare et surface terrières des perches et le petit bois pour les différents traitements en 2009

Traitement	Classe DHP	Tiges à l'hectare		Surface terrière (m ² /ha)	
		Moy	ET	Moy	ET
CPU	10_22	81	59	1.2	0.8
	24+	131	42	16.4	5.8
Total CPU		211	85	17.6	6.1
ECF	10_22	392	124	6.0	2.0
	24+	138	35	16.7	5.3
Total ECF		529	127	22.7	4.4
ECFm	10_22	119	58	1.4	0.8
	24+	141	30	21.0	3.8
Total ECFm		259	67	22.4	3.6
TEM	10_22	536	147	8.2	2.6
	24+	208	84	24.1	11.7
Total TEM		744	127	32.3	10.1

2.3.2. Perturbation de sol

Pour la perturbation de sol, 46 % des microplacettes avaient au moins 25% de sol perturbé pour la ECFm alors que le pourcentage est de 33% pour ECF et 50% des microplacettes pour la CPU (tableau 4). En théorie, cela pourrait supporter notre hypothèse de plus de régénération dans la CPU. C'est également en lien avec le taux de prélèvement plus élevé dans la CPU (40%).

Tableau 4. Perturbation de sol en 2009

Traitement	Valeurs	Perturbation du sol en % (2009)				
		0	25	75	100	Total
CPU	Nb mpe	45	43	1	1	90
	% des mpe	50.00%	47.78%	1.11%	1.11%	100.00%
ECF	Nb mpe	40	15	4	1	60
	% des mpe	66.67%	25.00%	6.67%	1.67%	100.00%
ECFm	Nb mpe	21	15	3		39
	% des mpe	53.85%	38.46%	7.69%	0.00%	100.00%
Témoin	Nb mpe	99				99
	% des mpe	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

2.3.3. Régénération en semis de pin blanc

Comme le montre le tableau 5, le peuplement après coupe présentait très peu de régénération, tant en semis de pin blanc (dénombrement/ha et coefficient de distribution) qu'en gaule de pin blanc (dénombrement/ha).

Tableau 5. Densité et distribution des pins blancs par traitement en 2009

Essences	Traitements							
	CPU		ECF		ECFm		TEM	
	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd
Semis PIB	25	111	42	144	125	353	224	871
	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd
Gaules PIB	5	22	8	29	0	0	0	0
	CD (%)	2sd	CD (%)	2sd	CD (%)	2sd	CD (%)	2sd
Semis PIB	1 %	4%	2 %	6 %	5 %	14 %	7 %	26 %

2.3.4. Indice de qualité de station

Comme l'indique le rapport de 2010, l'âge oscille entre 105-120 ans pour une hauteur d'environ 25 m. Ceci réfère à l'indice de qualité de station de 12 m à 50 ans, qui pourrait produire en plein boisement 420 m³/ha à 150 ans (Plonski, 1974). À titre de comparaison, le peuplement actuel produirait 269 m³/ha¹, alors que la table suggère en plein boisement : 350 m³/ha à 105 ans.

1

Volume = G * H/3= 32,3 m²/ha* 25/3

3. RÉSULTATS

Cette section présente d'abord les résultats de distribution, dénombrement, hauteur et libre de croître pour les semis puis pour les gaules. Les résultats sont présentés par essence, dont évidemment le pin blanc, mais aussi compilés en fonction des essences désirées, des non désirés et de la compétition. La présence de rouille vésiculeuse du pin blanc et celle du charançon du pin blanc sont ensuite décrites. Suit une section qui présente les liens entre la régénération en pin blanc, la perturbation du sol et la quantité de pins blanc sur pied. Finalement, une analyse sommaire du couvert à partir de données lidar récente est présentée.

3.1. SEMIS

3.1.1. Distribution de la régénération

Dans le tableau 6, quelques espèces présentent des résultats de distribution significativement différents selon les traitements :

- PIN présente un gradient croissant selon les traitements et significativement différents entre eux.
- BOP dans CPU et ECFm sont comparables, mais significativement différents de ECF et du témoin.
- ERP, ERR HEG et PEG sont significativement plus élevés dans ECFm.
- PRP est significativement plus élevé dans l'ECFM puis dans la CPU.
- NOC présente un résultat significativement plus élevé dans le témoin, mais l'ensemble des écarts sont infimes.

Pour les espèces regroupées (tableau 7 et figure 6), le groupe des essences désirées et celui des essences non désirées sont significativement plus élevés dans l'ECFM seulement. Il n'y a pas de différences significatives pour les non-commerciaux.

Tableau 6. Distribution de la régénération en semis par essence par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFM	
BOJ	1%	AB	2%	AB	0%	B	5%	A
BOP	1%	B	7%	B	41%	A	48%	A
CHR	3%	A	0%	A	3%	A	3%	A
COC	4%	A	2%	A	8%	A	19%	A
EPB	3%	A	7%	A	6%	A	3%	A
EPN	12%	A	0%	B	0%	B	7%	AB
ERE	13%	A	15%	A	23%	A	25%	A
ERP	8%	B	5%	B	2%	B	27%	A
ERR	26%	B	20%	B	30%	B	63%	A
ERS	2%	A	0%	A	0%	A	0%	A
FEU	19%	A	18%	A	20%	A	18%	A
FRN	0%	A	0%	A	1%	A	0%	A
HEG	0%	B	0%	B	0%	B	3%	A
NOC	4%	A	3%	AB	3%	AB	0%	B
PEG	0%	B	0%	B	10%	B	40%	A
PET	1%	A	8%	A	9%	A	3%	A
PIB	5%	C	15%	BC	23%	B	43%	A
PIR	0%	A	0%	A	1%	A	0%	A
PRP	0%	B	3%	B	7%	AB	15%	A
PRV	0%	A	1%	A	3%	A	4%	A
SAB	44%	A	43%	A	32%	A	41%	A
SAL	0%	A	0%	A	2%	A	0%	A
THO	2%	A	0%	A	1%	A	0%	A

Tableau 7. Distribution de la régénération en semis par groupe d'essence par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFM	
Pin blanc	5%	C ¹	15%	BC	23%	B	43%	A
Désirées	9%	B	16%	B	28%	B	43%	A
Non-désirées	70%	B	68%	B	83%	B	98%	A
Non-commerciales	44%	A	49%	A	60%	A	67%	A

¹ : Les analyses statistiques sont linéaires et les lettres représentent les différences significatives entre les traitements selon une probabilité de 95%.

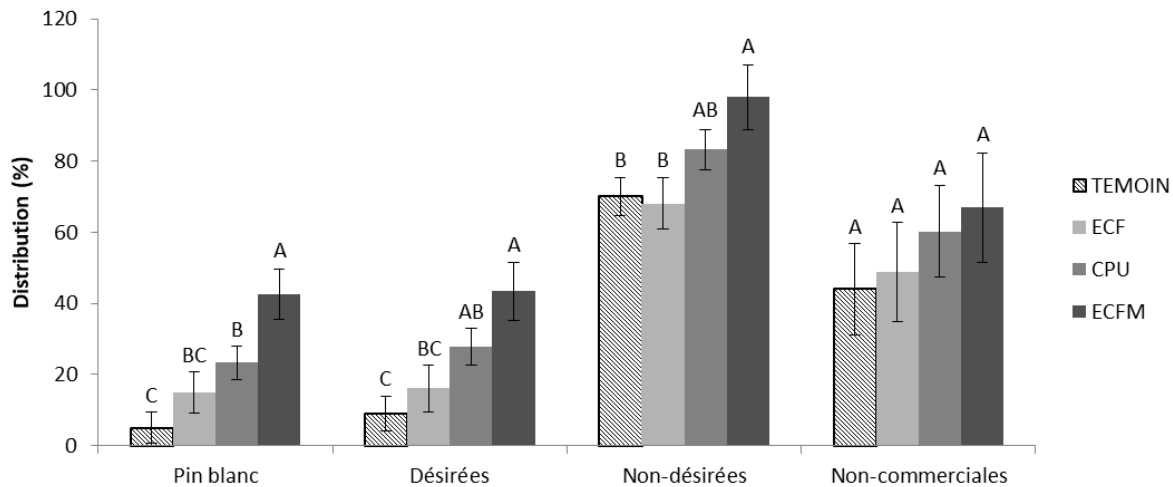


Figure 6. Distribution de la régénération en semis par groupe d'essence par traitement

3.1.2. Densité de la régénération en semis

Le tableau 8 présente des différences de nombre de semis/ha entre les traitements.

Parmi les faits saillants, on retrouve :

- Pour le PIB, mais aussi le PEG, le HEG, l'ERR et le BOJ, le nombre de tiges s'est avéré significativement plus élevé pour le traitement ECFm.
- Pour le PRP et le BOP, le nombre de semis/ha est plus élevé dans l'ECFm, mais aussi dans la CPU.
- Dans le cas de ERP, le nombre de semis/ha est significativement plus élevé pour le traitement ECFm. Mais le traitement CPU présente le nombre de semis/ha significativement le moins élevé.
- Le SAB présente une diminution significative entre le témoin et la CPU alors que l'ECF et l'ECFm sont comparable aux autres traitements.
- Pour l'EPN, tout traitement semble l'avoir significativement défavorisé, mais un peu moins l'ECFm.
- Pour le NOC, il est absent de l'ECFm.
- Pour les groupes d'essences (tableau 9 et figure 7), seul le traitement ECFm apparait significativement plus élevé pour le PIB, les essences désirées (pins, chênes, épinettes, érable à sucre, cerisier tardif et bouleau jaune) et les non désirées. Aucun résultat n'est significatif chez les essences non commerciales.

Tableau 8. Densité (nb/ha) de la régénération en semis par espèce par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFM	
BOJ	75	B	42	B	0	B	438	A
BOP	100	B	1004	B	4290	A	5493	A
CHR	150	A	4	A	144	A	56	A
COC	875	A	918	A	3451	A	2998	A
EPB	100	A	375	A	444	A	63	A
EPN	1275	A	0	B	0	B	608	AB
ERE	2475	A	3376	A	3135	A	4435	A
ERP	475	AB	375	AB	111	B	1000	A
ERR	1900	B	1375	B	2389	B	9438	A
ERS	50	A	0	A	0	A	1	A
FEU	2050	A	6451	A	5397	A	2636	A
FRN	0	A	0	A	83	A	1	A
HEG	0	B	0	B	0	B	63	A
NOC	250	A	216	AB	273	A	0	B
PEG	0	B	0	B	528	B	1375	A
PET	25	A	536	A	393	A	133	A
PIB	150	B	503	B	1034	B	3371	A
PIR	0	A	0	A	28	A	0	A
PRP	0	B	83	B	278	AB	750	A
PRV	0	A	96	A	322	A	168	A
SAB	2525	A	2273	AB	1161	B	1527	AB
SAL	0	A	0	A	167	A	0	A
THO	100	A	12	A	26	A	0	A

Tableau 9. Densité (nb/ha) de la régénération en semis par groupe d'essences par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFM	
Pin blanc	150	B	503	B	1034	B	3371	A
Désirées	375	B	531	B	1222	B	3891	A
Non-désirées	6075	B	5620	B	9207	B	18195	A
Non-commerciales	6125	A	12495	A	13275	A	10196	A

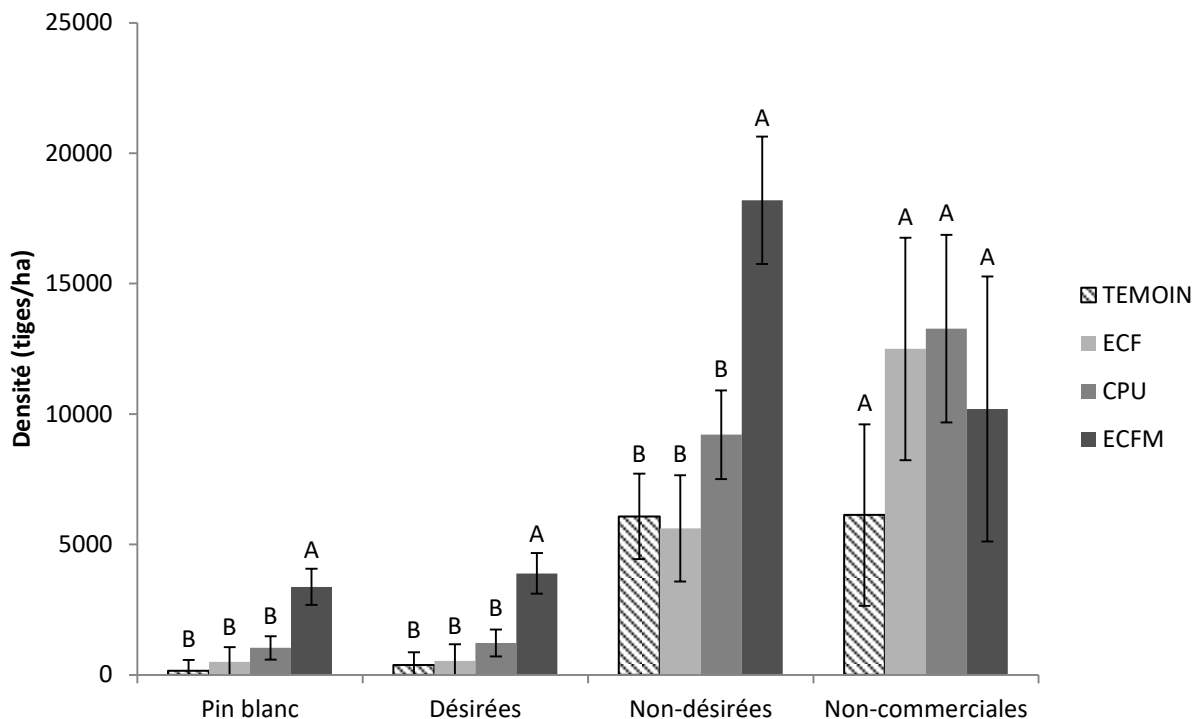


Figure 7. Densité de la régénération en semis par groupe d'espèces par traitement

3.1.3. Hauteur de la régénération en semis

Peu d'essences présentent des différences significatives de hauteur entre les traitements (tableau 10 ; tableau 11 ; figure 8). On remarque ainsi parmi les faits saillants pour les hauteurs :

- Pas de différence significative pour le pin blanc.
- Pas de différences significatives pour l'ensemble des espèces désirées, mais quelques différences spécifiques :
 - THO est significativement plus élevée dans la CPU que dans le témoin (seul traitement où il est présent).
 - EPB est significativement plus élevée dans la CPU, et significativement la moins élevée dans l'ECF,
 - PRV, présent seulement dans la CPU et l'ECFm, est significativement plus élevée dans l'ECFm.
- Des différences significativement supérieures pour les espèces non désirées dans la CPU et l'ECFm.
- ERR est significativement plus élevée dans les CPU et l'ECFm.
- Une différence significativement moins élevée dans le témoin comparativement aux traités pour les espèces non commerciales.

Tableau 10. Hauteur (cm) de la régénération en semis par espèce par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFM	
BOJ	157	A	22	A			67	A
BOP	50	A	155	A	147	A	112	A
CHR	47	A			120	A	34	A
COC	184	A			148	A	114	A
EPB	45	AB	20	B	78	A	90	AB
EPN	74	A	93	A			56	A
ERE	122	A	168	A	163	A	148	A
ERP	89	A	82	A	138	A	144	A
ERR	64	B	94	AB	105	A	119	A
ERS	53							
FEU	94	A	136	A	139	A		
NOC	55	A			93	A		
PEG					165	A	172	A
PET	125	A	156	A	128	A	216	A
PIB	11	A	36	A	46	A	32	A
PRP			195	A	199	A	194	A
PRV					95	B	203	A
SAB	83	A	77	A	78	A	99	A
SAL					119			
THO	41	B			105	A		

Tableau 11. Hauteur (cm) de la régénération en semis par groupe d'espèces par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFM	
Pin blanc	11	A	36	A	46	A	32	A
Désirées	34	A	37	A	54	A	37	A
Non-désirées	73	B	84	B	118	A	132	A
Non-commerciales	93	B	137	A	142	A	148	A

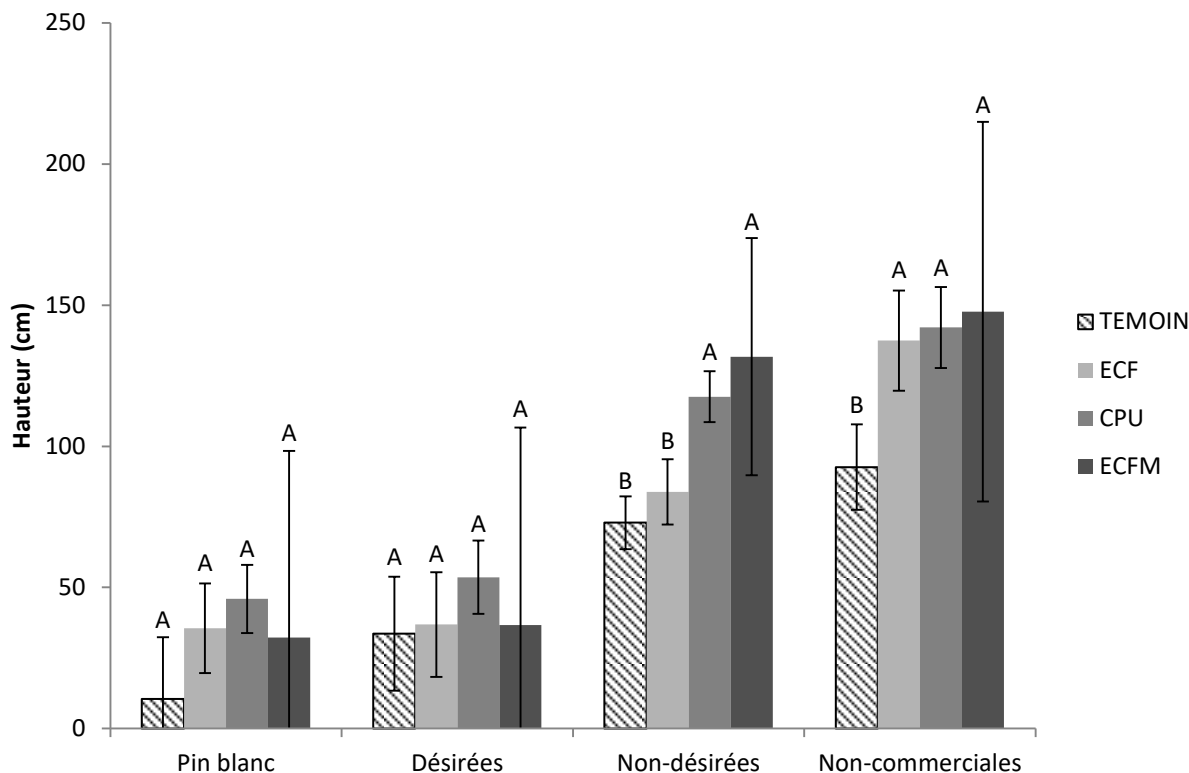


Figure 8. Hauteur (cm) de la régénération en semis par groupe d'espèces par traitement

3.1.4. Libre de croître de la régénération en semis

La proportion de semis libre de croître varie beaucoup selon les essences et les traitements (tableau 12 ; tableau 13 ; figure 9). Quelques faits saillants se démarquent :

- La proportion libre de croître de pin blanc est significativement nulle dans le témoin, mais significativement plus élevée dans la CPU. À noter, la très grande variabilité des résultats dans l'ECF.
- La proportion libre de croître en essences désirées et non désirées est significativement plus élevée pour les CPU. À noter, la très grande variabilité des résultats dans l'ECF.
- Quelques différences pour trois autres espèces que le pin blanc :
 - FEU : la proportion libre de croître est significativement moins élevée dans le témoin.
 - PRP : elle est significativement plus élevée dans l'EFC.
 - SAB : elle est significativement plus élevée dans la CPU.

Tableau 12. Proportion de semis libres de croûtre par espèce par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFM	
BOJ	100%	A	0%	A			50%	A
BOP	99%	A	97%	A	59%	A	55%	A
CHR	24%	A			33%	A	12%	A
COC	50%	A			29%	A	11%	A
EPB	33%	A	38%	A	40%	A		
EPN	42%	A	100%	A				
ERE	13%	A	64%	A	56%	A	46%	A
ERP	51%	A	13%	A	34%	A	-1%	A
ERR	35%	A	47%	A	41%	A	27%	A
ERS	50%							
FEU	42%	A	8%	B	4%	B		
NOC	75%	A						
PEG					44%	A	38%	A
PET	0%	A	40%	A	25%	A	0%	A
PIB	0%	B	26%	B	64%	A	24%	B
PRP	0%		100%	A	33%	AB	17%	B
SAB	28%	B			55%	A	28%	AB
SAL					50%			

Tableau 13. Proportion de semis libres de croûtre par groupe d'espèces par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFM	
Pin blanc	0%	B	26%	B	64%	A	24%	B
Désirées	16%	B	23%	B	57%	A	32%	AB
Non-désirées	29%	B	35%	AB	50%	A	42%	AB
Non-commerciales	37%	A	37%	A	31%	A	25%	A

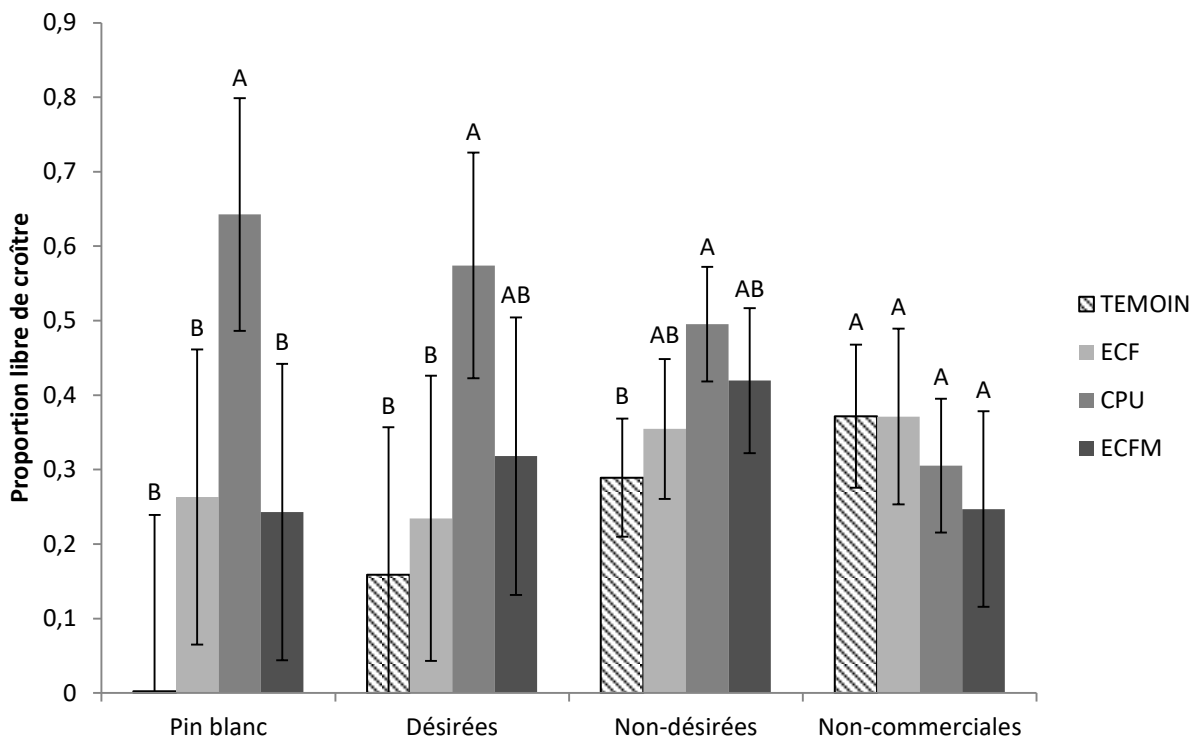


Figure 9. Proportion de semis libres de croître par groupe d'espèces par traitement

3.2. GAULES

3.2.1. Densité des gaules

La densité de gaules/ha varie beaucoup selon les essences et les traitements (tableau 14 ; tableau 15 ; figure 10). Le pin blanc n'est pas présent parmi les gaules de ce dispositif. Les gaules sont formées soit d'espèces à croissance rapide soit d'essences préétablies. Parmi les faits saillants, on retrouve :

- Une abondance significativement plus élevée des essences désirées dans l'ECFm et significativement moins élevée dans la CPU.
- Une abondance significativement plus élevée des essences non désirées dans l'ECFm.
- Une abondance significativement plus élevée des essences non commerciales dans la CPU.
- Par essence, quelques-unes se distinguent :
 - BOJ, plus élevé dans l'ECFm, puis dans l'EFC.
 - BOP, plus élevé dans la CPU, puis dans l'ECFm.
 - EPN et le SAB, significativement plus élevés dans le témoin et moins élevés dans la CPU.
 - PEG, significativement plus élevé dans l'ECFm.

- PET et PRP, significativement plus élevés dans la CPU et significativement moins élevés dans le témoin.

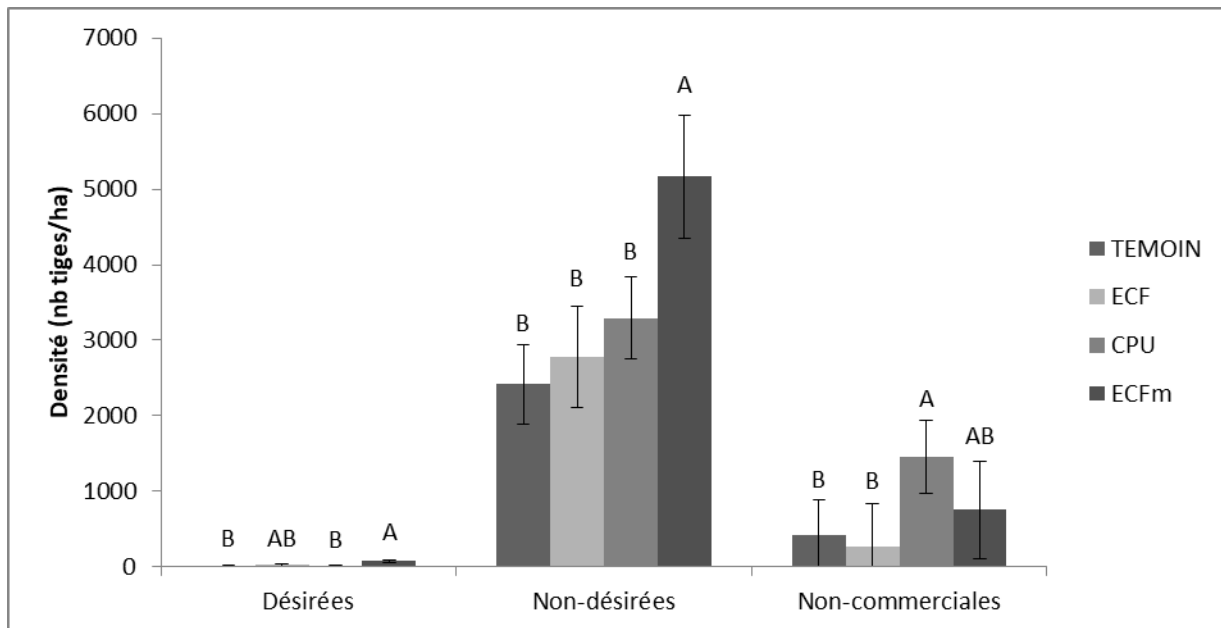
Tableau 14. Densité des gaules par espèce et par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFM		Moy
AUL	0	A	8	A	0	A	0	A	2
BOJ	5	B	25	AB	0	B	75	A	26
BOP	20	B	30	B	372	A	192	AB	154
CHR	10	A	0	A	0	A	0	A	3
COC	30	A	4	A	0	A	94	A	31
EPB	30	A	42	A	28	A	0	A	25
EPN	80	A	25	AB	6	B	51	AB	40
ERE	85	A	75	A	750	A	37	A	237
ERP	60	A	33	A	16	A	50	A	40
ERR	345	B	1000	AB	1346	A	1950	A	1160
ERS	10	A	0	A	17	A	0	A	7
FEU	240	A	218	A	577	A	285	A	330
FRN	20	A	0	A	38	A	13	A	15
NOC	0	A	1	A	6	A	0	A	1
PEG	0	B	0	B	544	B	2250	A	699
PET	0	B	62	AB	251	A	82	AB	99
PRP	0	B	42	AB	100	A	125	AB	67
PRV	0	A	2	A	12	A	0	A	3
SAB	1910	A	1433	AB	633	C	912	BC	1222
VIL	0	A	2	A	12	A	0	A	3
Total	2845		3003		4709		6116		4164

Tableau 15. Densité des gaules par groupe d'espèces et par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFm	
DES	15	B	25	AB	0	B	75	A
NDE	2415	B	2772	B	3294	B	5167	A
NCO	415	B	273	B	1450	A	752	AB

Figure 10. Densité des gaules par groupe d'espèces et par traitement



3.2.2. Hauteur des gaules

Il y a peu de résultats significatifs concernant la hauteur des gaules. Le seul le SAB présente une hauteur significativement moins élevée dans les traitements plus ouverts de CPU et ECFm (tableau 16).

Tableau 16. Hauteur des gaules par espèce et par traitement

	TEMOIN		ECF		CPU		ECFm	
BOP	293	A	208	A	85	A	32	A
EPB			345	A	54	A		
EPN	62	A	255	A				
ERR	422	A	262	A	320	A	149	A
FEU	176	A	207	A	204	A		
PEG					412	A	373	A
PET			177	A	395	A		
SAB	621	A	632	A	319	B	176	B

3.3. ROUILLE VÉSICULEUSE DU PIN BLANC (RVPB) ET CHARANÇON

3.3.1. Présence de la rouille

Aucune rouille vésiculeuse du pin blanc n'a été observée.

3.3.2. Présence du charançon

Aucun charançon du pin blanc n'a été observé.

3.4. LIEN ENTRE LA RÉGÉNÉRATION EN PIN BLANC (DISTRIBUTION-DENSITÉ), LA PERTURBATION DU SOL ET LA QUANTITÉ DE PIN BLANC SUR PIED

La section suivante présente les liens possibles entre la densité et le coefficient de distribution du pin blanc avec la perturbation ou la quantité de pin blanc sur pied, seuls ou combinés.

3.4.1. Coefficient de distribution-densité et perturbation

En ce qui concerne la perturbation de sol, le tableau 17 montre que pour les traitements ECF et ECFm, la présence de perturbation de sol augmenterait la distribution des tiges et la densité/ha de semis de pin blanc. Mais cela ne semble pas le cas dans la CPU. À noter qu'il n'y a pas de validation statistique pour ces données. La majorité de la proportion de sol perturbé dans les microplacettes se situe dans la catégorie de 0 à 25% de la superficie perturbée dans la placette.

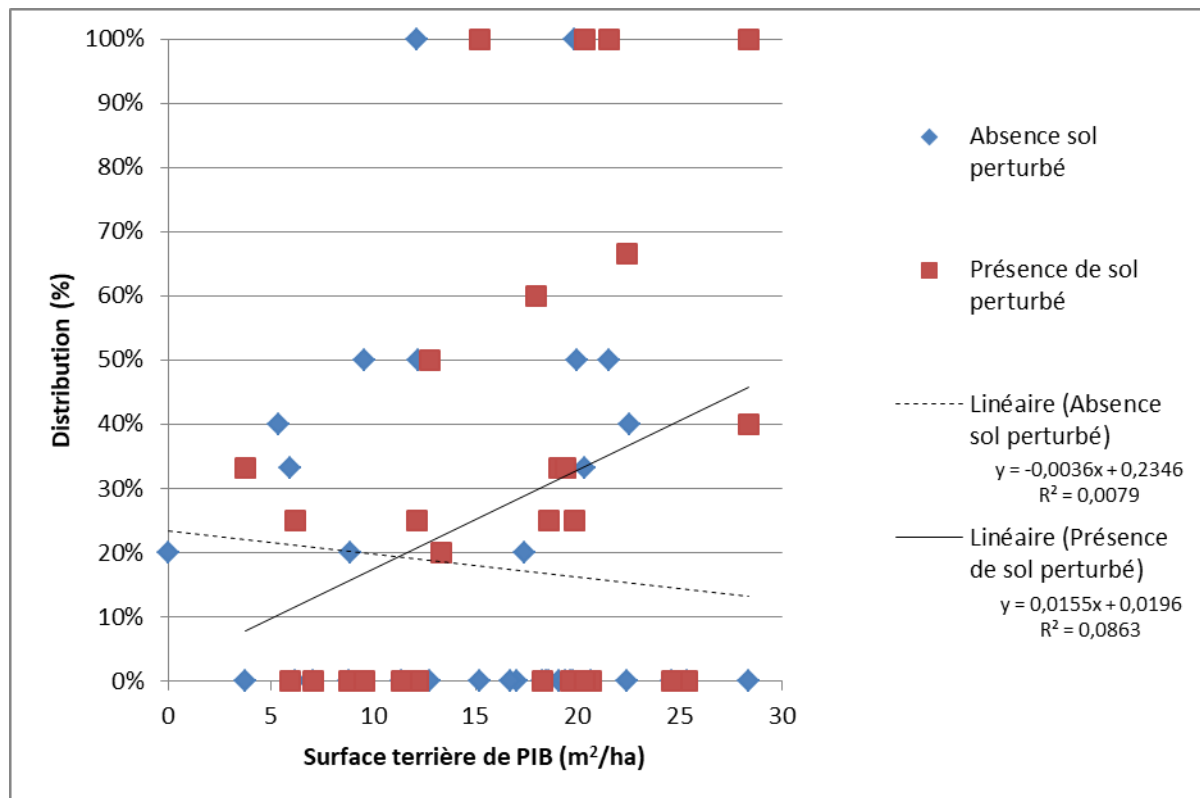
Tableau 17. Coefficient de distribution et densité de la régénération de pin blanc en fonction de la perturbation du sol

Traitement	Présence de sol perturbé	Présence de PIB	Densité de PIB	
		Moy	Moy	ET
CPU	Non	22%	944	2279
	Oui	24%	1056	2164
Total CPU		23%	1000	2211
ECF	Non	8%	313	1159
	Oui	30%	1000	1701
Total ECF		15%	542	1388
ECFM	Non	29%	1071	2027
	Oui	61%	6111	8054
Total ECFM		44%	3397	6137
TÉMOIN	Non	5%	150	694

3.4.2. Coefficient de distribution de la régénération de pin blanc en fonction de la perturbation du sol et de la quantité de pin blanc sur pied

On observe pour les superficies perturbées une faible tendance d'augmentation du coefficient de distribution de la régénération du pin blanc en fonction de l'augmentation de la surface terrière de pin blanc sur pied. Il n'y a aucune influence du couvert de pin blanc sur la distribution de la régénération dans le cas où les sols ne sont pas perturbés (figure 11). À noter que ces observations ne reposent sur aucune analyse statistique.

Figure 11. Coefficient de distribution de la régénération du pin blanc en fonction de la perturbation du sol et de la surface terrière de pin blanc sur pied



3.5. ANALYSE DU COUVERT AVEC LES DONNÉES LIDAR

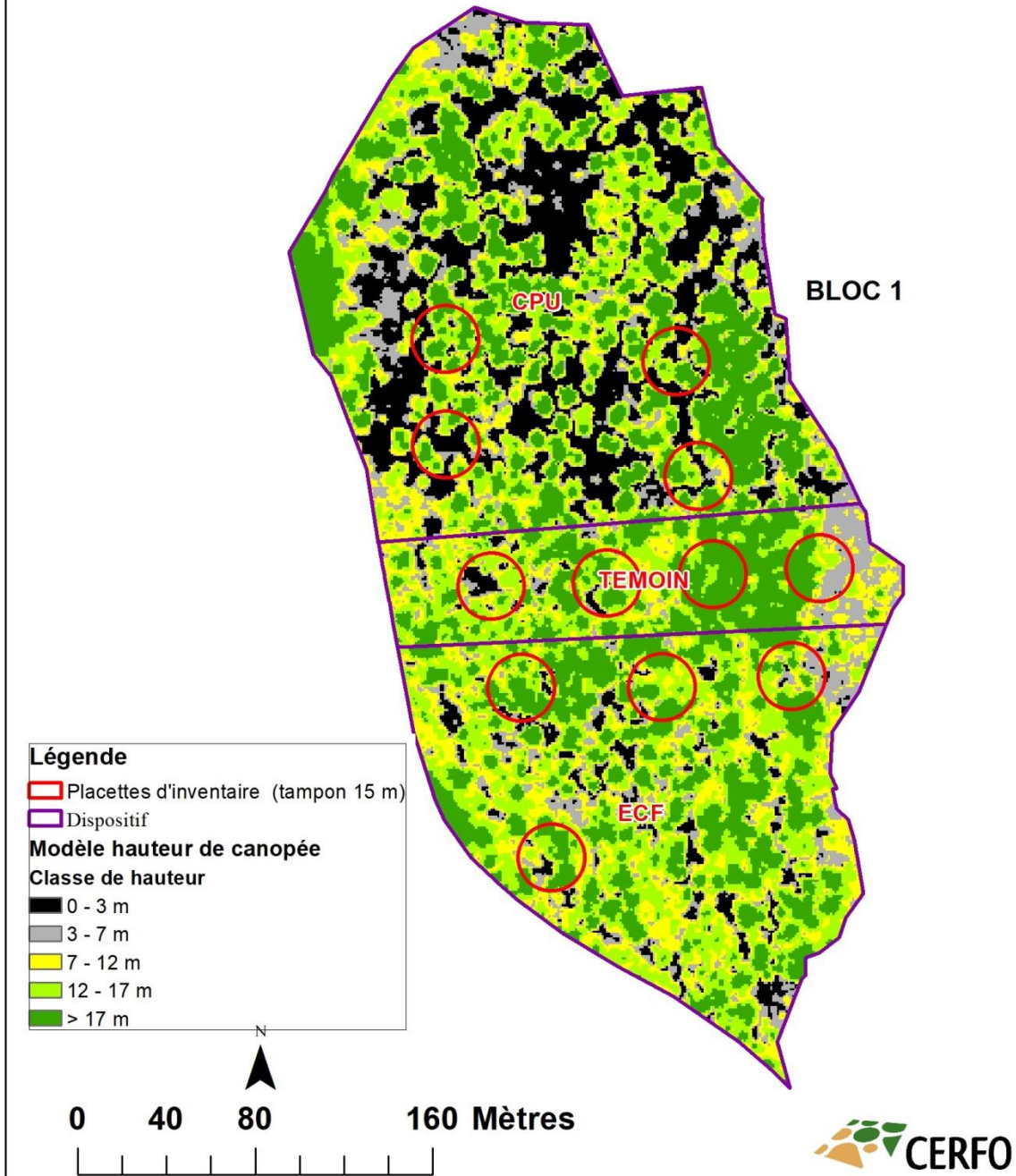
Cette analyse repose sur les données de hauteur de la canopée (MHC) au mètre près, issues des données lidar acquises en 2015 et disponibles sur le site du MFFP. Un rayon de 15 m a été établi pour chaque placette d'inventaire afin d'en évaluer le couvert forestier. La proportion occupée par les différentes classes de hauteur (< 3 m; 3-7 m; 7-12 m; 12-17 m et ≥ 17 m) a été calculée pour chacune des placettes. Le tableau 18 présente les résultats d'analyse entre les traitements. Des différences significatives sont observées pour toutes les classes de hauteur. À noter qu'une placette du traitement témoin du bloc 2 a été éliminée de cette analyse, due à sa proximité de la rivière.

Pour les classes de plus de 3 m, plus de 7 m et plus de 12 m, comme on pouvait l'anticiper avec les données de surface terrière et le nombre de tiges à l'hectare, la CPU présente des couverts significativement plus ouverts à tous ces étages et le témoin se retrouve souvent à l'autre extrême avec des couverts plus fermés (figure 12).

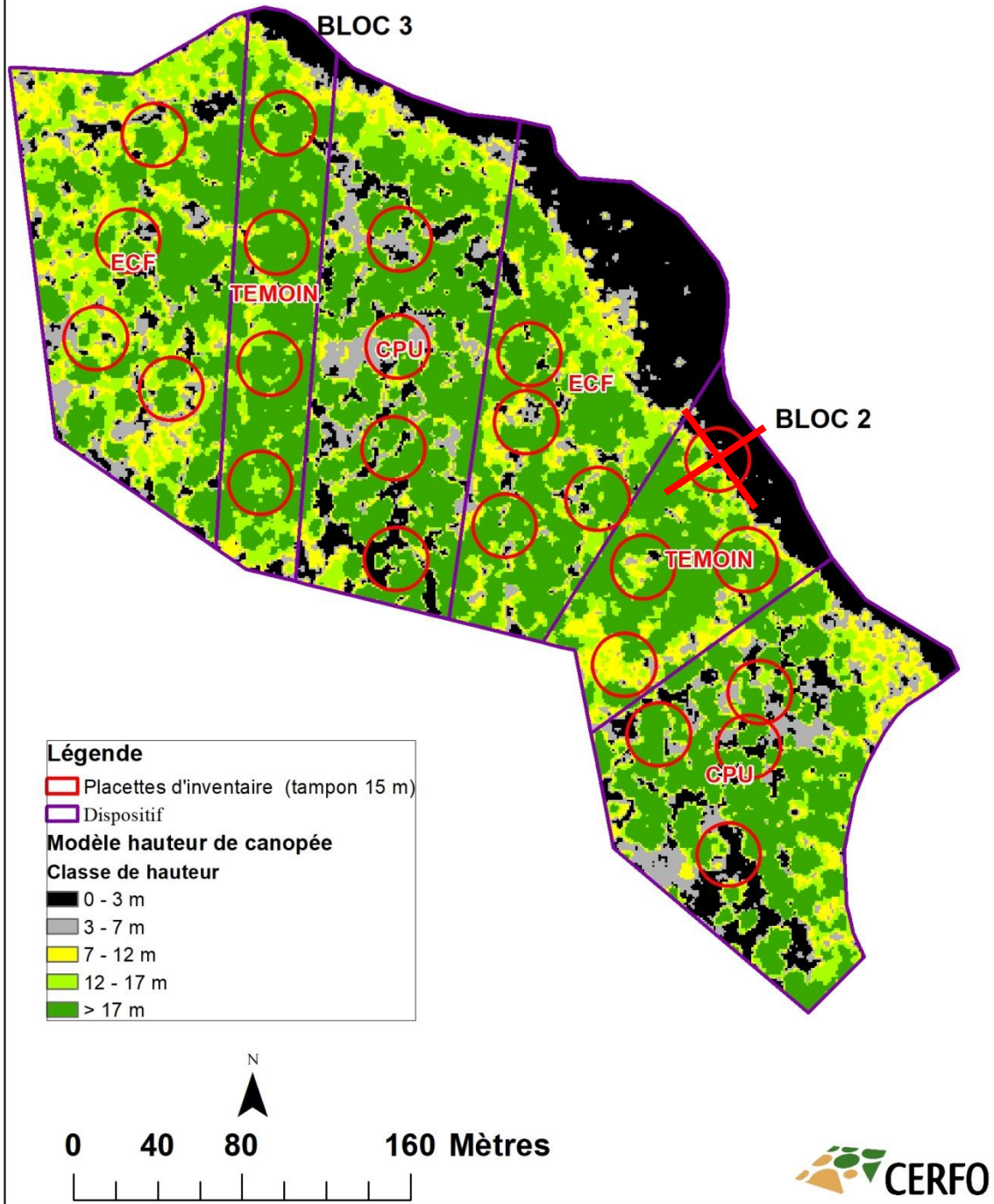
Tableau 18. Résultat de l'analyse du couvert forestier à partir des données Lidar compilées par placette d'inventaire.

	Classe de hauteur											
	>3m			>7m			>12m			>17m		
Traitement	Moy	STDER	DIF	Moy	STDER	DIF	Moy	STDER	DIF	Moy	STDER	DIF
CPU	81%	2%	C	63%	2%	C	52%	3%	C	39%	5%	B
ECF	95%	2%	AB	84%	3%	B	67%	4%	B	45%	6%	B
ECFM	90%	3%	B	73%	4%	B	59%	5%	BC	41%	7%	B
TEMOIN	98%	2%	A	92%	2%	A	81%	3%	A	62%	5%	A
*calcul basé sur les placettes avec un rayon de 15m												

Classe de hauteur de la canopée



Classe de hauteur de la canopée



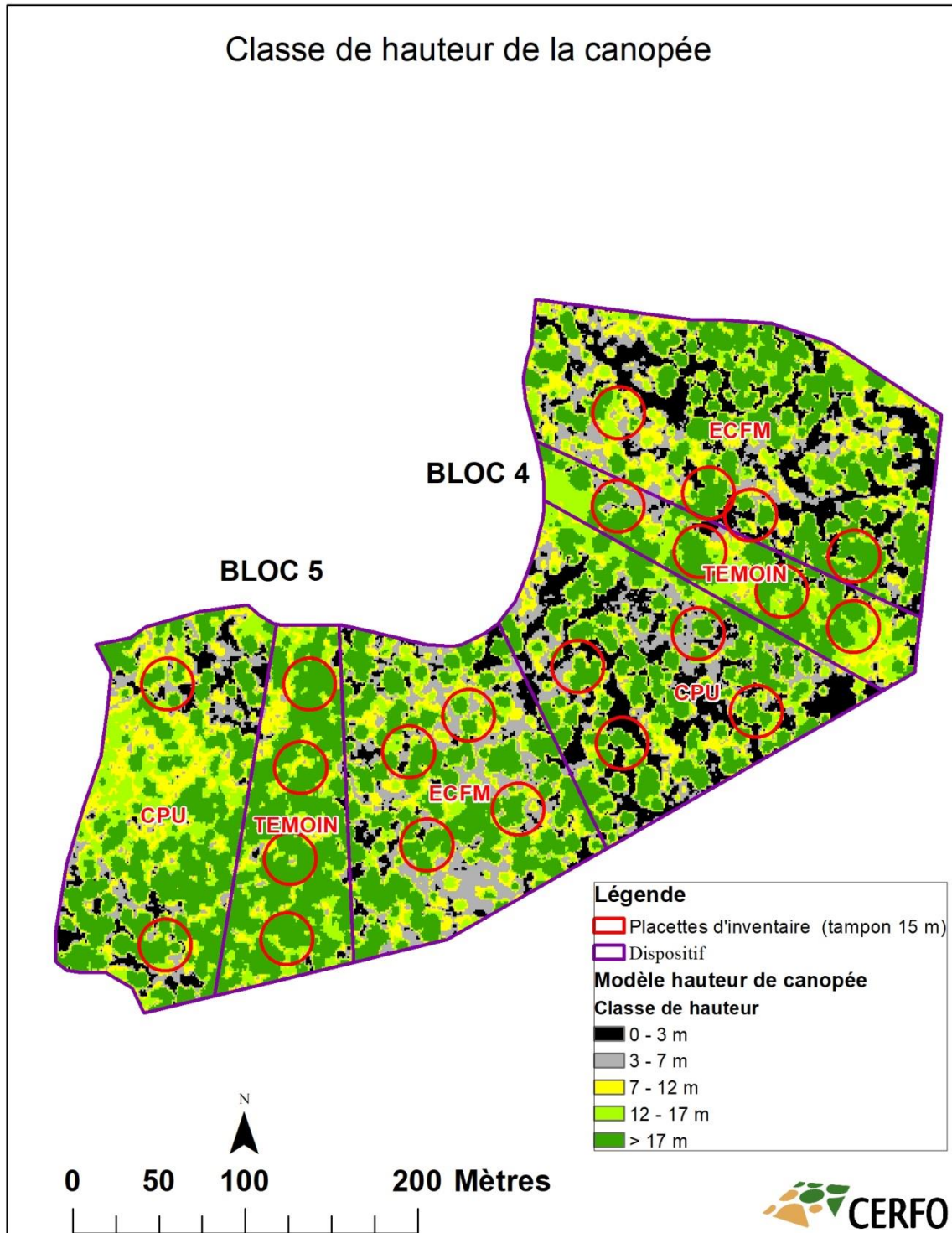


Figure 12. Classe de hauteur de la canopée pour les 5 blocs (3 vues)

3.6. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS POUR LE PIN BLANC

Le tableau 19 montre que, pour plusieurs paramètres, l'ECFm présente les meilleurs résultats d'installation du pin blanc. Les différences sont importantes avec l'état initial. Un pourcentage élevé de tiges n'est pas libre de croître.

Tableau 19. Synthèse des résultats pour le pin blanc par traitement

	TÉMOIN	ECF	CPU	ECFM
	Densité (ti/ha)	Densité (ti/ha)	Densité (ti/ha)	Densité (ti/ha)
Semis PIB	150 B	503 B	1034 B	3371 A
	CD (%)	CD (%)	CD (%)	CD (%)
Semis PIB	5 B	15 B	23 B	43 A
	Hauteur (cm)	Hauteur (cm)	Hauteur (cm)	Hauteur (cm)
Semis PIB	11 A	36 A	46 A	32 A
	Libre (%)	Libre (%)	Libre (%)	Libre (%)
Semis PIB	0 B	26 B	64 A	24 AB

4. DISCUSSION

La discussion propose dans un premier temps les réponses aux hypothèses posées au départ, à la lumière des résultats obtenus. Puis elle met en perspectives pourquoi l'éclaircie commerciale feuillue modifiée présente des résultats plus avantageux que les autres traitements pour la régénération du pin blanc. Enfin, les conséquences sur les scénarios sylvicoles sont passées en revue.

4.1. RÉPONSES AUX HYPOTHÈSES

4.1.1. Hypothèses sur la composition, la densité et la distribution de la régénération (semis et gaules)

4.1.1.1. **Distribution, densité, hauteur et libre de croître du pin blanc**

La plus forte densité de régénération de pin blanc est dans la CPU.

NON, les valeurs les plus élevées sont observées dans le traitement ECFm pour les semis, aucune gaule de pin blanc n'a été observée.

La plus forte distribution de régénération de pin blanc est dans la CPU.

NON, les valeurs les plus élevées pour les semis sont observées dans le traitement ECFm. Aucune gaule de pin blanc n'a été observée.

La plus forte hauteur de régénération de pin blanc est dans la CPU.

NON, aucune hauteur de semis n'est significativement différente selon les trois traitements. Aucune gaule de pin blanc n'a été observée.

La plus forte proportion de régénération de pin blanc libre de croître est dans la CPU.

OUI, c'est dans la CPU que les valeurs pour les semis sont plus élevées. Aucune gaule de pin blanc n'a été observée.

4.1.1.2. **Distribution, densité, hauteur et libre de croître des essences désirées**

Les plus fortes distribution, densité et hauteur de régénération des essences désirées sont dans la CPU, tant au stade semis qu'au stade gaulis.

NON, pour la distribution et la densité des semis, les valeurs sont plus élevées dans l'ECFm. Pour la hauteur des semis, il n'y a pas de différence entre les traitements. Au stade gaulis, la densité dans l'ECFm est significativement supérieure à celle dans la CPU.

La plus forte proportion de semis des essences désirées libres de croître est dans la CPU.

OUI, elle est significativement plus élevée que dans le témoin et dans l'ECF. Elle est aussi plus élevée que celle de l'ECFm, mais la différence n'est pas significative.

4.1.1.3. Distribution, densité, hauteur et libre de croître des essences non désirées

Les plus fortes distribution, densité et hauteur de régénération des essences non désirées sont dans l'ECF.

NON, pour la distribution et la densité des semis, les valeurs sont plus élevées dans l'ECFm. Au stade gaulis, la densité dans l'ECFm est significativement supérieure à celle dans ECF et le témoin ; elle est aussi supérieure à celle de la CPU mais la différence n'est pas significative. Pour la hauteur des semis, elle ne se distingue pas entre CPU et ECFm, mais les résultats de CPU et ECFm sont significativement différents du témoin et de l'ECF.

Les semis des essences non commerciales sont plus libres de croître dans la CPU.

OUI, les semis sont significativement plus libres de croître dans la CPU que dans le témoin. Ils le sont aussi davantage dans l'ECF et l'ECFm, mais les différences ne sont pas significatives.

4.1.1.4. Distribution, densité, hauteur et libre de croître des essences non commerciales

Les plus fortes distribution, densité et hauteur de régénération des essences non commerciales sont dans l'ECF.

NON, il n'y a pas de différences significatives en ce qui concernent la distribution et la densité des semis. Pour les gaules, une différence est observée mais elle n'est pas significative. Pour la hauteur des semis, les traitements ne se distinguent pas entre eux, mais sont significativement supérieurs au témoin.

Les semis des essences non commerciales sont plus libres de croître dans la CPU.

NON, aucune différence significative entre les traitements n'est observée.

4.1.2. Hypothèses sur la présence de rouille vésiculeuse et du charançon

Il y a plus de cas de rouille vésiculeuse dans le traitement d'ECF, moins ouvert et plus susceptible au maintien d'une humidité matinale propice à la propagation.

NON, aucune présence n'a été observée quel que soit les traitements.

Il y a plus de cas de charançon du pin blanc dans le traitement CPU, qui est plus ouvert et présente des tiges apicales plus propices à accueillir la ponte.

NON, aucune présence n'a été observée quel que soit les traitements.

4.1.3. Hypothèses sur le besoin de dégagement

La régénération de pin blanc a besoin de dégagement maintenant, dans tous les traitements (incluant le témoin).

OUI, un dégagement du pin blanc est requis dans tous les traitements.

La régénération des essences désirées a besoin de dégagement maintenant, dans tous les traitements (incluant le témoin).

OUI, un dégagement des essences désirées est requis dans tous les traitements.

4.1.4. Hypothèses générales sur le scénario sylvicole prévu

La régénération et les gaules de pin blanc sont suffisamment nombreuses pour constituer une cohorte de régénération de plus de 2000 ti/ha dans le traitement de CPU seulement

NON, seulement le traitement de ECFm contient plus de 2000 ti/ha de pin blanc.

La régénération et les gaules des essences désirées sont suffisamment nombreuses pour constituer une cohorte de régénération de plus de 2000 ti/ha dans le traitement de CPU seulement.

NON, seulement le traitement de ECFm contient plus de 2000 ti/ha en régénération en essences désirées.

4.2. SYNTHÈSE GÉNÉRALE DES TRAITEMENTS EXPÉRIMENTÉS

Peu importe le traitement, l'ouverture du couvert a permis le recrutement de semis de pins blancs. Bien que les résultats soient très variables à l'intérieur d'un même traitement, l'éclaircie commerciale feuillue modifiée (ECFm) a présenté les meilleurs résultats. La section suivante propose des explications possibles à ce résultat, qui n'est pas en accord avec les hypothèses initialement posées.

- *Il existerait un biais dans l'échantillonnage en lien avec les stations, qui ne présenteraient pas les mêmes dynamiques et lits de germination dans tous les traitements.*

OUI, les deux blocs expérimentaux (4 et 5) où se retrouve le traitement ECFm contiennent une plus forte proportion de placettes situées sur des sols à texture fine ou moyennes (>50%) comparativement aux blocs 1, 2 et 3 (<27%) (tableau 20). Il est également possible de constater que 75% des placettes de l'ECFm sont situées sur des sols à texture fine ou moyenne comparativement à 25 % ou moins pour les 2 autres traitements (tableau 21).

Tableau 20. Nombre et proportion de placette par classe de texture de sol par bloc

BLOC	Fine	Moyenne	Grossière	Roc	Total	% Fine-Moyenne
1	0	2	1	9	12	17%
2	0	2	10	0	12	17%
3	0	3	8	0	11	27%
4	3	3	5	1	12	50%
5	0	7	2	1	10	70%

Tableau 21. Nombre et proportion de placette par classe de texture de sol par traitement

TRAIT	Fine	Moyenne	Grossière	Roc	Total	% Fine-Moyenne
CPU	1	1	12	4	18	11%
ECF	0	3	6	3	12	25%
ECFM	1	5	1	1	8	75%

- *Plus de prélèvement entrainerait plus de perturbation, donc plus de lits de germinations favorables.*

NON, le prélèvement dans l'ECFm (30%) est inférieur à celui de la CPU (40%), mais la proportion de sol perturbé est semblable.

- *On observerait une densité du couvert moins élevée dans l'ECFm que dans la CPU, entrainant alors plus de lumière au sol.*

NON, la surface terrière totale résiduelle de l'ECFm (22,7 m²/ha) est même supérieure à celle de la CPU (17,5 m²/ha).

- *On observerait un sous-étage de perches plus important dans l'ECFm, qui diminuerait la quantité de lumière au sol.*

NON, la quantité de perches était semblable dans tous les traitements.

- *On observerait moins de compétition par les autres espèces désirées, les espèces non désirées ou les espèces non commerciales dans l'ECFm.*

NON, c'est dans l'ECFm que les valeurs sont les plus élevées pour les espèces désirées et les non désirées. Les résultats sont cohérents avec les résultats par essence.

- *Il y a plus de semenciers dans ECFm, donc plus de semences et plus de semis.*

OUI, il y a effectivement un peu plus de pin blanc sur pied dans le peuplement résiduel du ECFm (18,5 m²/ha) comparativement à la CPU (15,7 m²/ha), soit 19% de plus, ce qui pourrait expliquer une certaine partie des résultats, étant donné que l'on observe une faible tendance d'augmentation de la quantité de régénération sur les sites perturbés en lien avec l'augmentation du couvert de pin blanc.

Selon les résultats de ce dispositif, le pin blanc est favorisé par l'ouverture du couvert et le maintien d'une densité minimale de semenciers : même sans scarifiage, une régénération en pin blanc épars s'est installée. Il est difficile d'identifier avec précision les facteurs de succès de l'ECFm par rapport à la CPU, mais on retrouve :

- Une surface terrière totale plus élevée ;
- Une surface terrière plus élevée en pin blanc ;
- Une compétition plus élevée (moins de sécheresse) ;
- Des sols plus riches.

Des questions restent en suspens. Par exemple :

- Y aurait-il un lien à faire avec des conditions climatiques plus rigoureuses au sol (sécheresse) dans le cas de la CPU ?
- Est-ce que l'ouverture plus grande ainsi qu'une moins grande quantité de compétition et de sous-étage de perches seraient en cause, en offrant moins de protection ?

4.3. SYNTHÈSE GÉNÉRALE DU SCÉNARIO SELON L'AXE DE CONVERSION ASSISTÉE DE LA STRATÉGIE D'AMÉNAGEMENT

4.3.1. Peuplement cible et horizon projeté

Nous rappelons que le peuplement résiduel comportait initialement très peu de régénération en pin blanc. Les surfaces terrières étaient élevées (cf. tableau 1) et la proportion de pin blanc en surface terrière était respectivement de 57% (Témoin), 63% (ECF), 86% (ECFM), 89 % (CPU) du bois sur pied.

L'objectif de la stratégie d'aménagement pour ce peuplement est une **succession assistée**. Nous posons comme cible mesurable de l'objectif, l'obtention d'une pinède à pin blanc biétagée. La maturité technique est placée à 150 ans ; un peuplement de 50 ans étant installé en sous-étage, devrait permettre un chevauchement de révolutions.

4.3.2. Rappel du scénario en cours et du scénario théorique proposé selon l'axe de succession assistée

La séquence de traitements sylvicoles actuellement réalisée est la suivante :

- Coupe préparatoire ou coupe progressive d'ensemencement en 2009 (martelage positif des semenciers avec 30-40 % de prélèvement);
- Dégagement hâtif sous couvert à 9 ans;
- Dégagement sous couvert à 15-20 ans;
- Coupe finale en 2059.

La séquence théorique proposée selon l'axe de conversion assistée devrait être :

- Coupe d'ensemencement en 2009 d'un procédé de régénération par coupe progressive irrégulière (régénération lente). Habituellement, un couvert résiduel d'approximativement 50% d'ouverture devrait être maintenu.
- Débroussaillage de toute la superficie.
- Scarifiage léger par circulation en S d'une débusqueuse, utilisation d'un buteur ou autre (Expériences de Gilles Tremblay, MFFP Outaouais²) Une préparation de terrain permettant une bonne exposition du sol minéral réalisée lors d'une bonne année semencière favorisera l'établissement des semis (Hannah, 1988).
- Suivi et enrichissement avec des plants, au besoin.
- Dégagement hâtif. Selon l'état des connaissances sur le pin blanc (Ferrer et al., 2018), il est mentionné :

² Lise Guay, communication personnelle.

L'application de travaux d'ouverture lors du développement de la régénération avancée est un événement crucial. Ces travaux doivent notamment dégager la régénération du sous-étage pour lui donner un meilleur accès à la lumière (Boulet and Huot, 2013; Lessard et al. 1999; Desmarais, 1998). Ainsi, deux dégagements précoces sur les sept premières années d'implantation de la régénération peuvent permettre de doubler le taux de croissance comparativement à un dégagement unique (Cogliastro and Paquette, 2012). Le taux d'ouverture du couvert généralement utilisé est de 25-30% (Lessard et al. 1999; Cogliastro and Paquette, 2012). Le contrôle de la végétation compétitrice est un élément fondamental à la réussite de la régénération (Communication personnelle, Andrée Morneau, Michel Huot, Géry Van der Kelen, 2018).

- Suivi phytosanitaire.
- Coupes partielles (25 ans) en 2034.
- Coupe finale de l'étage supérieur en 2059 (avec rétention de legs biologiques) et éclaircie dans le peuplement résiduel de 50 ans.

4.3.3. Prochains traitements à planifier

Un **dégagement hâtif** serait nécessaire le plus tôt possible pour bien gérer le risque. Cette intervention est d'autant plus pressante que les résultats présentés dans ce rapport datent déjà de quelques années (inventaire réalisé en 2014, soit 5 ans après l'installation du dispositif) !

Ce dégagement pourrait s'effectuer sur un nombre limité de tiges d'avenir, bien réparties, selon le principe de la production « *situative* » (Schütz, 2005; Gravel, 2013; Lise Guay, comm. pers. 2018). Le dégagement à l'europpéenne pourrait être priorisé, afin de dégager le tiers supérieur des cimes et maintenir un couvert latéral pour favoriser un élagage naturel. Alors qu'au stade gaulis avancé, le dégagement par puits de lumière propose de libérer de 350 à 500 ti/ha bien distribuées et libres de croître afin de limiter les coûts (Lupien, 2008 ; Thiffault, 2013), le dégagement hâtif au stade semis pourrait viser 800 ti/ha.

L'objectif de l'ensemble de ce traitement est de pouvoir augmenter la proportion de pin blanc dans le peuplement final.

Le charançon et la rouille vésiculeuse doivent faire l'objet d'un plan de surveillance ; en cas d'infestation, les tailles de formation et l'élagage phytosanitaire deviennent essentiels (Vlasiu et al. 2010).

Dans le précédent rapport (Lessard, 2010), il était mentionné pour la coupe progressive uniforme (CPU) :

L'intervention suivante est la coupe secondaire qui prévoit le maintien de 30 à 40 % de couverture, ce qui correspond à un espacement équivalent à une cime entre les arbres. Cette intervention permet d'allonger la durée de la protection des semis contre les agents nuisibles. À l'instar des coupes précédentes, les arbres de meilleure qualité sont conservés pour maximiser la valeur. La coupe finale peut être réalisée lorsque les semis atteignent 5 à 6 m de hauteur. Cette intervention s'approchera davantage de l'effet produit par les perturbations naturelles si elle est assortie d'une rétention d'arbres qui serviront de source de semences et/ou pour leur valeur faunique, et deviendront les vétérans du prochain peuplement. Les arbres retenus à cet effet devraient être identifiés plus tôt dans le processus pour éviter de récolter les arbres à valeur faunique existants.

Ce scénario peut également être appliqué à la ECFm.

Pour l'ECF, l'adoption d'un **régime d'éclaircie commerciale** est proposée, afin d'assurer une croissance régulière en bois d'œuvre, grâce à la sélection de tiges d'avenir et leur détournage. L'utilisation d'un nomogramme de densité est fortement recommandée, notamment pour le calcul des espacements cibles entre les tiges à chaque éclaircie (Lessard et al, 1999).

5. RECOMMANDATIONS

La présence de dispositifs expérimentaux datant de plusieurs années est précieuse pour amorcer la validation de scénarios sylvicoles intensifs à long terme. Le dispositif du Lascar permet déjà de tirer les recommandations suivantes.

5.1. SCÉNARIO D'AMÉNAGEMENT

1. Le projet a permis de confirmer que l'axe **succession assistée** proposé dans le rapport collectif du CERFO pour l'augmentation de la résistance de forêt outaouaise est réalisable avec des interventions ciblées et ce, à des coûts raisonnables pour un scénario intensif. **Cet axe mérite d'être déployé sans négliger l'étape essentielle de préparation de terrain** qui n'a pu être réalisée dans le dispositif du Lascar.
2. La variante ici étudiée est l'objectif de **futaie irrégulière, biétagée**.
3. Il s'agit également d'une **piste d'intensification avec des coûts limités**, nécessitant toutefois une planification d'entretien de chemins à proximité.

5.2. SCÉNARIO SYLVICOLE ACTUEL

4. La **mise en lumière par la coupe d'ensemencement** permet au pin blanc et aux autres essences désirées de s'installer dans la cohorte en développement.

5.3. OPTIMISATION DU SCÉNARIO DE SUCCESSION ASSISTÉE

5. Objectif d'ouverture du couvert à 50% de couverture résiduel. Il est préférable de fonctionner par espacement des tiges résiduelles pour optimiser la protection du couvert et la distribution des semenciers, plutôt que par une cible de prélèvement où l'on ne contrôle pas finement le couvert résiduel créé.
6. **Le dégagement hâtif** favorise la composition du peuplement en développement avec le maintien d'une bonne proportion de pin blanc. Il est proposé d'utiliser les modalités à l'européenne (pour maintenir un gainage favorisant l'élagage naturel et le maintien d'une diversité d'espèces) et de dégager 800 ti/ha entre 4 et 7 ans.
7. Dégagement entre 13 et 18 ans devrait être réalisé, en concentrant **les efforts sur un nombre plus limité de tiges** (ex : 400 ti/ha). La méthode moins coûteuse de production situative (Schütz, 2005) pourrait être préférée à l'approche qui consiste à générer une cohorte de tiges utiles sur toute la superficie.
8. Au moment d'intervenir, **une taille de formation et un élagage** devraient être intégrés aux travaux, pour favoriser l'obtention d'une plus grande hauteur sans branche :
 - Au moment du dégagement hâtif ;

- Au moment du dégagement entre 13 et 18 ans.
9. **L'ajout artificiel de régénération de pin blanc**, par plants, combiné à une mise en lumière par la coupe de débroussaillage pourrait compléter l'établissement d'une cohorte intéressante en essences désirées, afin d'approcher le plein stocking.
 10. Un **régime d'éclaircies commerciales** devrait faire partie du scénario sylvicole retenu par l'aménagiste.

5.4. RECHERCHE EN SYLVICULTURE

Quelques pistes de recherche sont proposées, dans le but de documenter certains aspects du scénario de succession assistée :

11. Des méthodes de scarifiage efficaces, considérant la topographie des chantiers de l'Outaouais pourraient être développées.
12. Un dégagement à l'européenne hâtif (nettoisement) entre 4 et 7 ans constituerait un atout à explorer pour la recherche du plein boisement en pin blanc.
13. Une méthode de débroussaillage optimisée mériterait d'être développée.
14. Le moment où démarrer le régime de l'éclaircie mérite d'être exploré. Réalisé tôt, il empêche la réduction de croissance due à l'oppression, mais produit une récolte de plus petit bois coûteux et plus difficile à écouler.
15. Si de nouveaux dispositifs sur la régénération de pin blanc sont installés, il serait intéressant de vérifier les interactions entre la présence de scarifiage, la densité de semenciers de pin blanc, la densité de couvert et le milieu ou le type géomorphologique.

CONCLUSION

Le peuplement initial comportait une dominance de pin blanc sur pied en 2009. L'utilisation du procédé de régénération par coupes progressives a permis d'amorcer la **succession assistée en pin blanc**, conformément à l'un des principaux axes de la stratégie d'aménagement pour l'augmentation de la résistance des forêts de l'Outaouais aux changements climatiques. Il est même possible d'obtenir une futaie biétagée dont la maturité technique (pour l'étage supérieur) est prévue à 150 ans. Un cas d'éclaircie commerciale a également été installé et les suivis de croissance par arbre et à l'hectare permettront de documenter ce scénario équienné à structure régulière comparativement aux autres.

L'**éclaircie commerciale feuillue modifiée** (qui est en réalité devenue une variante de coupes progressives), est ressortie comme le traitement le plus performant des traitements comparés, en ce qui concerne la régénération en pin blanc et en essences désirées. Les raisons expliquant ce succès comparativement aux autres traitements ne sont pas clairement apparues. Des interactions possibles entre la présence de scarifiage, la densité de semenciers de pin blanc, la densité de couvert et le milieu (combinaison texture/épaisseur/drainage) semblent présentes, mais elles demeurent à valider, puisque le dispositif n'a pas permis de les documenter avec précision à ce stade-ci.

Il faut également rappeler qu'en valeur absolue, les succès de régénération obtenus ne sont pas très élevés et que **le scénario actuel, s'il n'est pas ajusté, ne permettra pas de reconstituer des pinèdes**, mais plutôt des peuplements mixtes à pin blanc. Des recommandations concernant la poursuite du scénario avec un dégagement à l'européenne le plus tôt possible, pour l'optimisation du scénario actuel et la poursuite des recherches sont proposées

Enfin, l'axe d'aménagement de succession assistée pour le pin blanc doit maintenant être déployé pour assurer le retour des pinèdes, qui sinon continueront à régresser dans la région de l'Outaouais.

RÉFÉRENCES

- Blouin, D., G. Lessard, G. Joanisse et L. Vachon. 2009. Élaboration d'une stratégie alternative pour la production du pin blanc (mise en place d'une 2e répétition du dispositif expérimental de comparaison de traitement). CERFO, Québec. Rapport 2009-19. 28 p.
- Carey, J. H. 1993. *Pinus strobus*. In: Fire Effects Information System [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Available: <http://www.fs.fed.us/database/feis/> [2010, February 8].
- Côté, S., P. Bournival, D Blouin, G. Lessard, 2010. Élaboration d'une stratégie alternative pour la production du pin blanc (Première mesure après interventions dans le dispositif expérimental de comparaison de traitement du secteur Lascar Maniwaki). Présenté au Ministère des Ressources naturelles et de la Faune et La Compagnie Commonwealth Plywood Ltée. CERFO, Québec. Rapport 2010-10. 51 p. + 1 annexe.
- Doyon, F. et D. Bouffard. 2009. Enjeux écologiques de la forêt feuillue tempérée québécoise pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'Environnement et de la Protection des Forêts, 63 p.
- Ferrer, F., G. Lessard, G., E. Boulfroy et D. Blouin. 2018. Développement de stratégies sylvicoles pour la production de peuplements résilients et tolérants constitués de chêne rouge et de pin blanc. État des connaissances sur l'Enrichissement en pin blanc (*Pinus strobus*, L.) et chêne rouge (*Quercus rubra*, L.) des sommets sensibles à la sécheresse de l'Outaouais. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. Rapport 2018-05. 29 pages + 4 annexes.
- Frelich, L. E. 1992. The relationship of natural disturbances to white pine stand development. In:Stine, R. A., and M. J. Boughman, dir. The White Pine Symposium Proceedings: History, Ecology, Policy, and Management, p. 27-37.
- Gravel, J. et Meunier, S. Le gradient d'intensité de la sylviculture. Larouche C, Guillemette F, Raymond P, Saucier JP. Le guide sylvicole du Québec: Les concepts et l'application de la sylviculture. Les Publications du Québec, Québec, 2013, p. 33-41.
- Grondin, P. et A. Cimon. 2003. Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier. 200 p.
- Hannah, P. R. 1988. The Shelterwood Method in Northeastern Forest Types: A Literature Review. North. J. Appl. For. 5 (1): 70-77.

- Lupien, P., 2008. Conduites sylvicoles dans les zones feuillues et mixtes du Québec. Guide d'accompagnement. Fonds d'information de recherche et de développement de la forêt privée mauricienne (FIRDFPM), Syndicat des producteurs de bois de la Mauricie, Trois-Rivières
- Neumann, D. D. and D. I. Dickmann. 2001. Surface burning in a mature stand of *Pinus resinosa* and *Pinus strobus* in Michigan: effects on understory vegetation. *International Journal of Wildland Fire*. 10: 91-101.
- OMNR. 1998. A silvicultural guide for the Great Lakes-St. Lawrence conifer forest in Ontario. Ont. Min. Nat. Resources. Queen's Printer for Ontario. Toronto. 424 p.
- OMNR. 2008. White pine in the Lake Abitibi and Lake Temagami ecoregions of Ontario. State of resources reporting. 10 p. En ligne : <http://www.mnr.gov.on.ca/263708.pdf>
- Schütz, J.-Ph., 2005. Est-il possible de maîtriser les coûts des opérations culturales : le rôle primordial des rationalisations biologiques ? *Forêt Wallonne* No 78. Sept/oct. 9p.
- Thiffault, N., Hébert, F., 2013. Le dégagement et le nettoyage, *Le guide sylvicole du Québec : Les concepts et l'application de la sylviculture*. Les Publications du Québec, Québec
- Vlasiu, P., Nolet, P., Doyon, F., 2001. Le pin blanc: Revue de littérature. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, Ripon, QC.

ANNEXE 1. DÉTAILS DU PEUPEMENT RÉSIDUEL EN 2009

Surface terrière résiduelle et prélèvement par traitement et essence

Traitements	Essences	G (m ² /ha)	2sd	Prélèvement réalisé
Témoin	BOJ	0,1	0,5	
	BOP	1,9	4,7	
	CHR	0,2	0,5	
	EP	2,6	1,7	
	ERR	2,0	4,1	
	PEG	1,2	3,5	
	PET	0,7	2,6	
	PIB	18,5	19,2	
	PIR	1,8	6,3	
	SAB	2,9	3,1	
	THO	0,4	1,0	
	Total	32,3	13,0	0%
CPU	BOJ	0,0	0,1	0%
	BOP	0,1	0,5	94%
	EP	0,6	1,7	74%
	ERR	0,1	0,2	94%
	ERS	0,0	0,0	100%
	PEG	0,0	0,0	100%
	PET	0,1	0,4	41%
	PIB	15,7	1,0	13%
	PIR	0,4	2,0	62%
	SAB	0,5	0,6	83%
	THO	0,0	0,0	100%
	Total	17,5	1,4	40%
ECF	BOJ	0,1	0,5	0%
	BOP	0,9	1,6	37%
	EP	2,2	3,5	18%
	ERR	1	0,8	37%
	PEG	0,3	0,9	80%
	PET	0,5	0,8	42%
	PIB	14,3	9,5	8%
	PIR	1	3,4	24%
	SAB	2,4	1,4	19%
	Total	22,8	2	19%
ECFm	BOJ	0,1	0,3	85%
	BOP	0,1	0,4	71%
	EP	1,4	3,1	59%
	ERR	0,6	0,3	65%
	ERS	0	0	100%
	PEG	0	0	100%
	PET	0	0,1	92%
	PIB	19,5	7,6	1%
	PIR	0,3	1	13%
	SAB	0,5	0,5	65%
Total	22,7	1,9	30%	

Densité moyenne initiale, résiduelle prévue et résiduelle et prélèvement moyen par traitement

Traitements	Densité (ti/ha)						Prélèvement	
	Initiale	2sd	Résiduelle prévue	2sd	Résiduelle	2sd	Prévu	Réalisé
CPU	722	224	98	41	219	78	86%	70%
ECF	681	119	577	131	535	237	15%	21%
ECFm	663	141	606	106	288	177	8%	57%

Densité moyenne des gaules par traitement et essence

Essences	Traitements							
	CPU		ECF		ECFm		TEM	
	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd
AME	10	27	8	29	13	35	15	45
BOJ	0	0	17	58	13	35	0	0
BOP	0	0	17	58	38	106	30	90
CHR	0	0	0	0	0	0	20	42
COC	25	87	250	782	0	0	130	434
EPB	35	67	8	29	13	35	55	139
EPN	15	67	125	433	0	0	90	375
EPR	0	0	0	0	0	0	15	67
ERE	120	336	275	577	13	35	615	1 979
ERP	10	45	25	87	0	0	65	211
ERR	155	323	225	361	200	142	345	377
ERS	0	0	0	0	0	0	5	22
NEM	5	22	58	202	0	0	35	110
PEG	0	0	8	29	0	0	0	0
PET	0	0	0	0	0	0	0	0
PIB	5	22	8	29	0	0	0	0
SAB	906	1 317	1 810	1 080	1 076	354	2 216	1 607
SAL	5	22	0	0	0	0	10	45
SOA	0	0	0	0	0	0	40	179
VIL	5	22	67	189	0	0	40	115
Total	1 296	1 162	2 902	2 003	1 363	177	3 728	1 665

Densité moyenne des gaules par traitement et groupe d'essences

Traitements	Groupe d'essences											
	FI		FNC		FPT		FT		PINS		R	
	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd
CPU	160	318	175 ^a	384	0	0	0	0	5	22	956 ^a	1 352
ECF	250	445	684 ^b	1 337	17	58	0	0	8	29	1 943 ^b	1 513
ECFm	238	248	25 ^a	0	13	35	0	0	0	0	1 088 ^a	389
TEM	385	344	941 ^b	1 922	20	42	5	22	0	0	2 377 ^c	1 375

Les lettres a, b et c indiquent des différences significatives entre les traitements à un niveau de probabilité de 95 %

Densité moyenne des semis par traitement et essence

Essences	Traitements							
	CPU		ECF		ECFm		TEM	
	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd	Densité (ti/ha)	2sd
AME	224	480	125	249	125	353	623	1 971
BOJ	0	0	42	144	62	176	0	0
BOP	2 169	6 403	42	144	374	0	100	446
CHR	0	0	42	144	0	0	249	705
COC	5 908	12 283	6 149	10 164	4 051	4 759	3 789	7 945
COR	0	0	0	0	0	0	399	1 784
DIE	175	780	0	0	0	0	25	111
EPB	249	864	125	249	0	0	224	1 003
EPN	75	334	291	1 007	0	0	1 820	5 257
EPR	0	0	0	0	0	0	50	223
ERE	7 603	18 720	7 105	12 412	2 431	4 407	4 562	10 710
ERP	274	1 092	0	0	187	176	175	517
ERR	3 540	4 592	2 534	2 522	8 600	7 051	1 620	3 236
ERS	125	557	0	0	62	176	0	0
HEG	0	0	0	0	187	176	25	111
LON	0	0	0	0	0	0	100	446
NEM	1 097	3 014	332	519	499	353	299	819
PET	3 540	8 071	1 246	2 626	8 538	8 990	75	223
PIB	25	111	42	144	125	353	224	871
PRP	150	540	42	144	1 496	2 820	0	0
SAB	1 072	1 177	1 745	748	1 246	353	2 817	2 329
SAL	0	0	0	0	62	176	0	0
SOA	125	249	42	144	436	1 234	50	223
TAC	0	0	0	0	0	0	50	223
THO	0	0	0	0	0	0	100	446
VIC	2 543	3 581	1 662	3 403	312	529	1 645	1 958
VIL	199	892	83	288	0	0	75	223
Total	29 093	17 728	21 646	13 450	28 792	4 230	19 095	6 390

Coefficient de distribution (CD) moyen des semis par traitement et essence

Essences	CPU		ECF		ECFm		TEMOIN	
	CD (%)	2sd	CD (%)	2sd	CD (%)	2sd	CD (%)	2sd
AME	6 %	8 %	5 %	10 %	3 %	7 %	9 %	19 %
BOJ	0 %	0 %	2 %	6 %	3 %	7 %	0 %	0 %
BOP	7 %	11 %	2 %	6 %	10 %	14 %	1 %	4 %
CHR	0 %	0 %	2 %	6 %	0 %	0 %	7 %	26 %
COC	34 %	42 %	32 %	46 %	38 %	35 %	32 %	45 %
COR	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	4 %
DIE	4 %	18 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	4 %
EPB	5 %	17 %	5 %	10 %	0 %	0 %	1 %	4 %
EPN	1 %	4 %	5 %	17 %	0 %	0 %	11 %	39 %
EPR	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	4 %
ERE	31 %	54 %	47 %	72 %	23 %	35 %	35 %	66 %
ERP	2 %	5 %	0 %	0 %	8 %	7 %	4 %	8 %
ERR	27 %	23 %	23 %	21 %	43 %	21 %	23 %	25 %
ERS	2 %	9 %	0 %	0 %	3 %	7 %	0 %	0 %
HEG	0 %	0 %	0 %	0 %	8 %	7 %	1 %	4 %
LON	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	3 %	13 %
NEM	7 %	11 %	7 %	6 %	5 %	0 %	4 %	13 %
PET	27 %	52 %	23 %	45 %	68 %	78 %	2 %	5 %
PIB	1 %	4 %	2 %	6 %	5 %	14 %	7 %	26 %
PRP	4 %	13 %	2 %	6 %	13 %	7 %	0 %	0 %
SAB	29 %	23 %	47 %	15 %	33 %	35 %	47 %	26 %
SAL	0 %	0 %	0 %	0 %	3 %	7 %	0 %	0 %
SOA	4 %	8 %	2 %	6 %	10 %	28 %	1 %	4 %
TAC	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	4 %
THO	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	4 %
VIC	20 %	31 %	15 %	20 %	10 %	14 %	20 %	16 %
VIL	4 %	18 %	2 %	6 %	0 %	0 %	2 %	5%

Diamètre, hauteur, largeur de cime, ouverture de cime, âge et ratio hauteur/diamètre moyens par traitement et essence

Traitements	Essences	N	Dhp (mm)	2sd	Hauteur (dm)	2sd	Largeur moyenne de cime (dm)	2sd	Ouverture moyenne de cime (dm)	2sd	Âge	2sd	Ratio h/d	2sd
CPU	EPB	3	299	203	198	115	31	5	55	31	-	-	0,67	0,08
	PIB	5	440	71	249	37	69	26	119	32	112	7	0,58	0,14
	PIR	2	440	22	212	48	68	0	103	43	-	-	0,48	0,09
ECF	EPB	1	279	-	173	-	50	-	79	-	-	-	0,62	-
	EPN	1	324	-	196	-	41	-	81	-	-	-	0,60	-
	PIB	3	429	80	250	67	68	23	111	36	111	9	0,55	0,25
	PIR	1	387	-	206	-	54	-	103	-	-	-	0,53	-
ECFm	EPB	1	349	-	225	-	44	-	82	-	-	-	0,65	-
	PIB	2	486	139	255	12	68	4	115	35	105	1	0,54	0,14
	PIR	1	377	-	251	-	63	-	119	-	-	-	0,67	-
TEM	EPB	2	253	245	184	199	36	14	52	33	,	,	0,72	0,07
	PIB	5	426	125	250	36	65	17	97	14	113	8	0,62	0,15
	PIR	1	374	-	197	-	56	-	76	-	-	-	0,53	-
	SAB	1	158	-	147	-	42	-	42	-	-	-	0,93	-