ÉVOLUTION DES PEUPLEMENTS DE PIN BLANC EN DYNAMIQUE NATURELLE ET EN RÉGIME D'ÉCLAIRCIE COMMERCIALE.

Rapport Final

présenté à

Ressources naturelles et Faune
Québec

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Direction régionale de l'Outaouais (07)

Février 2011

Institut québécois d'Aménagement
de la Forêt feuillue

Équipe de réalisation de l'IQAFF*

Coordonnateurs scientifiques et de rédaction : Philippe Nolet, B.Sc, M.Sc.

François Lorenzetti, Ph.D.

.

Équipe technique : Régis Pouliot, B.Sc.

Pascal Rochon, M.Sc.

*IQAFF : Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue

58 Principale, Ripon, Québec, J0V 1V0

Tél : 819-983-6589 ; Fax : 819-983-6588

Courriel : iqaff@iqaff.qc.ca

Site internet : www.iqaff.qc.ca

Pour citation : Nolet, P. et F. Lorenzetti. 2011. Évolution des peuplements de pin blanc en dynamique naturelle et en régime d'éclaircie commerciale. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport Final. 38 p.

Résumé

Depuis quelques années, on reconnaît la problématique de la structure d'âge des peuplements de pin blanc dans la région de l'Outaouais en ce sens qu'il existe un déficit dans les peuplements aux stades de régénération et perchis. Dans un tel contexte, l'étalement des peuplements de pin blanc apparaît une solution à privilégier. Avant d'utiliser une telle approche, il est important de se doter des connaissances et d'outils pour vérifier la faisabilité d'une telle approche (étalement avec éclaircies). Les principaux objectifs de ce projet étaient donc 1) d'établir si le pin blanc peut bien réagir à l'éclaircie commerciale, et ce, dans toutes les classes de DHP et 2) de tester l'effet à long terme (80 ans) de divers régimes d'éclaircies commerciales sur la productivité des peuplements et les caractéristiques du couvert forestier au cours de la révolution. Un total de 14 parcelles (traitées et non traitées par éclaircies) de 25 m de rayon ont été mises en place dans des peuplements dominés (80-100 ans) par pin blanc dans l'UAF 73-51. Pour chacune des parcelles, la position XY des tiges a été notée (précision d'environ 10 cm). Toutes les tiges (≥ 9.1 cm) dans un rayon de 15 m à partir du centre de la parcelle ont été sondées à l'aide d'une sonde de Pressler. La croissance radiale 6 ans avant traitement (1992-1997) et six ans après traitement (1999-2004) a été calculée pour chacune des tiges. De là, nous avons développé un indice de compétition permettant de mettre en relation l'environnement de compétition et la croissance des pins. Cette relation a été insérée dans un simulateur de croissance. La croissance des tiges dans les peuplements éclaircis est plus élevée après éclaircie qu'avant éclaircie, alors qu'on n'observe pas de réelle différence pour les mêmes périodes pour les peuplements non-éclaircis. Par ailleurs, l'augmentation de la croissance dans les peuplements traités s'observe dans toutes les classes de diamètre, sauf les plus petites (moins de 20 cm de DHP). Les résultats démontrent que, pour tous les types de peuplements analysés, l'éclaircie par le bas est celle qui offre les rendements les plus bas. Parfois la différence avec les autres types est faible et d'autres fois, plus élevée. Dans la plupart des cas étudiés sauf 2, c'est l'éclaircie mixte qui offre les meilleurs rendements. Tous les types d'éclaircies proposés permettent de maintenir ou même d'augmenter le couvert forestier au cours de la période, soit du temps 0 jusqu'au temps 80 juste avant la coupe finale (âge du peuplement = 160-180 ans). Les régimes d'éclaircies ont toutefois des effets majeurs sur la moyenne des DHP juste avant la coupe finale. Alors que pour le régime d'éclaircie par le bas, le DHP moyen est de 90 cm, il est de 60 cm pour le régime d'éclaircie par le

haut. Nous ne croyons pas qu'il existe un régime idéal pour toutes les situations. La distribution spatiale des tiges dans les peuplements semble aussi avoir un grand effet sur le régime qui sera le plus efficace. D'autres considérations, écologiques, économiques ou sociales, peuvent aussi influencer l'identification du régime d'éclaircies le mieux adapté à une situation.

Table des matières

Équipe de réalisation de l'IQAFF* 2

Résumé 3

Liste des figures 6

Introduction 8

Méthodologie 10

Dispositif expérimental 10

Manipulation des données 10

Indices de compétition 11

Simulateur 13

L'accroissement du peuplement 13

Les régimes d'éclaircie 15

Simulations 16

Les régimes d'éclaircies 16

Les peuplements virtuels 16

Résultats et Discussion 18

Réaction au traitement 18

Indice de compétition 21

Premiers résultats de simulations 27

Effets de divers régimes d'éclaircie 28

Discussion générale 35

Liste des figures

Figure 1: Illustration simplifiée de l'indice de compétition final (ICF) utilisé dans le simulateur..12
Figure 2 : Formulaire à compléter pour faire fonctionner le simulateur.....14
Figure 3: Effet du traitement d'éclaircie sur la croissance radiale des tiges de pins blancs.....18
Figure 4: Moyennes (absolue et relatives) des différences de croissance radiale avant et après traitement pour les tiges des peuplements éclaircis, par classe de DHP.....19
Figure 5: Différences de croissance radiale absolues et relatives avant et après traitement pour les tiges des peuplements éclaircis, par classe de DHP.....20
Figure 6: Moyennes (absolue et relatives) des différences de croissance radiale avant et après traitement pour les tiges des peuplements éclaircis, par classe de DHP, mais en retirant les valeurs extrêmes de réponse à l'éclaircie (>1,8 mm/an). 21
Figure 7: Effets de diverses méthodes (poids des compétiteurs et rayon de recherche) d'évaluation de la compétition sur la capacité de celles-ci à prédire la croissance radiale du pin blanc. 22
Figure 8: Effets de diverses méthodes d'évaluation (DHP minimum des tiges compétitrices et effet de la distance des tiges compétitrices) de la compétition sur la capacité de celles-ci à prédire la croissance radiale du pin blanc. 23
Figure 9: Relation entre la différence de compétition observée avant et après traitement en fonction de la différence de compétition (selon le premier indice retenu) avant et après traitement.....25
Figure 10: Relation entre la compétition (ICF) et la croissance radiale pour les tiges des peuplements éclaircis et les tiges des peuplements non-éclaircis. 26
Figure 11 : Relation entre la différence de compétition observée avant et après traitement en fonction de la différence de compétition (ICF) avant et après traitement. 26
Figure 12: Effet de l'utilisation d'une (1) ou deux (2) équations ICF vs Croissance sur les rendements fournis par le simulateur, et ce, en fonction de divers type de peuplements.....28
Figure 13: Effets de différents régimes d'éclaircies sur la moyenne de la récolte totale en fonction des divers types de peuplements étudiés. 29
Figure 14: Effets de différents régimes d'éclaircies sur la récolte totale en fonction de la distribution des classes de DHP des peuplements étudiés. 30

Figure 15: Effets de différents régimes d'éclaircies sur la récolte totale, par réplicat, en fonction des divers types de peuplements étudiés. 31
Figure 16: Variabilité de la récolte totale par réplicat pour les différents types de peuplements étudiés (tous types de régimes d'éclaircies confondus). 32
Figure 17: Évolution de la surface terrière en pin blanc selon les différents régimes d'éclaircies et selon la densité de peuplements étudiés (E-C = 5). 33
Figure 18: Évolution du DHP moyen en fonction de 3 régimes d'éclaircies (E-C = 5 et nombre de tiges confondus)..... 34

Introduction

Depuis quelques années, on reconnaît la problématique de la structure d'âge des peuplements de pin blanc dans la région. (Doyon 2003) a fait ressortir que la structure d'âge du pin blanc en Outaouais est inversée en ce sens qu'il existe un déficit dans les peuplements aux stades de régénération et perchis. Cette structure d'âge, qui pourrait mener à une rupture de stock dans les prochaines années, s'explique par les difficultés rencontrées dans les différentes étapes d'établissement de développement de la régénération du pin blanc. On peut citer à cet égard la nécessité de coupler les bonnes années semencières et la création de lits de germination appropriés, la faible tolérance à l'ombre du pin au stade semis, le charançon et la rouille vésiculeuse (Vlasiu et al. 2001). Cette problématique de régénération a d'ailleurs mené le Forestier en chef à réduire de 60% la possibilité forestière en pins dans la région en 2006.

Dans un tel contexte, l'étalement des peuplements de pin blanc apparaît une solution à privilégier. L'étalement consiste à retarder la coupe finale de façon à laisser le temps aux peuplements en régénération (ou à être mis en régénération) de se développer et d'offrir la possibilité de récoltes. Durant cet étalement, des éclaircies peuvent être effectuées dans les peuplements. Toutefois, il est préférable qu'un couvert suffisant soit conservé jusqu'à la fin de la révolution afin de pouvoir régénérer le peuplement naturellement. Cette stratégie d'étalement semble bien adaptée aux peuplements de pin blanc, car le pin est une essence qui atteint des diamètres considérables et qui, d'après certaines études (Bebber & Thomas 2003), réagit bien à l'éclaircie, même à des gros diamètres. Aussi, comme l'établissement du pin blanc est extrêmement coûteux, il semble logique de vouloir retirer le plus possible de cet investissement. L'étalement accompagné d'éclaircies périodiques (éclaircies tous les 20 ans avec une récolte finale à 160-180 ans) permet la récolte de plus grand volume sur l'ensemble de la révolution que la récolte rapide d'un peuplement venant juste d'atteindre la maturité (e.g. 80-100 ans).

Présentement, nous ne disposons pas de toutes les connaissances et outils pour vérifier la faisabilité d'une telle approche (étalement avec éclaircies) puisque les recherches dans ce domaine sont plutôt rares (voir (Seymour 2007). Il est d'abord important de quantifier comment les tiges de pin blanc répondent à l'éclaircie et de vérifier si ce sont toutes les tiges qui répondent bien (toutes les classes de DHP par exemple). Il est par la suite nécessaire de

comprendre comment la croissance du pin blanc est régie par son environnement de compétition. Une fois cette étape cruciale comprise, cette relation compétition-croissance peut être incluse dans un simulateur de croissance de peuplement (Canham et al. 2004). Ce simulateur peut ensuite être utilisé pour simuler une panoplie de régimes d'éclaircies.

Les objectifs de ce projet sont donc :

- D'établir si le pin blanc peut bien réagir à l'éclaircies commerciale, et ce, dans toutes les classes de DHP;
- De développer un indice de compétition permettant de prédire la croissance avant et après éclaircie;
- De développer un simulateur de croissance de peuplement de pin blanc à partir de l'indice de compétition développé
- De tester l'effet à long terme (80 ans) de divers régimes d'éclaircies commerciales sur la productivité des peuplements et les caractéristiques du couvert forestier au cours de la révolution.

Bien qu'il existe déjà des outils pour modéliser la croissance des peuplements, nous avons opté pour le développement d'un outil adapté à nos besoins. Un outil comme Cohorte (Doyon et al. 2006) aurait pu être utilisé, mais ne présentait pas la finesse nécessaire pour l'estimation de la compétition. SORTIE (Pacala et al. 1996) aurait aussi pu être utilisé, mais il est probable que nous aurions eu à nous ajuster à sa programmation et non l'inverse. En programmant nous-même notre simulateur de croissance, nous nous assurons qu'il reproduit exactement les relations qu'on y inclut. Cela permet également d'y intégrer un simulateur d'éclaircies correspondant exactement aux hypothèses que l'on désire tester.

Méthodologie

Dispositif expérimental

Un total de 14 parcelles de 25 m de rayon ont été mises en place dans des peuplements dominés par le pin blanc dans l'UAF 73-51. L'âge des peuplements est d'environ 80-100 ans. Parmi les 14 parcelles, 10 ont fait l'objet d'un traitement d'éclaircie commerciale en 1998 et 4 n'ont fait l'objet d'aucun traitement. Pour chacune des parcelles, la position XY des tiges a été notée (précision d'environ 10 cm). Toutes les tiges ≥ 9.1 cm dans un rayon de 15 m à partir du centre de la parcelle ont été sondées à l'aide d'une sonde de Pressler (3 échantillons/arbre). Les carottes prélevées ont d'abord été séchées à l'air libre, puis collées à des languettes de bois avant d'être sablées, en trois étapes, avec du papier abrasif aux dimensions suivantes : 150 grains/po^2, 400 grains/po^2 et 600 grains/po^2. L'évaluation de la largeur des cernes a été effectuée à l'aide d'un stéréomicroscope Leica MZ125 (40X) couplé à une table de numérisation électronique Velmex (précision de 10 microns). La croissance radiale 6 ans avant traitement (1992-1997) et six ans après traitement (1999-2004) a été calculée pour chacune des tiges.

Manipulation des données

Avant de pouvoir calculer les indices de compétition de toutes les tiges du rayon de 15 m de toutes les parcelles, nous avons d'abord dû recalculer le DHP de toutes les tiges 1) juste avant le traitement et 2) 6 ans avant le traitement. Pour les tiges debout, cela était relativement facile, car nous pouvions reconstituer cette valeur à partir de l'analyse dendrochronologique. Pour les souches, nous avons d'abord établi une relation DHP-DHS afin de déterminer le DHP au moment du traitement. Puis, nous avons établi leur DHP en 1992 en retirant 6 années de croissance en nous basant sur une relation entre le DHP et la croissance. Ces manipulations nous ont permis d'obtenir une base de données comprenant la position x-y de toutes les tiges, leur DHP en 2004, 1998 et 1992. Nous avons aussi pour toutes les tiges du rayon de 15 m la croissance pour les périodes mentionnées ci-dessus. Pour chaque tige, nous pouvons donc calculer des indices de compétition en 1992 pour mettre en relation avec la croissance de 1992-1998 et des indices de compétition à mettre en relation avec la croissance de 1998-2004.

Indices de compétition

Il existe d'innombrables indices de compétition; ils diffèrent par la façon de calculer le poids des compétiteurs, l'effet de la distance, le rayon de recherche, les tiges considérées (en termes de DHP ou d'essences par exemple). Dans le cadre du présent rapport, nous avons considéré :

- 3 méthodes de calcul du poids des compétiteurs : a) poids égal à tous les compétiteurs (compte du nombre de compétiteurs) b) le DHP au carré (sommation des DHP^2 des compétiteurs) et c) la sommation des ratios des DHP tiges compétitrices divisées par le DHP de la tige–sujet (sommation des DHPc/DHPs).
- 2 pondérations de la distance : a) poids égal à tous les compétiteurs peu importe la distance et b) poids du compétiteur divisé par la distance.
- 3 rayons de recherche : 8, 10 et 12 m. Seules les tiges compétitrices à l'intérieur du rayon donné sont considérées dans le calcul du poids de l'indice.
- 3 grosseurs de tiges : a) toutes les tiges ≥ 9,1 cm; toutes les tiges ≥ 9,1 cm et avec un DHP plus grand que le DHP de la tige sujet et c) toutes les tiges ≥ 9,1 cm et avec un DHP plus grand que 0,75*DHP de la tige sujet.

Ainsi, un total de 56 indices de compétition ont été calculés. Ces calculs ont été faits avec un outil informatique programmé exprès à ces fins. Bien d'autres indices de compétition peuvent être calculés et l'outil est disponible sur demande. Tous les indices de compétition ont été mis en relation avec la croissance, et ce, pour les deux périodes étudiées.

Tel que nous le présentons dans la section Résultats, malgré le grand nombre d'indices calculés, nous sommes demeurés insatisfaits, à certains égards, de la performance des indices calculés. En fait, nous avons remarqué que les indices semblaient mal prendre en compte l'effet de l'éclaircie. Dans certains cas, le fait d'abattre une tige a un grand effet sur la lumière qu'une autre tige (tige-sujet) reçoit alors que d'autre fois, pour 2 tiges semblables, l'effet est mineur, car il y a une autre tige derrière celle abattue qui compétitionne la tige-sujet. Nous avons donc tenté d'élaborer un nouvel indice qui soit plus précis à cet égard. Nous avons ainsi imaginé une tige-sujet (Figure 1) dont le cercle qui l'entoure est divisé en un nombre déterminé de rayons (e.g. 360). Chaque fois qu'une tige-compétition touche (le moindrement) un rayon, ce rayon est considéré compétitionné. De plus, un rayon ne peut être considéré compétitionné plus d'une fois. Ainsi, une tige ne peut se voir octroyer un indice de compétition (initial) plus élevé que le nombre total de rayon. Dans l'exemple qui suit, l'indice de compétition (initial) avant traitement est de 14 et de 11 après traitement. Ce nombre est par la suite divisé par le DHP de la tige sujet pour obtenir l'indice de compétition final (ICF).

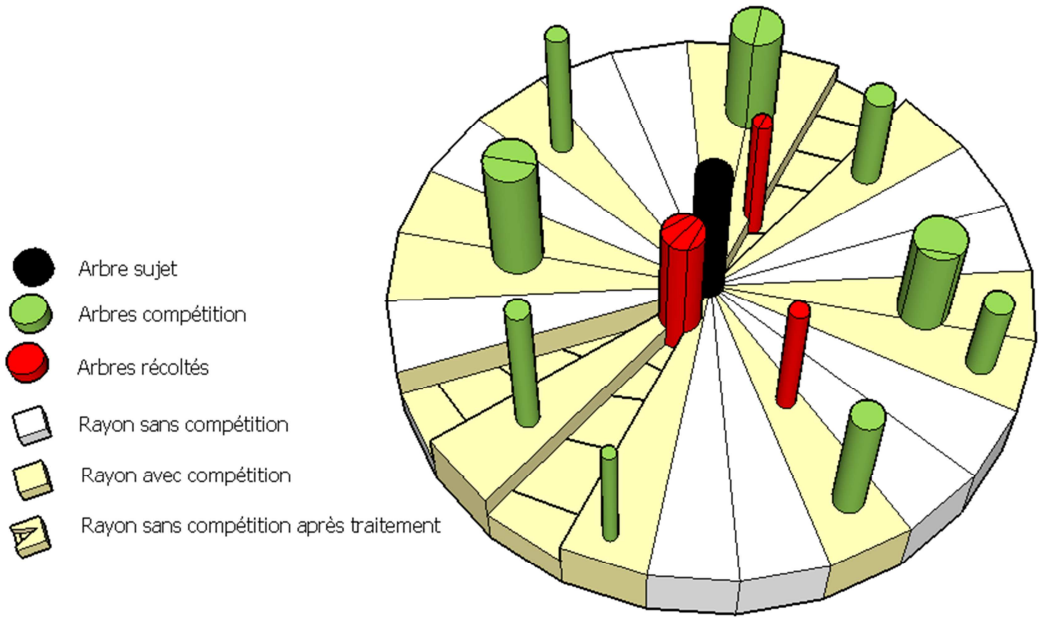

Figure 1: Illustration simplifiée de l'indice de compétition final (ICF) utilisé dans le simulateur

Simulateur

L'accroissement du peuplement

Le simulateur est un programme informatique qui permet de simuler la croissance de peuplements forestiers dominés pas le pin blanc (présentement, seule la composante pin blanc est simulée). Le simulateur est simple et est basé sur une fonction de croissance et une fonction de mortalité. Le simulateur est programmé en Python et requiert qu'on lui fournisse au minimum une table dbf avec les tiges, leur DHP et leurs coordonnées XY (Figure 2). L'ensemble des informations requises pour faire fonctionner le simulateur doivent être indiquées dans un formulaire Excel qui est ensuite sauvé en format CSV, qui lui sera utilisé directement par le simulateur.

Puisque les peuplements de pin blanc comportent généralement peu de régénération (gaules de pin blanc), aucune fonction de recrutement n'est intégrée au simulateur. Deux possibilités s'offrent pour la fonction de croissance : a) utiliser une seule relation indice de compétition (ICF) vs croissance diamétrale peu importe si le peuplement est éclairci ou b) utiliser deux relations, soit une avant éclaircie et une après éclaircie. Si cette dernière option est utilisée, le simulateur utilisera la relation après éclaircie dans les 10 années suivant le traitement puis reprendra la relation avant éclaircie pour les années subséquentes. Dans le cadre du présent projet, nous avons vérifié rapidement l'impact sur la productivité d'utiliser une relation ICF-croissance ou deux relations. Comme les résultats étaient très semblables, nous avons opté pour la forme la plus simple du simulateur, soit celle utilisant une seule relation. Les relations ICF-croissance sont :

Croissance diamétrale/an = (-1.05 * Log (ICF) + 2.0) * 2 (avant éclaircie)

Croissance diamétrale/an = (-1.24 * Log (ICF) + 2.1) * 2 (après éclaircie)

Le fait de n'utiliser que le modèle avant éclaircie n'implique pas que les éclaircies n'ont pas d'effet sur la croissance des tiges. Une éclaircie a pour effet de diminuer l'ICF des tiges-sujets de façon plus ou moins marquée. En diminuant l'ICF, la croissance diamétrale de la tige-sujet augmente automatiquement. Le simulateur a un pas de 5 ans, c'est-à-dire que l'ICF et la croissance sont recalculés à tous les 5 ans.

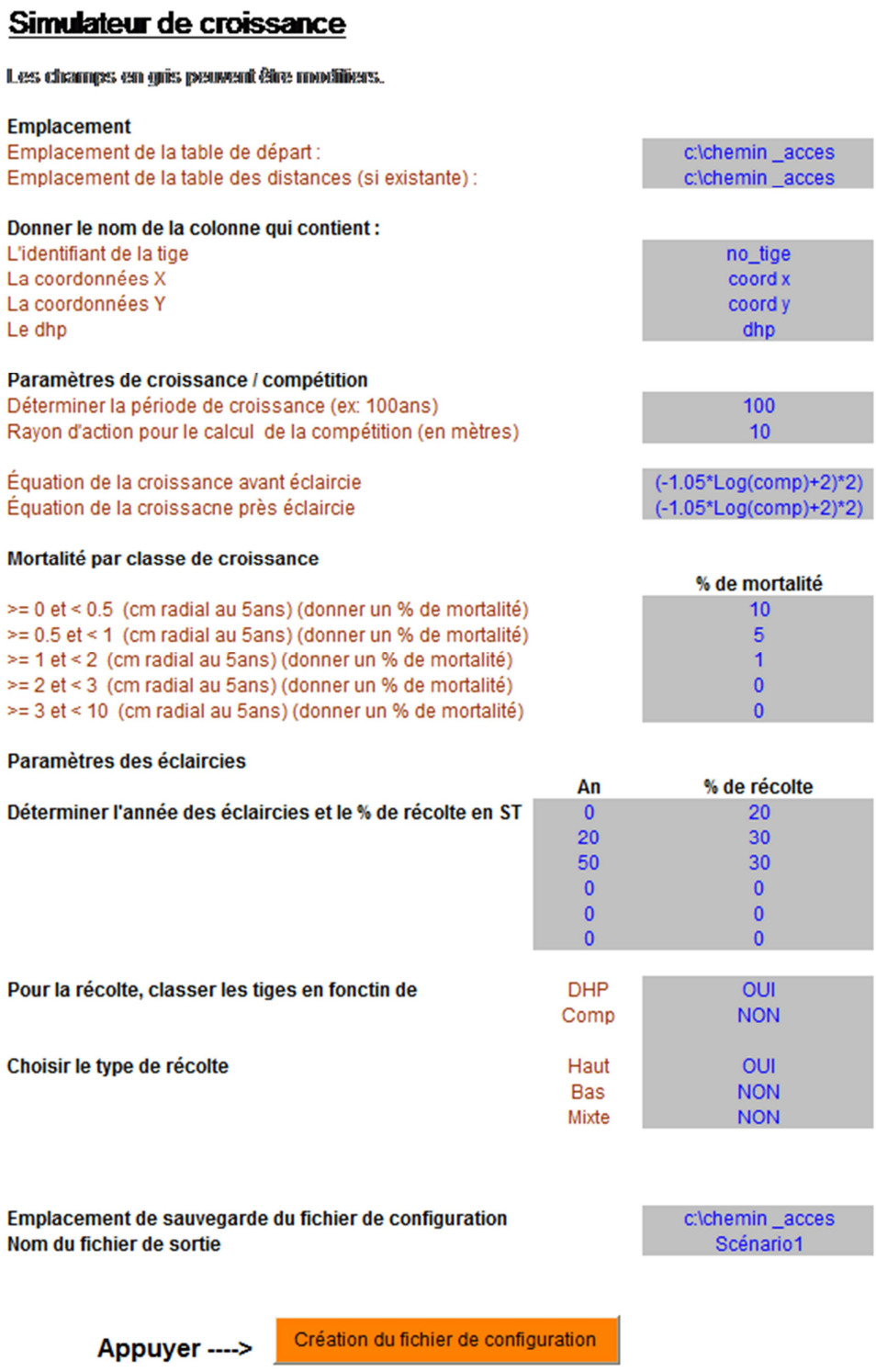

Figure 2 : Formulaire à compléter pour faire fonctionner le simulateur

Quant à la fonction mortalité, elle est aussi sujette à 2 relations. Il y a d'abord la relation mortalité vs croissance qui fait en sorte que moins une tige pousse rapidement, plus la probabilité de mortalité augmente. La probabilité de mortalité quinquennale (Pmq) est :

- Pmq = 10 % pour les tiges ayant une croissance diamétrale < 0.5 mm/an;
- Pmq = 5 % pour les tiges ayant une croissance diamétrale ≥ 0.5 et < 1 mm/an;
- Pmq = 1 % pour les tiges ayant une croissance diamétrale ≥ 1 et < 2 mm/an;
- Pmq = 0 % pour les tiges ayant une croissance diamétrale ≥ 2 mm/an

Cette relation, bien que logique du point de vue écologique, n'est pas appuyée par des données empiriques. Une telle équation commanderait une étude à elle seule. Le simulateur comporte aussi une fonction de mortalité aléatoire qui s'ajoute à la mortalité reliée à la croissance. Cette mortalité est également extrêmement difficile à quantifier. Dans le cadre du présent projet, nous n'avons pas utilisé de mortalité aléatoire pour des raisons de simplicité. La mortalité aléatoire, bien qu'intéressante dans un souci de prédiction, fait en sorte a) d'augmenter énormément le nombre de peuplements-réplicats à simuler et b) de complexifier l'analyse subséquentes de nos simulations.

Les régimes d'éclaircie

Des régimes d'éclaircies peuvent être simulés à l'intérieur même du simulateur. Il faut indiquer au simulateur le moment de l'éclaircie (ou des éclaircies), le pourcentage de prélèvement en surface terrière et le type d'éclaircie, soit par le bas, par le haut et mixte. Dans le cas des éclaircies par le bas, les tiges avec le plus faible DHP sont récoltées jusqu'à ce qu'on ait attient le pourcentage de récolte désiré. Pour les éclaircies par le haut, c'est la même logique, mais en commençant par la tige avec le plus fort DHP. Dans le cas de l'éclaircie mixte, la surface terrière à récolter est divisée également entre l'éclaircie par le bas et l'éclaircie par le haut.

Simulations

Les régimes d'éclaircies

Nous avons voulu vérifier l'effet de divers régimes d'éclaircies sur la productivité de peuplements dominés par le pin blanc. Nous avons considéré 3 régimes d'éclaircies :

- Éclaircies (30% de la surface terrière) par le bas au temps 0, 20, 40 et 60 suivies d'une coupe finale à 80 ans;
- Éclaircies (30% de la surface terrière) mixtes au temps 0, 20, 40 et 60 suivies d'une coupe finale à 80 ans;
- Éclaircies (30% de la surface terrière) par le haut au temps 0, 20, 40 et 60 suivies d'une coupe finale à 80 ans.

Ces éclaircies ont été effectuées sur des peuplements (virtuels, voir section suivante) de densités diverses : 250, 300, 350 et 400 tiges/ha. Tous les peuplements ont un DHP moyen approximatif (au temps 0) de 30 cm. Toutefois, nous avons aussi considéré, pour chaque classe de densité, 2 classes de distribution de DHP, soit une classe avec un écart-type de 5 cm autour du DHP moyen et une autre classe avec un écart-type de 10 cm autour du DHP moyen. Pour chaque combinaison densité-distribution, nous avons construit 5 réplicats de peuplements virtuels. Bien que les réplicats d'un même type de peuplements aient un nombre de tiges et des distributions similaires, ils diffèrent par la disposition spatiale des tiges. Ainsi, nous avons un total de 40 peuplements (4 densités, 2 distribution, 5 réplicats) sur lesquels nous avons appliqué les 5 régimes d'éclaircies ci-dessus mentionnés pour un total de 200 simulations.

Les peuplements virtuels

L'objectif était de créer non pas un peuplement semblable en tous points à un peuplement donné, mais un peuplement présentant des caractéristiques voisines de celles des pinèdes étudiées. Les caractéristiques servant de base de comparaison pour la forêt virtuelle ont été obtenues en groupant les observations recueillies dans les peuplements échantillonnés La superficie totale du peuplement virtuel était d'un (1) hectare et comprenait une partie centrale de ¼ d'ha, constituant la partie utile de la forêt virtuelle, entourée d'une zone-tampon de 25 m de large visant à contourner le biais produit par l'absence de compétiteurs d'un côté pour les arbres situés en bordure de peuplement.

Pour créer le peuplement virtuel, nous avons suivi la méthodologie développée par (Pélissier & Goreaud 2001). La correspondance entre un peuplement virtuel et un peuplement réel se fait à plusieurs niveaux. Le premier niveau correspond aux caractéristiques moyennes du peuplement. À partir du nombre de tiges par hectare, de la moyenne et de l'écart-type des DHP ainsi que du DHP minimum, une liste de tiges est générée en supposant que la distribution des DHP suit une loi normale, après quoi une essence est affectée à chaque tige de façon aléatoire en fonction des proportions d'essences à respecter.

Le deuxième niveau concerne la distribution spatiale des tiges. La structure spatiale de base, supposée aléatoire, est simulée à l'aide d'une loi de Poisson. Dans un deuxième temps, les tiges sont réorganisées à l'aide d'un processus de Gibbs (Pélissier & Goreaud 2001). Une telle réorganisation permet de simuler des structures spatiales uniformes ou plus ou moins agrégées. Dans un troisième temps, il est possible de permuter les DHP des tiges afin d'obtenir un peuplement possédant une distribution spatiale de DHP donnée.

Le générateur de forêts virtuelles prend aussi la forme d'un outil informatique qui peut être rendu disponible sur demande.

Résultats et Discussion

Réaction au traitement

La croissance des tiges dans les peuplements éclaircis est plus élevée après éclaircie qu'avant éclaircie, alors qu'on n'observe pas de réelle différence pour les mêmes périodes dans les peuplements non-éclaircis (Figure 3). Ceci indique donc que la différence de croissance observée après éclaircie est de toute évidence due au traitement lui-même et non à des changements dans les conditions de croissance (e.g. climat plus favorable). Nous observons aussi, avant éclaircie, que la croissance moyenne des tiges des peuplements non-traités était plus faible que celle des peuplements éclaircis (ou plus précisément, à être éclaircis). La raison de cette différence avant éclaircie s'explique probablement par le fait que des tiges de faible vigueur ont été récoltées ou renversées dans les peuplements traités. Ces tiges de faible vigueur, toujours présentes dans les peuplements non-éclaircis, viennent diminuer la croissance moyenne des tiges dans ces peuplements.

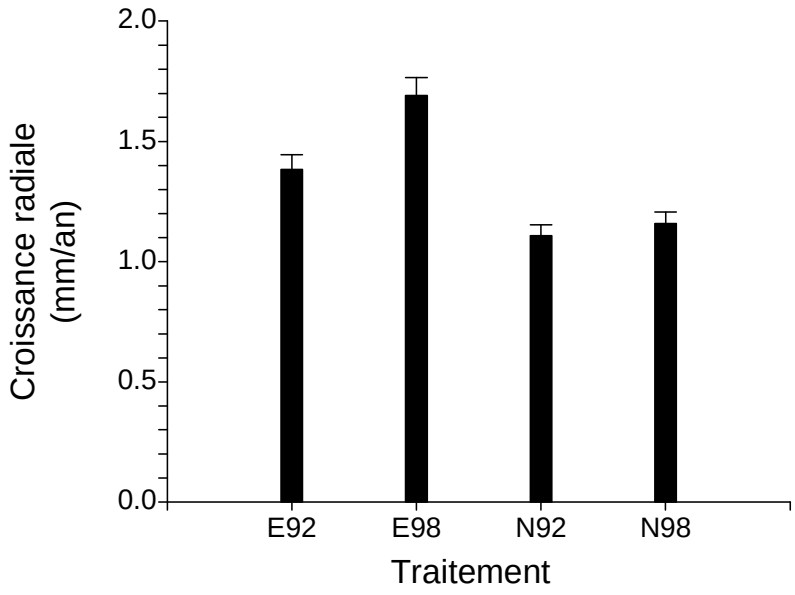

Figure 3: Effet du traitement d'éclaircie sur la croissance radiale des tiges de pins blancs. E signifie tiges des peuplements éclaircis et N, tiges des peuplements non-éclaircis. 92 signifie période 1993-1998 et 98 signifie la période 1999 à 2004.

Par ailleurs, l'augmentation de la croissance dans les peuplements traités s'observe dans toutes les classes en diamètre, sauf les plus petites (moins de 20 cm de DHP) (Figure 4). Pour les classes

de DHP de 50 à 60 cm, on remarque une très forte augmentation moyenne de croissance (absolue ou relative). C'est toutefois pour la classe de 20 à 30 cm que l'on remarque les augmentations relatives de croissance les plus fortes. Pour les classes de 30 à 50 cm, les augmentations de croissances sont plus modestes. Nous n'avons pu identifier de raisons à cela. Il demeure que les augmentations de croissance sont très variables entre les tiges (Figure 5). Pour certaines tiges, on observe une augmentation de 2 mm radiale/an alors que pour d'autres on observe même une baisse de croissance, et ce, pour une même classe de DHP. Nous avons donc vérifié si les tendances décrites sont conservées lorsqu'on retire les tiges ayant des augmentations de croissance exceptionnelles (*outliers*), soit de plus de 1,6 mm/an. Il en ressort (Figure 4) que les différences entre les classes de DHP sont moins évidentes, mais il semble toujours y avoir deux classes de DHP avec une meilleure réponse intercalée par une classe avec une réponse plus modeste.

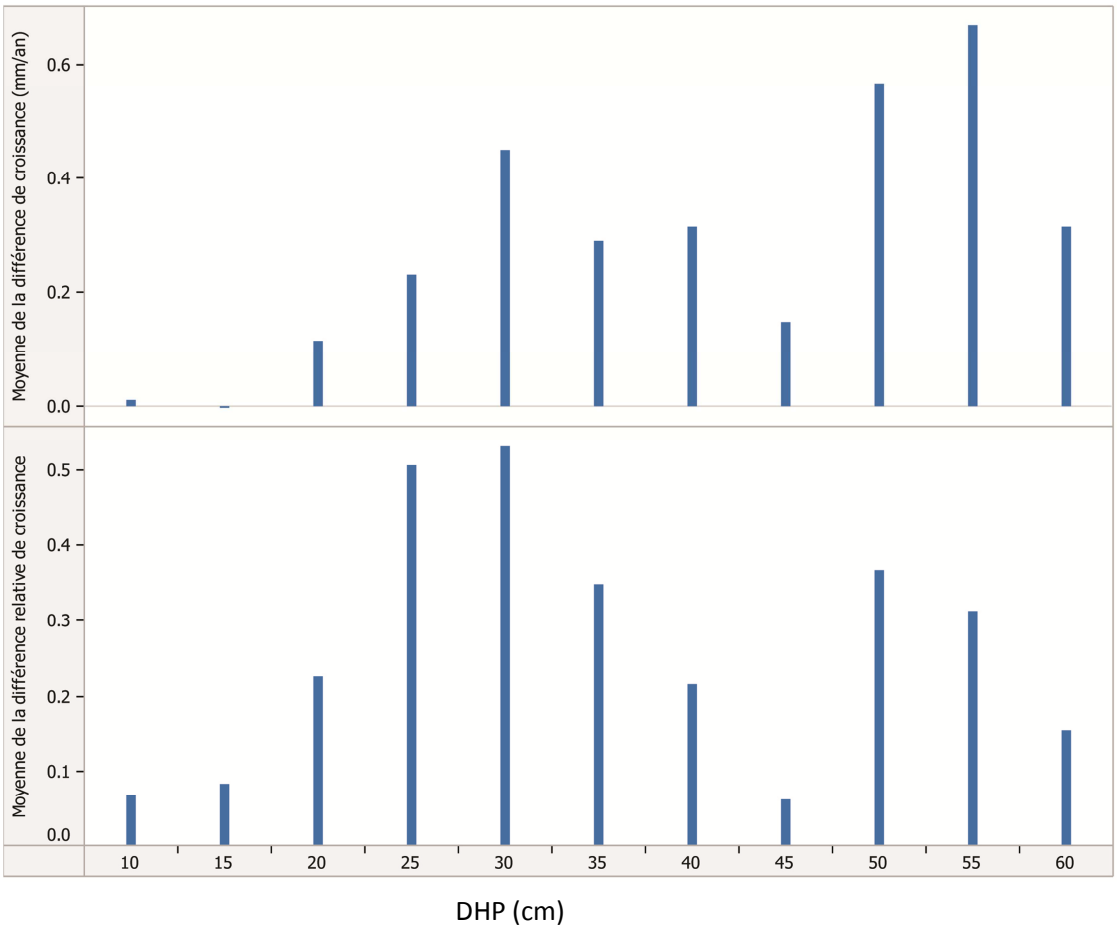

Figure 4: Moyennes (absolue et relatives) des différences de croissance radiale avant et après traitement pour les tiges des peuplements éclaircis, par classe de DHP. La différence de la croissance relative se calcule en divisant la différence absolue par la croissance avant traitement.

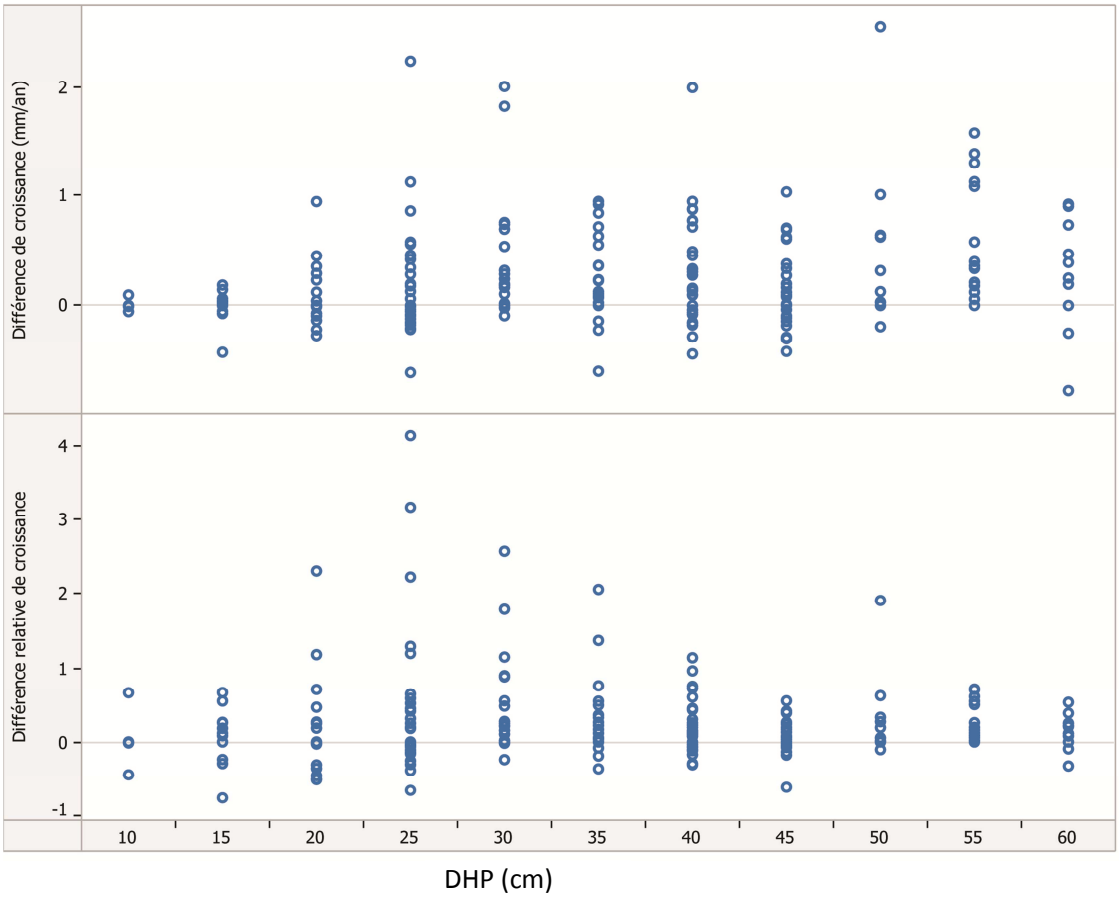

Figure 5: Différences de croissance radiale absolues et relatives avant et après traitement pour les tiges des peuplements éclaircis, par classe de DHP.

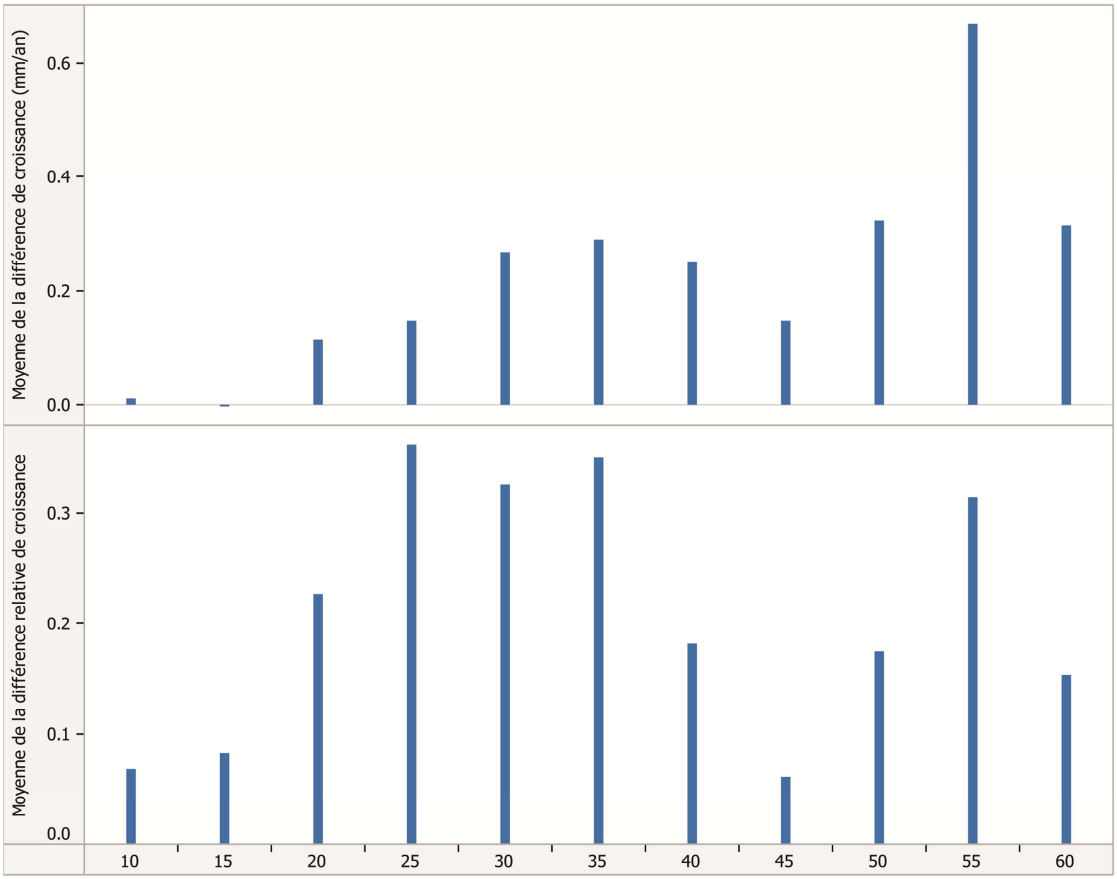

Figure 6: Moyennes (absolue et relatives) des différences de croissance radiale avant et après traitement pour les tiges des peuplements éclaircis, par classe de DHP, mais en retirant les valeurs extrêmes de réponse à l'éclaircie (>1,8 mm/an).

Indice de compétition

Plusieurs dizaines d'indices de compétition ont été testés dans le cadre du projet. De façon générale, nous avons observé que plus le rayon de recherche (8 à 12 m) autour de la tige-sujet était grand, plus l'indice de compétition était performant (Figure 7). La sommation des ratios DHP_tiges compétitrices (DHPc)/DHP_tige-sujet (DHPs) permet l'obtention d'un indice de compétition beaucoup plus précis que le compte des tiges compétitrices ou la sommation de la surface terrière des tiges compétitrices. Le fait de pondérer le poids qu'a une tige dans l'indice de compétition (plus la tige est loin, plus faible est son effet sur l'indice) n'améliore pas la performance de l'indice pour prédire la croissance (Figure 8). Le retrait des tiges compétitrices plus petites qu'un certain seuil (DHP de la tige-sujet ou 0,75*DHP de la tige-sujet) lors du calcul

de l'indice n'améliore pas la capacité de l'indice à prédire la croissance. Cela apporte même une certaine incohérence : plusieurs tiges-sujets se retrouvent avec un indice de compétition nul. Or, une compétition nulle dans un peuplement naturel est pour ainsi dire impossible.

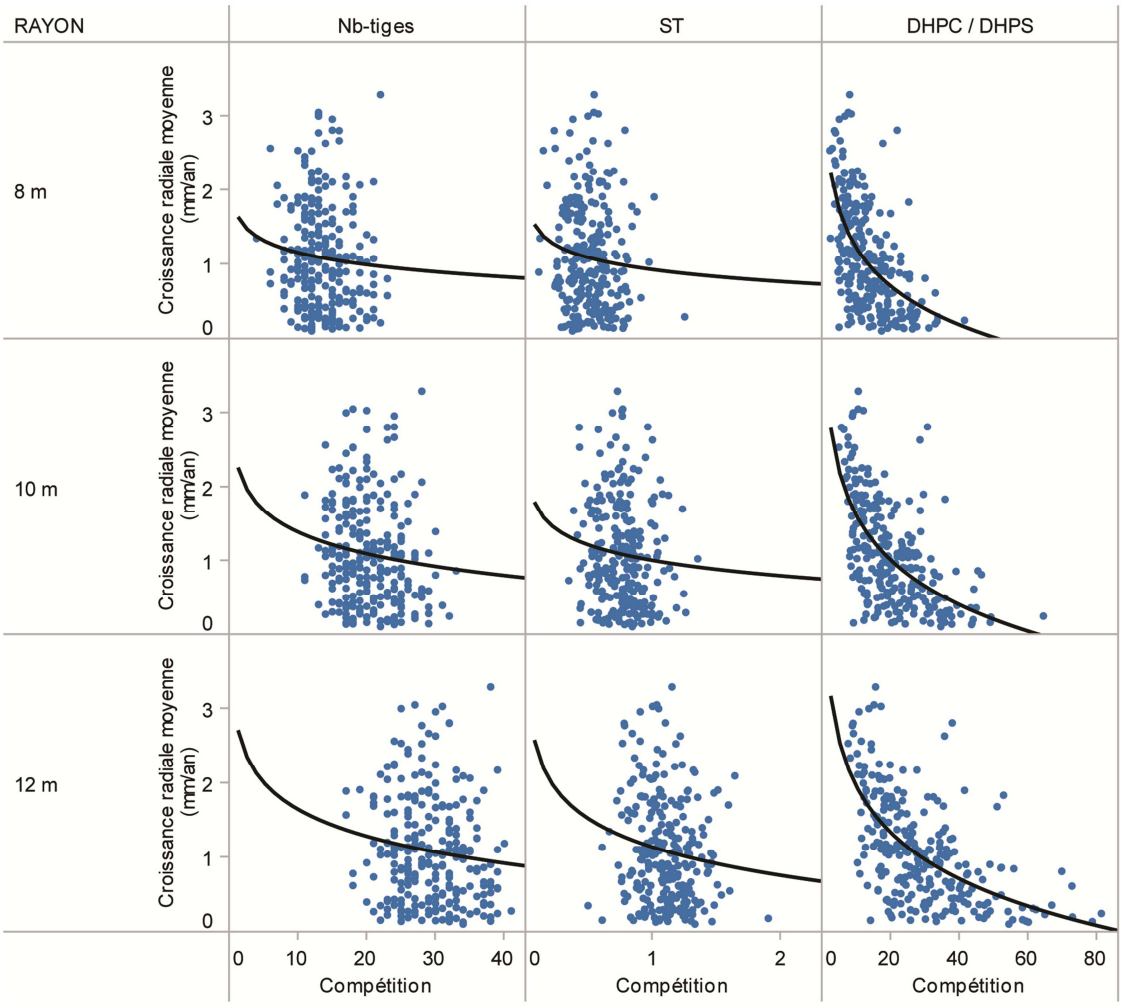

Figure 7: Effets de diverses méthodes (poids des compétiteurs et rayon de recherche) d'évaluation de la compétition sur la capacité de celles-ci à prédire la croissance radiale du pin blanc.

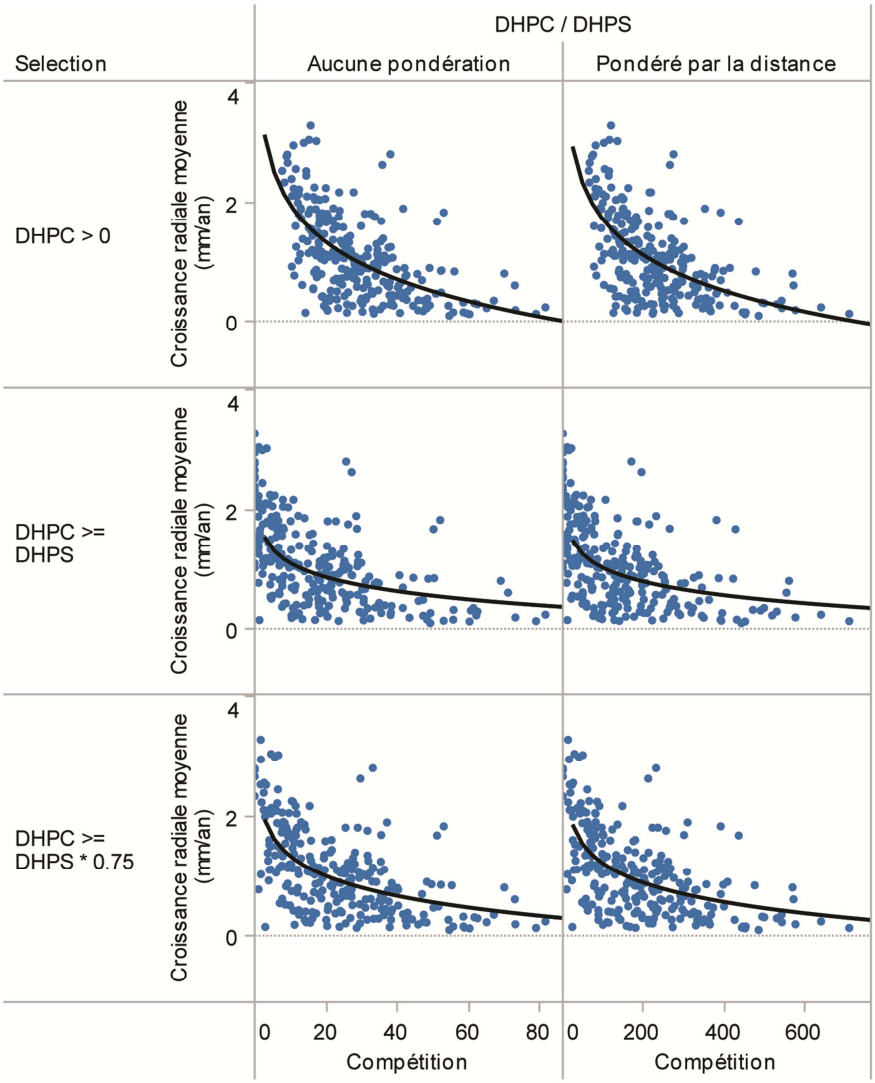

Figure 8: Effets de diverses méthodes d'évaluation (DHP minimum des tiges compétitrices et effet de la distance des tiges compétitrices) de la compétition sur la capacité de celles-ci à prédire la croissance radiale du pin blanc.

Ainsi, dans un premier temps l'indice qui nous semblait le plus intéressant était celui avec les caractéristiques suivantes :

- Formule du calcul : $\sum DHPc/DHPs$
- Rayon de recherche : 12 m
- Pondération pour la distance : Aucune
- Retrait de tiges compétitrices : Aucun

Ce modèle est bon (R^2=0,39 après éclaircie), mais présente certaines lacunes. Une première lacune importante est la très grande variabilité autour de l'équation quand la compétition est faible (Figure 8). Ainsi, des erreurs importantes peuvent survenir, à l'échelle de la tige, quand vient le temps de prédire la croissance d'une tige. Autrement dit, l'indice semble plutôt bon quand il a un score élevé puisque cela signifie presqu'assurément que la croissance de la tige est faible. Par contre, quand le score de l'indice de compétition est faible, la croissance semble pouvoir être faible, moyenne ou élevée. Toutefois, la plus grande lacune repose sur le fait que lorsqu'on regarde si la différence entre l'indice de compétition entre 1992 et 1998 est reliée à la différence de croissance observée entre les deux périodes de mesure, on n'observe aucune relation (Figure 9). Cela cause un véritable problème, car si une différence dans l'indice ne peut être liée à une différence de croissance, il peut difficilement être incorporé dans un simulateur de croissance pour prédire l'effet de traitements d'éclaircie sur la réponse des tiges et des peuplements.

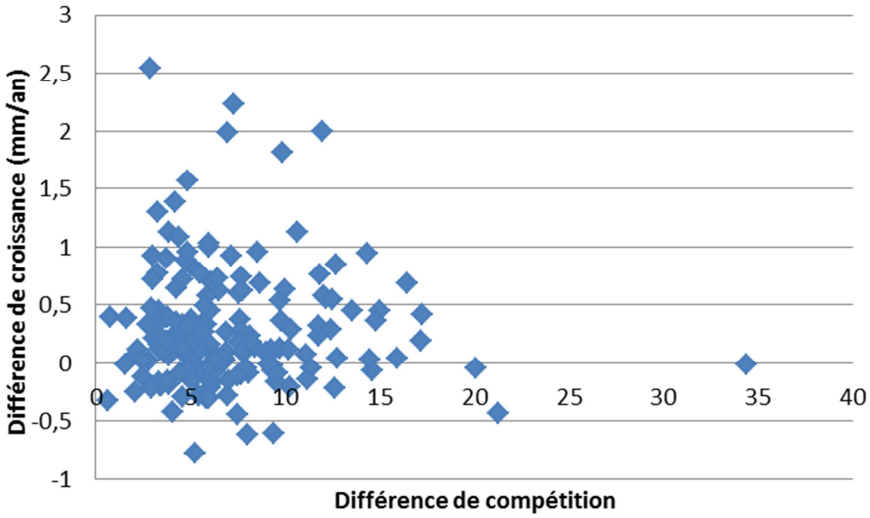

Figure 9: Relation entre la différence de compétition observée avant et après traitement en fonction de la différence de compétition (selon le premier indice retenu) avant et après traitement.

Nous avons donc travaillé à un nouvel indice de compétition (ICF) afin de pallier à ce problème (voir section méthodologie). Rapidement, mentionnons que ce nouvel indice prend en compte le fait qu'une tige-sujet n'est pas nécessairement favorisée par la récolte d'une tige-compétition dans son environnement immédiat si une autre tige-compétition, dans le même axe, lui fait aussi compétition. Ce nouvel indice présente un bon R^2, tant avec éclaircie que sans éclaircie (respectivement, 0,53 et 0,54) (Figure 10). Plus important encore, on observe une certaine relation après traitement entre la différence de l'indice de compétition et la différence de croissance entre les deux périodes (Figure 11). Bien que cette relation soit imparfaite R^2=0,24), elle nous rassure par rapport au lien de cause à effet qui existe entre l'indice de compétition et la croissance.

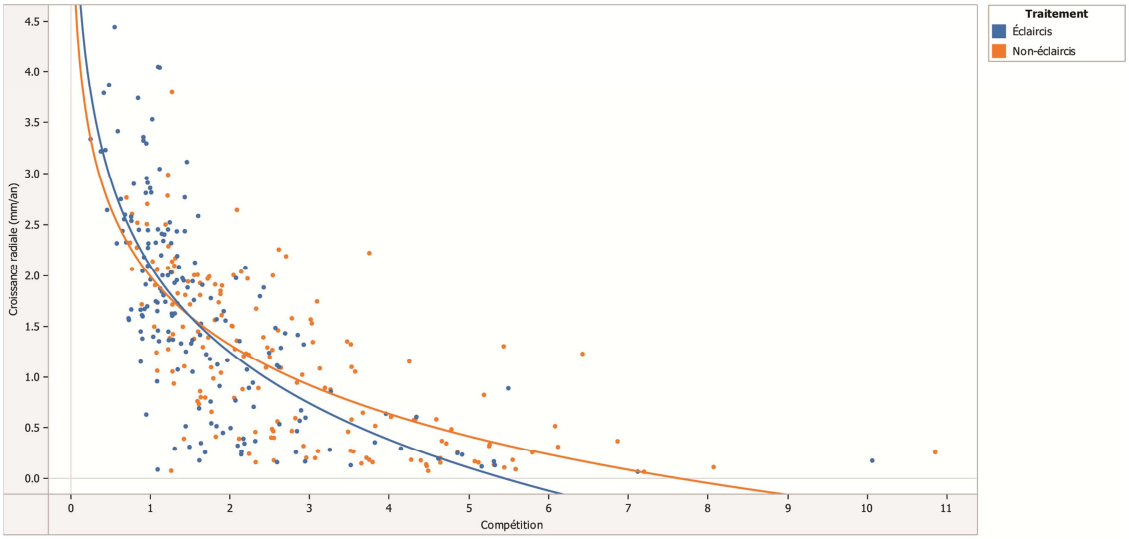

Figure 10: Relation entre la compétition (ICF) et la croissance radiale pour les tiges des peuplements éclaircis et les tiges des peuplements non-éclaircis.

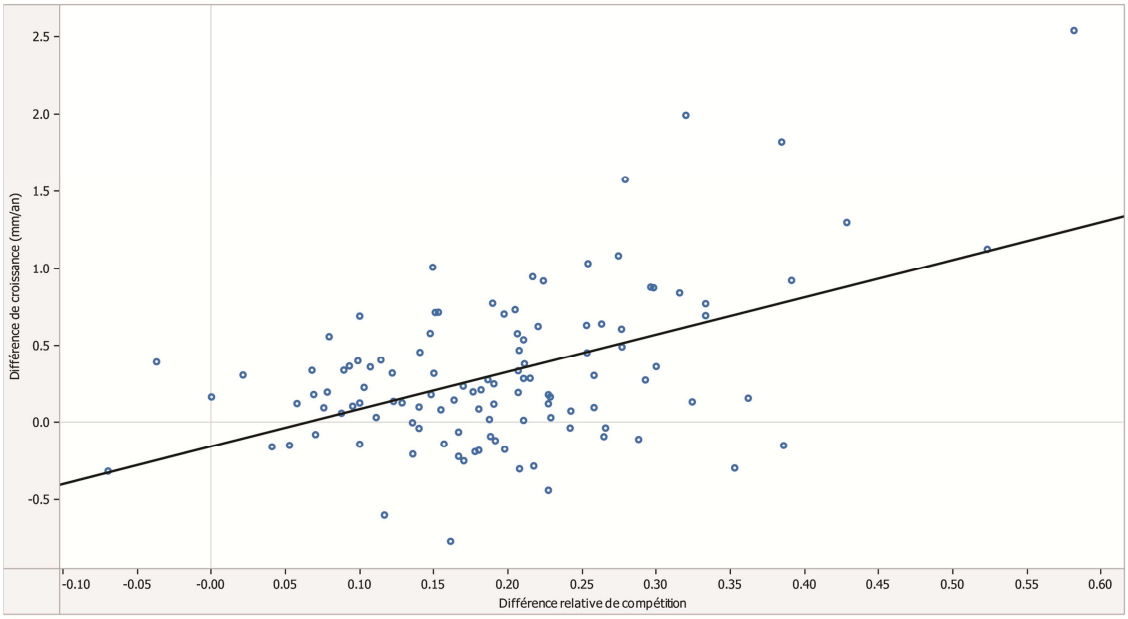

Figure 11 : Relation entre la différence de compétition observée avant et après traitement en fonction de la différence de compétition (ICF) avant et après traitement.

Il est important de mentionner que dans le contexte d'un simulateur de croissance de peuplement, idéalement c'est la même relation (équation) entre l'indice de compétition et la croissance qui serait utilisé avant et après traitement. Lorsque l'on regarde les peuplements traités, on se rend compte que la relation est quelque peu différente :

- Croissance avant traitement : -1.05*log (indice de compétition) + 2.0
- Croissance après traitement : -1.24*log (indice de compétition) + 2.1

Bien que la différence dans la relation affecte peu la croissance (Figure 10), nous avons tenu à vérifier quel serait l'effet d'inclure ces deux équations dans le simulateur (voir méthodologie) comparé à l'utilisation d'une seule équation (avant éclaircie).

Premiers résultats de simulations

Les premières simulations démontrent que les rendements des pinèdes sont très élevés. Plus les pinèdes sont stockées, plus les rendements sont élevés après éclaircie. Ainsi, on observe qu'en général un peuplement de 250 tiges/ha et une surface terrière d'environ 20 m^2/ha a un rendement moyen d'environ 0,5 m^2/ha/an sur 25 ans après une éclairice d'environ 7 m^2/ha (Figure 12). Dans les peuplements très fortement stockés (e.g. 400 tiges/ha et une surface terrière d'environ 28 m^2/ha), ce rendement est de plus de 0,7 m^2/ha/an après une récolte semblable. On note que le rendement est un peu influencé par la structure de la forêt (l'écart-type autour du DHP moyen) et aussi un peu par le fait que l'on utilise le modèle avec une ou 2 équations. **Toutefois, étant donné 1) que les rendements issus du simulateur utilisant 2 équations sont similaires à ceux obtenus en utilisant une seule équation et 2) que le modèle avec une seule équation est plus simple, nous avons utilisé ce dernier pour le reste des simulations que nous présentons**.

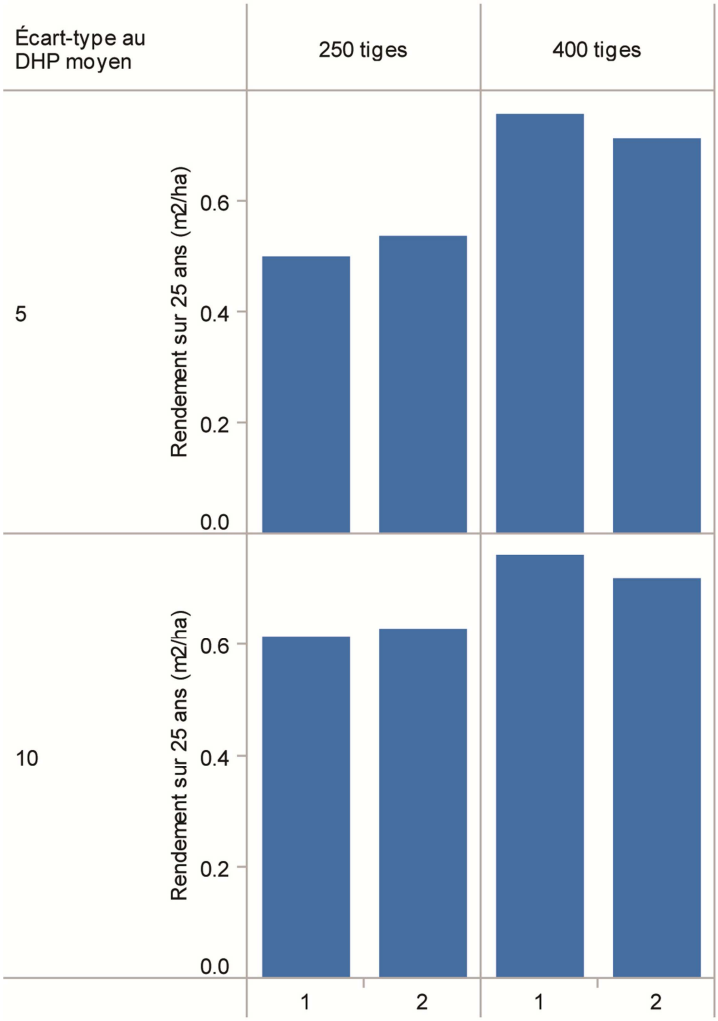

Figure 12: Effet de l'utilisation d'une (1) ou deux (2) équations ICF vs Croissance sur les rendements fournis par le simulateur, et ce, en fonction de divers type de peuplements.

Effets de divers régimes d'éclaircie

Nous avons simulé les effets de divers types d'éclaircies, soit par la bas, par le haut et mixte, sur la récolte totale (m^2/ha) de peuplements virtuels de pin blanc. Les éclaircies visaient à récolter 30% de la surface terrière à tous les 20 ans. Les résultats démontrent que, pour tous les types de peuplements analysés, l'éclaircie par le bas est celle qui offre les rendements les plus bas (Figure 13). Parfois la différence avec les autres types est faible et d'autres fois plus élevée. Dans la plupart des cas étudiés sauf 2 (350 et 400 tiges/ha et écart-type de 10 du DHP moyen), c'est l'éclaircie mixte qui offre les meilleurs rendements. On remarque aussi qu'avec une distribution de classe de DHP initiale plus élevée (écart-type = 10), le rendement des peuplements est plus élevé, et ce, surtout pour les types d'éclaircies par le haut et mixtes (Figure 14).

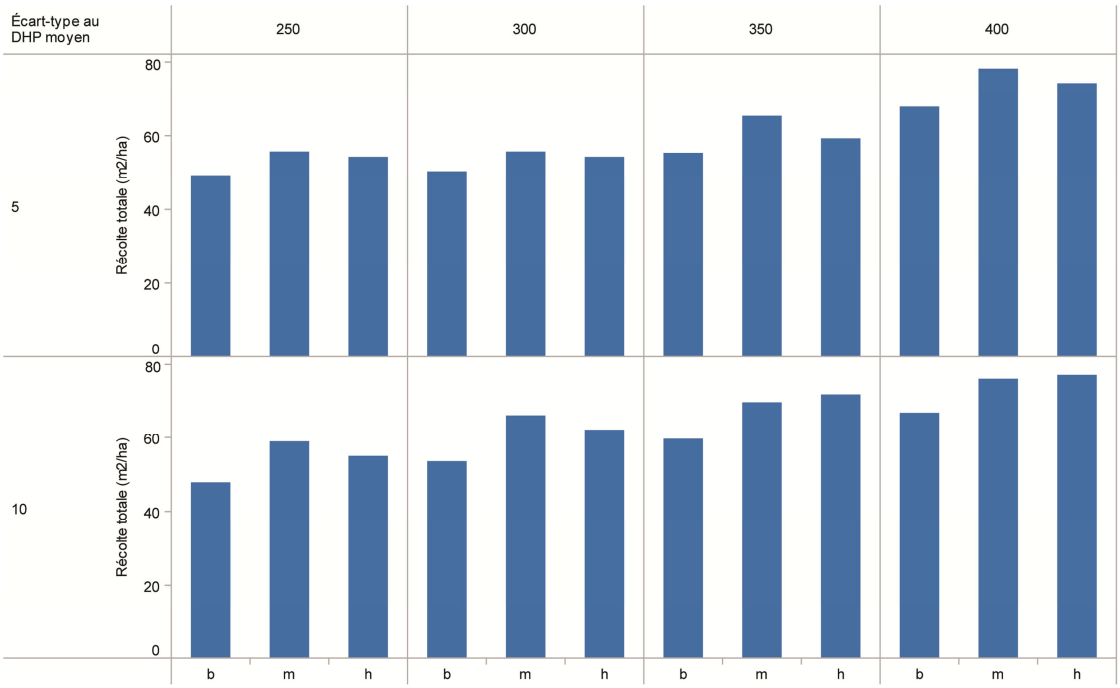

Figure 13: Effets de différents régimes d'éclaircies sur la moyenne de la récolte totale en fonction des divers types de peuplements étudiés. Les lettres b, m, et h signifient respectivement des régimes d'éclaircies par le bas, mixtes et par le haut. Les nombres 250, 300, 350 et 400 réfèrent au nombre de tiges dans les peuplements.

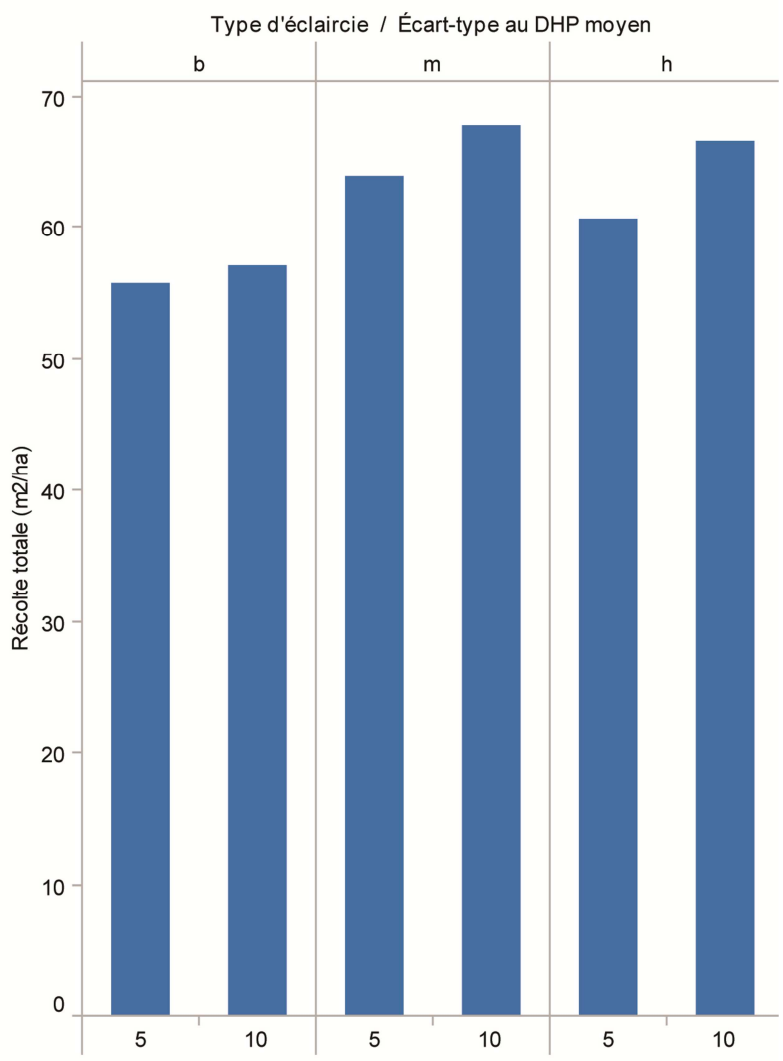

Figure 14: Effets de différents régimes d'éclaircies sur la récolte totale en fonction de la distribution des classes de DHP des peuplements étudiés.

Ces résultats sont toutefois des données moyennes; nous présentons les données pour chaque réplicat à la Figure 14. Rappelons qu'un même réplicat était traité de 3 façons différentes : série d'éclaircie par le bas, série d'éclaircie par le haut et série d'éclaircie mixte (voir la section méthodologie pour plus de détails). Cette figure montre bien la grande variabilité des effets des éclaircies sur le rendement des peuplements. En effet, pour certains peuplements avec les mêmes caractéristiques (nombre de tiges et écart-type au DHP moyen), on remarque que parfois l'éclaircie pas le bas peut être la meilleure stratégie alors que d'autres fois, c'est celle par le haut ou l'éclaircie mixte. Il y a même des cas où le type d'éclaircie ne présente pas d'effets sur

la récolte totale après 80 ans de simulation. Ces différences observées entre les types d'éclaircies pour des peuplements semblables s'explique par la répartition des tiges. Il semble donc que certains types d'éclaircies soient mieux adaptés à certains types de répartition spatiale. Nous n'avons pas par contre, dans le cadre de cette étude, tenté d'associer ces types d'éclaircies et ces types de répartition spatiale. Toujours en ce qui a trait à la répartition spatiale des tiges, cette répartition semble également avoir un effet elle-même sur la récolte totale possible après 80 ans de simulation (Figure 15). On observe en effet que certains réplicats présentent des productivités bien différentes de réplicats du même type. Par exemple, dans un type de peuplement particulier (nb-tiges = 300, écart-type = 5), la différence de productivité (récolte totale moyenne après 80 ans) entre le réplicat le plus productif et le moins productif est de plus de 10%.

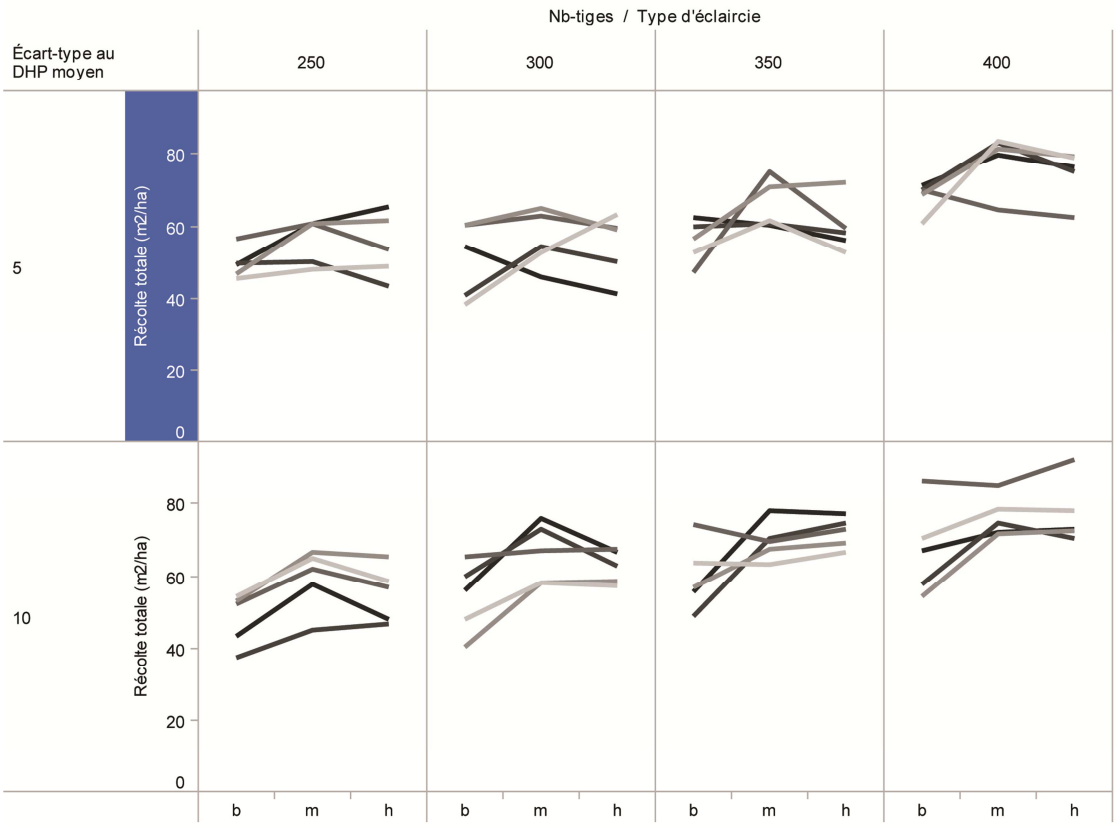

Figure 15: Effets de différents régimes d'éclaircies sur la récolte totale, par réplicat, en fonction des divers types de peuplements étudiés.

Enfin, Il est intéressant de remarquer que les types d'éclaircie proposés permettent dans la plupart des cas de maintenir ou même d'augmenter le couvert forestier au cours de la période, soit du temps 0 jusqu'au temps 80 juste avant la coupe finale (Figure 16). Cette affirmation est encore plus évidente pour les éclaircies mixtes et les éclaircies par le haut, qui, dans tous les cas, permettent d'augmenter de façon significative le couvert forestier en pin blanc au cours de la période. Les régimes d'éclaircies ont toutefois des effets majeurs sur la moyenne des DHP juste avant la coupe finale (Figure 17). Alors que le DHP moyen est de 90 cm pour le régime d'éclaircie par le bas, il est de 60 cm pour le régime d'éclaircie par le haut.

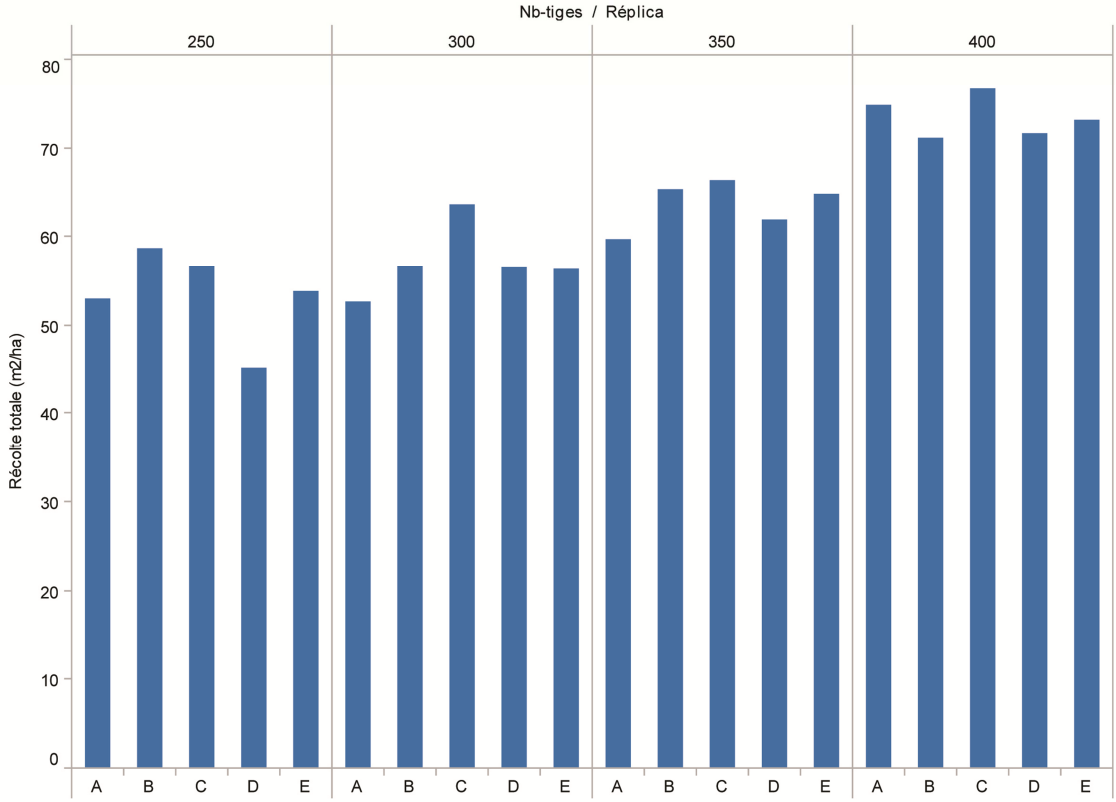

Figure 16: Variabilité de la récolte totale par réplicat pour les différents types de peuplements étudiés (tous types de régimes d'éclaircies confondus).

Figure 17: Évolution de la surface terrière en pin blanc selon les différents régimes d'éclaircies et selon la densité de peuplements étudiés (E-C = 5).

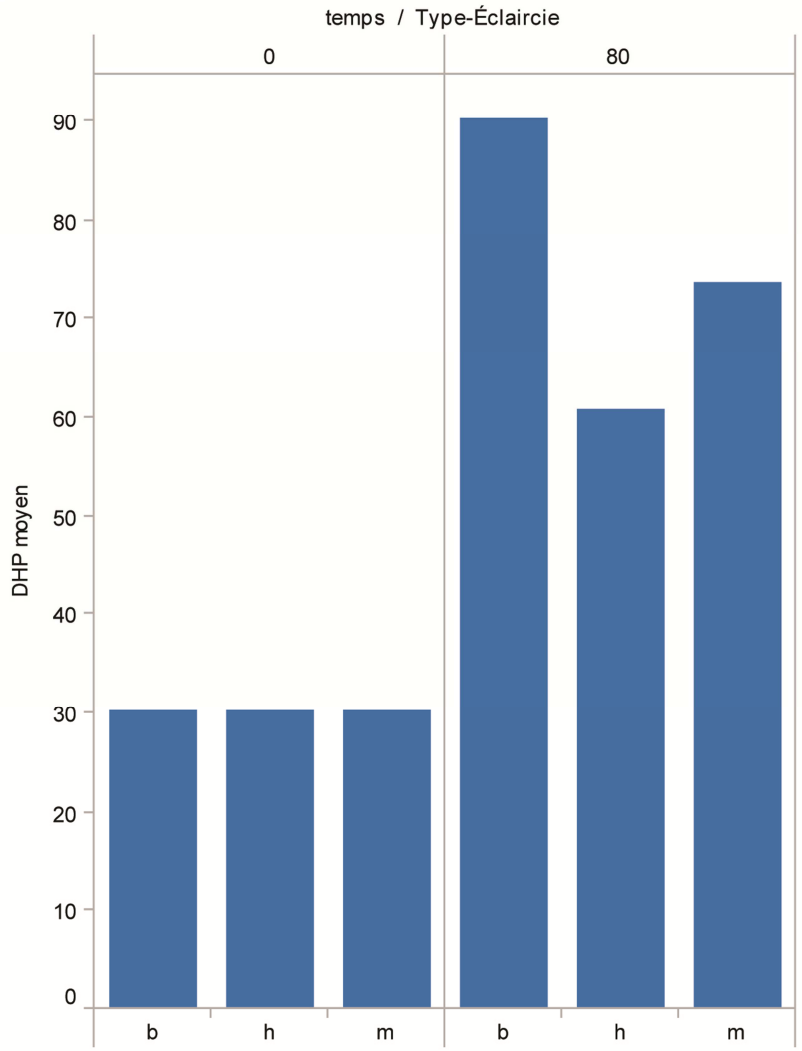

Figure 18: Évolution du DHP moyen en fonction de 3 régimes d'éclaircies (E-C = 5 et nombre de tiges confondus).

Discussion générale

Nos résultats démontrent que le pin blanc réagit bien au traitement d'éclaircie comme l'avaient démontré Bebber et Thomas (Bebber et al. 2004). Nos résultats démontrent aussi que les pins semblent pouvoir bien réagir même quand leur DHP est élevé (> 50 cm). Cette information est très importante dans un contexte de volonté d'étalement des peuplements, car elle confirme qu'une telle option demeure possible. Nous avons remarqué aussi que les classes de DHP ne semblent pas réagir de la même façon à l'éclaircie. D'abord, notons que les tiges de moins de 20 cm réagissent très peu à l'éclaircie. Cela s'explique probablement par le fait que dans les peuplements étudiés, ces tiges ont souffert trop longtemps de la compétition environnante. Il en ressort qu'elles ont aujourd'hui perdu la capacité architecturale et physiologique de réagir (rapidement du moins) à un traitement d'éclaircie. Nous avons aussi remarqué que les tiges d'environ 40-45 cm de DHP semblaient moins bien répondre que les tiges de 30-35 cm ou les tiges de 50-55 cm. Nous pouvons difficilement conclure si cette plus faible réponse est une observation fortuite ou si des raisons écologiques peuvent être en cause. Mentionnons aussi que la réponse des tiges à l'éclaircie, à l'intérieur même des classes de DHP, est très variable. Il sera important d'identifier dans l'avenir les caractéristiques externes d'un arbre qui permettent d'anticiper une réponse rapide et marquée suite à une ouverture.

La recherche d'un indice de compétition fiable et performant s'est avérée extrêmement complexe, même si on peut considérer que les peuplements de pins sont des peuplements relativement simples en termes de structure et de composition (comparés aux érablières par exemple). Nous avons établi que plus le rayon de recherche était grand, plus les indices de compétitions étaient performants, 12 m étant plus performant que 10 m et ce dernier étant plus performant que 8 m. Il est probable toutefois qu'une distance beaucoup plus grande aurait mené à des indices moins performants. Nous avons aussi établi que la pondération par la distance des compétiteurs apporte très peu à la performance des indices quant à leur capacité à prédire la croissance des pins. Nous avons aussi établi qu'il est préférable d'inclure le DHP de la tige sujet dans le calcul de l'indice de compétition de façon à relativiser celui-ci. Cette dernière observation laisse toute fois un questionnement important. Si nous devons absolument inclure le DHP de la tige sujet dans l'indice de compétition afin qu'il soit performant, cela ne voudrait-il pas à dire, dans une certaine mesure, que les arbres qui poussent le mieux sont plus gros et qu'ils sont par le fait même moins compétitionnés. (Cole & Lorimer 1994) avaient déjà fait une

telle observation et la question demeure. Si tel est le cas, on peut difficilement parler d'une relation de cause à effet entre la compétition et la croissance. D'ailleurs, cette absence de relation de cause à effet semble se confirmer avec le premier indice que nous avions sélectionné. En effet, avec cet indice, nous ne pouvions déceler aucune relation entre une différence dans l'indice de compétition (avant et après traitement) des tiges éclaircies et une différence de croissance entre les périodes correspondantes. En principe, si un indice de compétition est fiable, plus l'indice de compétition après une éclaircie est diminué, plus l'augmentation de la croissance subséquente devrait être élevée. Nous avons développé un indice, unique croyons-nous, qui permet de bien prendre en compte l'effet d'une éclaircie. D'après la littérature que nous avons consultée, il semble sous-entendu que si une relation est observée entre un indice de compétition et la croissance, cet indice peut être par la suite utilisé pour simuler l'effet d'une éclaircie (baisse de l'indice) sur la croissance. La plupart de ces études ne se donnent pas la peine de vérifier, comme nous l'avons fait, qu'une telle prémisse tient la route.

Dans le cadre de la présente étude, nous démontrons aussi qu'il existe une certaine différence dans la relations ICF-croissance avant et après traitement (ou pour les traitements éclaircis et ceux non-éclaircis). Cette relation change probablement en fonction du type d'éclaircie effectué. Par exemple, si une éclaircie met l'accent sur la récolte des arbres malades, elle n'aura pas le même effet sur la relation ICF-croissance qu'une éclaircie par le haut (qui laisse probablement une grande partie des arbres malades). Nous avons donc vérifié l'effet d'utiliser une équation générale, utilisée avant et après éclaircie, comparé à l'utilisation de deux équations, une avant éclaircie et une autre après éclaircie. Bien qu'à l'échelle de la tige, cela puisse mener à des différences importantes de croissance diamétrale, il semble qu'à l'échelle du peuplement, l'utilisation d'une ou deux équations n'engendre pas de grandes différences de rendement.

Le simulateur que nous avons développé nous a permis de comparer divers régimes d'éclaircies sur des forêts virtuelles avec des caractéristiques contrastées. Nos analyses démontrent qu'en général, le régime d'éclaircies par le bas est le moins productif sur 80 ans. Le régime d'éclaircie mixte est le plus productif, suivi de près par l'éclaircie par le haut. L'avantage de l'éclaircie mixte, c'est qu'elle permet la récolte d'une bonne quantité d'arbres moribonds tout en permettant d'augmenter la lumière disponible pour les arbres résiduels. Toutefois, il semble que certaines distributions spatiales des tiges soient plus aptes à l'éclaircie par le bas. Des gains

importants en termes de productivité pourraient être faits en adaptant les régimes d'éclaircies à la distribution initiale des tiges. Cette même distribution semble même avoir un effet important sur la productivité observée à l'échelle du peuplement. Nous croyons qu'il existe un important champ de recherche, peu développé en forêt naturelle, visant à optimiser la distribution spatiale des tiges à des fins de rendement à l'échelle du peuplement.

À long terme, il semble que chacun des régimes d'éclaircies proposés permettent de maintenir et même d'augmenter la surface terrière en pin dans les peuplements sur une période de 80 ans avant la coupe finale. Cela est extrêmement important dans le contexte de la structure d'âge des pinèdes de l'Outaouais où on observe très peu de jeunes forêts. Les résultats de cette recherche tendent à démontrer qu'il serait possible de procéder à une récolte dans les peuplements matures actuels pendant 80 ans. Au bout de cette période, les peuplements que nous avons entrepris de régénérer par plantation ou enrichissement auront atteint leur propre maturité et pourront à leur tour être récoltées. Cette approche d'étalement du pin blanc tient compte, d'une part, de la capacité du pin à atteindre des diamètres considérables et, d'autre part, des coûts considérables d'efforts d'éducation que requiert cette essence. En effet, étant donné que cette essence requiert des travaux importants en bas âge (établissement et éducation), il serait logique d'absorber les coûts occasionnés par ces travaux sur la plus longue période possible. C'est ce que permet l'étalement. Parmi les régimes testés, l'éclaircie par le haut est fort probablement celle qui occasionne les rendements économiques les plus élevés (puisque les tiges récoltées ont un DHP plus élevé dans les premières éclaircies). C'est aussi celle pour laquelle on obtient le DHP moyen le plus faible à 80 ans (60 cm). L'éclaircie par le bas, quant à elle, mène à des peuplements avec un DHP moyen de 90 cm. L'obtention de tels diamètres occasionne des risques, mais présente fort probablement une option intéressante dans un contexte de restauration écologique.

Dans le cadre du présent projet, nous avons testé 3 régimes d'éclaircies très simples. D'autres régimes avec des pourcentages de récoltes inégaux ou avec des laps de temps inégaux entre les éclaircies pourraient être testés; le nombre d'éclaircies et la longueur de la révolution pourraient aussi varier. Nous ne croyons pas qu'il existe un régime idéal pour toutes les situations. La distribution spatiale des tiges dans les peuplements, comme nous l'avons présentée, semble avoir un grand effet sur le régime qui sera le plus efficace. D'autres considérations, écologiques, économiques ou sociales, peuvent aussi influencer l'identification

du régime le mieux adapté à une situation. Les outils développés dans le cadre de ce projet constituent certes des moyens privilégiés pour explorer l'identification des régimes les mieux adaptés aux différentes situations.

References

Bebber,D.P. and Thomas,S.C. 2003. Prism sweeps for coarse woody debris. Can. J. For. Res. 33: 1737-1743.

Bebber,D.P., Thomas,S.C., Cole,W.G., and Balsillie,D. 2004. Diameter increment in mature eastern white pine Pinus strobus L. following partial harvest of old-growth stands in Ontario, Canada. Trees Struct. Funct. 18: 29-34.

Canham,C.D., Lepage,P.T., and Coates,K.D. A neighborhood analysis of canopy tree competition: effects of shading versus crowding. Can.J.For.Res 34[4], 778-787. 2004.
Ref Type: Magazine Article

Cole,W.G. and Lorimer,C.G. Predicting tree growth from crown variables in managed northern hardwood stands. Forest Ecology and Management 67[1-3], 159-175. 1994.
Ref Type: Magazine Article

Doyon,F., Nolet,P., Forget,E., and Pouliot,R. 2006. COHORTE: a distance-independent individual tree model to assess stand growth and quality grade changes under partial cutting regimes. Conference Proceedings: IUFRO 1.05 conference on Natural disturbance-based silviculture - Managing for complexity, Rouyn-Noranda, Québec, Canada.: p.194.

Doyon,F. 2003. Stratégie d'aménagement, de restauration et de conservation du pin blanc et du pin rouge dans l'Outaouais.

Pacala,S.W., Canham C.D., Saponara J., Silander J.A., Kobe R.K., and Ribens E. 1996. Forest models defined by field mesurements: estimation, error analysis and dynamics. Ecol. Monogr. 66: 1-43.

Pélissier,R. and Goreaud,F. 2001. A practical approach to the study of spatial structure in simple cases of heterogeneous vegetation. J. Veg. Sci. 12: 99-108.

Seymour,R.S. Low-Density Management of White Pine Crop Trees: A Primer and Early Research Results. Northern Journal of Applied Forestry 24[4], 301-306. 2007.
Ref Type: Magazine Article

Vlasiu,P.D., Nolet,P., and Doyon,F. Le pin blanc. Revue de littérature. -91 p. 2001. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Qc.
Ref Type: Serial (Book,Monograph)