

# Mise au point d'un outil de prédiction de la qualité du bois après traitement d'éclaircie précommerciale et commerciale

Cornelia Krause et collaborateurs

---

## **Introduction et problématique**

Les opérations forestières en forêt boréale ont atteint dans les dernières années, pour certaines régions, leurs limites d'exploitation. Il est devenu primordial d'établir de nouvelles stratégies afin d'augmenter le volume de bois produit en forêt. Les éclaircies commerciales (EC) et précommerciales (EPC) qui consistent à régulariser l'accroissement et la croissance d'une forêt dans le but de la garder stable et productive durant tout son cycle de vie, sont de plus en plus considérées dans une perspective d'augmentation de la possibilité forestière des espèces conifériennes comme l'épinette noire et le pin gris.

L'évaluation du gain en volume demeure une priorité pour les exploitants forestiers, mais pas au détriment d'une diminution de la qualité des propriétés mécaniques du bois tant au niveau de la première transformation que de la valorisation du bois. Dans l'optique de favoriser la croissance des arbres et d'assurer une bonne qualité du bois, l'évaluation des propriétés mécaniques des arbres résiduels des éclaircies par une méthode simple et non destructive est une avenue intéressante à considérer dans l'élaboration d'un outil de prédiction rapide basé sur la relation croissance versus propriétés mécaniques des arbres.

## **Objectifs généraux**

-Prédire l'impact de deux traitements sylvicoles (EC et EPC) chez les peuplements d'épinette noire et de pin gris en fonction de :

- la croissance radiale des arbres au niveau individuel ;
- la qualité du bois à partir des propriétés anatomiques (le nombre de cellules, % bois initial, % bois final, l'aire du lumen, l'épaisseur de la paroi) et
- par deux tests mécaniques (compression radiale (FCR) et cisaillement axial (FCA)).

## **Matériel et méthodes**

### Sélection des sites

Au total, 40 sites éclaircis (10 EC et 10 EPC d'épinette noire, 10 EC et 10 EPC de pin gris) ont été analysés. Les sites d'étude d'âge varié devaient avoir subi un traitement d'éclaircie, il y a plusieurs années. Le délai entre les traitements sylvicoles et l'échantillonnage était variable, mais d'au moins trois années après l'intervention pour mesurer l'impact des éclaircies. À l'aide d'une sonde de Pressler, 35 individus par site ont été sélectionnés aléatoirement à l'intérieur de transects de longueur variable. En surplus, dans le cas des EC, 5 sites témoins (4 d'épinette noire et 1 de pin gris) ont été échantillonnés de la même façon, mais avec un nombre limité de 20 échantillons pour comparer avec l'accroissement radial issu du traitement sylvicole.

### Échantillonnage

Pour chaque individu récolté, certaines données dendrométriques ont été notées (hauteur de chaque individu, diamètre à diverses hauteurs pour établir le défilement de la tige, diamètre des quatre plus grosses branches). Nous avons cartographié l'espacement entre les arbres échantillonnés et leurs plus proches voisins. Le prélèvement des échantillons était basé sur l'extraction d'un cylindre de bois à l'aide d'une sonde de Pressler à environ 15 et 20 cm du sol. Une carotte a été prélevée en traversant de part et d'autre l'arbre (un côté pour les analyses de croissance radiale et de qualité et l'autre pour les tests mécaniques).

### Mesures et analyses

Analyses de l'accroissement radial - la mesure des cernes de croissance a été effectuée avec un système de détection semi-automatique des cernes de croissance radiale (WinDendro<sup>TM</sup>, Guay *et al.* 1992). Les échantillons ont été interdatés suivant les procédures standard utilisées en dendrochronologie (Stokes et Smiley 1968). L'influence du paramètre âge a été exclue en utilisant une méthode simple de standardisation, soit en divisant chaque mesure annuelle de croissance par la moyenne de toute la série de données. L'évaluation du gain en croissance radiale a été calculée à partir de la croissance moyenne de 5 années immédiatement avant le traitement pour les deux types d'éclaircies. Ces valeurs moyennes ont été comparées avec la moyenne combinée des années 3 et 4 après le traitement. Pour les sites témoins, une période de 5 ans a été également considérée pour fin de comparaison avec les sites éclaircis.

Analyses anatomiques - les échantillons ont été coupés avec un microtome à 7µm, colorés avec de la safranine et mesurés avec le logiciel Wincell (Deslauriers *et al.* 2003) trois années avant et trois après pour l'éclaircie (EPC) et trois années avant et trois à cinq années après traitement (EC). Les paramètres cellulaires analysés tels le nombre de cellules, l'aire du lumen, la largeur du lumen, la largeur des parois et le rapport largeur (parois/lumen) ont été regroupés selon le type de bois (initial et final). Au début de la saison de croissance, le cambium produit des cellules avec une très grande aire du lumen constituée de parois minces qui correspondent au bois initial (BI). Durant la saison de croissance, l'aire du lumen diminue et les parois cellulaires s'épaississent, afin d'assurer la stabilité, ce qui forme le bois final (BF). La discrimination entre le BI et le BF est basée sur le rapport entre la largeur des parois et l'aire du lumen pour chaque cellule selon la formule de Mork (dans Denne 1988).

Tests mécaniques – deux mesures de rupture (compression radiale (FCR) et cisaillement axial (FCA) ont été réalisées à l'aide d'un «fractomètre» avant et après l'intervention sylvicole.

Le fractomètre est conçu pour mesurer ces paramètres à partir d'échantillons de 5 mm de diamètre (Götz et Mattheck 1999) extraits à l'aide d'une sonde de Pressler. Puisque l'instrument effectue des mesures sur de petites surfaces, la résistance mécanique est évaluée dans une zone précise couvrant de un à quelques cernes de croissance, ce qui permet de cibler des années précises d'analyse avant et après traitement.

Analyses statistiques - les données ont été compilées et analysées selon un modèle multivarié d'analyse de variance (SAS Institute 2003). Les variables ont été transformées au besoin. Les différences de moyennes ont été traitées avec un test de Tukey.

## **Résultats et discussion**

Les 40 sites éclaircis et les cinq sites témoins étaient localisés entre les 47,8° et 49,4° et les 70,2° et 72,6° parallèles. L'âge moyen des EC d'épinette noire au moment du traitement était de 69 ans comparativement à 52 ans chez les EC de pin gris. Pour les EPC d'épinette noire, l'âge moyen au moment du traitement était de 11 ans pour 7 sites et de 43 ans dans les 3 autres sites. Dans les EPC de pin gris, cet âge était de 11 ans dans 8 sites et de 36 ans dans 2 autres sites.

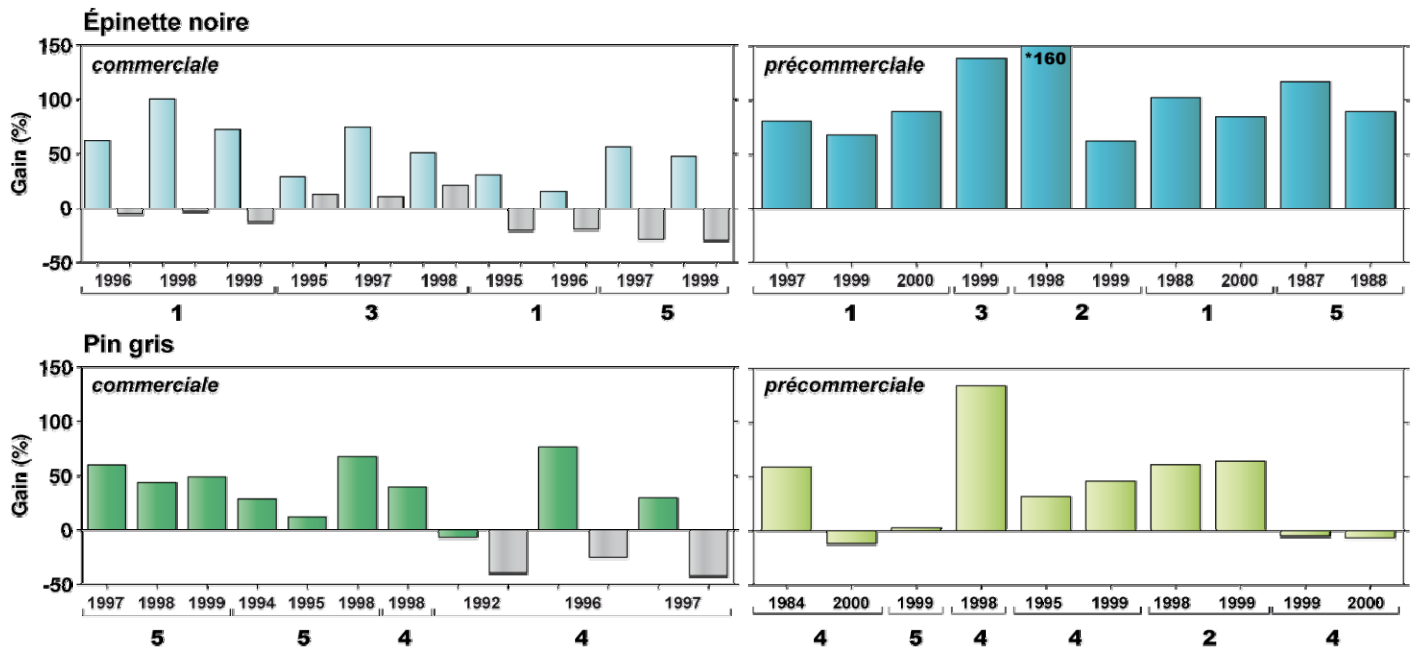
### Analyses dendrochronologiques

#### *Éclaircie commerciale – Épinette noire (EN)*

Les résultats obtenus sur l'ensemble des sites révèlent que l'accroissement radial des épinettes noires augmente après une éclaircie commerciale. La comparaison de la croissance radiale moyenne dans chaque éclaircie 5 ans avant traitement avec celle enregistrée des années 3 et 4 combinées après révèle des gains de l'ordre de 16% à 100% dans les dix sites (figure 2a). Les sites témoins ont enregistré une croissance inférieure jusqu'à 30% à l'exception du secteur Mont Valin avec un gain jusqu'à 21%. Les gains en accroissement ont été toutefois très variables d'un individu à l'autre dans les aires d'étude. En moyenne, 48% des individus des 10 sites étudiés ont obtenu un gain en croissance radiale de plus de 20% et 20% ont même doublé leur croissance radiale (tableau 1). Par contre, 28% ont enregistré une croissance inférieure de 20%.

#### *Éclaircie commerciale – Pin gris (PG)*

Chez le pin gris, l'augmentation de la croissance radiale après traitement a été plus faible que chez l'épinette noire (figure 2b). La comparaison par site entre la croissance avant et après éclaircie révèle que, dans le secteur Saint-Thomas, seulement un site a enregistré une forte réponse avec un gain en croissance de 77%; pour les neuf autres sites, le gain en croissance s'est situé entre -8% et 68%. Le site témoin a aussi présenté une croissance radiale inférieure dans la même période. Dans le cas des pin gris, seulement 53% des individus étudiés ont augmenté leur croissance radiale de 20% comparativement avant l'éclaircie; il y a 17% qui ont enregistré une croissance inférieure (tableau 1). Seulement 17% des individus ont doublé leur croissance.



1. Réserve des Laurentides ouest; 2. Réserve des Laurentides est; 3. Mont Valin; 4. Réserve Ashuapmchuane; 5. Nord du Lac St-Jean

Figure 2 - Histogrammes de répartition des gains (%) dans les éclaircies commerciales et dans les sites témoins (gris) en comparant la croissance moyenne 5 ans avant traitement et la moyenne combinée des années 3 et 4 après le traitement.

Tableau 1 - Proportions des individus qui ont enregistré des pertes et des gains (%) en croissance radiale en comparant la croissance moyenne 5 ans avant traitement et la moyenne combinée des années 3 et 4 après le traitement ; EPN = épinette noire, PIG = Pin gris, EC = éclaircie commerciale, EPC = éclaircie précommerciale.

Perte/Gain	0-80,99%	81-119,99%	120-149,99%	150-199,99%	>200%
EPN EC	27,89%	23,74%	15,43%	12,46%	20,47%
PIG EC	17,41%	29,35%	19,11%	17,41%	16,72%
EPN EPC	5,28%	17,08%	15,53%	20,19%	41,93%
PIG EPC	20,12%	33,63%	16,52%	18,32%	11,41%

#### Éclaircie précommerciale – Épinette noire

L'effet du traitement a été plus difficile à quantifier en raison du jeune âge des individus qui sont encore en phase de croissance exponentielle. La méthodologie utilisée pour les calculs d'augmentation de l'accroissement radial correspond au rapport entre la croissance moyenne 5 ans avant et la moyenne combinée des années 3 et 4 après l'intervention forestière. Toutes les EPC ont enregistré un gain en accroissement radial qui varie de 62% à 160%. Dans quatre des dix EPC, la croissance par peuplement a même doublé après l'éclaircie. On note également qu'il existe une grande variabilité dans la réaction des individus au traitement. Il y a en moyenne 77% des arbres qui ont augmenté de 20% et plus leur croissance radiale et même 42% l'ont doublé après intervention (tableau 1). Par contre, 5% des épinettes ont eu une croissance inférieure de 20% après le traitement.

#### Éclaircie précommerciale – Pin gris

Dans six des dix EPC, un gain en accroissement radial a été enregistré variant de 32% à 134%. La croissance des quatre autres EPC a peu varié après traitement (de 3 à -12%). En moyenne 46% des pin gris ont présenté une croissance radiale supérieure ou égale à 20% après traitement; mais 20% ont aussi diminué leur croissance du même ordre (tableau 1). Seulement 11% ont doublé leur croissance radiale après le traitement.

Les résultats sur la croissance radiale après éclaircie démontrent que le nombre d'épinette noire qui réagit positivement à l'intervention est plus grand que chez le pin gris et ce autant pour les EC que les EPC.

L'obtention d'un nombre considérable d'arbres qui n'ont pas enregistré de changement dans leur croissance ou même une diminution, soulève la question de l'influence dans la variabilité de la compétition après traitement dans l'explication de ce phénomène. Diverses mesures telles que le diamètre à hauteur de souche (dh0), la hauteur de la tige, un indice de compétition, le pourcentage de gain en croissance après traitement, le diamètre avant et au moment de la récolte ont été mises en relation avec l'espèce et le type d'intervention. Des différences significatives ont été mesurées pour toutes les variables selon l'espèce et le traitement (tableau 2). Les interactions entre l'espèce et le traitement sont aussi significatives pour les mesures en log du dh0 ( $p=0,0235$ ), de l'indice de compétition ( $p=0,0206$ ), du pourcentage de gain en croissance ( $p=0,0031$ ) et de la longueur du rayon des arbres avant traitement ( $p=0,0364$ ).

Tableau 2 – Modèle général d'analyse de variance des paramètres de croissance

Source	Nparm	DL	Dh0	Haut	Indicomp	Gain%	DiaAv	DiaAp
			Prob > F					
Esp,ce	1	1	<b>0,0033</b>	<b>0,0004</b>	<b>&lt;,0001</b>	<b>0,0055</b>	<b>0,0075</b>	<b>0,0306</b>
Traitement	1	1	<b>&lt;,0001</b>	<b>&lt;,0001</b>	<b>&lt;,0001</b>	<b>0,0228</b>	<b>&lt;,0001</b>	<b>&lt;,0001</b>
Esp,ce*Traitement	1	1	<b>0,0235</b>	0,2396	<b>0,0206</b>	<b>0,0031</b>	<b>0,0364</b>	0,4046

Npar : nombre de paramètres ; DL : degrés de liberté ; Dh0 : diamètre à hauteur de souche en format log ;  
Haut : hauteur en format racine carrée ; Indicomp : indice de compétition en format log ;  
Gain% : pourcentage de gain en croissance en format log ; DiaAv : diamètre de l'arbre avant traitement en format log ;  
DiaAp : diamètre de l'arbre (récolte) après traitement en format log ;  
Espèce : épinette noire et pin gris ; Traitement : EC ou EPC ;

#### Analyses cellulaires

##### *Eclaircie commerciale – épinette noire et pin gris*

Chez l'épinette noire, le pourcentage du bois initial avant éclaircie occupait 59% d'un cerne de croissance. Après le traitement ce pourcentage a atteint 60%. Seulement dans un site, l'augmentation du pourcentage du bois initial au détriment du bois final a significativement changé avant et après éclaircie. Chez le pin gris, avant et après éclaircie, 61% d'un cerne de croissance était composé du bois initial ; dans deux sites, une augmentation significative du bois initial a été obtenue après éclaircie.

Pour les autres paramètres anatomiques tels l'aire du lumen, la largeur du lumen, l'épaisseur de la paroi cellulaire et la largeur radiale de la cellule, aucune différence significative avant et après traitement n'a été obtenue pour les deux espèces.

Par contre, en analysant les arbres en fonction de leur réponse au niveau de la croissance radiale, les épinettes et les pins qui ont doublé leur croissance radiale après traitement ont augmenté significativement leur aire du lumen et leur diamètre radial dans les cellules du bois final. La paroi cellulaire est restée inchangée après traitement.

##### *Éclaircie précommerciale – épinette noire et pin gris*

Dans les dix sites d'épinette noire, les cernes de croissance étaient composés par 78% de bois initial avant éclaircie et de 82% après traitement. Dans cinq sites, une augmentation significative du bois initial a été observée. Chez le pin gris, les cernes de croissance étaient composés de 79% de bois initial sans aucun changement avant et après éclaircie.

Par contre, l'aire du lumen dans le bois initial a augmenté significativement dans cinq des dix sites chez l'épinette noire et dans trois chez le pin gris. En ce qui concerne l'aire du lumen dans le bois final, trois sites d'épinette noire ont enregistré une augmentation significative dans cette partie. Des différences significatives ont été obtenues avant et après éclaircie en regroupant les dix sites d'épinette noire pour les paramètres aire du lumen, largeur radiale du lumen pour le bois initial et final. Chez le pin gris, la même analyse a été significative pour seulement la partie du bois initial.

Notre ensemble de données a permis de détecter des différences significatives entre les paramètres cellulaires selon les deux espèces (épinette noire et pin gris, les deux traitements (EC et EPC), l'interaction entre les espèces et les traitements (tableau 2). Des différences significatives ont aussi été enregistrées entre les paramètres cellulaires et le moment d'analyse (avant et après traitement), entre le type du bois (BI versus le

BF), de même que l'interaction entre le moment et le type du bois. La largeur radiale des cellules est le paramètre cellulaire ou les relations ne sont pas toujours significatives.

Tableau 3 – Modèle général d'analyse de variance des paramètres anatomiques

Source	Nparm	DL	NbCel	AireLum	LargPar	LargRCel
Prob > F						
Espèce	1	1	0,1269	<,0001	0,0005	<,0001
Traitement	1	1	<,0001	<,0001	<,0001	0,0394
Espèce*Traitement	1	1	0,0201	<,0001	<,0001	0,1539
Moment	1	1	0,0179	<,0001	0,3039	0,1240
TypeBois	1	1	<,0001	0,0000	0,0000	<,0001
Traitement*TypeBois	1	1	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001

Nparm : nombre de paramètres ; DL : degrés de liberté ; NbCel : nombre de cellules ; AireLum : aire du lumen ;  
 LargPar : largeur des parois ; LargTPar : largeur radiale de la cellule ;  
 Espèce : épinette noire et pin gris ; Traitement : EC ou EPC ; TypeBois : BI ou BF ; Moment : avant ou après éclaircie ;

### Tests mécaniques

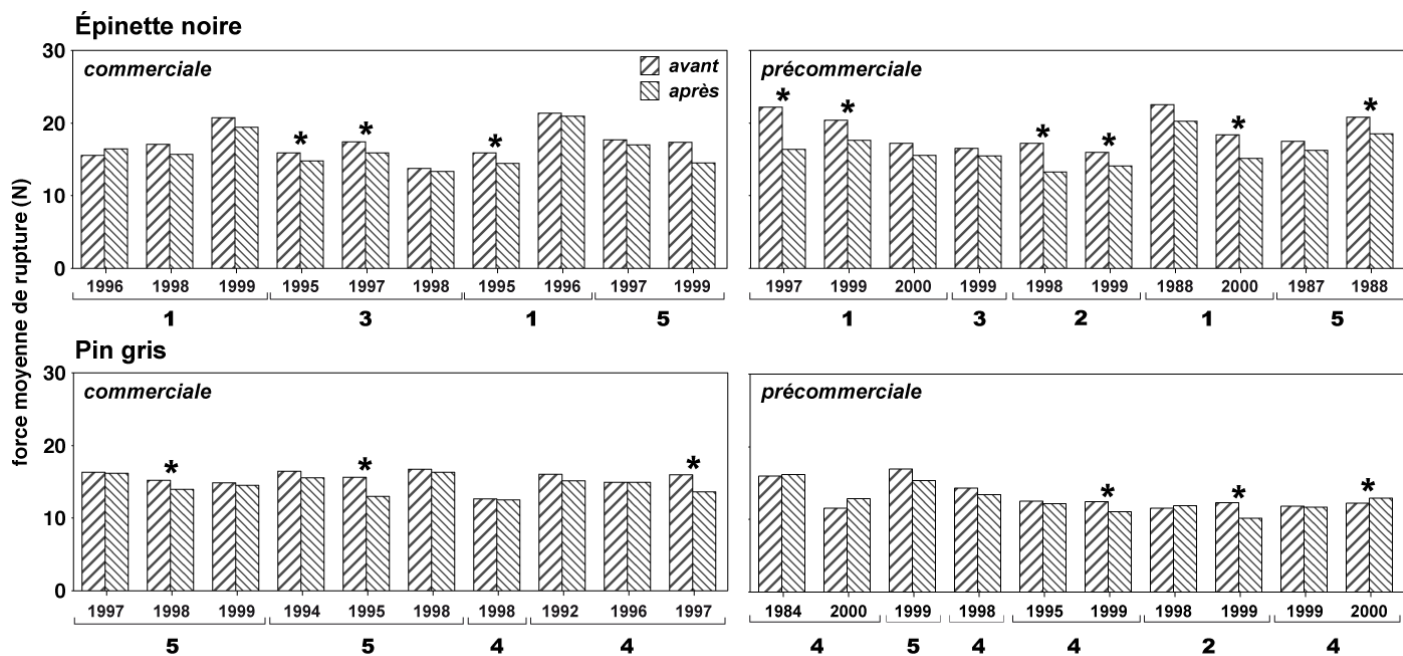
#### Épinette noire

La force de compression radiale (FCR) est légèrement plus faible après les deux interventions sylvicoles dans toutes les EC et les EPC, à l'exception d'un site d'EC (figure 3, seulement la FCR est illustrée). Fait intéressant, les forces de FCR sont du même ordre de grandeur pour les EC et les EPC.

Les analyses par site et par type de traitement, révèle que trois sites d'EC changent significativement avant et après éclaircie pour la FCR et la FCA. Dans les EPC, une diminution significative après traitement a été mesurée dans 6 sites pour la FCR et dans 7 sites pour la FCA. Aucune relation significative n'a été obtenue avec le gain en croissance radiale des épinettes. Même les individus qui ont doublé leur croissance n'ont pas diminué significativement leurs FCR ou FCA.

#### Pin gris

En analysant par site et par type de traitement, trois sites dans le EC ont significativement diminué leurs FCR après éclaircie et un pour la FCA. Dans le cas des EPC, trois sites ont enregistré des différences significatives dans leurs FCR et seulement un site la FCA avant avec après traitement. Il y a eu aucune relation significative des forces FCR et FCA avant/après éclaircie en fonction d'augmentation de la croissance radiale.



1. Réserve des Laurentides ouest; 2. Réserve des Laurentides est; 3. Mont Valin; 4. Réserve Ashuapmuchuane; 5. Nord du Lac St-Jean  
 Figure 5 - Comparaison des forces de compression radiale (FCR) avant et après tous les traitements d'éclaircie commerciale et précommerciale

Dans notre analyse, nous avons également noté le nombre de cerne par échantillon de 5 mm pour chaque test mécanique. Le nombre moyen de cerne comptés diminue significativement après éclaircie ce qui est corroboré avec les résultats sur la croissance radiale et ce pour les deux espèces et les deux traitements (tableau 4). L'interaction significative a été obtenue pour le nombre moyen de cerne comptés avec le traitement (EC –EPC des deux espèces) et en même temps selon le moment (avant et après) dans le cas de l'épinette noire.

Tableau 4 – Modèle général d'analyse de variance des paramètres mécaniques

Source	Npar m	DL	FCR		FCA	
			Cerne	Force	Cerne	Force
			Prob > F			
<b>Épinette noire</b>						
Traitement	1	1	<,000 1	0,4017	<,000 1	0,9668
Moment	1	1	<b>0,0033</b>	<b>0,0166</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,0048</b>
Traitement*Moment	1	1	0,7882	0,2627	0,8204	0,1654
<b>Pin gris</b>						
Traitement	1	1	<,000 1	<,000 1	<,000 1	<,000 1
Moment	1	1	0,2752	0,1807	<b>0,0030</b>	0,5886
Traitement*Moment	1	1	0,7893	0,5339	0,1117	0,0858

Nparm : nombre de paramètres ; DL : degrés de liberté ; Cerne : nombre de cerne; Force : mesures de force; Traitement : EC ou EPC ; Moment : avant ou après éclaircie;

## Conclusion

Le gain de croissance radiale après les deux traitements sylvicoles a été positif dans la majorité des 40 sites. Le meilleur résultat a été obtenu dans les éclaircies précommerciales effectuées dans les peuplements d'épinette noire. Le gain le plus faible a été enregistré dans les éclaircies commerciales dans les peuplements de pin gris. Une très grande variabilité a été observée à l'intérieur de chaque site et entre les sites ce qui reflète que la compétition locale peut varier et influencer la réponse des individus. Une meilleure compréhension des facteurs qui contrôlent la réaction de la croissance radiale des arbres améliorera nos techniques d'intervention. Le gain de croissance a très peu influencé les paramètres de qualité (cellulaires et mécaniques) mesurés. Il y a seulement chez les individus qui ont doublé leur croissance après traitement qui ont enregistré un changement significatif dans la forme des cellules dans le bois final. Cependant, ces changements n'ont pas influencé significativement les tests mécaniques de rupture.

## Bibliographie

- Deslauriers, A., Morin, H. et Begin, Y. 2003. Can. J. For. Res. 33: 190-200.
- Götz, K. O. et Mattheck, C. 1999. Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6157. 15p.
- Guay, R., Gagnon, R. et Morin, H. 1992. For. Chron. 68 (1): 138-141.
- SAS Institute Inc. 2003. JMP version 5.1 User's guide. Cary, NC. USA. 398 p.
- Stokes, M. A. et Smiley, T. L. 1968. University of Chicago Press, Chicago, 73p.