

L'envahissement par le hêtre dans les érablières de l'Outaouais: phénomène fantôme ou glissement de balancier?

Frédéric Doyon, Dominique Gravel, Philippe Nolet, Denis Bouillon, Luc Majeau, Christian Messier et Marilou Beaudet.

Résumé

Introduction

Plusieurs praticiens ont remarqué une plus grande abondance de la régénération du hêtre (*Fagus grandifolia*) dans les peuplements de feuillus tolérants du Québec. En effet, on observe fréquemment une régénération dense de hêtre entre 1 et 5 mètres de hauteur, extrêmement tolérante à l'ombre, qui agirait comme un écran opaque, empêchant la lumière de parvenir jusqu'au sol en quantités suffisantes pour le développement subséquent des semis d'autres essences, telles l'érable à sucre (*Acer saccharum*) et le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*). Pour plusieurs sylviculteurs, cette situation est problématique car elle peut ainsi compromettre les objectifs de rendement soutenu des forêts (Kelty et Nyland, 1981; Horsley et Bjorbom, 1983; Ostrowsky et McCormack, 1986; Horsley, 1994; Ray *et al.*, 1999). Une augmentation de l'abondance du hêtre aurait une conséquence économique importante pour l'industrie du bois feuillu. Bien que le sciage ou le déroulage de hêtre soient des produits prisés par le marché, les billes de cette espèce possèdent rarement la qualité nécessaire à leur confection. Cela est d'autant plus vrai qu'on observe présentement une montée vers le nord de la maladie corticale du hêtre, maladie affectant la qualité et la survie du hêtre (référence de Marilou).

Dans plusieurs régions au Québec, on est à développer les nouveaux plans généraux d'aménagement forestier pour 2005. Or les stratégies d'aménagement doivent adresser certains enjeux de biodiversité. L'envahissement par le hêtre dans les peuplements de feuillus tolérants a déjà été ciblé comme enjeu prioritaire (MRN 2002). Cependant, avant de développer une stratégie à appliquer sur le terrain, il est important, dans un premier, de quantifier le phénomène et d'identifier les conditions où celui-ci est opérant.

L'objectif de ce projet est d'évaluer si on observe une tendance significative au changement de composition en faveur du hêtre dans les érablières de l'Outaouais, d'en quantifier l'importance et d'identifier les paramètres de peuplement (composition, âge, structure,

densité) ou de site (dépôt, drainage) où ce phénomène serait plus accentué. À la lumière des résultats, des recommandations seront suggérer pour le développement des stratégies d'aménagement forestier dans les peuplements de feuillus tolérants.

Méthodologie

Source d'information

Pour cette analyse, les parcelles de différents types d'inventaire de l'Outaouais ont été utilisées (Tableau 1). Dans un premier temps, nous avons retenu seulement les parcelles qui présentaient au moins 40% de la surface terrière en érable à sucre et hêtre. Des 21 577 parcelles disponibles, 4 106 ont été retenues pour les fins de l'analyse (Tableau 1). Ces dernières parcelles représentaient 505 strates d'appellations cartographiques se distinguant par le groupement d'essence, la densité, la hauteur et l'âge.

Tableau 1. Nombre de parcelles utilisées pour l'analyse

Inventaire	Type	Total	Avec 40% de ERS ou HEG
Parcelle-échantillon permanente	Rayon fixe 400 m ²	1 445	217
Parcelle-échantillon temporaire	Rayon fixe 400 m ²	15 450	2 163
Parcelle d'inventaire d'intervention	Rayon variable facteur 2	4 413	1 602
Inventaire de doctorat à F. Doyon	Rayon fixe 392.7 m ²	269	124
Total		21 577	4 106

Analyses

Pour les analyses, la surface terrière de chacune des parcelles a été redistribuée selon la classe de taille et la composition dans un premier temps. Les classes de tailles utilisées étaient les recrues (DHP<10cm), les petites tiges (10cm<=DHP<24 cm), les moyennes (24cm<=DHP<40 cm) et les grosses (DHP>=40cm). Pour les parcelles d'inventaire d'intervention et les parcelles d'inventaire du doctorat de F. Doyon, les recrues n'étaient pas inventoriées. En ce qui concerne la composition, on distinguait l'érable, le hêtre et les autres espèces. Cette classification donnait donc une possibilité 12 catégories.

Pour évaluer le taux de changement de composition, et ainsi vérifier l'hypothèse de l'envahissement du hêtre, un ratio de l'abondance du hêtre sur celle de l'érable à sucre pour

chacune des classes de taille a été calculé. Pour éviter les nombres trop grands, ce ratio était transformé par le logarithme naturel (Équation 1).

Équation 1. $R_i = \ln[(HEG_i + 0.001^*) / (ERS_i + 0.001)]$

où HEG_i = Surface terrière en hêtre à grandes feuillues de la classes de tailles i
 ERS_i = Surface terrière en érable à sucre de la classes de tailles i

* La fraction 0.001 a été ajouté à HEG et ERS pour éviter le logarithme de 0 et la division par 0.

Un ratio est positif indique donc que le hêtre est dominant, alors qu'il est négatif lorsque l'érable est dominant. Ce ratio se trouve principalement entre -5, lorsque l'érable domine le hêtre pour cette classe de taille, et 5, lorsque le hêtre domine l'érable à sucre (Figure 1).

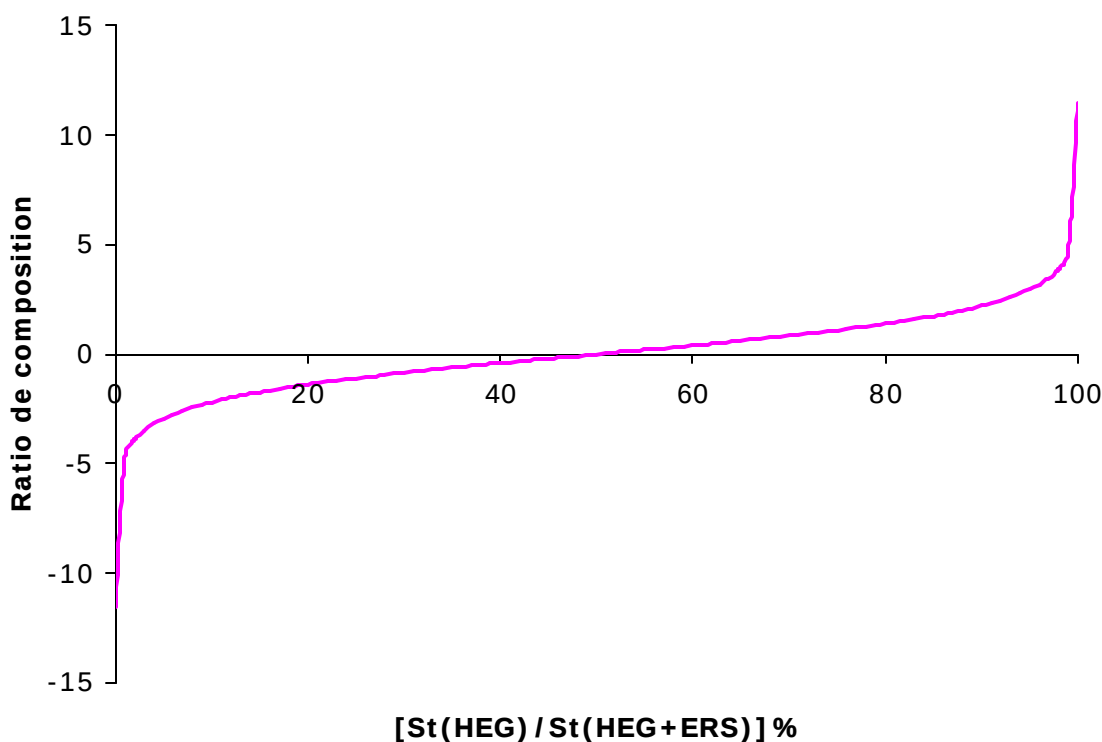


Figure 1. Valeur du ratio de composition en fonction du pourcentage de la surface terrière occupée par le hêtre

Avec ce ratio, il est alors possible d'évaluer comment évolue la proportion qu'occupe ces deux espèces entre 2 classes de tailles subséquentes en effectuant la différence des ratios (Équation 2). Puisqu'il y a 4 classes de tailles, (R, P, M, G), on obtient donc trois transitions ($R \nless P$, $P \nless M$ et $M \nless G$).

Équation 2. $I_{j \rightarrow i} = R_i - R_j$

où R_i = Ratio d'abondance pour la classe de taille i
 R_j = Ratio d'abondance pour la classe de taille subséquente j

Voici un exemple pour illustrer l'utilisation de cette procédure d'analyse. Imaginons une parcelle d'inventaire ayant les caractéristiques présentées au Tableau 2. Dans cette parcelle, nous avons une surface terrière totale de 32 m²/ha. Juste à l'observation des données de surface terrière, on peut supposer que l'abondance du hêtre pourrait fortement augmenter dans le futur puisque l'importance qu'à cette espèce par rapport à l'érable à sucre augmente des grandes classes de tailles (3/5) aux recrues (3/2). Nos indicateurs confirment cette tendance. Pour la transition R→P, le ratio passe de 4/3 à 3/2 pour les petites tiges, donnant un indice de 0.12. L'indice reste positif aussi pour les deux autres transitions, confirmant la tendance à l'augmentation du hêtre.

Tableau 2. Exemple de calcul du changement en composition d'une parcelle

Sp.	St R	St P	St M	St G	R→P	P→M	M→G
Ers	2	3	4	5	0.12	0.06	0.73
Heg	3	4	5	3			
Autres	0	0	1	2			

Une fois ces indices calculés pour chaque parcelle, des moyennes et écart-types de ces indices ont été produits pour différents critères de comparaison : appellation de strate forestière (donnée par la composition, la densité, la hauteur et l'âge), combinaison dépôt-drainage et classe de densité. On voulait par cette analyse voir s'il était possible d'identifier si les changements de composition significatifs étaient propres à certaines conditions de peuplement ou de site. Un test statistique de comparaison de la moyenne à une moyenne théorique a été utilisé pour distinguer les indices de changement de composition qui étaient significativement différents de 0 (Scherrer 1980), puisqu'une valeur de 0 indique aucun changement de composition dans la transition entre les deux classes de taille. Pour la comparaison entre les classes de densité, nous avons utilisé l'analyse de variance à 1 critère (Hintze 2001).

Pour avoir une idée de l'importance sur le territoire de l'Outaouais des changements de composition observés, une superficie a été associée à chaque strate forestière. Cela a été

possible grâce à une base de données représentant tous les peuplements de l'Outaouais à l'aide d'un GRID qui sous-échantillonne les peuplements de l'inventaire du troisième décennal à la précision d'un pixel par 1 ha.

Résultats

L'érable à sucre est domine le hêtre dans toutes les classes de taille tel qu'indiqué par le ratio de composition de -2.44, -4.96, -6.82, -3.69 pour les recrues, les petites, les moyennes et les grosses tiges respectivement. Ce pendant, cette dominance sur le hêtre diminue des moyennes tiges aux recrues. Ainsi, pour les plus transitions de petites tailles ($R \rightarrow P$, $P \rightarrow M$), on observe une tendance à l'augmentation du hêtre (Tableau 3). Ce taux est de l'ordre de 4:1 ($e^{1.47}$) pour la transition des recrues aux petites tiges et de l'ordre de 1.36 : 1 ($e^{0.31}$) pour la transition des petites tiges aux moyennes tiges. Cependant une tendance à l'augmentation de l'érable à sucre est observable pour la transition des moyennes aux grosses tiges, avec un taux de l'ordre de 5.37 : 1 ($e^{-1.68}$).

Tableau 3. Taux de changement de composition en hêtre et en érable à sucre

n	Taux de changement ¹		
	$R \rightarrow P$	$P \rightarrow M$	$M \rightarrow G$
4081	1.47	0.31	-1.68

¹ Tous les taux de changement sont significativement différents de 0.

Strates forestières

Sur les 505 strates analysées, 125 présentaient au moins un taux de changement de composition significativement différent de 0 (Tableau 4), représentant 84% des superficies représentées par les strates analysées. Une majorité (42/50) des strates possédant des taux de changement significatifs pour la transition des recrues aux petites tiges expriment une forte tendance à l'augmentation de la proportion en hêtre (Tableau 4). Ces strates représentent 64% (6048 km²) de la superficie de l'ensemble des strates à l'étude. Parmi celles-ci on trouve les strates les plus importantes de l'Outaouais telles ERFTA2JIN (1099 km²), ERFTA2VIN (727 km²), ERFTB2VIN (539 km²), ERJB2VIN (481 km²), ERFTB1VIN (472 km²) et ERFTB2JIN (458 km²), avec des taux passant de 1.11 à 2.95. Rappelons qu'un

taux de 2.95 exprime un changement de composition de favorisant le hêtre à 19 fois plus que l'érable à sucre! Seulement 8 strates sont associées à un changement de composition vers l'érable à sucre pour la transition des recrues aux petites tiges. Les strates avec de tels taux de changements représentent une superficie de 238 km² (2.5%).

Pour ce qui est de la transition des petites aux moyennes tiges, on observe aussi une tendance assez forte en ce qui concerne l'envahissement du hêtre (Tableau 4). En effet, 21 strates affichent une augmentation potentielle significative de l'importance du hêtre, représentant 3480 km² (36.6%). Parmi celles-ci on trouve les strates ERFTA2JIN (1099 km²), ERFTA2VIN (727 km²), ERJB2VIN (481 km²) et ERFTB1VIN (472 km²). Les 28 strates pour lesquelles l'érable à sucre serait en augmentation dans le futur ne représentent que 447 km² (4.9%) des strates analysées.

Pour ce qui a trait au changement de composition de la transition des moyennes aux grosses tiges, toutes les strates pour lesquelles le taux de changement de composition était significatif, sauf une (ERA1120), démontraient une tendance à l'augmentation de l'abondance l'érable à sucre (Tableau 4).

Tableau 4. Taux de changement en composition entre classes de tailles selon les strates

Strate ²	Sup. (ha)	N ³	Taux de changement ¹		
			R↗P ⁴	P↘M	M↘G
BBA270	6156	2	0.66	0.02	-8.91
BBB290	585	2	4.54	0.23	-8.71
BBRC270	3798	2	3.07	5.39	1.60
BJ+RA2VIN	499	2	0.00	-7.80	0.00
BJ+RB270	496	2	1.73	0.58	-9.00
BJ+RB2VIN	15714	2	7.96	0.50	0.14
BJB2VIN	6047	6	-1.06	-0.33	-5.17
BJ- RB2VIN	13332	9	-0.75	4.60	-3.55
EOB330	149	4	1.61	-5.93	3.42
EOC3JIN	480	3	3.14	-8.74	0.00
EORB3JIN	7324	3	0.03	-2.38	-9.19
ERA1120	24	9	1.28	3.09	4.77
ERA190	55	9	4.01	2.57	3.63
ERA270	819	21	3.23	0.48	-1.31
ERA2VIN	13990	39	2.67	1.12	-2.18
ERA350	1671	29	-0.65	-4.42	-1.43
ERB1120	647	5	-0.78	-2.59	-4.01
ERB190	28	8	-5.55	3.92	3.04
ERB1VIN	13219	29	2.49	1.43	-0.18
ERB250	83	3	2.41	1.33	-8.26
ERB290	453	29	2.65	0.28	-2.66

ERB2VIN	15630	34	2.08	1.36	-2.16
ERB350	180	9	2.03	-5.32	-3.06
ERB3JIN	1641	4	0.05	1.00	-7.19
ERBBB370	75	2	8.35	-7.29	2.96
ERBBC2JIN	460	5	0.00	-8.48	4.15
ERBJA290	59	21	2.91	0.71	-1.76
ERBJA2VIN	15788	28	2.58	-0.69	-0.67
ERBJB1120	1061	4	0.39	0.70	-1.76
ERBJB270	243	27	2.10	2.55	-2.43
ERBJB290	844	46	2.22	1.78	-3.46
ERBJB2VIN	48146	79	1.11	1.09	-2.52
ERBJC270	132	2	3.84	0.25	-8.21
ERBJC290	719	17	3.40	-0.21	-1.62
ERBJC2VIN	17129	21	2.24	0.25	-1.72
ERD350	111	6	-2.58	-5.57	-3.52
ERFIB2JIN	4120	10	4.25	1.10	-6.07
ERFIB330	59	2	-0.91	-7.61	0.00
ERFIB350	340	7	-1.61	-3.26	-7.85
ERFTA1VIN	15494	64	2.44	1.12	-0.51
ERFTA250	1933	28	3.00	-3.45	-0.61
ERFTA270	1902	77	1.08	-0.95	-2.05
ERFTA290	233	37	0.88	1.61	-0.71
ERFTA2JIN	109853	286	1.97	0.66	-2.84
ERFTA2VIN	72675	167	2.30	1.13	-0.97
ERFTA330	3350	9	0.07	-0.33	-7.11
ERFTA350	5010	44	1.59	-0.09	-6.40
ERFTA3JIN	8742	19	3.64	-0.02	-3.87
ERFTB190	51	28	-3.48	-0.25	-1.63
ERFTB1VIN	47249	210	2.90	0.92	0.14
ERFTB250	474	30	-0.17	-2.84	-4.00
ERFTB270	766	90	1.61	0.53	-4.23
ERFTB290	633	38	0.07	1.35	-0.37
ERFTB29030	24	3	-1.22	-6.35	0.00
ERFTB2JIN	45845	109	2.95	0.05	-2.07
ERFTB2VIN	53851	160	2.30	0.00	-0.19
ERFTB350	1216	33	-0.90	-2.41	-4.13
ERFTB370	55	2	0.11	0.61	-9.09
ERFTB3JIN	5137	9	4.24	-0.56	-5.57
ERFTB43070	530	3	0.00	0.73	-1.19
ERFTC1VIN	8624	33	1.65	2.78	-4.03
ERFTC290	654	2	7.88	0.68	-8.55
ERFTC2VIN	12848	46	2.91	2.03	-1.98
ERFTD1VIN	1102	3	1.90	-0.39	-1.79
ERFTD27030	545	6	0.00	2.99	-5.79
ERFTD2JIN	5031	27	1.59	-3.23	-3.68
ERFTD2VIN	3671	36	3.01	0.71	-2.64
ERPEA2JIN	6073	17	6.62	2.95	-7.03
ERPEA330	879	7	-4.51	-1.84	-2.81
ERPEA350	1216	3	0.02	-2.82	-8.23
ERPEA410	588	2	0.07	0.61	-8.07

ERPEB250	3245	19	1.96	-0.14	-5.81
ERPEB2JIN	7425	16	4.54	-0.13	-2.44
ERPEB430	177	13	2.99	-0.33	-6.44
ERPEC2JIN	1840	3	0.36	-2.94	-8.02
ERRC190	38	4	5.27	2.56	-6.12
ERRC2VIN	2540	5	3.18	3.53	-6.64
ERRC3JIN	527	2	-0.76	1.31	-4.34
ERRD2VIN	268	4	0.00	0.61	-6.95
FIA230	108	2	-1.71	-7.88	0.00
FIA250	3836	5	1.87	-0.99	-8.27
FIB250	4409	7	-1.72	-5.60	-7.19
FIB330	1132	7	-0.58	-5.67	-8.30
FIC250	1614	2	2.52	0.60	-8.89
FIC330	569	3	-2.33	-6.55	0.00
FIRB250	4202	4	5.87	0.14	-8.21
FIRB330	1559	2	0.65	-8.25	0.00
FIRB350	4210	3	-0.88	-2.59	-3.98
FISB250	2330	2	3.28	0.50	-7.70
FISB330	392	3	-1.60	1.08	-7.25
FISC250	889	4	2.80	0.63	-7.79
FTA250	1057	6	0.24	-5.81	8.92
FTA270	5890	25	2.90	0.18	-1.24
FTA2JIN	11814	17	-3.32	3.09	-0.44
FTA350	3384	12	-4.10	-3.30	0.96
FTA3JIN	2350	3	1.95	2.55	-8.85
FTA410	774	2	-2.50	6.37	-3.33
FTB250	299	12	0.87	-4.19	-1.47
FTB270	3117	9	1.19	-5.16	4.54
FTB2JIN	4337	12	-0.81	-2.82	-1.34
FTB2VIN	3724	8	2.97	-3.18	-0.12
FTPBB270	2793	7	-4.04	-1.05	-5.59
FTPBB29090	1267	2	0.00	1.39	-0.49
FTRA2VIN	3163	10	7.35	-2.95	2.05
FTRB1VIN	2715	14	3.23	3.48	-4.16
FTRB2VIN	19453	27	4.35	-1.26	-1.12
FTRC270	1422	3	7.59	-2.25	-8.01
FTRC2JIN	3041	12	-0.66	1.70	-5.42
FTRC2VIN	3850	11	6.86	4.55	-2.71
FTRC370	324	3	1.78	0.79	3.35
FTRC430	65	2	1.71	-1.34	-7.19
FTRD2VIN	706	13	0.00	0.64	-4.97
FTRD3JIN	368	2	-0.53	0.07	-8.32
PEA170	4261	6	1.61	-2.02	-7.26
PEA250	17509	14	3.39	-2.41	-5.16
PEA270B	3243	2	0.00	-9.19	0.00
PEB250	15204	9	-1.96	1.10	-4.76
PEB270	5433	3	1.25	3.27	-9.15
PEC250	6437	3	1.58	-7.92	8.24
PEPBB170	4897	2	0.00	-9.30	0.00
PESA250	1347	3	7.27	-3.31	-2.61

PESB330	798	4	2.10	-8.01	0.00
RERB3JIN	376	2	0.00	-8.15	7.40
RERC350	36	2	-7.48	-1.75	3.85
RFTB2VIN	9205	19	3.16	2.45	-2.16

¹ Augmentation du hêtre lorsque > 0. Augmentation de l'érable lorsque < 0

² Seules les strates présentant au moins un taux de changement significatif sont présentées

³ Nombre de parcelles utilisées pour l'analyse

⁴ Les chiffres en gras sont significativement différents de 0

Combinaison dépôt-drainage

Il n'a pas été possible de distinguer les dépôts ou les drainages qui favorisent une augmentation du hêtre. En effet, pour la transition des recrues aux petites tiges, peu importe la combinaison dépôt/drainage, celle-ci exprime une forte tendance à l'augmentation de la proportion en hêtre (Tableau 5). Pour ce qui est de la transition des petites aux moyennes tiges, on observe aussi plusieurs combinaisons dépôt/drainage pour lesquelles le hêtre est en augmentation (1A2, 1A3, 1A4, 1AR1, 1AR2, 1AR3, 2AK-2, 2A-1, 2BE1, 2BE2, 2BE3, R1, R2, 7-5) sans pour autant pouvoir identifier des conditions de sites spécifiques favorisant de tels taux de changement de composition (Tableau 5).

Tableau 5. Taux de changement en composition entre les classes de tailles selon les combinaisons dépôt/drainage

Dépôt / Drainage	n ²	Taux de changement ¹		
		R↔P ³	P↔M	M↔G
1A-2	9	2.06	1.63	-3.33
1A-3	68	1.90	2.08	-3.31
1A-4	16	0.77	2.35	-3.46
1AR-1	7	3.08	0.76	-2.91
1AR-2	307	1.94	0.50	-1.66
1AR-3	524	1.95	0.76	-1.54
2A-1	3	3.11	2.52	-8.67
2AK-2	2	NA	5.67	-1.06
2BE-1	4	5.61	1.61	-8.07
2BE-2	17	2.47	1.81	-2.14
2BE-3	22	3.15	0.16	-4.39
3-3	36	NA	-0.22	-0.67
5A-4	3	3.51	-3.22	-7.86
5S-2	4	0.15	-3.47	-1.47
5S-3	6	1.42	0.07	-1.54
7-5	5	-6.13	2.89	-4.48

R-1	135	1.86	1.14	-3.06
R-2	503	2.31	0.20	-1.88
R-3	17	5.64	-1.80	-0.42

¹ Augmentation du hêtre lorsque > 0. Augmentation de l'érable lorsque < 0.

² Nombre de parcelles utilisées pour l'analyse.

³ Les chiffres en gras sont significativement différents de 0.

Densité

Le même patron s'observe aussi lorsqu'on analyse les taux de changements par classe de densité des peuplements. Peu importe la densité, on observe une augmentation de la composition en hêtre au détriment de l'érable pour la transition des recrues aux petites tiges alors l'inverse s'observe pour la transition des moyennes aux grosses tiges (Tableau 6).

Pour deux des trois transitions, la densité pour laquelle on observe un plus haut taux de changement de composition en faveur du hêtre est la densité « A » alors que la densité « D » est le plus faible. Il semble donc qu'il y ait un effet graduelle de la densité sur les changements de composition entre les classes de tailles. Cependant, l'analyse de variance ne détecte aucune différence significative entre les 4 classes de densité pour cette transition (R↔P : $F=0.96$, $P=0.41$, $n=2361$), ni pour les deux suivantes (P↔M : ANOVA, $F=0.97$, $P=0.40$, $n=3685$). (M↔G : ANOVA, $F=1.15$, $P=0.33$, $n=3685$)

Tableau 6. Taux de changement en composition entre les classes de tailles selon la densité du peuplement

Densité	n ²	Taux de changement ¹		
		R↔P ³	P↔M	M↔G
A	1352	1.69	0.19	-1.88
B	1659	1.33	0.14	-1.86
C	467	1.52	0.49	-2.41
D	182	1.15	-0.31	-2.79

¹ Augmentation du hêtre lorsque > 0. Augmentation de l'érable lorsque < 0.

² Nombre de parcelles utilisées pour l'analyse.

³ Les chiffres en gras sont significativement différents de 0.

Discussion

Cette étude quantifie pour la première fois l'importance des conditions qui pourrait prédisposer à un envahissement par le hêtre des peuplements de feuillus tolérants. Dans une grande majorité de situation, le hêtre, bien que dominé par l'érable à sucre dans toutes les classes de tailles, augmente considérablement en importance dans les classes de tailles inférieurs. La superficie impliquant des strates forestières pour lesquelles on pourrait

observer une augmentation significative de hêtre dans la transition des recrues aux petites tiges concerne 64% de la forêt de feuillus tolérants, soit 604 800 ha. Cette dynamique pourrait être partiellement compensée par une tendance inverse sur les 36% restant mais ce n'est cependant pas le cas; seulement 2.5% des superficies montre des transitions qui favoriseraient l'érable à sucre au dépend du hêtre. Il y a donc un bilan très fortement en faveur du hêtre (61.5%) en ce qui concerne la composition potentielle des futurs peuplements de l'Outaouais. Un portrait similaire se dessine pour la transition des petites aux moyennes et montre aussi un bilan positif en faveur du hêtre de 31.7% (300 000 ha).

Presque la totalité des taux de transitions des moyennes aux grosses tiges indiquent cependant l'inverse. À cours terme, on peut donc voir les hêtres de plus de 40 cm devenir prochainement moins abondants puisque la classe des moyennes tiges est généralement dominée par l'érable à sucre.

L'analyse décomposée par strates (appellations cartographiques), par combinaison dépôt-drainage et par classe de densité voulait identifier les catégories pour lesquelles l'envahissement du hêtre est le plus important. Cependant, aucune tendance en terme de composition ou d'âge a pu être clairement dégagée. Même chose en ce qui concerne la combinaison dépôt-drainage; on ne peut pas distinguer les dépôts où les drainages qui favorisent une augmentation du hêtre. Ce résultat surprend puisque la revue de la littérature (Gravel et al. 2003) semble nous indiquer que les sols plus secs et ceux plus minces aurait tendance à favoriser la régénération du hêtre.

Cependant, le taux de changement de composition en faveur du hêtre augmente avec la densité. Ainsi, pour la transition des recrues aux petites, le taux de changement passe de 3 :1 pour la densité « D » à 5.5 :1 pour la densité « A ». On a donc un gradient de densité qui a un effet sur les changements de composition entre les classes de tailles. Ce résultat ne surprend pas réellement puisqu'il est clairement reconnu que le hêtre se trouve en position d'avantage compétitif par rapport à l'érable à sucre lorsque la ressource lumineuse est limitée.

Est-ce que ces processus sont en équilibre avec ceux qui favorisent l'érable à sucre dans le paysage ou allons-nous vers une « hêtrisation » globale de la forêt outaouaise ? Difficile de le dire avec certitude puisque l'approche analytique utilisée ici pose comme prémisse que les proportions observées dans une classe de taille inférieure seront celles prochaines dans les classes supérieures.

Une analyse de l'évolution de la végétation forestière depuis l'ère pré-industrielle jusqu'à maintenant de deux paysages forestiers de la vallée de la rivière du Lièvre à l'aide de photographies aériennes avait déjà montré une tendance marquée à l'augmentation des feuillus tolérants dans le paysage (Nolet *et al.* 2001) associée à une réduction des perturbations intenses. En effet, il est possible qu'une réduction généralisée de perturbations intenses ait favorisé une implantation plus agressive du hêtre qui est une essence plus tolérante à l'ombre que l'érable à sucre. Cependant, les mécanismes qui favoriseraient un tel phénomène sont complexes et plusieurs hypothèses ont été formulés jusqu'à présent pour expliquer la dynamique entre l'érable à sucre et le hêtre dans le peuplement (Bouliane 1969, Horn 1970, Forcier 1975, Woods 1979, Poulson et Platt 1996, voir Gravel *et al.* 2003 pour revue plus détaillée).

Certains prétendent que le jardinage contribuerait à redonner l'avantage compétitif à l'érable à sucre, grâce à l'ouverture du couvert supérieure. Cependant, le problème s'avère beaucoup plus complexe puisqu'il fait appel à des phénomènes de micro-succession ayant cours dans la strate inférieure du peuplement. En effet, le duel entre l'érable à sucre et le hêtre se joue très tôt dans les stades de développement, soit lors de l'établissement des semis et au développement des gaules. Le hêtre peut régénérer végétativement par drageonnement de façon agressive par endroit. Contrairement à l'érable à sucre qui établit une banque de semis, le hêtre établit une banque de gaules, le positionnant avantageusement pour profiter en premier de la lumière advenant une ouverture de la canopée provoquée par le jardinage. Si cette banque de gaule est assez importante, le jardinage pourrait stimuler la production de gaules et la croissance latérale de celles-ci, empêchant par le même fait les semis d'érable de percer (Jones *et al.* 1989).

Au début des années 1980, des sylviculteurs américains proposaient des systèmes sylvicoles adaptés aux érablières «envahies» par le hêtre à grandes feuilles (Kelty et Nyland, 1981; Ostrowsky et McCormack, 1986). À la lumière de la revue de la littérature de Gravel *et al.* 2003 (voir Tableau 7), il semble clair que le hêtre peut être avantagé par certaines conditions environnementales compte tenu de 1) son meilleur budget de carbone à de faibles niveaux de lumière, 2) de sa capacité à drageonner et 3) de sa stratégie de banque de gaules qui fait office de parasol en sous-étage et contrôle ainsi la micro-succession. D'après les analyses de transitions, ces conditions qui avantageraient le hêtre semblent assez prédominantes dans l'Outaouais, vu le pourcentage des strates de feuillus tolérants qui montrent une augmentation de la proportion de hêtre dans les transitions impliquant les

petites classes de tailles. Les processus de fin de succession sont donc en cours à maints endroits.

Recommandations

Il apparaît clair que le phénomène d'augmentation de l'abondance du hêtre n'est pas qu'anecdotique. Compte tenu de la différence de la valeur des bois et de la montée vers le nord de la maladie corticale du hêtre, une augmentation de l'abondance du hêtre peut s'avérer désavantageuse économiquement. Compte tenu de ces conditions, une stratégie de contrôle de l'envahissement du hêtre est de mise.

Nous recommandons donc de cibler certaines conditions qui mériteraient un contrôle de la régénération du hêtre. Nous proposons de retenir les strates dont au moins 25% des parcelles comportent les conditions suivantes :

- ? Le changement de ratio de composition entre les recrues (gaules) et les petites tiges ou des petites tiges aux moyennes tiges démontrent un taux supérieur ou égal à 3 : 1 en faveur du hêtre comparativement aux autres essences désirées.
- ? Dans le cas où une de ces deux transitions répondrait à cette condition, le hêtre doit composer plus de 50% de la surface terrière de la classe de taille inférieure de la transition ;

Dans ces strates, nous recommandons :

- ? De faire un dégagement sous couvert avant traitement en réduisant le nombre de gaules de hêtre à 175 gaules/ha (l'équivalent de 100 tiges retrouvées à 24 cm par la courbe de Liocourt avec un facteur $Q=1.13$). Cela correspondrait à un coefficient de distribution de 40%. Le dégagement devrait se faire uniquement aux endroits qui seront sujets à une ouverture du couvert (bouquets ou trouées) selon le traitement. Il faut éliminer les gaules qui compétitionnent directement la régénération désirée. Horsley et Bjorkbom (1983), Ostrowsky et McCormak (1986) et Kelty et Nyland (1981) recommande l'utilisation de phytocides, préférablement à la fin de l'été ou au début de l'automne (Horsley et Bjorkbom 1983). Le dégagement par voie mécanique devrait se faire juste après la feuillaison, soit en début juin, lorsque les réserves racinaires sont à leur plus bas;
- ? La formation de drageons serait associée aux blessures occasionnées aux racines par les activités de récolte plutôt qu'à la coupe de la tige parente elle-même, il serait

donc favorable de faire les opérations de récolte en hiver dans ces strates. Rappelons que le printemps et la fin de l'automne favorisent la production de drageons (Jones et Raynal 1988);

- ? Si les opérations sont faites en saison plus susceptible (été ou automne), il faut limiter les risques de blessures racinaires dans un rayon de 7-8 m autour des hêtres (Jones et Raynal 1986). Le positionnement des sentiers de débusquage à l'écart des tiges et des souches résiduelles après traitement est primordial. Il faut éviter l'utilisation des tiges résiduelles de hêtre comme arbre pivot.
- ? Dans les cas où le hêtre domine fortement les petites et les moyennes classes de diamètre (ratio heg :autres spp. supérieur à 3 :1) et qu'il n'y ait pas suffisamment de P1M1 en essences désirées (<150 tiges/ha) alors que la grosse classe de diamètre était composée d'essences désirées, il serait préférable d'effectuer une coupe progressive d'ensemencement par pied d'arbre (si la production est ERS) ou par bouquet (si la production prioritaire est ERFPT). Dans ce cas, il faut commencer la CPE comme avec une éclaircie par le bas en enlevant préféablement les petites et moyennes tiges de hêtre pour par la suite ouvrir le couvert en enlevant les grosses tiges de hêtre, prioritairement celles malades. Il est déconseillé de procéder à un scarifiage.
- ? Dans le cas du jardinage, Jones et al. (1989) propose un prélèvement plus sévère (40%) où le hêtre est martelé en proportion supérieure, surtout dans les petites et moyennes classes de tailles;
- ? Puisque le hêtre se trouve avantagé par le semi-lumière qui existe autour des trouées, faire un jardinage par pied d'arbre maximise ces conditions à cause d'un fort ratio périmètre/surface de l'ouverture (effet beigne). Il serait donc préférable de faire un jardinage par bouquets de 2-4 arbres pour redonner l'avantage compétitif aux essences moins tolérantes à l'ombre;
- ? Il serait intéressant de tester l'utilisation d'agents fongiques pour le contrôle de la régénération végétative tel ceux développer par Myco-Forestis Corporation. Il s'agit d'une solution topique à badigeonner sur les souches après coupe.

Tableau 7. Synthèse des connaissances écologiques

	Connaissances bien documentées	Connaissances absentes, incomplètes ou à valider
Envahissement des érablières par le hêtre	- nul -	✍ Qualifier, quantifier et localiser les peuplements en succession de l'érable vers le hêtre ✍ Expliquer la succession de l'érable vers le hêtre - o Hypothèse possible : déplacement du hêtre de sa niche écologique à la suite d'une perturbation ou d'un changement du régime de perturbations. Ex : - récolte répétée, acidification des sols, dépérissement de l'érable à sucre
Dynamique érable-hêtre	✍ Tolérance à l'ombre : - o Mortalité plus élevée de ERS à un faible niveau de lumière - o Croissance verticale plus rapide de ERS par rapport à HEG dans les trouées - o Croissance verticale plus rapide de HEG par rapport à ERS en sous-couvert - o Atténuation de la lumière plus importante sous la canopée de HEG que de ERS ✍ La distance de dissémination est très restreinte chez HEG et moyenne pour ERS (opportunisme plus élevée de ERS) ✍ ERS et HEG coexistent sur les mêmes stations, mais la proportion des deux espèces est très variable entre les sites	✍ Déterminer la composition originale des érablières québécoises avant le début des perturbations par la récolte, selon le type de station ✍ Coexistence de ERS et HEG - o La proportion des espèces s'explique par la fréquence et la dimension des trouées - o La présence de ERS et de HEG s'explique par la disponibilité du calcium dans le sol
Reproduction végétative	✍ Croissance et survie supérieure des drageons par rapport aux semis sous des conditions très réduites de lumière ✍ Les drageons sont formés à partir d'une blessure au cambium de la racine; la production des drageons n'est pas associée à une perte de la dominance apicale comme chez les peupliers ✍ La dissémination des drageons est centrée à la tige parente dans un rayon de 8 m (semblable pour les semis) ✍ Les drageons ont le potentiel de se développer jusqu'à la canopée ✍ Le manque de vigueur des tiges parentes associé à la maladie corticale n'a pas d'incidence sur la production ou la vigueur des drageons	✍ Durée de la différenciation de la croissance entre les drageons et les semis ✍ Déterminer le ratio drageons/semis pour diverses conditions écologiques : - o Dépôt - o Drainage - o Pierrosité - o Fertilité - o Distribution géographique
Sylviculture du hêtre à grandes feuilles	✍ La présence de HEG dans les différentes strates verticales influencera la disponibilité de la lumière après la coupe; malgré une croissance verticale inférieure à ERS et BOJ, le HEG peut dominer les grandes trouées s'il est présent en sous-étage avant la coupe ✍ Le système de coupe progressive avec un traitement d'élimination du hêtre avant la coupe d'ensemencement est une technique efficace pour régénérer les feuillus désirables en présence d'un dense sous-étage de HEG	✍ Suivi de la succession dans les trouées à la suite d'un jardinage ✍ Impact de la saison d'intervention sur le drageonnement ✍ Compétitivité des nouveaux drageons formés après la coupe par rapport aux tiges pré-établies des autres espèces ✍ Efficacité de la CPE et de la CJ avec un traitement de débroussaillage mécanique avant la coupe pour diminuer la présence de HEG et favoriser les feuillus désirables

Littérature citée

Bouliane 1969
Forcier 1975
Gravel et al. 2003
Hintze, J. 2001. NCSS and Pass. Number Cruncher Statistical Systems, Kaysville, Utah.
Horn 1970
Horsley et Bjorkbom 1983
Horsley, 1994
Jones et al. 1989
Jones et Raynal 1986
Jones et Raynal 1988
Kelty et Nyland, 1981
Nolet et al. 2001
Ostrowsky et McCormack, 1986
Poulson et Platt 1996
Ray et al., 1999
Scherrer 1980
Woods 1979