



**Institut Québécois d'Aménagement
de la Forêt Feuillue**

*Effets du jardinage avec trouées et du scarifiage sur la
régénération des essences commerciales dans des
peuplements de feuillus tolérants avec pin blanc*

Rapport rédigé par

**Philippe Nolet, M. Sc.
Frédéric Doyon, ing.f., M. Sc.
Marilou Baudet, M. Sc.**

Présenté à

INDUSTRIES DAVIDSON INC.

CORPORATION DE GESTION DE LA FORÊT DE L'AIGLE

et

FORÊT QUÉBEC - U.G. 71

Avril 2000

Collaborateurs

L'IQAFF tient à souligner l'apport important des personnes suivantes au projet :

Daniel Pin, Industries Davidson inc.

Michel Huot, Forêt Québec, Direction de la recherche

Alison Munson, Université Laval

Patricia Raymond, Université Laval

Résumé

Les méthodes de récolte qu'on utilise dans les strates de feuillus tolérants avec pin blanc (FtPb) en Outaouais présentement ne permettent pas de favoriser la régénération du pin blanc, d'où l'importance d'adapter les systèmes d'aménagement actuels. À l'été 1998, l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue installait un dispositif expérimental permettant de suivre les effets de la coupe de jardinage avec trouées et du scarifiage effectué dans 10 trouées de 20 m de diamètre. Le présent rapport a pour objectif de comparer les effets **à court terme** de la coupe de jardinage avec trouées à ceux de la coupe de jardinage par pied d'arbre sur la régénération du pin blanc, en particulier, et aussi celle des autres essences peu tolérantes, lorsque accompagnée ou non de scarifiage. Afin de suivre l'établissement du pin blanc et des autres essences, 40 micro-placettes circulaires de 1 m² ont été placées au hasard à l'intérieur d'un rayon de 20 m du centre de chacune des trouées (10) et placettes (20), pour un grand total de 1400 micro-placettes sur une superficie de 27 ha. Pour vérifier l'effet du scarifiage sur le succès de régénération, 20 des 40 placettes ont été placées sur sol minéral mis à nu. Le lit de germination a un effet significatif sur le coefficient de distribution de toutes les essences, sauf le hêtre. Pour la majorité des essences (bouleau jaune, bouleau à papier, épinette blanche, peuplier à grandes dents, peuplier faux-tremble, sapin baumier, thuya occidental, pin blanc) la mise à nu du sol minéral favorise la probabilité de régénération (en fait, augmente le coefficient de distribution de la régénération). Pour trois espèces (chêne rouge, érable rouge, érable à sucre), toutefois, une telle mise à nu du sol minéral semble défavorable à leur régénération. Trois essences sont favorisées par les conditions de trouées lorsque comparée au jardinage 20%; soit le bouleau à papier et le pin blanc, alors que cinq essences sont défavorisées (épinette blanche, érable rouge, érable à sucre, hêtre à grandes feuilles, sapin baumier). Les résultats sont mis en relation avec la littérature existante et les implications pour l'aménagement relatifs à certains résultats sont discutés.

Table des matières

Collaborateurs	i
Résumé.....	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux et figures	iv
1 Introduction	1
2 Territoire à l'étude	4
Méthodologie.....	5
2.1 Description du dispositif expérimental	5
2.2 Analyses statistiques.....	8
3 Résultats et discussion.....	13
3.1 Effets du lit de germination et de l'intensité de coupe	13
3.2 Relation quantité de semences - semis.....	23
4 Conclusion.....	25
5 Références.....	28

Liste des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 : Volume (m^3/ha) dans les deux secteurs du territoire d'étude.....	12
Tableau 2 : Récapitulation des résultats concernant la probabilité de régénération des essences en fonction du type de coupes et du lit de germination	26

Figures

Figure 1 : Localisation du territoire d'étude; Les numéros correspondent aux unités de paysages régionaux définies par Robitaille et Saucier (1998)	7
Figure 2 : Localisation des placettes échantillons et des trouées.....	10
Figure 3 : Représentation schématique des divers types de micro-placettes mises en place au pourtour des centres des placettes et des trouées	11
Figure 4: Probabilité de régénération de diverses essences sur une superficie de $1 m^2$ en fonction de la perturbation au sol et du type de coupes un an après traitement.....	16
Figure 5 : Relation entre le nombre de semences de pin blanc disponibles et la probabilité de retrouver un semis dans un microsite de $1 m^2$ en fonction du type de perturbations au sol.	24

1 Introduction

Malgré l'importance du pin blanc (*Pinus strobus*) dans les strates de feuillus tolérants (FtPb) en Outaouais, les méthodes de récolte qu'on utilise présentement ne permettent pas de favoriser sa régénération, d'où l'importance d'adapter les systèmes d'aménagement actuels. Le pin blanc est l'essence résineuse ayant la plus grande valeur commerciale sur le marché. En raison de cette valeur, on parle souvent du pin blanc comme d'une essence noble. Or, comme bien des essences nobles, le pin blanc demande des soins particuliers sans quoi les chances de succès de son retour demeurent très minces. La régénération du pin blanc est problématique d'une part lors de son établissement puis, d'autre part, lors de son développement. Pour s'établir le pin blanc nécessite un sol minéral mis à nu (Coates et Burton 1997) - autrefois créé par les feux - , une proximité de semenciers car ses graines ne voyagent guère au delà d'une distance égale à une hauteur d'arbre (Horton et Bedell 1960). Il a aussi besoin d'une intensité lumineuse moyenne pour son établissement et son développement. Un manque de lumière provoquera une importante diminution de sa croissance, voire sa mort en raison de la compétition (Elliott et Vose 1995). Une lumière trop intense favorisera par contre ses principaux agents nuisibles, c'est-à-dire le charançon du pin blanc et la rouille vésiculeuse¹. Le charançon aura comme effet de diminuer la croissance et la qualité des tiges (Garrett 1985) alors que la rouille provoquera la mort de la majorité des individus atteints (Laflamme 1998).

Dans les peuplements FtPb, le principal traitement utilisé jusqu'à tout récemment était la coupe de jardinage par pied d'arbre avec récolte de 30% de la surface terrière. Il est, d'une part, difficile opérationnellement de créer des lits de germination adéquats (mise à nu du sol minéral) lors d'une coupe de jardinage. D'autre part, les conditions créées par cette intensité de coupe, particulièrement les conditions lumineuses, ne sont pas favorables à l'établissement et au développement des semis de pin blanc. Il n'est, par ailleurs, pas rare de retrouver dans les peuplements FtPb d'autres essences dites peu tolérantes telles que le bouleau à papier (*Betula*

papyrifera), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*), le chêne rouge (*Quercus rubra*) et l'épinette blanche (*Picea glauca*). Ces essences ont en commun avec le pin blanc d'être avantagées par la mise à nu du sol minéral et par une ouverture intermédiaire du couvert. Ainsi, à l'instar du pin blanc, elles sont désavantagées par la coupe de jardinage par pied d'arbre. C'est expressément pour répondre à cette problématique que de nouveaux traitements ont été introduits dans le manuel d'aménagement forestier, dont la coupe de jardinage avec trouées (Gouvernement du Québec 1997). Ce traitement prévoit que les trouées – de 500 à 1500 m² – occupent 10% du secteur de coupe et qu'entre les trouées, un prélèvement de 20% de la surface terrière soit effectué en ayant recours à la coupe de jardinage par pied d'arbre. L'hypothèse est donc que les trouées, suivies d'un scarifiage, permettent d'obtenir des conditions qui rencontrent plusieurs exigences inhérentes à l'obtention d'une bonne régénération en pin blanc et autres essences peu tolérantes, alors que le jardinage par pied d'arbre entre les trouées permet de conserver la structure inéquienne et la composition en feuillus tolérants entre les trouées.

À l'été 1998, l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, de concert avec la Corporation de Gestion de la Forêt de l'Aigle, l'Université Laval et la Direction de la recherche forestière, installait un dispositif expérimental permettant de suivre les effets de la coupe de jardinage avec trouées et du scarifiage effectué dans ces trouées. Le présent rapport a pour objectif de comparer les effets **à court terme** de la coupe de jardinage avec trouées à ceux de la coupe de jardinage par pied d'arbre sur la régénération du pin blanc, en particulier, et aussi celle des autres essences peu tolérantes, lorsque accompagnée ou non de scarifiage. Notre dispositif expérimental a déjà permis d'établir que suite à une bonne année semencière, il y a une très forte relation entre la quantité de semences de pin blanc à un microsite donné et le nombre de semenciers situés à proximité (Nolet *et al* 1999). À ce stade-ci, nous sommes à même de

¹ Une augmentation de la quantité de lumière défavorise l'élagage naturel du pin blanc ce qui augmente la probabilité des aiguilles d'entrer en contact avec la rouille vésiculeuse (Lehrer 1998).

vérifier si cette quantité de semences retrouvées influence directement la probabilité de régénération (présence ou absence de semis de pin blanc) d'un microsite.

Le présent rapport suit une structure conventionnelle d'étude scientifique. Les deux prochaines sections décrivent respectivement la région à l'étude et la méthodologie suivie. Une lecture de la description des analyses statistiques est conseillée afin de bien comprendre la portée des résultats. Les résultats de régénération sont présentés essence par essence en mettant un accent particulier sur le pin blanc. La discussion est intégrée à la présentation des résultats, afin de faire le lien plus facilement avec les résultats d'autres études. Quelques considérations relatives à l'aménagement du pin blanc et des essences peu tolérantes sont finalement présentées.

2 Territoire à l'étude

Le territoire d'étude (figure 1) fait partie de la Forêt de l'Aigle. La forêt de l'Aigle détient une tenure particulière, celle de projet pilote de forêt habitée. Cette forêt est gérée par un ensemble de partenaires du milieu, dont fait partie l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. Par sa tenure, son accessibilité et sa composition forestière, la forêt de l'Aigle constitue un site idéal pour les études à long terme sur le pin blanc. Elle est située dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune, mais on remarque la persistance de l'érablière à tilleul sur les sites mésiques. La principale unité de paysage couvrant le territoire est l'unité du Lac Dumont (unité 20, Robitaille et Saucier 1998). Cette unité de paysage est caractérisée par des affleurements rocheux fréquents, mais aussi par des tills d'épaisseurs variables et des dépôts fluvio-glaciaires. Les peuplements de feuillus tolérants avec pin blanc (FtPb) se retrouvent habituellement sur ces deux types de dépôts dont la richesse est de moyenne à élevée et dont le drainage est bon à modéré. L'altitude moyenne de cette unité est 264 m et la longueur de la saison de croissance est de 170 à 180 jours. En plus du pin blanc, on retrouve généralement dans ces peuplements : l'érable à sucre (*Acer saccharum*), le hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia*), le tilleul d'Amérique (*Tilia americana*), le frêne d'Amérique (*Fraxinus americana*), le chêne rouge, le bouleau jaune, le sapin baumier (*Abies balsamea*) et quelques autres essences.

Méthodologie

2.1 Description du dispositif expérimental

Le site d'étude d'une superficie de 27,5 ha a été divisé en deux parties relativement égales, soit 14,1 ha pour le secteur nord et 13,4 ha pour le secteur sud (figure 2). Dans le secteur nord, une coupe de jardinage conventionnelle (martelage 30%) avec scarifiage a été effectuée (témoin) alors qu'on a procédé à une coupe de jardinage 20 % et à la récolte de 10 trouées de 40 m de diamètre dans le secteur sud. Avant intervention, 10 placettes échantillons permanentes de 11,28 m de rayon ont été installées dans chaque secteur (figure 2). Ces placettes n'étaient pas visibles pour les ouvriers sylvicoles afin d'éviter des biais lors des opérations. Les deux secteurs renferment sensiblement les mêmes essences (tableau 1). Le pin blanc est, par contre, plus abondant dans la section nord. On peut noter aussi que le peuplement ne correspond pas à une composition typique d'un peuplement FtPb puisque les essences tolérantes ne présentent pas un volume important du volume actuel. Le site reste tout de même d'un intérêt évident pour l'essai de la coupe de jardinage avec trouées, car le sol (sable loameux à loam sableux mésique) présente les caractères requis pour supporter un peuplement FtPb typique. Par ailleurs, la composition du peuplement n'est pas homogène, tel qu'on peut le constater par les différentes strates que l'on y rencontre (figure 2). Par endroits, le pin blanc est très abondant alors qu'il est totalement absent à d'autres. Cette hétérogénéité pourra occasionner des problèmes sur le plan statistique, mais offre toutefois l'avantage de présenter une série de situations possibles sur le terrain.

Afin de suivre l'établissement à long terme du pin blanc et des autres essences, 40 micro-placettes circulaires de 1 m² ont été placées au hasard à l'intérieur d'un rayon de 20 m du centre de chacune des trouées et placettes (figure 3), pour un grand total de 1400 micro-placettes (400 dans le secteur nord et 800 dans le secteur sud). Pour vérifier l'effet du scarifiage sur le succès de régénération du pin blanc, 20 des 40 placettes ont été placées sur sol minéral mis à

nu. Lorsque possible, les 20 autres micro-placettes ont été placées sur sol non perturbé, mais, dans certaines trouées, ce type de lits de germination était difficile à trouver de telle sorte qu'on a dû placer les micro-placettes à des endroits où la machinerie avait légèrement perturbé ou mélangé l'humus. Nous appelons cette troisième catégorie « humus perturbé ». De plus, pour s'assurer d'avoir des résultats de croissance du pin blanc qui puissent être vérifiés rapidement, la moitié des placettes, tant sur sol scarifié que non scarifié, ont été ensemencées manuellement en 1998 en visant l'obtention d'une densité de 10 000 semis/ha. Il faut noter que dans les aires jardinées (à 20 ou 30%), les essais de scarifiage par les débusqueuses n'ont pas été convaincants de telle sorte qu'on a souvent dû compléter à l'aide d'un scarifiage manuel. En août 1999, tous les semis présents dans les micro-placettes ont été dénombrés par essence et classe de hauteur.

Afin de vérifier l'effet du nombre et de la distance des semenciers de pin blanc sur le potentiel de cette espèce à se régénérer naturellement, tous les semenciers ont été cartographiés à l'intérieur d'un rayon de 50 m du centre de chaque placette et de chaque trouée. Le nombre total de semenciers ainsi localisés s'élève à 896. De plus, pour quantifier la production de semences, 4 trappes à graines de 0,25 m² chacune ont été installées dans les mêmes rayons à la fin août. Les semences ont été récoltées à la mi-novembre de 1998 et 1999 et comptées.

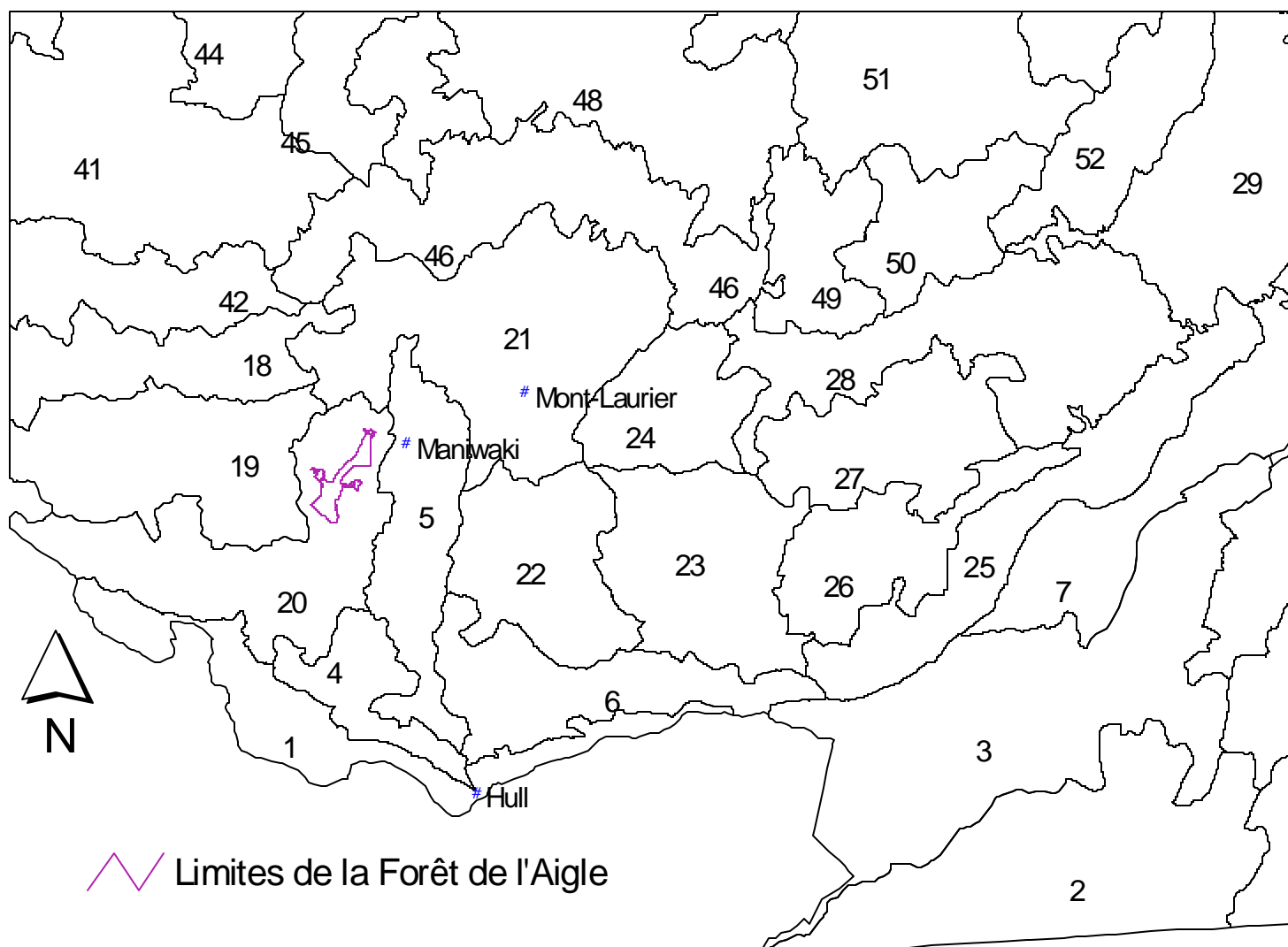


Figure 1 : Localisation du territoire d'étude; Les numéros correspondent aux unités de paysages régionaux définies par Robitaille et Saucier (1998)

2.2 Analyses statistiques

Afin d'évaluer le succès de régénération en fonction du type de lits de germination (sol minéral mis à nu, humus perturbé, sol non perturbé) et du type de coupes (jardinage 20%, jardinage 30% et trouées), nous avons d'abord vérifié si le nombre de semis par micro-placette respectait la normalité exigée pour les analyses statistiques paramétriques. Étant donné que pour la plupart des essences, on ne trouvait aucun semis dans plusieurs micro-placettes, il était impossible d'obtenir une distribution normale de nos échantillons. Nous avons alors décidé de transformer les données d'abondance en données de type présence/absence et de les analyser par régression logistique. L'analyse de régression logistique nous permet de comparer la fréquence de la présence de régénération en fonction du type de lits de germination et du type de coupes. La fréquence est calculée par le nombre de micro-placettes où l'on retrouve au moins un semis d'une espèce donnée sur le nombre total de micro-placettes dans une trouée, ou placette. À titre d'information, la régression logistique fonctionne un peu comme un test du chi-carré, mais elle permet d'évaluer l'effet de variables quantitatives (non nécessaire dans notre cas) en plus de permettre, comme dans une régression linéaire, d'évaluer la variance expliquée par diverses variables. Pour chaque essence, le modèle statistique était le suivant :

$$\text{Régénération (oui/non)} = \text{constante} + \text{lit de germination} + \text{type de coupes}$$

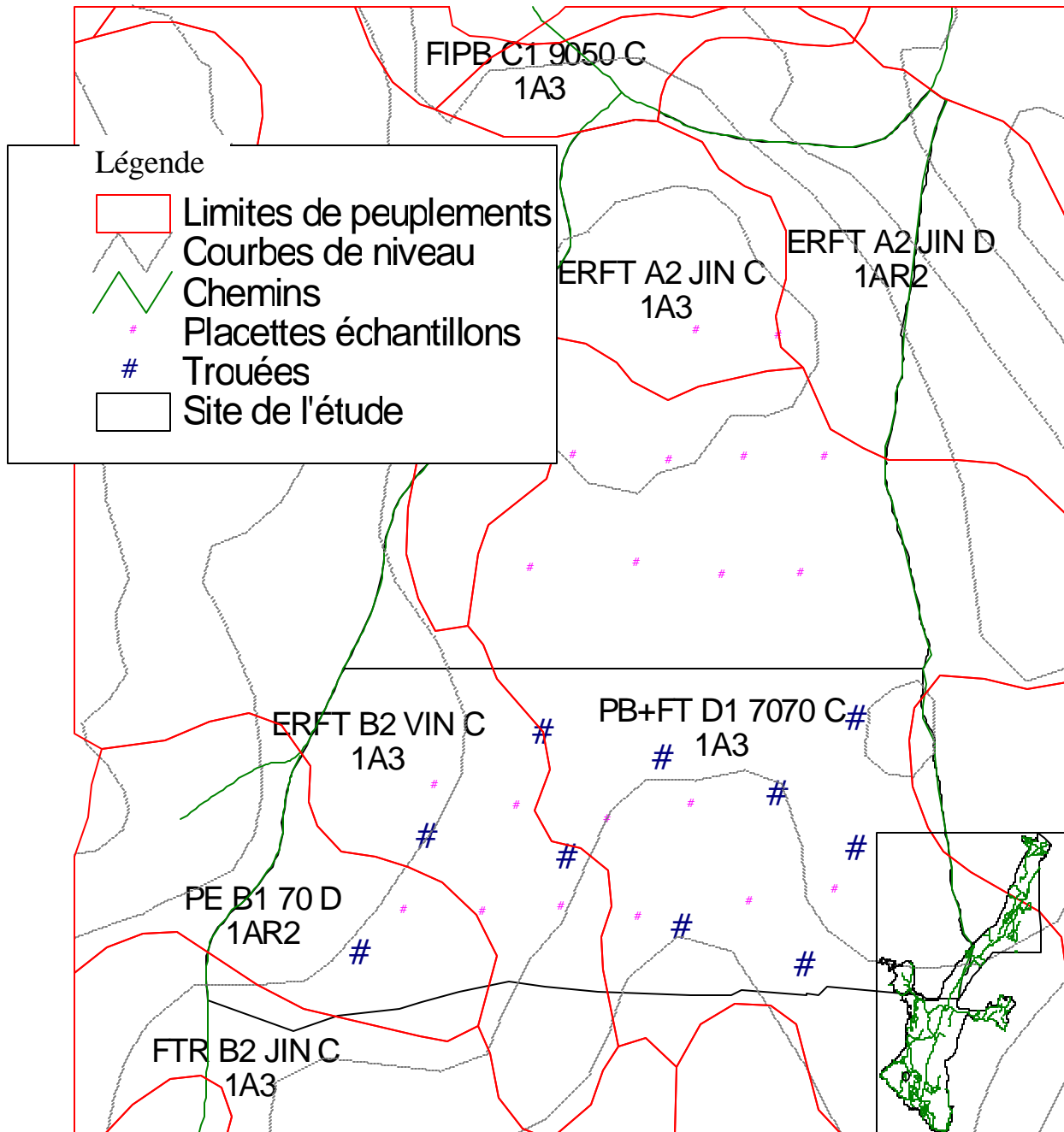
La régression logistique a été effectuée en utilisant la méthode « forward conditionnal » et le contraste de type « indicator » dans le logiciel SPSS (SPSS Inc. 1997).

Pour évaluer comment la quantité de semences de pin blanc de l'année 1998 a influencé la régénération en pin blanc, nous avons mis en relation – pour chaque trouée et chaque placette – la quantité de semences tombées dans les trappes à graines avec la fréquence des micro-placettes où il y avait présence de semis de pin blanc, et ce, selon le type de lits de germination.

Nous avons d'abord regroupé les micro-placettes avec humus non perturbé et les micro-placettes avec humus perturbé – car les analyses précédentes nous ont démontré qu'il n'y avait pas de différences significatives pour le pin blanc entre ces deux catégories – et nous avons procédé à une régression linéaire simple. Pour les micro-placettes sur sol minéral mis à nu, nous n'avons pas pu procéder à une analyse de régression linéaire car, de toute évidence, la relation correspondait davantage à une courbe non-linéaire atteignant une asymptote de 1. Nous avons donc procédé à une analyse de régression non-linéaire avec le modèle statistique suivant :

$$\text{Fréquence de régénération} = 1 - \frac{1}{(a + b * \text{nombre de semences})}$$

Les analyses de régression linéaire et non-linéaire ont été effectuées à l'aide de SPSS (SPSS Inc. 1997).



Échelle: 1: 5 000

Figure 2 : Localisation des placettes échantillons et des trouées

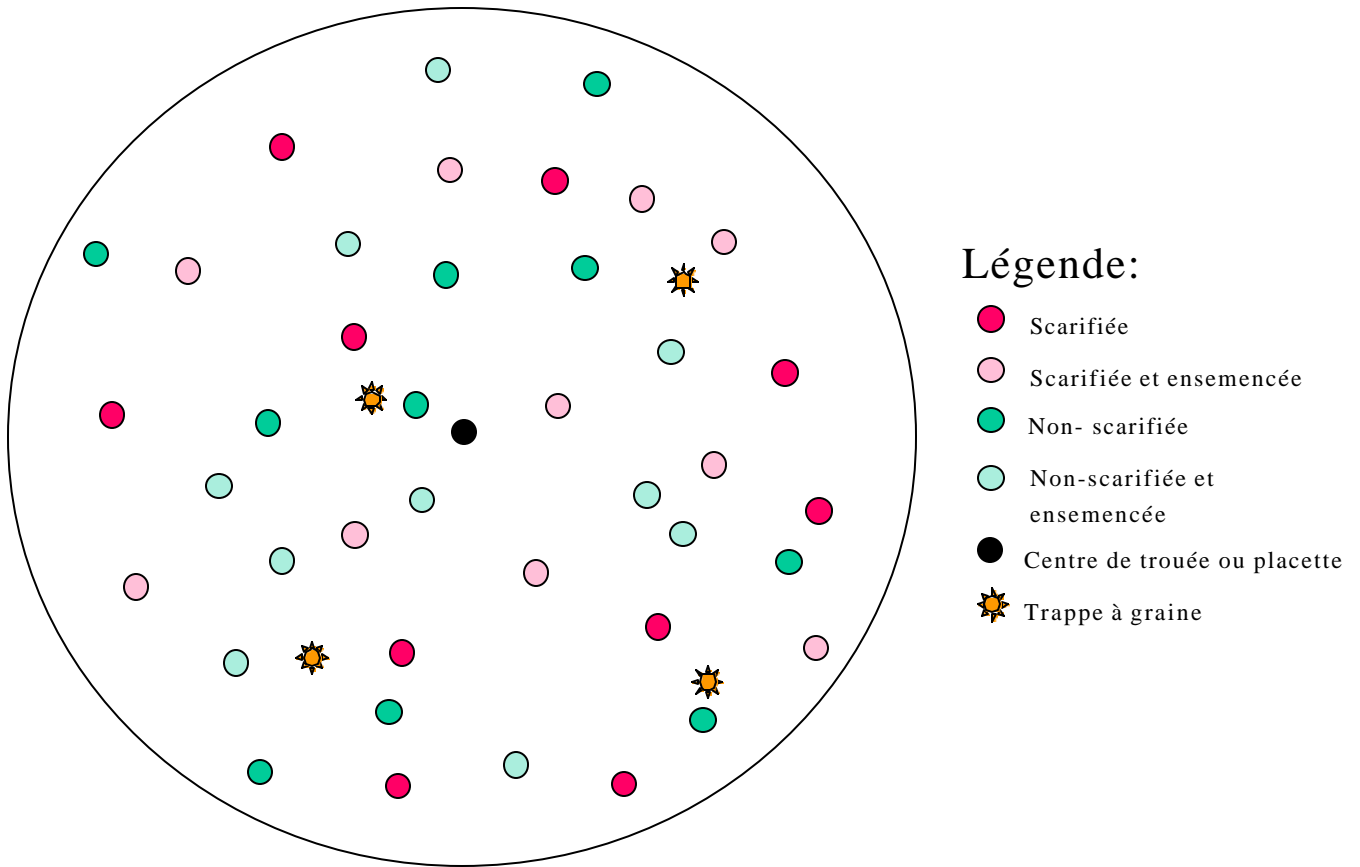


Figure 3 : Représentation schématique des divers types de micro-placettes mises en place au pourtour des centres des placettes et des trousés

Tableau 1 : Volume (m³/ha) dans les deux secteurs du territoire d'étude

Secteur nord							
<u>Qualité</u> Espèce	A	B	C	D	< 24cm	Volume total par espèce(m ³ /ha)	Volume total par espèce (% du vol. tot.)
BOJ					4,3	4,3	2%
BOP		7,4	15,8		4,6	27,7	10%
CHR	3,0	2,4	11,2		1,2	17,8	7%
EPB					13,8	13,8	5%
EPN					0,0	0,0	0%
ERR				3,8	4,7	8,5	3%
ERS			8,7	7,6	19,7	36,0	13%
HEG			2,2	0,9	6,2	9,3	3%
OSV					0,7	0,7	0%
PET		3,2			2,2	5,4	2%
PIB	110,9	19,1	7,2		6,5	143,7	52%
SAB					4,4	4,4	2%
THO					0,3	0,3	0%
TIL					0,8	0,8	0%
Total	113,9	32,1	45,2	12,2	70,5	273,9	100%
Secteur sud							
<u>Qualité</u> Espèce	A	B	C	D	< 24cm	Volume total par espèce(m ³ /ha)	Volume total par espèce (% du vol. tot.)
BOJ	5,8		2,2	11,8	2,4	22,2	9%
BOP	2,5	5,5	13,0		3,7	24,7	10%
CHR	17,6	7,4	4,0			29,1	12%
EPB					5,9	5,9	2%
ERR			3,1	3,7	4,8	11,6	5%
ERS			25,8	7,0	17,8	50,5	21%
HEG			1,6	7,7	0,6	9,8	4%
OSV					1,2	1,2	0%
PEG		6,0				6,0	2%
PET					0,2	0,2	0%
PIB	33,3	11,9	10,7		1,8	57,7	24%
SAB			1,0		12,2	13,3	5%
TIL		2,0	4,5		1,3	7,8	3%
Total	59,3	32,9	65,9	30,1	55,4	243,5	100%

3 Résultats et discussion

3.1 Effets du lit de germination et de l'intensité de coupe

Les figures 4a à 4m présentent les effets du type de perturbations au sol et du type de coupes (20%, 30% et trouées) sur la probabilité de régénérer diverses essences sur une superficie de 1 m², et ce, un an après traitement. Seules les différences statistiquement significatives, telles que révélées par l'analyse de régression logistique, sont considérées (voir section 3.2). Les principales essences retrouvées sur le territoire sont présentées une à une de façon concise et le pin blanc, pour lequel nous disposons d'un dispositif plus poussé, est traité en dernier. Il importe de rappeler ici que la probabilité de régénération d'une essence correspond à la proportion des micro-placettes où l'on retrouvait au moins un semis d'une essence donnée, pour chaque type de lits de germination et chaque type de coupes. Cette variable ne rend pas compte de la densité (n / ha) des semis dans chaque micro-placette, mais étant donné que la superficie étudiée de ces dernières (1m²), nous estimons qu'il existe une forte corrélation entre la probabilité de régénération et la densité.

Pour le bouleau jaune, la mise à nu du sol minéral a un effet positif marqué sur la probabilité de régénération de cette essence (figure 4a). L'effet positif du scarifiage sur la régénération du bouleau jaune a été observé dans plusieurs autres études (Erdmann, 1990; Félix Huard & Fils inc et Quentin 1994; Emeric Bergeron ltée et Labrecque 1998). On remarque également que le jardinage 30% offre un moins bon potentiel de régénération que les deux autres types de coupe. Cela peut sans doute s'expliquer par une différence entre les deux secteurs de coupe quant à la quantité d'arbres semenciers, car la proportion de bouleau jaune dans le secteur nord (où s'est effectué le jardinage 30%) est plus faible que dans le secteur sud, soit respectivement 2 et 9% (tableau 1).

Dans le cas du bouleau à papier (fig 4b), on observe les mêmes tendances que pour le bouleau jaune : un sol minéral mis à nu augmente la probabilité de régénération alors que le jardinage à 30% semble moins favorable à la régénération. Pour ce qui est de l'effet du lit de germination, des résultats semblables ont été obtenus par (Emeric Bergeron ltée et Labrecque 1998) et l'effet positif du scarifiage sur la régénération du bouleau à papier est bien documenté (Safford *et al* 1990). Concernant les différences entre coupes, la différence observée entre le jardinage 30% et les touées avec jardinage 20% ne peut s'expliquer par une différence de composition forestière entre les secteurs, contrairement à ce qui était le cas pour le bouleau jaune, puisque le pourcentage de bouleau à papier est identique dans le secteur nord et le secteur sud (10%, tableau 1). Il est à noter que les conditions microclimatiques prévalant dans une coupe de jardinage de 20% parsemée de trouées de grande dimension, comme dans notre dispositif, ne sont vraisemblablement pas les mêmes que celles qui prévaudraient dans un jardinage 20% uniforme dans tout un secteur de coupe. L'interprétation des résultats comparant le jardinage 20% au jardinage 30% doit donc se faire avec prudence. Des résultats de mesures microclimatiques prises par Patricia Raymond de l'Université Laval seront disponibles sous peu et contribueront probablement à éclaircir cette question.

Contrairement aux essences précédentes, le chêne rouge semble défavorisé par la mise à nu du sol minéral (figure 4c). En fait, selon nos résultats, un sol non-perturbé favoriserait la régénération du chêne rouge comparativement à un humus perturbé ou à un sol minéral mis à nu. D'après Sander (1990), les meilleurs taux de germination sont obtenus quand les semences sont en contact avec ou enterrées dans le sol minéral et recouvertes par une mince couche de feuilles. Les semences situées par-dessus les feuilles ou mélangées avec la litière sèchent extrêmement rapidement et meurent. Ainsi, il est possible que les semences de chêne rouge aient séché sur le sol minéral mis à nu. Cela est d'autant plus probable que la texture du sol était généralement grossière et que l'été 1999 a été particulièrement sec. Nos résultats peuvent aller, à première vue, à l'encontre de ceux de Lessard *et al.* (1999). Ceux-ci avaient observé une forte augmentation de la régénération du chêne rouge après scarification. Or, Lessard

(communication personnelle) indique que le scarifiage effectué sur leur site d'étude ressemblait probablement davantage à un mélange d'humus et de sol minéral qu'à une mise à nu du sol minéral. Zaczek *et al* (1997) ont aussi observé qu'une scarification du sol effectuée après la dissémination des graines, mais avant la chute des feuilles, permet d'incorporer les graines au sol et de créer des conditions qui se sont avérées favorable à la régénération de cette essence. Concernant le type de coupes, nos résultats ne démontrent aucune différence significative entre les trouées, le jardinage 20% et le jardinage 30%. Bien que le chêne rouge soit considéré comme une espèce semi-tolérante à l'ombre, certains résultats présentés dans la littérature démontrent que cette essence peut se développer sous de petites trouées, soit de 150 m² et moins (Lorimer 1983).

La régénération de l'épinette blanche (fig 4d) est grandement favorisée par la mise à nu du sol minéral, ce qui concorde avec la littérature (Nienstaedt et Zasada 1990). Bien que toujours positif, cet effet varie en importance selon le type de coupes. L'effet positif de la mise à nu du sol minéral est moins important dans les trouées, moyennement important dans le jardinage 20%, et le plus marqué dans le jardinage 30%. D'après Nienstaedt et Zasada (1990), la lumière n'aurait pas un grand effet sur l'établissement des semis de cette essence. On observe effectivement, par exemple, que la probabilité de régénération est plus élevée dans le jardinage 20% que dans les trouées. Groot *et al* (1997) ont d'ailleurs observé que, dans des trouées de 18 m de diamètre, l'épinette blanche était affectée par des déficits hygrométriques.

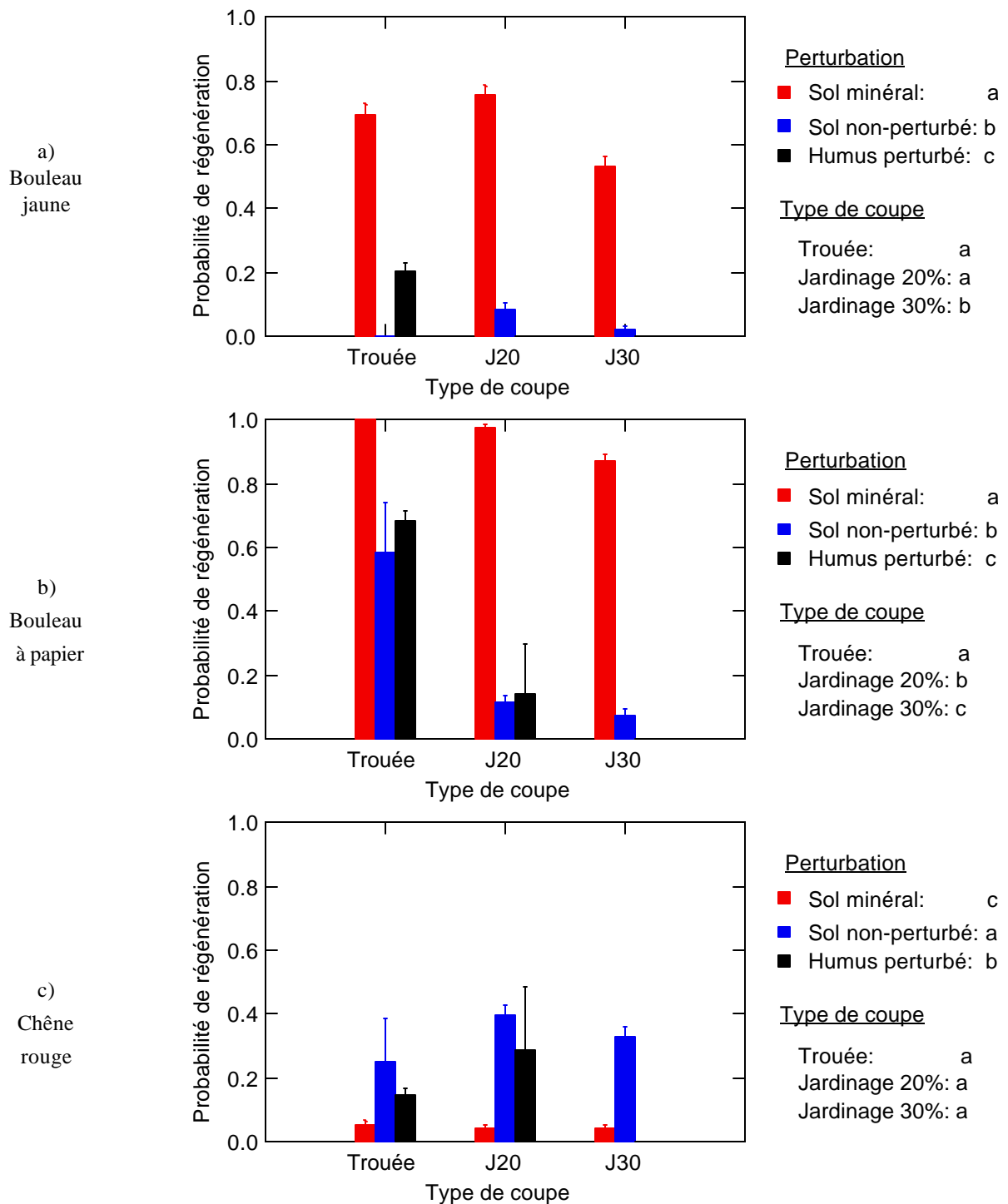


Figure 4: Probabilité de régénération de diverses essences sur une superficie de 1 m² en fonction de la perturbation au sol et du type de coupes un an après traitement. Les lettres a, b et c indiquent s'il y a une différence significative entre les classes; a>b>c. La probabilité est égale à la fréquence moyenne par trouée ou placette pour les différentes classes.

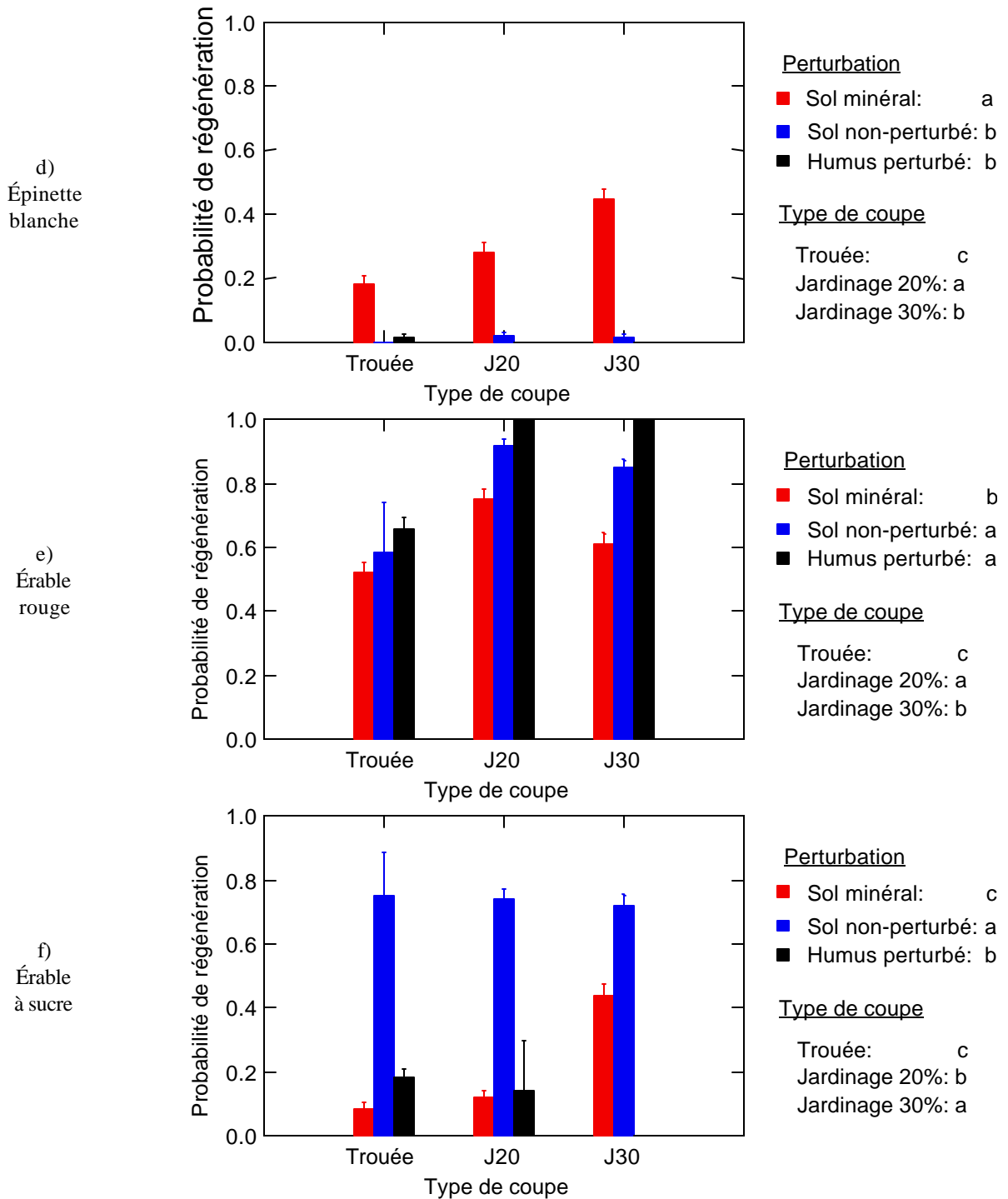


Figure 4 (suite)

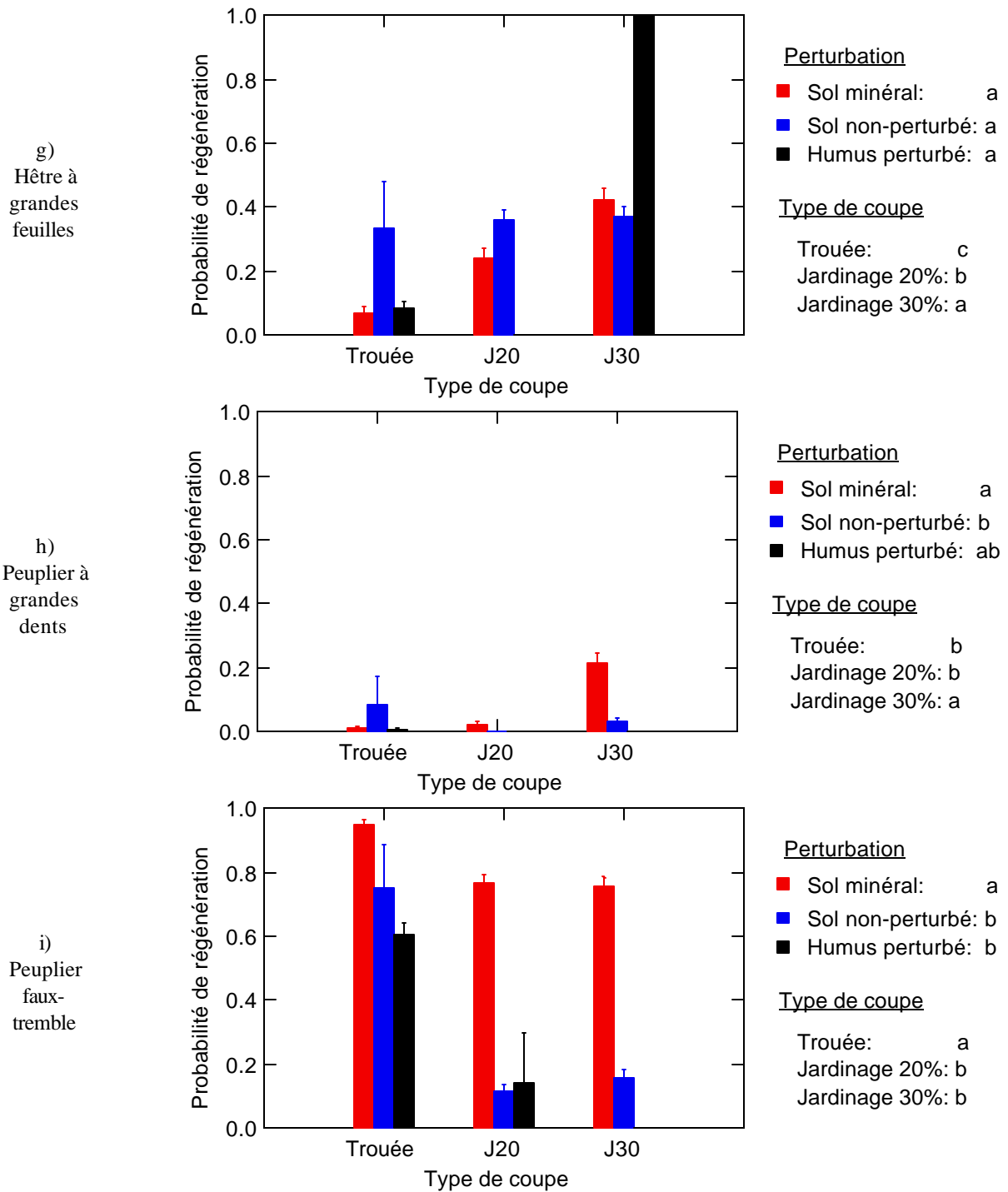


Figure 4 (suite)

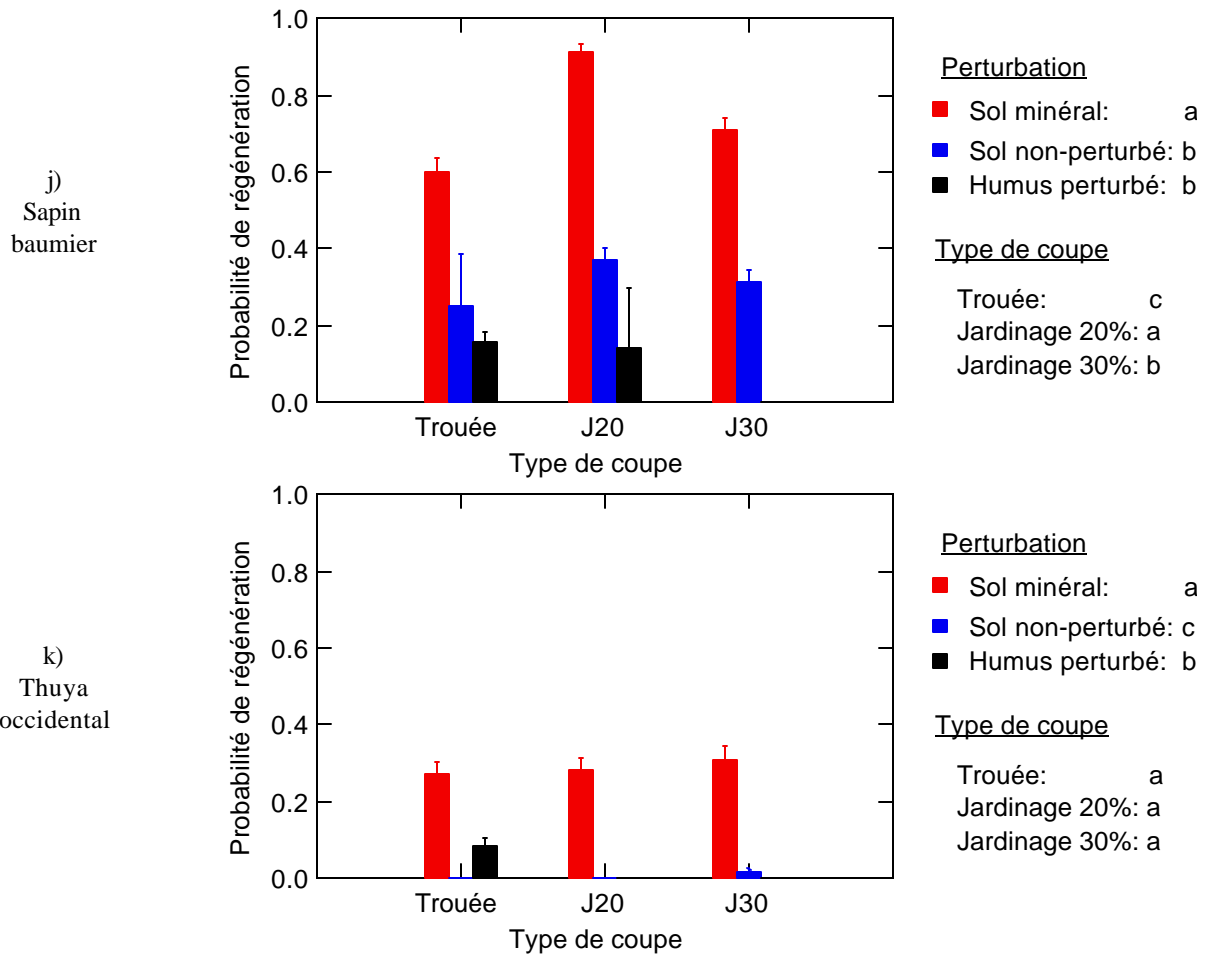


Figure 4 (suite)

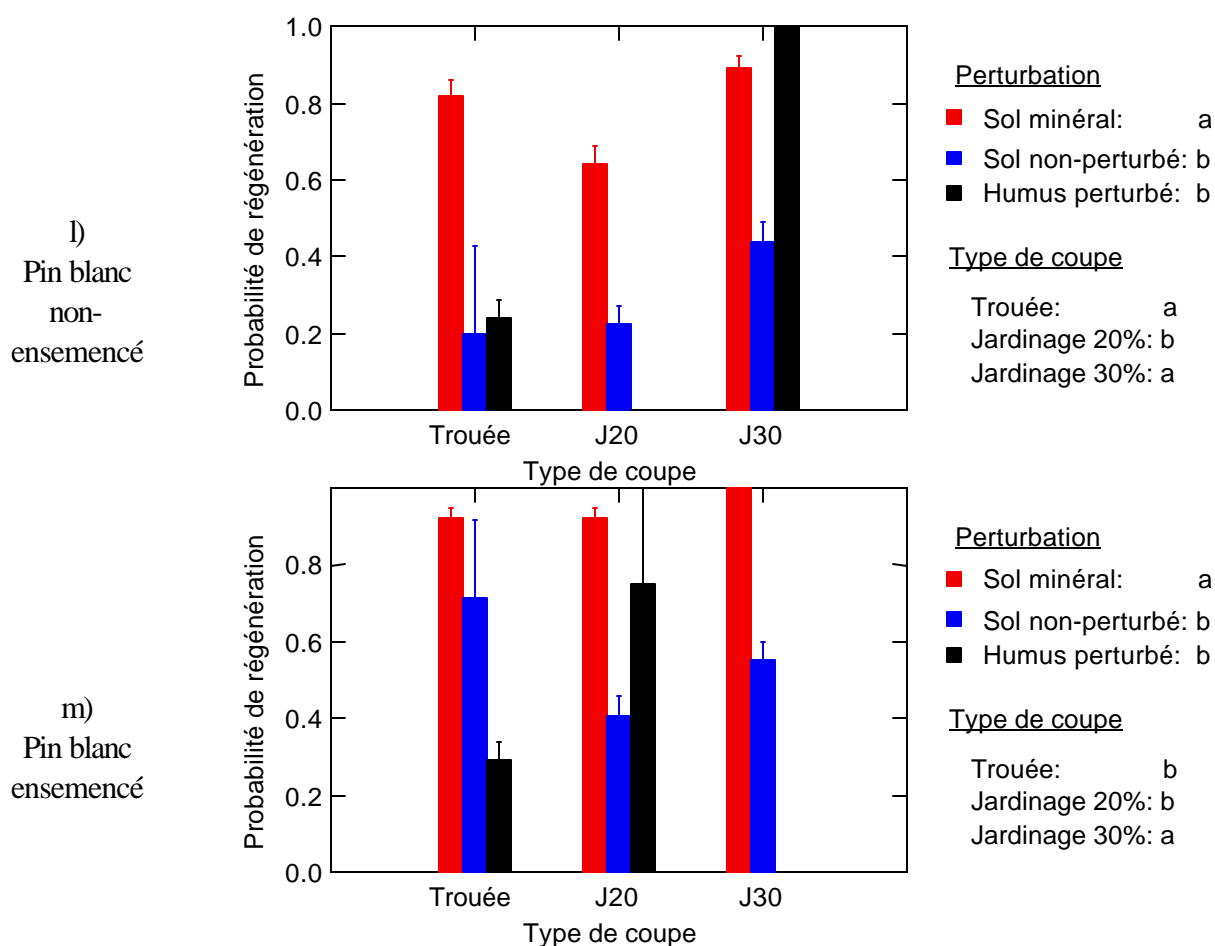


Figure 4 (suite)

Pour l'érable rouge (figure 4e), la mise à nu du sol minéral diminue le potentiel de régénération comparativement à un sol non-perturbé et à un humus perturbé, et ce, dans tous les types de coupe. On rapporte pourtant généralement dans la littérature, qu'un sol minéral, un humus et un tapis de feuilles constituent tous des bons lits de germination pour l'érable rouge (Walters et Yawney 1990). Malgré tout, Zaczek *et al* (1997) ont eux aussi observé un effet négatif du scarifiage sur la régénération de l'érable rouge. L'effet négatif du scarifiage pourrait s'expliquer par le fait que la mise à nu du sol minéral détruit la régénération préétablie en érable rouge. En ce qui concerne le type de coupes, on constate que le potentiel de régénération de l'érable rouge est le plus faible dans les trouées, suivi du jardinage 30%, puis du jardinage 20%. La

différence observée entre le jardinage 20% et 30% pourrait être due à une différence en termes de composition forestière entre les deux secteurs (5% du volume dans le secteur sud comparativement à 3% dans le secteur nord, tableau 1).

Chez l'érable à sucre, la probabilité de régénération est la plus élevée, et ce de façon marquée, sur les sols non-perturbés (figure 4f). Cela n'est guère surprenant puisque l'érable à sucre est fréquemment installé avant perturbation. On sait aussi que la présence de litière feuillue ne nuit pas à la germination et à l'établissement des semis chez cette essence. La différence entre le sol minéral mis à nu et l'humus perturbé est moins claire. Bien que la probabilité de régénération soit statistiquement plus élevée sur un humus perturbé lorsque les trois types de coupe sont confondus, les graphiques nous indiquent que cet effet varie selon le type de coupes. Ce résultat est seulement visible dans le jardinage 30% qui présente un potentiel de régénération plus grand que les deux autres types de coupes, et ce, même si la proportion en érable à sucre avant coupe est moins importante que dans le secteur sud (jardinage 20% et trouées).

Dans le cas du hêtre à grandes feuilles (figure 4g), on n'observe aucune différence dans la probabilité de régénération entre les divers lits de germination lorsque les trois types de coupe sont considérés de façon confondue². Ce résultat est en accord avec ce que l'on trouve dans la littérature (Tubbs et Houston 1990). On observe par ailleurs que les trouées présentent un potentiel de régénération plus faible que le jardinage 20%, qui présente lui-même un potentiel plus faible que le jardinage 30%. Cette dernière différence peut difficilement s'expliquer par une différence dans la composition forestière des secteurs puisque les proportions de hêtre y sont sensiblement les mêmes (tableau 1).

² L'absence de différence significative entre les types de lit de germination peut être due au fait que l'effet du lit de germination varie grandement selon le type de coupes. De plus, la probabilité élevée observée pour la coupe de jardinage 30% sur humus perturbé n'est pas significative en raison du faible échantillon dans cette catégorie. Ainsi, cette forte probabilité n'est peut-être que le fruit du hasard.

Le peuplier à grandes dents (figure 4h) ne présente pas une grande probabilité de régénération, ce qui s'explique par sa faible représentation dans le peuplement traité. On observe toutefois que la mise à nu du sol minéral et le jardinage 30% ont un effet significatif sur la probabilité de régénération de cette essence. L'effet du jardinage 30% peut s'expliquer par une différence dans la composition forestière (présence dans le secteur nord et absence dans le secteur sud, tableau 1).

Pour le peuplier faux-tremble (figure 4i), on observe un effet positif marqué de la mise à nu du sol minéral sur la probabilité de régénération. Cela n'est guère surprenant puisqu'il est reconnu que les blessures au système racinaire augmente le drageonnement chez le peuplier faux-tremble (Lavertu *et al* 1994). On note aussi que les trouées favorisent grandement la régénération du peuplier par rapport aux jardinages 20 et 30%.

Chez le sapin baumier, la mise à nu du sol minéral augmente la probabilité de régénération (figure 4j), ce qui est conforme à ce que l'on retrouve dans la littérature (Frank 1990). Les trouées présentent un moins bon potentiel de régénération que le jardinage 20% et 30%. La différence entre le jardinage 20 et 30% peut, une fois de plus, s'expliquer par la différence de proportion de sapin avant coupe entre les secteurs (tableau 1).

Pour le thuya occidental (figure 4k), la mise à nu du sol minéral augmente la probabilité de régénération comparativement aux autres types de lits de germination. Ce résultat concorde avec la littérature (Johnston 1990). Aucune différence significative n'a été détectée entre les différents types de coupe.

Pour le pin blanc (figure 4l), on remarque d'abord une influence positive de la mise à nu du sol minéral. Aucune différence significative n'est observée entre un sol non-perturbé et un humus perturbé. Les différences observées visuellement peuvent être attribuables au hasard étant donné que certaines combinaisons type de lits de germination – type de coupes présentaient un

effectif (n) très faible puisque l'échantillon (1200 micro-placettes) a été divisée en deux pour cette essence (micro-placettes ensemencées et non ensemencées). En ce qui a trait à l'effet du type de coupes, le jardinage 20% semble être moins favorable à la régénération du pin blanc par rapport aux trouées. On pourrait d'abord penser que ce résultat s'explique par une différence entre les semences tombées dans les trouées et celles tombées à l'extérieur des trouées (dans le jardinage 20%), mais les résultats obtenus à partir des trappes à graines indiquent des ensemencements similaires dans les trouées et le jardinage 20%, soit respectivement 482 000 et 438 000 semences/ha. Cette différence n'est pas statistiquement significative (test t; $p = 0,862$). Par contre après ensemencement (figure 4m), on n'observe plus aucune différence entre les trouées et le jardinage 20%. Ainsi, en augmentant le nombre de semences sur le parterre de coupe, on augmente davantage la germination dans le jardinage 20% que dans les trouées, ce qui atténue l'effet positif des trouées sur la germination observée à la figure 4l (sans ensemencement). Finalement et dans un autre ordre d'idée, l'ensemencement semble avoir pour effet général d'augmenter la probabilité d'établissement du pin blanc, ce qui indiquerait que la disponibilité des semences est un facteur limitant la régénération, même lors d'une bonne année semencière.

3.2 Relation quantité de semences - semis

Spécifiquement pour le pin blanc, nous avons installé un dispositif semenciers-trappes à graines. Nous avons déjà présenté (Nolet *et al* 1999) la relation étroite qui existe entre le nombre de semences trouvées dans un microsite en fonction du nombre de semenciers pondéré par la distance des semenciers à ce microsite. Un an après coupe, il est maintenant possible d'évaluer comment le nombre de semences retrouvées dans les trappes à graines d'une placette ou trouées est relié au coefficient de distribution (basé sur une surface de 1m^2) des semis. La figure 5 démontre d'abord sur humus (sol non perturbé ou peu perturbé) que plus il y a de semences, plus la probabilité d'obtenir au moins 1 semis de pin blanc sur une surface de 1m^2 augmente, et

ce, de façon linéaire ($R^2=0,436$; $p=0,000$). Sur sol minéral mis à nu, on observe que la probabilité augmente aussi en fonction du nombre de semences disponibles. Toutefois, cette augmentation n'est pas linéaire puisqu'elle augmente rapidement pour atteindre pas la suite un plateau ($R^2=0,6831$; $p<0,05$). Ces résultats, d'une part, confirment que la mise à nu du sol minéral est très profitable à la germination du pin blanc et d'autre part, qu'à partir d'une certaine quantité de semences (approximativement 500 000 semences), une augmentation de nombre de semences disponibles n'a plus d'effet sur le coefficient des distribution des semis de pin blanc. D'après les relations semenciers-production de semences que nous avons développées (Nolet *et al* 1999), cela équivaudrait approximativement à 6 m² en semenciers/ha.

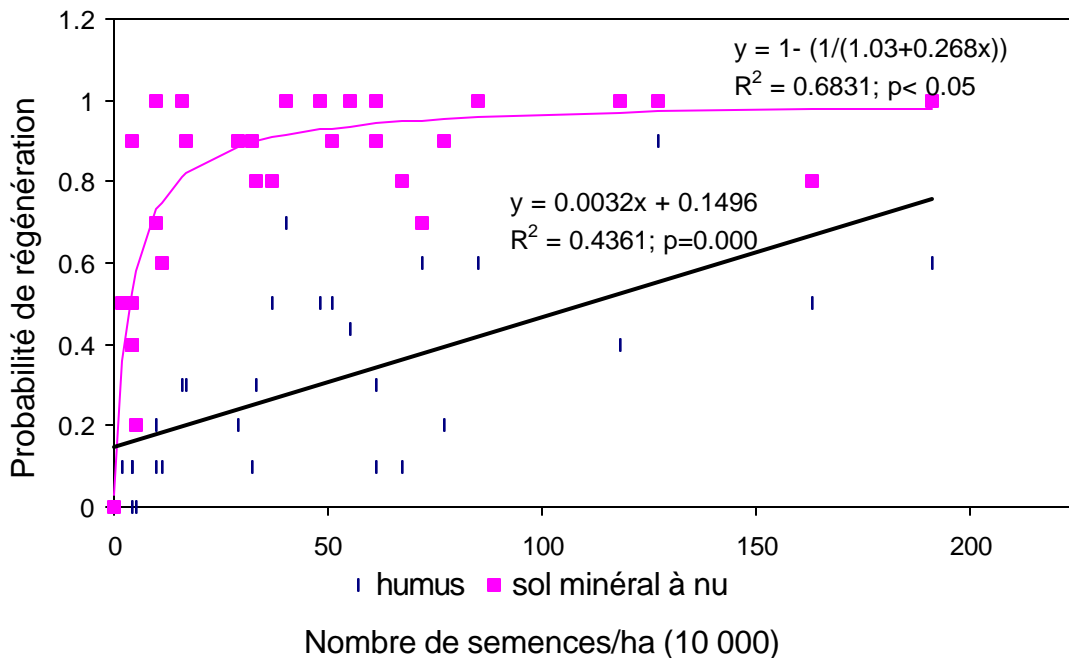


Figure 5 : Relation entre le nombre de semences de pin blanc disponibles et la probabilité de retrouver un semis dans un microsite de 1 m² en fonction du type de perturbations au sol.

4 Conclusion

À la lumière des résultats présentés, on peut tirer les conclusions suivantes. D'abord, le lit de germination a un effet significatif sur le coefficient de distribution de toutes les essences, sauf le hêtre. Pour la majorité des essences (BOJ, BOP, EPB, PEG, PET, SAB, THO et PIB), la mise à nu du sol minéral favorise la probabilité de régénération (en fait, augmente le coefficient de distribution de la régénération). Pour certaines espèces (CHR, ERR, ERS), toutefois, une telle mise à nu du sol minéral semble défavorable à la régénération. Dans le cas du chêne rouge, on rapporte dans la littérature qu'en terme de préparation de terrain pour la régénération, on aurait avantage à viser l'obtention d'un humus perturbé plutôt que de la mise à nu complète du sol (Zaczek *et al* 1997). Dans le cas de l'érable rouge et de l'érable à sucre, nous ne pensons pas que la mise à nu du sol minéral diminue nécessairement le potentiel de germination, mais plutôt qu'elle détruit une régénération préétablie abondante.

En ce qui a trait à l'effet de l'ouverture du couvert (ou de l'intensité de la coupe), l'effet que notre dispositif expérimental permet de comparer avec le plus d'efficacité, est la différence de réponse entre le jardinage 20% et les trouées. Les autres différences (Jardinage 20% vs Jardinage 30%; Jardinage 30% et Trouées) peuvent être dues à des différences de composition entre les deux secteurs. De plus, comme nous l'avons mentionné précédemment, les résultats obtenus pour le jardinage 20% dans cette étude (jardinage 20% parsemé de grandes trouées) ne sont pas nécessairement représentatifs de ceux qu'on obtiendrait dans un jardinage 20% d'un seul tenant. Les données microclimatiques nécessaires pour tester cette hypothèse seront disponibles sous peu, mais entre-temps, il importe de garder en tête que les trouées de grande dimension peuvent avoir un effet indirect sur les résultats obtenus dans le jardinage 20%.

Trois essences sont favorisées par les conditions de trouées lorsque comparée au jardinage 20%; soit le bouleau à papier et le pin blanc, alors que cinq essences sont défavorisées (EPB, ERR, ERS, HEG, SAB) (voir tableau 2). Il est donc logique d'émettre l'hypothèse que les trouées, en créant des conditions microclimatiques ou de déprédation des graines différentes,

favorisent la germination des semences de certaines essences et en défavorisent d'autres. Par exemple, il est possible que le bouleau à papier et le pin blanc, des essences que l'on retrouve sur sites xériques à mésiques, aient été positivement influencées par une augmentation de la lumière et n'aient pas été influencées par une diminution possible de l'humidité du sol, alors que l'épinette blanche et le sapin baumier, des essences qu'on retrouve généralement sur sites mésiques à hygriques, pourraient avoir été négativement influencées par une diminution de l'humidité du sol. Les données microclimatiques recueillies à l'intérieur du dispositif expérimental par Patricia Raymond et Alison Munson de l'Université Laval pourront nous éclairer à cet égard.

Tableau 2 : Récapitulation des résultats concernant la probabilité de régénération des essences en fonction du type de coupes et du lit de germination

Essences	Type de coupes			Lits de germination		
	(S. Sud) Trouées	(S. Sud) J20%	(S. Nord) J30%	Sol minéral	Non perturbé	Humus perturbé
BOJ	a ¹	a	b	a	b	c
BOP	a	a	b	a	b	c
CHR	a	a	a	c	a	b
EPB	c	a	b	a	b	b
ERR	c	a	b	b	a	a
ERS	c	b	a	c	a	b
HEG	c	b	a	a	a	a
PEG	b	b	a	a	b	ab
PET	a	b	b	a	b	b
SAB	c	a	b	a	b	b
THO	a	a	a	a	c	b
PIB(non-ensemencé)	a	b	a	a	b	b

¹ Les lettres indiquent si les différences sont significatives entre les classes. a indique une plus grande probabilité de régénération que b. Il en va de même pour b par rapport à c.

À court terme, on peut donc affirmer que les trouées accompagnées d'un scarifiage provoquent l'effet escompté quant à la régénération des essences. En effet, la plupart des essences semi-tolérantes visées par les coupes de jardinage avec trouées sont favorisées, un an après coupe, par le traitement. Les seules restrictions concernent le chêne rouge qui peut être désavantagé par une mise à nu du sol minéral et l'épinette blanche dont la germination peut être affectée par une trop grande ouverture. Lorsque le chêne rouge est la principale essence visée par le traitement, il serait logique d'adapter le scarifiage en conséquence. À moyen terme, il sera nécessaire d'étudier l'effet qu'aura l'augmentation de la végétation concurrente (peuplier faux-temple, entre autres) sur l'établissement de la régénération et la croissance des essences semi-tolérantes visées par le traitement. C'est pourquoi il est d'une grande importance de suivre le dispositif mis en place.

5 Références

- Coates, K. D. et P. J. Burton. 1997. A gap-based approach for development of silvicultural systems to address ecosystem management objectives. *Forest Ecology and Management* 99: 337-354.
- Elliott, K. J. et V. J. Vose. 1995. Evaluation of the competitive environment for white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings planted on prescribed burn sites in the Southern Appalachians. *Forest Science* 41(3): 513-530.
- Émeric Bergeron & Fils Ltée et P. Labrecque . 1998. Régénération de peuplements feuillus dégradés à la suite de coupes à diamètre limite. *Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Région du Québec*.
- Félix Huard inc. et B. Quentin. 1994. Expérimentation de divers traitements sous couvert pour favoriser la régénération d'essences désirées en peuplements feuillus et mélangés, dégradés à base d'érables et de bouleaux jaunes. Projet no 1019. *Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Région du Québec*.
- Frank, R. M. 1990. *Abies balsamea*. Silvics of North America: 1. Conifers. Agriculture Handbook 654. U.S. Burns, R. M., and B. H. Honkala, tech. coords. Washington, DC, Department of Agriculture, Forest Service.
- Garrett, L. D. 1985. Delayed processing of felled trees to reduce wood moisture content. *Forest Products Journal* 35(3): 55-59.
- Groot, A., D. W. Carlson, R.L. Fleming et J. E. Wood. 1997. Small openings in trembling aspen forest: microclimate and regeneration of white spruce and trembling aspen. Éditeur: Natural Resources Canada, Canadian Forestry Service Numéro: TR-47.
- Gouvernement du Québec,. 1997. Manuel d'aménagement forestier. 122p.
- Horton, K. W. et G. H. D. Bedell. 1960. White and Red Pine ecology, silviculture and management. . *Bull. For. Br. Can. No. 124*, 1960. pp. 185.
- Johnston, W. F. 1990. *Thuja occidentalis*. Silvics of North America: 1. Conifers. Agriculture Handbook 654. U.S. Burns, R. M., and B. H. Honkala, tech. coords. Washington, DC, Department of Agriculture, Forest Service.
- Laflamme, G. 1998. La rouille vésiculeuse du pin blanc, ça se contrôle! Compte-rendu du congrès : Du pin blanc pour l'avenir, c'est possible. 3 et 4 juin 1998 à Mont-Laurier. 4p.

-
- Lavertu, D., Y. Mauffette et Y. Bergeron. 1994. Effects of stand age and litter removal on the regeneration of *Populus tremuloides*. *Journal of Vegetation Science* 5: 561-568.
- Lehrer, G. F. 198. Pathological pruning: a useful tool in white pine blister rust control. *Plant Disease*. *Plant Disease* 66(12): 1138-1139.
- Lorimer, C. G. 1983. Eighty-year development of northern red oak after partial cutting in a mixed-species Wisconsin forest. *Forest Science* 29(2): 371 à 383.
- Nienstaedt, H. et J. C. Zasada. 1990. *Picea glauca*. Silvics of North America: 1. Conifers. Agriculture Handbook 654. U.S. Burns, R. M., and B. H. Honkala, tech. coords. Washington, DC, Department of Agriculture, Forest Service.
- Nolet, P., F. Doyon et P. D. Vlasiu. 1999. L'aménagement par coupe par trouées des strates de feuillus d'essences tolérantes avec pin blanc. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue: 33 p.
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Ste-Foy, QC, Canada, Les Publications du Québec. 213p.
- Safford, L., J. C. Bjorkbom et J. C. Z 1990. *Betula papyrifera*. Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654. U.S. Burns, R. M., and B. H. Honkala, tech. coords. Washington, DC, Department of Agriculture, Forest Service.
- Sander, I. L. 1990. *Quercus rubra*. Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654. U.S. Burns, R. M., and B. H. Honkala, tech. coords. Washington, DC, Department of Agriculture, Forest Service.
- SPSS_Inc. 1997. SPSS 8.0 for Windows.
- Tubbs, C. H. et D. R. Houston. 1990. *Fagus grandifolia*. Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654. U.S. Burns, R. M., and B. H. Honkala, tech. coords. Washington, DC, Department of Agriculture, Forest Service.
- Walters, R. S. et H. W. Yawney. 1990. *Acer rubrum*. Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654. U.S. Burns, R. M., and B. H. Honkala, tech. coords. Washington, DC, Department of Agriculture, Forest Service.
- Zaczek, J. J., J. Harding et J. Welfley. 1997. Impact of soil scarification on the composition of regeneration and species diversity in an oak shelterwood. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station Numéro: NC-188 Pages: 341 à 348.