

FERIC

FOREST ENGINEERING
RESEARCH INSTITUTE
OF CANADA

INSTITUT CANADIEN
DE RECHERCHES
EN GÉNIE FORESTIER

R.T. -
23

Rapport Technique No RT-23
septembre 1978

Analyse, 10 ans après coupe de bois à pâte, des problèmes de régénération dans l'est du Canada

Gilles Frisque
G.F. Weetman
E. Clemmer



DÉFINITION DE TERMES UTILISÉS DANS CE RAPPORT

Arbre :	Espèce ligneuse pérenne dont le diamètre est égal ou supérieur à 1 po (2.5 cm).
Débardage à l'aide de traineaux et de chevaux (boganning):	Méthode d'exploitation utilisant des chevaux pour débarder des fagots de bois à pâte façonnés en rondins de 4 pi. (1.2 m).
Coefficient de distribution (ou taux de boisement):	Pourcentage des quadrats d'un millième d'acre portant au moins un semis ou un arbre d'une espèce donnée.
Déchets de coupe :	Branchages, cimeaux de moins de 3 po (7.6 cm) de diamètre et tiges cassées laissées sur le parterre des coupes après l'exploitation.
Densité :	Nombre de tiges par unité de surface.
Exploitation en arbres entiers:	Méthode d'exploitation dans laquelle toutes les parties aériennes d'arbres (sapin, épinette ou pin*) de plus de 4 pouces (10 cm) de diamètre sont débardées jusqu'en bordure de route. Presque tous les déchets de coupe sont ainsi accumulés en bordure de la route.
Feuillus :	Espèces d'arbres marchands ou potentiellement marchands, tels que le peuplier faux-tremble, le peuplier baumier, le bouleau à papier, le bouleau jaune et l'érable rouge.*
Marcotte :	Épinette noire reproduite végétativement à partir de branches qui ont pris racine en contact avec le sol.
Morts-bois (ou broussailles):	Espèces feuillues non-marchandes, telles que l'aulne, l'érable à épis, la viorne et le coudrier.
Débardage avec cerclage (pack-rack):	Méthode de chargement de groupes de rondins de 8 pi. (2.4 m) à l'arrière d'une débardeuse à roues en utilisant le câble principal de la débardeuse.
Régénération :	Semis établis après l'exploitation.
Régénération préétablie :	Semis et marcottes atteignant jusqu'à 1 po (2.5 cm) de diamètre, naturellement installés avant coupe.
Reproduction :	Régénération préétablie plus régénération.
Scarifiage :	Bouleversement de la surface du sol dans le but d'exposer le sol minéral.
Semis :	Arbres de 1 à 5 ans originaires de graines.
Tiges :	Tiges d'espèces forestières atteignant jusqu'à 1 po (2.5 cm) de diamètre.

* On trouvera à l'annexe 1 la liste des noms scientifiques et communs de toutes les espèces mentionnées dans ce rapport.

NOTE : Le nombre d'aires d'études a varié tout au long de la réalisation de ce projet. Le premier rapport (Webber *et al.* 1968) donnait les résultats de 34 aires d'études. Trois aires nouvelles furent ajoutées dans le rapport de 5 ans (Weetman, Grapes et Frisque 1973) et une a été détruite entre les remesurages de 5 et de 10 ans, ce qui établit à 36 le nombre d'aires d'études dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

Analyse, 10 ans après coupe de bois à pâte, des problèmes de régénération dans l'est du Canada

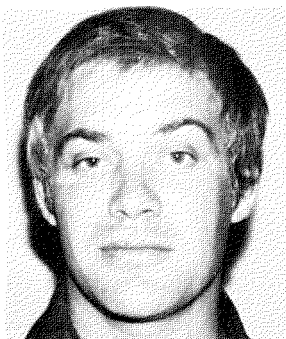
Gilles Frisque (Centre de recherches forestières des Laurentides,
Service canadien des forêts)
G.F. Weetman (Faculté de foresterie,
Université du Nouveau-Brunswick)
E. Clemmer (Faculté de foresterie,
Université du Nouveau-Brunswick)

Rapport Technique No RT-23
septembre 1978

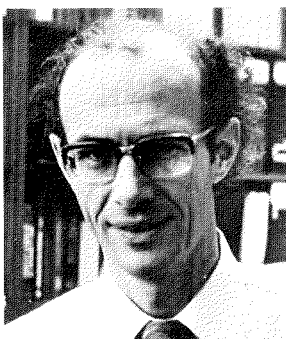
FERIC

***FOREST ENGINEERING
RESEARCH INSTITUTE
OF CANADA***

***INSTITUT CANADIEN
DE RECHERCHES
EN GÉNIE FORESTIER***



Originaire de Belgique, Gilles Frisque a étudié la foresterie à l'Université de Louvain. Depuis 1968, il fait partie de l'équipe de chercheurs scientifiques du Centre de recherches forestières des Laurentides, Service canadien des forêts, à Sainte-Foy, au Québec. Ses recherches ont été surtout orientées vers la sylviculture de l'épinette noire, bien que depuis quelques années il ait agi à titre de chef de projet du programme que le Centre poursuit sur la sylviculture des feuillus. L'Université Laval lui décernait, en 1977, un doctorat ès sciences.



Gordon F. Weetman est diplômé en sciences forestières de l'Université de Toronto, et détenteur d'une maîtrise et d'un doctorat de l'Université Yale. De 1955 à 1971, il a occupé le poste de chercheur scientifique à l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers à Pointe-Claire, au Québec. Ses travaux ont porté, durant cette période, sur la fertilisation forestière et sur les problèmes de nutrition des arbres en relation avec la décomposition de la matière organique. En 1966, il participait à l'élaboration de la présente étude visant à évaluer les effets de l'exploitation mécanisée. Depuis 1971, il enseigne la sylviculture à la Faculté de Foresterie de l'Université du Nouveau-Brunswick.



Edward Clemmer a reçu, en 1974, un diplôme en biologie de l'Université Carleton. En 1977, il obtenait de l'Université du Nouveau-Brunswick une maîtrise en sciences forestières, après avoir présenté une thèse sur les facteurs qui nuisent à la croissance des peuplements d'épinette noire dans le nord-ouest de l'Ontario. M. Clemmer a été à l'emploi du Ministère des Ressources Naturelles de l'Ontario à titre de forestier, dans le district de Nipigon. Il travaille également à l'Université du Nouveau-Brunswick où il participe à l'élaboration d'un modèle mathématique pour les peuplements d'épinette noire.

An English version of the present report is available at the Forest Engineering Research Institute of Canada or at the Laurentian Forest Research Centre, under the title: **Reproduction and Trial Projected Yields 10 Years after Cutting 36 Pulpwood Stands in Eastern Canada.**

Table des matières

	Page
Définition de termes (Couverture intérieure)	
Avant-propos	i
Sommaire	iii
Introduction	1
Objectifs de l'étude	3
Méthodes	4
Établissement et inventaire des places d'études	4
Essais biologiques	10
Modèle de simulation du peuplement jusqu'à l'âge de 50 ans	10
Cadre de l'étude	10
Cadre du modèle	11
Résultats	11
Régénération préétablie avant et après coupe	11
Reproduction 5 ans après coupe	17
Reproduction 10 ans après coupe	22
Rendements projetés 50 ans après coupe	34
État de la surface du sol 10 ans après coupe	34
Essais biologiques	39
Interprétation des résultats	40
Importance de préserver la régénération préétablie au moment de l'exploitation	40
Normes de distribution	40
Rendements projetés	41
Essais biologiques	43
Reproduction globale et conséquences pour le rendement	44
Les objectifs ont-ils été atteints ?	45
Conclusions	46
Annexes	
1. Noms et symboles des espèces d'arbres et de plantes	48
2. Liste des aires d'études	49
3. Modèle d'évolution du peuplement	51
4. Destruction de la régénération préétablie	57
5. État de la reproduction 10 ans après coupe	60
Bibliographie	65

Liste des figures

	Page
1. Localisation des aires d'études	5
2. Agencement des places-échantillons et des quadrats	7
3. Cartes des bûchés montrant le réseau de sentiers de débardage ainsi que la localisation des places- échantillons	9
4. Survie de la régénération préétablie après l'exploitation	16
5. Changements de la densité en résineux après coupe et 5 ans plus tard	19
6. Changements dans la densité en résineux entre 5 et 10 ans après coupe	22
7. Changements dans la densité en feuillus entre 5 et 10 ans après coupe	23
8. Changements dans la densité en résineux après coupe et 10 ans plus tard	25
9. Changements dans la distribution en résineux après coupe et 10 ans plus tard	26
10. Changements dans la distribution des feuillus de valeur commerciale après coupe et 10 ans plus tard	28
11. Coefficient de distribution du meilleur sujet 10 ans après coupe	30
12 a,b Coefficient de distribution après 10 ans, en résineux, feuillus et broussailles, par classes de hauteur et de diamètre	31
13. Relations entre le rapport résineux-feuillus du meilleur sujet à 10 ans et le rapport résineux- feuillus de la surface terrière obtenu par simulation du peuplement à 50 ans	37
14. Relations entre la distribution en espèces commerciales à l'âge de 10 ans et le rendement simulé de ces mêmes espèces commerciales à 50 ans	38
15. Organigramme logique simplifié du modèle d'évolution du peuplement	52

Liste des tableaux

	Page
1. Diminution du nombre de tiges de régénération préétablie en fonction des essences et de la densité initiale	12
2. Densité et distribution moyennes de la régénération préétablie avant et après coupe en fonction des procédés d'exploitation utilisés	14
3. Diminution de la distribution de la régénération préétablie après l'exploitation, en fonction des espèces	15
4. Coefficient de distribution du meilleur sujet par espèce, aire d'études et groupe d'espèces	29
5a. Simulation de la production brute totale projetée (cunits/acre) et nombre d'arbres résineux de valeur marchande au cunit à 50 ans	35
5b. Simulation de la production brute totale projetée (mètres cubes/hectare) et nombre d'arbres résineux de valeur marchande au mètre cube à 50 ans	36
6. État du sol 10 ans après coupe	39

Liste des planches

1. Reproduction résineuse en îlots 10 ans après coupe	2
2. Excellente reproduction en résineux à partir de la régénération préétablie	18
3. Invasion par les joncs à la suite d'un traitement à base d'auxines	21
4. Développement des feuillus 10 ans après coupe	27
5. Invasion des peuplements de bois à pâte par les broussailles et les feuillus 10 ans après coupe	33
6. Reproduction en résineux dominée par les feuillus	42

Avant-propos

Dans l'est du Canada, on coupe chaque année quelque 1.5 million d'acres (607,000 ha) de forêts pour la production de bois à pâte, à l'aide de procédés d'exploitation de plus en plus mécanisés. Une préoccupation grandissante s'est manifestée dans les milieux gouvernementaux des provinces, chez les forestiers professionnels et dans l'industrie canadienne de transformation de la matière ligneuse, au sujet du taux et du volume de régénération des bûchés sur les terrains forestiers de la Couronne. Cette inquiétude a fait l'objet en octobre 1977 d'une conférence nationale sur la régénération forestière tenue sous les auspices de l'Association forestière canadienne. Ainsi qu'on l'a souligné à cette conférence, parmi les problèmes fondamentaux auxquels doivent faire face les utilisateurs de la forêt, figure la pénurie de données sérieuses sur les effets de la mécanisation sur la régénération préétablie et la régénération après coupe dans la majorité des types forestiers du pays.

Ce rapport constitue une contribution originale pour répondre aux besoins de données sur la reproduction de la forêt dans l'est du pays. Les résultats obtenus proviennent de mesurages effectués dans 36 peuplements de bois à pâte avant une exploitation mécanisée, immédiatement après, puis 5 et 10 ans plus tard. En plus de résumer l'évolution des jeunes peuplements pendant les 10 années qui suivent la coupe, le rapport fournit des projections de rendements à l'âge de 50 ans, des peuplements nouvellement établis, à partir d'un modèle dynamique de simulation basé sur l'évolution actuelle du peuplement.

La publication de ce rapport à ce moment-ci découle, d'abord et avant tout, des efforts de longue date de l'équipe de recherches de la division forestière de la Compagnie internationale de papier du Canada, qui entreprit, en 1965, quatre études de cas typiques. Les places-échantillons établies à cette époque ont servi de point de départ à l'étude conjointe réalisée par la section de la recherche forestière de l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers et le Service canadien des forêts (Centres de recherches forestières des Laurentides et des Maritimes).

L'étude a été étendue à sa dimension actuelle grâce à la collaboration et souvent même à la participation active du personnel forestier des compagnies suivantes: Abitibi Paper Company Limited, la Compagnie internationale de papier du Canada, Consolidated-Bathurst limitée, Société forestière Domtar limitée, Fraser Companies Limited, Kimberly-Clark Pulp and Paper Company, The James MacLaren Company Limited, Miramichi Timber Resources Limited, Nova Scotia Forest Industries, la Compagnie Price limitée et Spruce-Falls Power and Paper Company.

Le remesurage des places d'études 10 ans après coupe et la préparation du présent travail ont été confiés à l'Université du Nouveau-Brunswick à la suite d'un contrat avec l'Institut canadien de recherches en génie forestier et en collaboration avec les Centres de recherches forestières des Laurentides et des Maritimes du Service canadien des

forêts. Nous tenons à remercier plus particulièrement M. W.W. Grapes (autrefois à l'emploi de l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers) qui a été le principal responsable des travaux sur le terrain, ainsi que M. E.L. Hughes (autrefois employé du Centre de recherches forestières des Maritimes).

L'Institut canadien de recherches en génie forestier et les auteurs expriment leur reconnaissance à tous ceux qui ont apporté leur contribution en commentant les éditions de rodage. Mentionnons tout spécialement M. H.J. Iverson (Produits forestiers Domtar) et le Dr Gilbert Paillé (Compagnie internationale de papier du Canada); les professeurs G.L. Baskerville (Université du Nouveau-Brunswick) et T. Cunia (Université de l'État de New York); le Dr F.L. Raymond (Ministère des ressources naturelles de l'Ontario); et MM. J.H. Cayford, R.J. Hatcher, R.V. Quenet et R.F. Sutton (Service canadien des forêts). Naturellement, toutes les données, l'interprétation des résultats et les conclusions n'engagent que la responsabilité des auteurs.

En décrivant la planification, le processus expérimental et les résultats de leur étude, les auteurs se sont gardés de prétendre que tout avait fonctionné suivant le plan tracé ou qu'ils étaient doués d'une vision parfaite depuis le début. Aussi, les résultats présentés comportent plusieurs secteurs pour lesquels le plan de travail serait tracé différemment aujourd'hui, compte tenu de l'expérience acquise et des recherches récentes. Depuis la publication du rapport d'étape, 5 ans après coupe, l'existence de méthodes nouvelles pour l'élaboration de modèles dynamiques appliqués aux peuplements forestiers a incité les auteurs à développer un modèle expérimental dont la nature, les résultats et les limitations sont présentés en toute simplicité. Quelques réviseurs ont insisté pour que ce rapport ne fasse pas état des résultats de ces projections, alléguant qu'elles étaient encore trop spéculatives pour en justifier la publication. Nous croyons que ces projections expérimentales, dans le futur, méritent d'être publiées surtout pour placer certaines techniques conventionnelles de projection des rendements sous un éclairage plus critique et également pour faire ressortir le genre de problèmes qui, dans l'évolution des jeunes peuplements, méritent plus d'attention et de recherche.

L'Institut canadien de recherches en génie forestier est heureux de présenter les résultats de cette étude, qui se poursuivra peut-être sous un angle différent, en espérant qu'ils seront utiles aux aménagistes de la forêt, aux exploitants et aux chercheurs scientifiques préoccupés par la régénération et partant, par le maintien de la ressource forestière du pays.

H.I. Winer, ing. f.

Pointe Claire, Québec
1er mai 1978

Sommaire

Pour tenter de répondre aux questions posées concernant le rendement des bûchés de bois à pâte soumis à l'exploitation mécanisée, une étude de 36 aires de coupe a été entreprise en 1965 par l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers, en collaboration avec des compagnies papetières de l'Ontario, du Québec, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse.

Des superficies variant de 0.8 à 4 hectares (2 à 10 acres), représentatives de divers types de peuplements forestiers, soumis à différents procédés d'exploitation, firent l'objet de relevés avant coupe, immédiatement après, puis 5 et 10 ans plus tard. Seules furent retenues les superficies dont la régénération préétablie résineuse était très abondante avant la coupe.

Les résultats des observations faites immédiatement après coupe et 5 ans plus tard ont déjà été publiés (Webber *et al.* 1968 et Weetman, Grapes et Frisque 1973). Ce rapport évalue l'état de la régénération 10 ans après coupe ainsi que les rendements projetés des peuplements établis sur les superficies étudiées.

Les résultats apparaissant dans ce travail ne doivent pas être interprétés comme ceux d'un inventaire, mais plutôt comme une série d'études de cas particuliers représentatifs de l'exploitation des résineux à pâte telle qu'on la pratiquait vers la fin des années 60 sur les terres de la Couronne, utilisant à l'époque un équipement aussi varié que l'étaient les conditions forestières.

Au delà de 70% des tiges formant la régénération préétablie furent détruites lors des opérations de récolte exécutées à l'aide de débardeuses à roues suivant les procédés d'exploitation par arbres en longueur et par arbres entiers. Les différents types de machines ou de procédés d'exploitation ont agi à des degrés divers sur la destruction de la régénération préétablie, mais n'ont pas eu, à long terme, d'effets significatifs sur les perturbations occasionnées au sol ou sur le scarifiage des aires coupées. Les procédés d'exploitation utilisant les transporteuses à la place des débardeuses ont été moins préjudiciables à la régénération préétablie. Dans les aires de coupe, la compaction du sol et l'érosion n'ont pas constitué de problème particulier. En effet, 10 ans après une exploitation d'été, 95% de la surface du sol est considérée non perturbée et couverte de végétation naturelle.

Dix ans après la coupe, la régénération naturelle avait remplacé la régénération préétablie détruite, mais elle était de plus petite taille et se retrouvait généralement aux seuls endroits où l'exploitation avait créé des lits de germination. Toutefois, les engins d'exploitation n'avaient pas suffisamment scarifié le sol pour offrir un milieu propice à l'établissement des résineux. Toutes les aires d'observation présentaient plus de 2500 tiges à l'hectare (1000/acre) et un taux de boisement supérieur à 50%, mais une quantité importante de feuillus intolérants et de broussailles dominait et supprimait souvent les résineux. La majorité de la reproduction résineuse était installée avant la coupe alors que

presque toutes les espèces feuillues et les broussailles ont surgi par la suite.

On a observé la meilleure reproduction dans les pessières à épinettes noires sur stations sèches, où les résineux dominent 60% de la superficie. Quant aux pires résultats, ils ont été notés dans les forêts mélangées où les résineux occupent 41% de la superficie, les feuillus 32% et les morts-bois 26%. L'invasion des feuillus et des morts-bois n'a pas éveillé l'attention immédiatement après la coupe, mais elle était devenue un problème évident 5 ans plus tard. On a remarqué une diminution de densité (tiges par unité de surface) des résineux entre les inventaires d'après-coupe et ceux effectués 10 ans plus tard, alors que leur distribution (% des quadrats régénérés) augmentait durant la même période.

Les résultats d'un modèle de simulation de l'évolution des peuplements montrent une faible relation entre les résultats obtenus 10 ans après coupe et les rendements projetés à 50 ans pour ces mêmes coupes.

Les extrants du modèle de simulation laissent entrevoir que, comparativement aux peuplements précédents, les rendements projetés des résineux seront probablement plus faibles, la révolution sera plus longue et le nombre de tiges de résineux par cunit plus élevé. Les normes usuelles de régénération fixées à un coefficient de distribution de 60% et à 2500 tiges à l'hectare (1000/ acre) n'assureront pas nécessairement des rendements équivalents, pour les espèces récoltées, à l'âge normal de révolution. Dix ans après la coupe, la structure et la composition du peuplement apparaissent avoir plus de signification sur les projections de rendement que le coefficient de distribution ou la densité.

Dans son état actuel, le modèle de simulation comporte plusieurs limitations fondamentales décrites dans ce rapport. Aussi les extrants du modèle ne doivent pas être considérés comme des prédictions de rendement absolument sûres. Par contre, le modèle, en traitant toutes les données observées de façon consistante et rationnelle, compte tenu des hypothèses et des mécanismes inhérents à son dynamisme, permet d'entrevoir une image probablement plus fidèle de ce que seront ces peuplements, que celle obtenue par l'utilisation des méthodes traditionnelles.

INTRODUCTION

L'utilisation croissante des méthodes mécanisée de récolte des bois à pâte dans les années 60 a amené les aménagistes forestiers, les industriels des pâtes et papiers, de même que les divers organismes gouvernementaux à s'inquiéter de leurs effets sur le milieu. C'est ainsi qu'en 1965, une étude a été entreprise pour évaluer et préciser les effets des procédés et des engins d'exploitation sur la reproduction des peuplements, sur les conditions du sol et les perturbations possibles, sur la pertinence d'installer une régénération artificielle et enfin sur la suffisance du repeuplement naturel.

Les problèmes liés à la mécanisation des exploitations forestières dans l'est du Canada ont fait l'objet de travaux de Weetman (1965, 1966) au tout début de cette vaste étude. On y mentionne trois attitudes concernant la récolte mécanisée des peuplements naturels:

1. «Faisons croître la forêt de manière à ce qu'elle s'adapte aux nouveaux engins afin de minimiser les coûts de récolte dans l'avenir.»
2. «Faisons croître la forêt pour en obtenir un rendement maximum en fibre et concevons des engins qui s'adaptent à la forêt.»
3. «Ce que nous faisons pousser dans les bûchés n'a vraiment aucune importance pourvu qu'on produise beaucoup de matière ligneuse.»

Il est clair qu'aucun de ces raisonnements ne peut être appliqué tel que formulé sans considérer les conditions particulières à une aire donnée. Mais quel que soit le raisonnement retenu, un des trois mentionnés ou tout autre, il y aura toujours nécessité, dans la planification de l'aménagement forestier, de posséder des données précises sur le taux et la nature du repeuplement des superficies coupées. Voilà la raison première de ce travail.

Deux rapports importants ont déjà été publiés sur cette étude. Le premier (Webber *et al.* 1968; voir aussi Arnott 1968a, 1969) en établit les grandes lignes, présente une revue de la littérature pertinente et fournit et analyse des données sur:

- la destruction de la régénération préétablie durant l'exploitation;
- l'état de la surface du sol immédiatement après l'exploitation; et
- d'après le jugement de l'observateur, une idée du sort réservé à la régénération préétablie et une prévision des conditions de la régénération à venir.

Le second rapport d'importance (Weetman, Grapes et Frisque 1973; voir aussi Frisque 1974,

Frisque et Weetman 1974, Weetman et Frisque 1977) présente et analyse des données sur:

- la distribution et la densité de la reproduction avant l'exploitation et son évolution durant les 5 années suivant la coupe;
- la distribution, la densité et la répartition par classe de hauteur et de diamètre de la reproduction de toutes les principales espèces pérennes 5 ans après coupe;
- l'état de la surface du sol immédiatement après coupe comparativement à celui qui prévalait 5 ans plus tard; et
- la survie et la distribution des espèces dans des placettes plantées et ensemencées dans quelques aires d'études.

En outre, le second document va jusqu'à examiner quels seront les effets des résultats obtenus sur l'aménagement de la forêt et propose quelques idées sur les techniques sylvicoles susceptibles d'augmenter les rendements.

Ce troisième rapport a comme objectifs de présenter et d'analyser des données sur:

1. la distribution et la densité de la reproduction de toutes les principales espèces pérennes 10 ans après coupe, par essence et par classe de hauteur et de diamètre;
2. l'importance relative des diverses espèces résineuses et feuillues et des morts-bois; et
3. la composition et le rendement probables du futur peuplement, estimés à partir du «meilleur sujet» parmi la reproduction de 10 ans et du rendement projeté à 50 ans obtenu d'un modèle de simulation de l'évolution du peuplement.

De plus, ce rapport résume, pour les périodes suivant immédiatement la coupe et 5 ans plus tard, les résultats obtenus pour la reproduction, les essais biologiques et l'état de la surface du sol, résultats publiés précédemment en détails. Il étudie les effets généraux de la machinerie utilisée et leurs implications pour l'exploitation, et présente des analyses des normes de distribution et de leur justesse.

Même si des inventaires extensifs de la reproduction après coupe ont été réalisés dans l'est du Canada (Candy 1951, Hosie 1953), ce travail est vraiment la première étude d'envergure dans laquelle et le peuplement forestier et la reproduction ont fait l'objet de relevés avant et après coupe dans quatre provinces différentes, à savoir: la Nouvelle-Écosse, le Nouveau-Brunswick, le Québec et l'Ontario. Toutefois, elle ne doit pas être considérée comme un inventaire, mais plutôt comme un ensemble de cas particuliers.



Planche I. Reproduction résineuse en îlots 10 ans après coupe. Les rendements futurs seront faibles. On peut constater les effets inesthétiques de la coupe à blanc pratiquée sur de vastes étendues.

- A (aire 4): Ancien peuplement d'épinette noire exploité par la méthode des arbres en longueur au moyen de débardeuses à roues. (Ont.)
- B (aire 32): Ancien peuplement de sapin baumier exploité par la méthode des arbres en longueur au moyen de débardeuses à roues. À noter les tiges résiduelles en arrière-plan. (N.-E.)

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Ce projet de recherches a été entrepris à la suite de l'inquiétude manifestée par des forestiers professionnels et des représentants du grand public à l'effet que l'introduction de l'exploitation mécanisée pouvait affecter défavorablement le potentiel des territoires bûchés à produire de nouvelles récoltes de bois (Smithers 1964, Horton 1965, Bjerkelund 1965, Webster 1965, Weetman 1966, Hurd 1968, Ellis et Mattice 1974). Cette inquiétude a pris naissance dans les années 50 lorsque le comité forestier de l'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers s'intéressa au problème des effets de l'exploitation mécanisée sur la reproduction des peuplements. Le comité reconnut les possibilités d'une augmentation significative de la destruction de la régénération préétablie dans les exploitations par coupe à blanc dans l'est du Canada, à la suite de l'introduction de nouveaux procédés d'exploitation mécanisée. Le plus répandu parmi ces procédés utilisait des débardeuses articulées montées sur roues. L'utilisation de ces engins a provoqué un nouveau type de distribution des déchets de coupe, un réseau différent des sentiers et des chemins de débardage, et a augmenté le niveau de perturbation du sol forestier, comparativement aux méthodes de récolte des bois à pâte utilisées jusque-là (Arnott 1968b, Webber et al. 1968, Franklin et De Bell 1972). Après discussions avec les représentants de l'industrie, le thème principal de l'étude s'est orienté vers le scarifiage relié à l'exploitation, la préservation de la régénération préétablie, et la destruction possible des sols fragiles ou la réduction de la fertilité des sols soumis à l'exploitation par arbres entiers. Il fut alors décidé d'établir au plus tôt une série de places d'études intégrées dans un échantillonnage représentatif.

Depuis 1965, le public manifeste un souci plus marqué devant les effets de la coupe à blanc. On a soulevé de nombreuses questions concernant les effets sur le paysage, sur la faune, sur les bassins versants et sur la perte en éléments nutritifs de ce type de traitement appliqué sur de vastes étendues de forêts équiennes (FAO 1962, Shaw 1972, Johnson et al. 1971, Wood 1971, Weetman et Webber 1971, Kimmins 1973, Schultz and Co. Ltd. 1973, Stone 1973, Bormann et al. 1974, Telfer 1974, Bell, Beckett et Hubbard 1975, Julien 1975, Héroux 1975, Kimmins et Krumlik 1976, Kemper et Davis 1976). À la même époque, plusieurs auteurs s'intéressaient aux relations entre l'exploitation et la sylviculture

(Silversides 1966, 1972, Wright 1963, Weetman 1970, Winer 1970, Abeels 1972).

Parmi les principales questions posées dès le début de cette étude, il faut mentionner les suivantes:

1. Le scarifiage provoqué par l'exploitation mécanisée offrira-t-il des lits de germination propices aux résineux et ses effets se feront-ils sentir suffisamment longtemps ?*
2. La régénération préétablie sera-t-elle détruite au point de compromettre la reproduction des peuplements récoltés ?
3. La régénération naturelle sera-t-elle suffisante pour remplacer, si nécessaire, la régénération préétablie détruite par l'exploitation ?
4. Les divers types d'engins ou de procédés d'exploitation auront-ils des effets différents sur la reproduction des peuplements ?
5. S'il y a reproduction, sera-t-elle constituée des espèces désirées, bien distribuées et en quantité suffisante ?
6. Le gros de la reproduction sera-t-il établi avant l'exploitation ou principalement après ?
7. Quelles seront, à un âge donné, la densité et la distribution idéales de la reproduction pour permettre une récolte dans les meilleures conditions à l'âge de révolution ?
8. Quel sera le taux de survie après ensemencement artificiel ou plantation dans les peuplements récoltés mécaniquement ?
9. La compaction du sol et l'érosion constitueront-elles des problèmes significatifs dans les bûchés soumis à divers types de récolte mécanisée ?

Dans ce rapport, on a tenté de répondre, au moins en partie, à toutes ces questions, quelques-unes en détails, d'autres dans une optique plus large.

D'autres questions relatives à l'extraction d'une plus grande quantité de matériel ligneux lors de l'exploitation mécanisée — ce qui pourrait mettre en danger l'équilibre nutritif de la station — ont conduit à une étude particulière sur les procédés de récolte impliquant des arbres entiers. Les résultats n'ont pas indiqué de problèmes graves à l'âge de révolution généralement adopté dans l'est du Canada (Weetman et Webber 1971).

Les réponses à ces questions sont indispensables à un sain aménagement puisque

* Un réviseur était d'avis que même en 1965, il était irréaliste d'attendre un scarifiage adéquat de n'importe quel type d'exploitation mécanisée. À cette époque, toutefois, la discussion était ouverte.

la reproduction constitue la phase initiale de l'évolution d'un peuplement depuis son établissement jusqu'à maturité. De plus, la délicate phase de reproduction est particulièrement sensible à toute perturbation subite de l'environnement. C'est pourquoi, dans ce travail, la reproduction est abordée, dans la mesure du possible, en relation avec un procédé d'exploitation bien défini. Holt (1948) a fait montre d'un bon sens évident en écrivant que dans la terminologie sylvicole, la coupe à blanc est une variante des coupes de reproduction. Il continue en soulignant que dans les pays aux vastes étendues boisées encore vierges, la reproduction semble revêtir une importance secondaire tant et aussi longtemps que la ressource forestière demeure en apparence illimitée; la coupe à blanc est alors considérée comme une coupe définitive. Il semble qu'aujourd'hui nous devrions redonner à la coupe à blanc la place qui lui était réservée, c'est-à-dire la considérer, du moins en partie, comme un moyen de reproduire les peuplements forestiers. Pour y arriver, il faudra imposer certaines contraintes aux opérations de récolte.

Avant tout, ce travail a été planifié pour récolter des données précises sur la nature et le taux du repeuplement naturel qui s'établit après une exploitation mécanisée dans des peuplements nordiques équiennes résineux ou mélangés. Sachant qu'il serait également très utile d'obtenir des informations sur quelques incidences sylvicoles de la récolte mécanisée, on a effectué des projections à l'âge de 50 ans, à partir des données disponibles, soit celles obtenues jusqu'à 10 ans après coupe. La projection des résultats de la reproduction de tous les bûchés suivant les mêmes «règles» permet une comparaison qualitative des effets probables de l'exploitation mécanisée, même si les valeurs réelles des rendements projetés peuvent être incertaines.

MÉTHODES

Établissement et inventaire des places d'études

Après discussions et examen du problème, il a été établi qu'une étude globale des exploitations mécanisées n'était pas réalisable. Trop de variables (telles les différences dans les espèces, les niveaux des coefficients de distribution, les types d'engins, le comportement des opérateurs et les conditions particulières des stations) influencent le niveau final de distribution des espèces et les conditions du sol

après l'exploitation pour permettre une vue d'ensemble du problème de la régénération dans tout l'est du Canada. On a pensé qu'il serait préférable de décrire, à l'aide de cas particuliers, l'éventail de difficultés et d'avantages occasionnés par l'introduction d'équipement mécanisé d'exploitation. Étant donné que les chercheurs devaient compter beaucoup sur l'aide et sur les avis des compagnies participantes, ce sont ces dernières qui ont arrêté le choix des combinaisons de procédés d'exploitation et de types forestiers à étudier.

C'est à la suite de rencontres avec des représentants des divers groupes participants en 1965, que la Compagnie internationale de papier du Canada entreprit les travaux cette année-là. Au cours de la même année, des aires d'observation furent établies par l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers et, plus tard, par le Service canadien des forêts en collaboration avec plusieurs compagnies forestières. Au total, 37 aires d'études (voir la liste à l'annexe 2) furent établies à travers l'est du pays, en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick, au Québec et en Ontario. Malgré les efforts visant à obtenir un large éventail des diverses conditions de peuplements dans tout l'est du Canada (figure 1), il importe de souligner que cette étude n'a jamais été considérée comme un inventaire; en conséquence, les places d'études choisies ne sont pas sensées représenter des conditions moyennes.

On n'a retenu dans le cadre de cette étude que les aires présentant une régénération préétablie abondante et susceptible de constituer la base de la reproduction du peuplement. Cette exigence mise à part, toutes les aires choisies étaient représentatives des superficies coupées à blanc de façon souvent extensive. La coupe a été effectuée par les compagnies de pâtes et papiers, sur les terres de la Couronne concédées par les gouvernements provinciaux. L'objectif consistait à récolter tous les bois à pâte d'épinette, de sapin et de pin jusqu'à un diamètre de 4 pouces (10 cm) au fin bout et ce, au coût le plus bas possible. Toutes les opérations de récolte furent exécutées alors qu'il n'y avait pas de neige au sol. L'étude porta sur diverses méthodes d'exploitation, incluant une gamme presque complète d'équipement depuis les chevaux et les petites débardeuses légères à roues jusqu'aux engins de récolte lourds à chenilles. Plus précisément, les procédés d'exploitation suivants ont été étudiés: méthode par arbres entiers avec abatteuse multi-fonctionnelle Beloit et débardeuses à roues; méthode par arbres en longueur avec

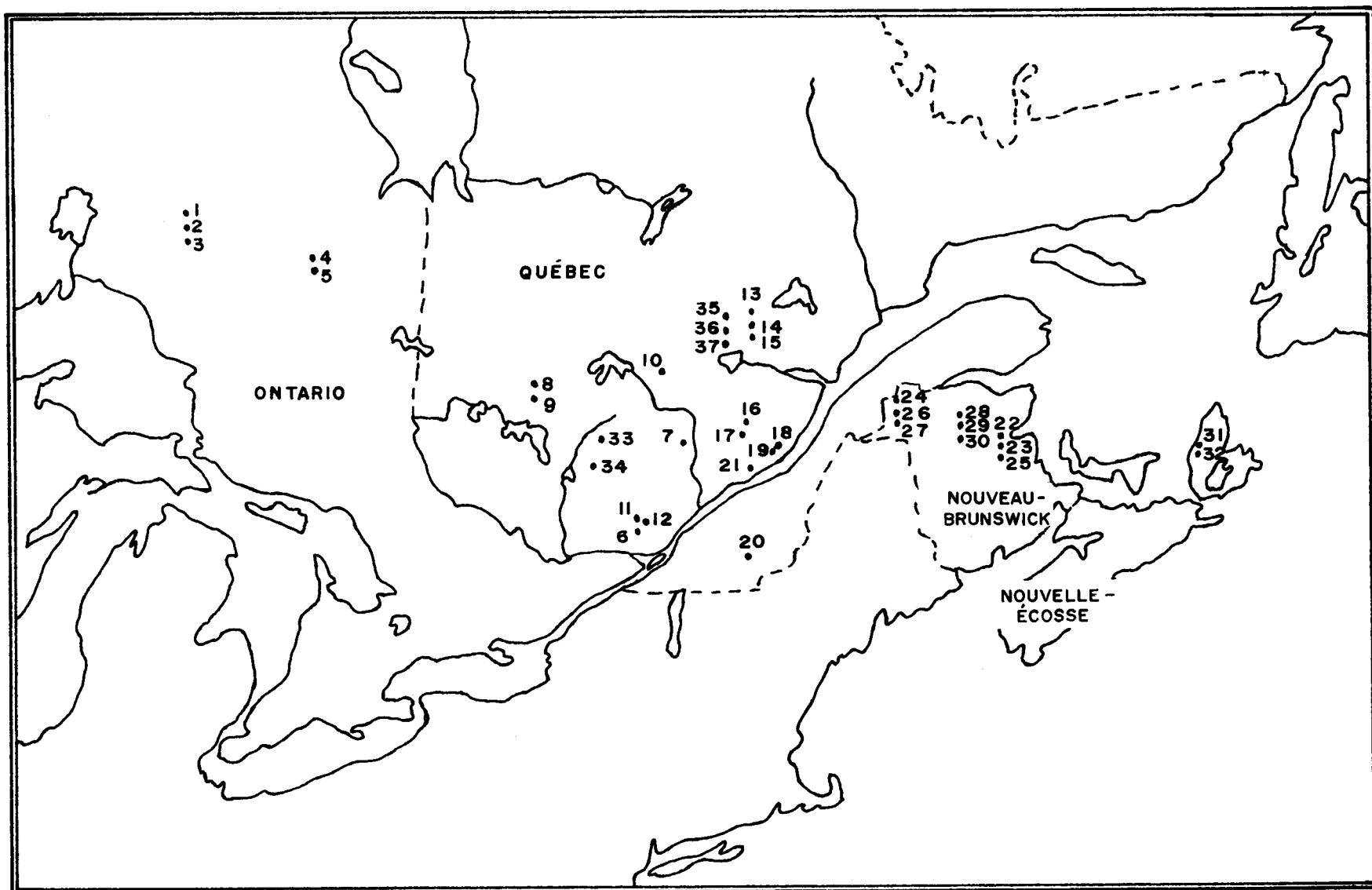


Fig. 1. Localisation des aires d'études.

débardeuses à roues et J-5; billes de 16 pieds (4.8 m) tirées par des chevaux ou débusquées au moyen de câbles; rondins de 8 pieds (2.4 m) avec transporteuses à roues; rondins de 4 pieds (1.2 m) débardés au moyen de traîneaux tirés par des chevaux. Des peuplements d'épinette noire sur stations sèches, d'épinette noire sur stations humides, de sapin baumier, de pin gris et des peuplements mélangés constituaient les principaux types de couvert forestier.

On n'a pris aucune mesure particulière, lors de l'exploitation, pour épargner la régénération préétablie, ni pour modifier la largeur des déblaiements de chemins, de jetées et de sentiers de débardage à des fins sylvicoles ou de recherches. L'état des chemins et des jetées n'entre pas dans le cadre de ce rapport. Sauf une pulvérisation aérienne d'un herbicide à base d'auxines pour enrayer les aulnes dans les places d'études 4 et 5, aucun traitement susceptible d'augmenter les rendements futurs n'a été entrepris dans aucune aire d'observation.

Une place d'études (no 21) était située dans une coupe d'éclaircie et a été exclue de ce rapport. Quelques aires ont été soumises à des arrosages contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Dans le choix d'une méthode d'évaluation des effets de l'exploitation mécanisée dans divers types de forêts selon divers procédés d'exploitation, on a tenu compte des critères suivants: (a) la superficie minimum caractéristique d'une combinaison couvert forestier-méthode d'exploitation devait être d'au moins 4 acres (1.6 ha) et même plus grande chaque fois que possible; (b) dans la mesure du possible, deux méthodes d'exploitation différentes devaient être comparées dans des aires adjacentes présentant les mêmes conditions de forêt; (c) un dénombrement devait être effectué de toutes les tiges supérieures à 1 pouce (2.5 cm) de diamètre aussi bien avant qu'après coupe. De plus, on effectuait des relevés de régénération avant et après coupe afin d'en déterminer la densité et la distribution. On a estimé qu'au moins 200 quadrats d'un millième d'acre* étaient nécessaires pour évaluer de façon précise le coefficient de distribution de la régénération sur une aire donnée; (d) on devait faire une classification des conditions de la surface du sol et des déchets de coupe, à la suite de l'exploitation, sur au moins 400 placettes réparties à travers toute l'aire; (e) autant que possible, des essais biologiques devaient être effectués afin d'évaluer les conditions créées à

la surface du sol par l'exploitation. Ces essais consistaient à ensemer et à planter divers secteurs du bûché.

L'inventaire de tous les arbres de valeur marchande du peuplement avant et immédiatement après coupe fut réalisé au moyen de 20 places-échantillons permanentes carrées de 1/10 d'acre (400 m²) systématiquement réparties, et d'une bande de 10 quadrats contigus d'un millième d'acre par place-échantillon. On évalua la reproduction et l'état du sol dans les mêmes quadrats, avant coupe, immédiatement après, puis 5 et 10 ans plus tard. La localisation des places-échantillons et des quadrats fut clairement identifiée sur le terrain de telle sorte qu'ils puissent être retrouvés après 10 ans. La figure 2 montre l'agencement des places-échantillons et des quadrats.

Des essais pour établir un rapport entre le nombre de passages d'un engin et la nature des perturbations causées au sol se sont avérés sans succès. Il n'a pas été davantage possible de déterminer la proportion de régénération préétablie coupée par les scies mécaniques et la proportion détruite par le matériel d'exploitation. Par ailleurs, on n'a réussi à comparer diverses méthodes d'exploitation, dans des conditions forestières identiques, que dans quelques rares cas. Ceci s'est produit lorsque deux types d'engins étaient à l'oeuvre en même temps à partir d'un même camp d'exploitation.

Un système de classification de l'état de la surface du sol basé sur quatre paramètres principaux a été mise au point par D.M. Mc Lean, alors qu'il était à l'emploi de la Compagnie internationale de papier du Canada. Les paramètres utilisés étaient: 1) le type de couverture du sol, 2) l'indice d'ombrage, 3) les perturbations à la surface du sol dans les traces d'engins, 4) les perturbations à la surface du sol en dehors des traces d'engins. À partir des conditions du sol dans 400 points d'échantillonnage (localisés dans les quadrats d'un millième d'acre et dans les places-échantillons d'essai biologique), on détermina le pourcentage de la superficie appartenant à chacune des classes et sous-classes. Ces superficies furent alors regroupées dans des catégories de perturbation, identifiées par des termes comme «élevé», «moyen», «bas», «profond» et «léger».

La classification de l'état du sol fut modifiée lors des relevés de 5 et de 10 ans après coupe, à mesure que se présentaient de nouvelles conditions. Certes, cette classification est subjective, mais elle n'a été appliquée que par un seul observateur et fournit donc des données

* Un quadrat d'un millième d'acre est un carré de 6.6 pieds × 6.6 pieds, équivalent à 0.001 acre ou 4 m².

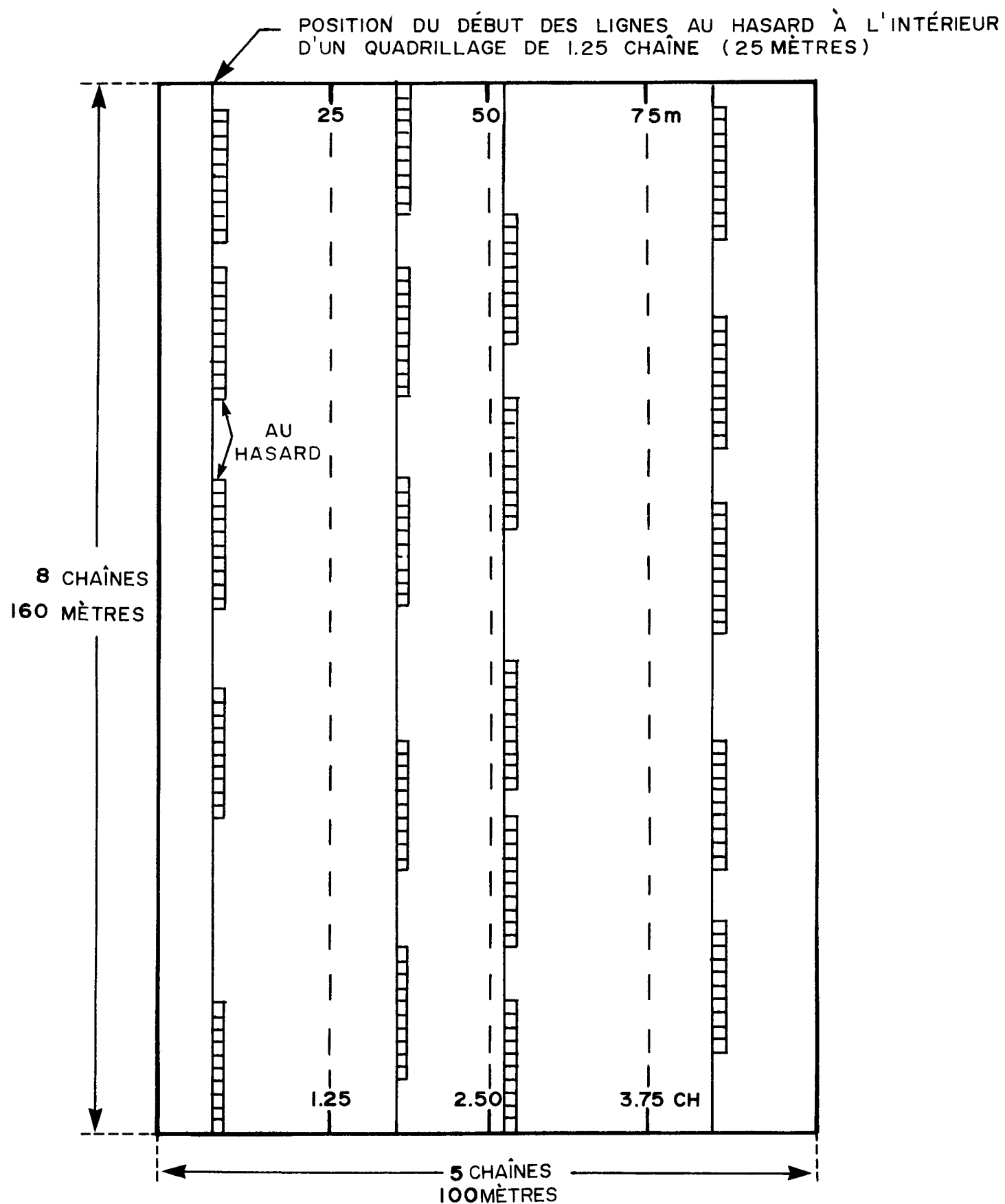


Fig. 2. Agencement des places-échantillons et des quadrats.

comparables dans les différentes places d'études. On a procédé à la classification de l'état de perturbation du sol dans chacun des 200 quadrats de chaque aire d'observation. Une description complète de la méthode de classification utilisée se retrouve dans Weetman, Grapes et Frisque (1973).

Pour chaque aire d'observation on a préparé, lors du premier inventaire après coupe, une carte montrant la localisation des places-échantillons et le réseau de sentiers de débardage. On en trouve un exemple à la figure 3.

Dans chaque quadrat, on a noté la présence ou l'absence des tiges de reproduction par espèce et par classe de hauteur ou de diamètre*. On a calculé le nombre de tiges, par espèce et par classe de diamètre, dans le premier des 10 quadrats consécutifs de chaque série. Les chiffres obtenus ont été multipliés par 50 pour ramener la densité en nombre de tiges à l'acre. Dans les neuf autres quadrats de chaque série, la présence de chaque espèce a été enregistrée par classe de hauteur et de diamètre. Tenant compte maintenant des 10 quadrats et d'un facteur de conversion de 5, on a calculé un coefficient de distribution exprimé en pourcentage de la superficie à l'acre occupée par une espèce donnée. Tout quadrat contenant au moins un semis, un drageon, une marcotte, ou un rejet dans quelque classe de hauteur ou de diamètre que ce soit, était considéré comme boisé pour l'espèce en question.

À partir des diverses classes de l'état du sol et du relevé de la régénération dans les placettes d'un millièème d'acre, on a procédé, lors du premier échantillonnage après coupe, à une estimation de la survie probable de la régénération préétablie. Dans chacune des trois classes conséquemment déterminées, la proportion de la distribution totale donnait une estimation du nombre d'arbres destinés à survivre dans une classe donnée. Il est intéressant de noter que, malgré l'expérience des équipes d'inventaire, des différences significatives sont apparues entre les prévisions de survie établies un an après coupe et le pourcentage de survie observé après 5 ou 10 ans. Ceci montre bien à quel point il est difficile de prévoir l'évolution future de la reproduction forestière moins de 5 ans après la coupe.

* Les cinq classes de hauteur et les trois classes de diamètre étaient les suivantes: 0 à 6 pouces, 6 pouces à 1.5 pied, 1.5 à 2.5 pieds, 2.5 à 3.5 pieds, 3.5 à 4.5 pieds de hauteur; et 1, 2 et 3 pouces de diamètre. Dans le système international d'unités, ceci représente: 0 à 15 cm, 15 à 45 cm, 45 à 75 cm, 75 à 100 cm, 100 à 135 cm de hauteur; et 2.5, 5 et 7.5 cm de diamètre.

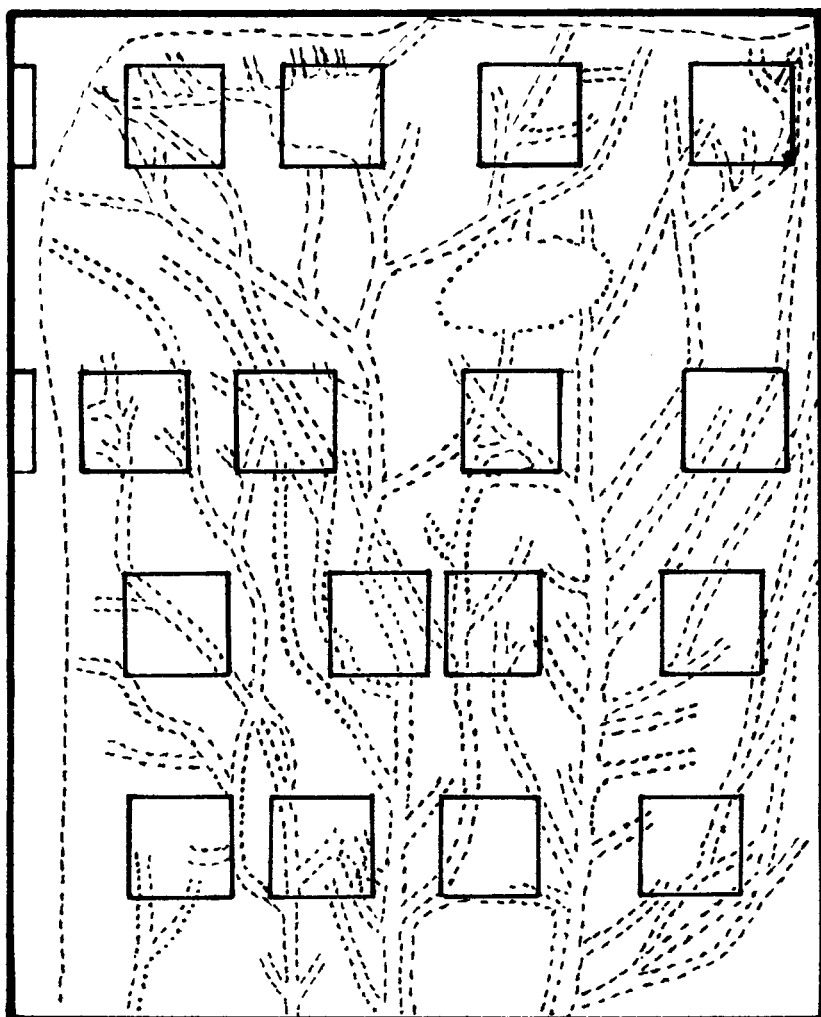
Les remesurages de 5 et 10 ans tenaient compte de la fréquence, de la présence et de la densité de toutes les espèces ligneuses, en plus des essences résineuses commerciales. Les données recueillies furent perforées sur des cartes IBM et des programmes d'ordinateurs furent élaborés pour obtenir de chaque remesurage: 1) la fréquence de présence (coefficient de distribution) et la densité par classe de hauteur et de diamètre pour toutes les espèces; 2) la fréquence de présence de chacune des principales classes de l'état du sol; 3) le coefficient de distribution dans les placettes ensemencées et le pourcentage de survie de celles qui furent plantées lors des essais biologiques. On utilisa de plus, lors de l'inventaire de 10 ans, la technique du «meilleur sujet». Cette technique signifie que «lorsque plus d'une tige de reproduction se retrouve à l'intérieur d'un quadrat, la tige que l'estimateur considère la plus susceptible de survivre et d'atteindre la maturité est inscrite comme le meilleur sujet de reproduction» (Olson et Bay 1955). En outre, tout arbre choisi comme «meilleur sujet» devait satisfaire aux exigences suivantes: a) pouvoir vivre plus de 50 ans, b) être adapté à la station, c) être l'un des plus hauts au moment du relevé de 10 ans, d) ne présenter aucune maladie, insecte, ou cassure, e) ne pas avoir un système racinaire visiblement défectueux et finalement, f) être d'une espèce susceptible de former naturellement plus de 25% du peuplement adulte. Là où aucune espèce de valeur commerciale ne rencontrait ces exigences, ou bien le quadrat était classifié comme n'ayant aucun «meilleur sujet» ou bien l'espèce dominante parmi les morts-bois (ex. érable à épis, cerisier de Pennsylvanie, sorbier, aulne blanc, saule ou coudrier) était enregistrée comme le «meilleur sujet».*

Dans les tableaux synthèses, les meilleurs sujets, tels que notés sur les feuilles de pointage, furent regroupés pour chaque aire d'observation en trois classes, à savoir, résineux, feuillus et morts-bois.

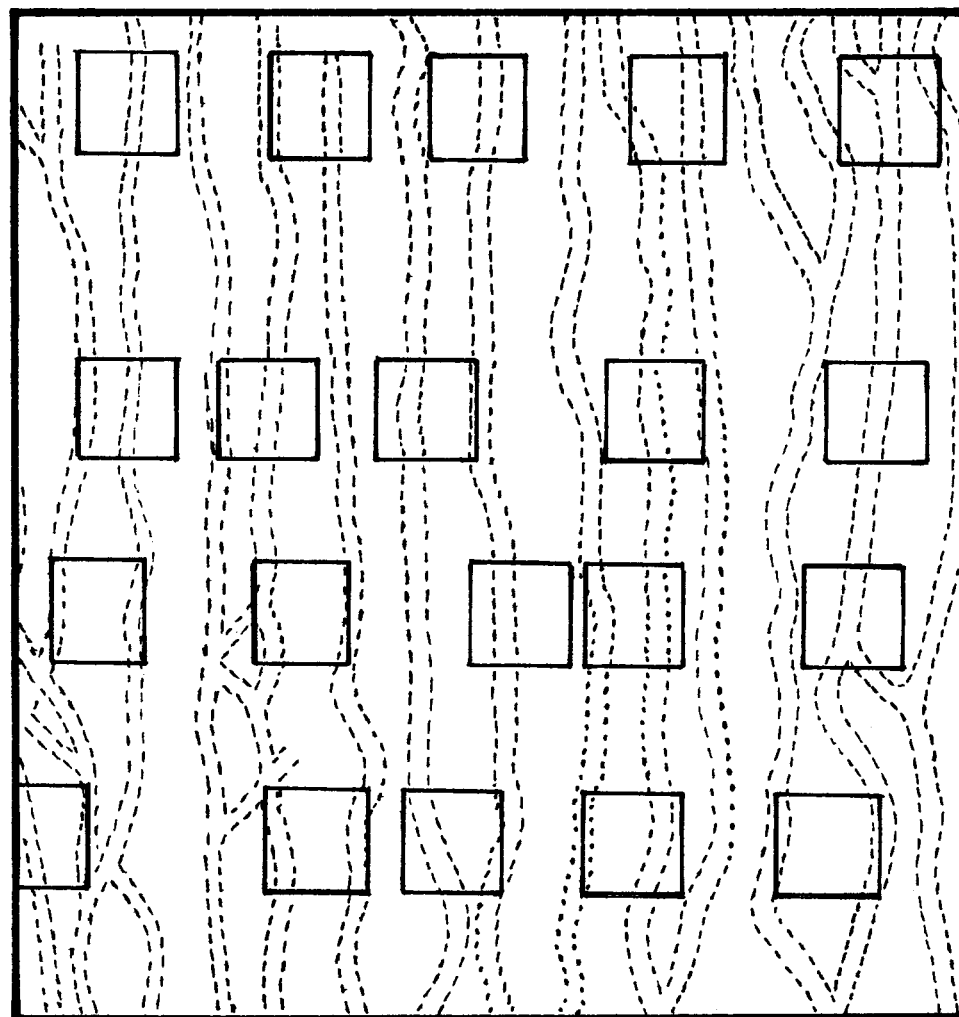
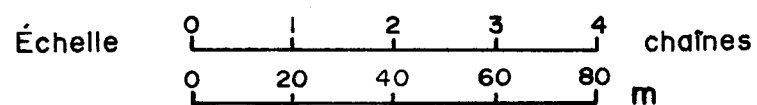
Des diapositives couleur et des photographies en noir et blanc furent prises à chaque remesurage et approximativement aux mêmes endroits.

Comme il avait été établi, au début de cette étude, qu'il est préférable, pour des raisons d'exploitation à l'âge de révolution, d'avoir entre

* On trouvera à l'annexe 1 les symboles utilisés dans les graphiques et les tableaux pour les diverses espèces, accompagnés de leur désignation scientifique et de leur appellation française et anglaise.



BOIS EN LONGUEUR, DÉBARDEUSE À ROUES



4 PIEDS, COUPE ET EMPILEMENT, EMPILEMENTS
TRANSPORTÉS PAR DÉBARDEUSE À ROUES
(PACK RACKING)

Fig. 3 Cartes des bûchés montrant le réseau de sentiers de débardage ainsi que la localisation des places-échantillons.

600 et 1,000 tiges bien réparties à l'acre (1,500 à 2,500/ha) à l'âge de 5 ans, et puisque d'autre part la majorité des peuplements étudiés étaient composés d'espèces résineuses tolérantes, on a considéré que 1,000 tiges à l'acre (2,500/ha) constituaient le nombre minimum pour qualifier d'acceptable la densité de la reproduction. Par ailleurs, les normes de distribution de Candy (1951), fondées sur la même hypothèse, c'est-à-dire 1,000 tiges à l'acre (2,500/ha), furent utilisées pour évaluer le coefficient de distribution. Ces normes sont les suivantes.

Coefficient de distribution:

de 80 à 100%:	complètement boisé
de 60 à 79%:	bien boisé
de 40 à 59%:	modérément boisé
de 20 à 39%:	sous-boisé
moins de 20%:	échec

Essais biologiques

Dans les aires d'études établies par l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers, on a tenté d'évaluer l'effet biologique créé sur le sol par les exploitations. Dans chacune des aires d'études, on a donc établi le long des lignes de placettes d'un millièmètre d'acre, jusqu'à 400 groupes de 3 petites placettes d'un chaînon carré (400 cm²). Chaque groupe comprenait 3 carrés d'un chaînon (20 cm) de côté: le premierensemencé de 100 graines d'épinette noire ou de pin gris; le second planté d'un semis en godet de plastique (Ontario 9/16 de pouce (1.4 cm) de diamètre) d'épinette noire ou de pin gris âgé de 9 mois, cultivé en serre au cours de l'hiver précédent; et le dernier utilisé comme témoin. On n'a pas installé de groupes de placettes dans les trous d'eau, sur le roc ou dans les endroits où les déchets de coupe étaient trop épais, et l'on n'a effectué aucune préparation du terrain. Le taux d'ensemencement utilisé équivalait à 100,000 graines à l'acre (250,000/ha).

Modèle de simulation du peuplement jusqu'à l'âge de 50 ans

Dans un effort pour fournir une estimation des rendements projetés des 36 bûchés étudiés dans l'est du pays, il fut décidé de développer un modèle mathématique d'évolution des bûchés. Le modèle fut conçu pour projeter l'évolution du peuplement depuis un âge initial et jusqu'à un âge final déterminés, pour une grande variété de peuplements à couvert d'épinette noire, de sapin baumier, de pin gris ou mélange n'ayant subi aucun traitement sylvicole avant ou après l'exploitation.

L'annexe 3 montre un diagramme simplifié du programme d'ordinateur (figure 15) et un sommaire du modèle d'évolution du peuplement.

CADRE DE L'ÉTUDE

Cette étude n'a jamais été et ne doit pas être considérée comme un inventaire des conditions de reproduction après coupe dans l'est du Canada. Elle constitue plutôt un ensemble de cas particuliers volontairement biaisés, en ce sens que les peuplements choisis présentaient une abondante régénération préétablie avant coupe. L'étude comporte des exemples de peuplements naturels non aménagés dans lesquels une reproduction naturelle était établie avant l'exploitation, en quantité suffisante pour assurer une seconde récolte, assumant qu'elle ne serait pas détruite par l'exploitation et qu'elle pourrait surmonter la compétition. Dans toutes les aires d'études, la récolte s'est effectuée durant l'été et l'automne, alors que le sol n'était ni gelé, ni couvert de neige. La possibilité d'endommager la régénération préétablie était plus grande que lors des exploitations hivernales, mais par contre, il y avait de meilleures chances que de bons lits de germination soient créés en raison du va-et-vient des engins d'exploitation sur les parterres de coupe. Puisqu'un des principaux objectifs de l'étude était précisément d'étudier les effets destructeurs du matériel d'exploitation sur la régénération préétablie, les deux biais (à savoir l'abondante régénération préétablie et les exploitations estivales seulement) étaient logiques et nécessaires. Ceci veut dire aussi que les résultats obtenus sont biaisés dans un sens favorable à la reproduction et que les valeurs moyennes extraites de ce rapport donnent des résultats plus optimistes que ceux que l'on obtiendrait à partir de valeurs représentatives de l'ensemble des bûchés. On peut raisonnablement prétendre qu'un travail identique exécuté dans des peuplements moins bien pourvus en régénération préétablie donnerait de moins bons résultats en termes de densité et de distribution de la reproduction en résineux.

On peut aussi poser l'hypothèse que si l'on avait pris certaines précautions en vue de protéger la régénération préétablie lors de la coupe ou de l'exploitation, les résultats auraient été, dans certains cas, meilleurs qu'ils ne le sont.

Il faudrait en outre préciser que l'introduction de nouveaux engins ou procédés

d'exploitation autres que ceux considérés dans ce rapport peut entraîner des effets différents sur la régénération préétablie et sur la reproduction des peuplements. L'utilisation d'ébrancheuses à chaînes à travers tout un bûché peut détruire la plus grande partie de la régénération préétablie. De même, de nouvelles techniques de récolte peuvent avoir des effets très néfastes sur la régénération préétablie. Par exemple, une abatteuse actuellement à l'état de prototype fonctionne à l'image d'une moissonneuse agricole, coupant sur son passage toutes les tiges par bandes successives. Un tel engin a un effet destructeur immédiat sur la reproduction puisque presque toute, sinon toute, la régénération préétablie dépassant la hauteur de la souche peut être anéantie.

Cadre du modèle

Le modèle de peuplement utilisé dans cette étude — à l'instar de tout modèle — comporte des limites explicites dans sa précision, son étendue et son reflet de la réalité. Ces restrictions résultent de la structure particulière et de la nature des fonctions mathématiques utilisées — encore une fois comme avec tout modèle. Comme le précise l'annexe 3, le modèle tente une projection dynamique logique et acceptable, jusqu'à l'âge de 50 ans, de la reproduction actuelle dans chaque aire d'étude. Les limites du modèle, également expliquées à l'annexe 3, signifient que ces projections devraient être interprétées avec précaution. Ce ne sont pas des tables de rendement et leurs valeurs absolues demeurent incertaines. Malgré tout et en dépit de ces contraintes, le modèle fournit une image intéressante de la dynamique de l'évolution du peuplement dans les cas étudiés, s'attardant sur des problèmes qui ne sont souvent qu'effleurés et qui méritent des études plus poussées.

RÉSULTATS

Régénération préétablie avant et après coupe

Puisque dans les aires étudiées, la récolte était limitée aux bois à pâte, la plupart des arbres de dimensions commerciales (4 pouces (10 cm) et plus au d.h.p.) ont été coupés; les seuls arbres laissés sur pied étaient les feuillus, les résineux non-commerciaux et la régénération préétablie.

L'annexe 4 indique le nombre de tiges et les coefficients de distribution de la régénération préétablie immédiatement avant et après coupe pour chaque aire d'étude et pour l'épinette, le sapin et les essences feuillues, à savoir le peuplier faux-tremble, le bouleau à papier, l'érable rouge, l'érable à sucre, le sorbier, le cerisier de Pennsylvanie, le frêne blanc, le hêtre, le saule et l'aulne blanc. En réalité, ce sont le peuplier faux-tremble et le bouleau à papier qui constituaient les trois quarts des espèces feuillues.

Le nombre de tiges de régénération préétablie était toujours considérable dans le peuplement avant coupe, puisqu'il s'agissait là d'un pré-requis dans le choix des aires d'études. Même si celles-ci étaient caractérisées par des peuplements de résineux à pâte, on a observé dans quelques-unes d'entre elles (no 1, 3, 4, 5, 19, 21 et 23 à l'annexe 4), un nombre particulièrement élevé de tiges de régénération préétablie feuillue.

La destruction de la régénération préétablie à la suite de l'exploitation peut être évaluée à partir des relevés avant et après coupe, en fonction des essences, des méthodes d'exploitation, de la composition du peuplement avant coupe ou de la densité de la régénération préétablie.

Le sapin baumier constituait l'espèce la plus abondamment représentée dans la régénération préétablie, aussi bien avant qu'après coupe (tableau 1). Si la régénération était très considérable avant coupe (plus de 100,000 tiges à l'acre (250,000/ha)), l'exploitation en a détruit 80%, laissant quelque 25,000 tiges à l'acre (62,000/ha) de régénération préétablie immédiatement après coupe.

Lorsque le sapin baumier se retrouvait en densité moyenne (c'est-à-dire autour de 20,000 tiges à l'acre (50,000/ha) dans le peuplement avant coupe), la destruction atteignait 58%, laissant environ 8,500 tiges à l'acre (21,000/ha) après coupe; ce qui est considéré comme

Tableau 1: Diminution du nombre de tiges de régénération préétablie en fonction des essences et de la densité initiale

Régénération préétablie prédominante	Densité avant coupe	Nombre d'aires d'études	Avant coupe		Après coupe		% des tiges détruites
			Tiges/acre	Tiges/hectare	Tiges/acre	Tiges/hectare	
SAPIN BAUMIER	MOYENNE (~20,000 tiges/a) (49,000 tiges/ha)	22	20,228	50,000	8,443	20,900	58
	ÉLEVÉE (~100,000 tiges/a) (247,000 tiges/ha)	4	133,481	330,000	26,381	65,200	80
	FAIBLE (~500 tiges/a) (1200 tiges/ha)	6	316	780	184	450	61
	Total et moyennes	32	30,651	75,700	9,125	22,500	70
ÉPINETTE	MOYENNE (~5,000 tiges/a) (12,000 tiges/ha)	22	5,035	12,400	1,271	3,100	75
	ÉLEVÉE (~25,000 tiges/a) (62,000 tiges/ha)	4	26,610	65,800	6,008	14,800	77
	FAIBLE (~250 tiges/a) (620 tiges/ha)	7	257	640	93	230	64
	Total et moyennes	33	6,636	16,400	1,595	3,900	76
FEUILLUS	MOYENNE (~5,000 tiges/a) (12,000 tiges/ha)	14	4,544	11,200	1,742	4,300	62
	ÉLEVÉE (~25,000 tiges/a) (62,000 tiges/ha)	2	22,350	55,200	15,475	38,200	31
	FAIBLE (~250 tiges/a) (620 tiges/ha)	12	245	600	48	120	80
	Total et moyennes	28	3,973	9,800	1,997	4,900	50

suffisant pour assurer une reproduction du peuplement quantitativement acceptable.

La densité de la régénération préétablie en épinette noire n'atteignait que le quart de celle du sapin baumier, c'est-à-dire environ 5,000 tiges à l'acre (12,000/ha) avant coupe, et le pourcentage de destruction dû à l'exploitation était supérieur. Ceci peut s'expliquer par le fait que la majorité de la régénération en épinette consiste en marcottes dont plusieurs ont dû être enlevées par le bûcheron pour faciliter l'accès aux arbres à couper. Cela explique aussi le pourcentage de destruction relativement stable de cette espèce, environ

75%, sauf dans les classes de densité très faible (moins de 250 tiges à l'acre (620/ha) avant coupe). La densité moyenne de la régénération préétablie en épinette noire variait, après coupe, entre 1,000 et 1,500 tiges à l'acre (2,500 et 3,700/ha). La destruction de la régénération préétablie en feuillus présentait une tendance à l'opposé de celle des résineux. En effet, c'est lorsque la densité était faible (moins de 250 tiges à l'acre (620/ha) avant coupe) que la destruction était la plus marquée (80%) alors que les plus faibles dégâts (31% de destruction) sont apparus alors que la densité en feuillus était particulièrement élevée (plus

de 25,000 tiges à l'acre (62,000/ha) avant coupe). L'explication se trouve dans le type d'exploitation (récolte de bois à pâte) selon lequel les îlots naturels de feuillus sont généralement laissés intacts sur le parterre de coupe.

Malgré la variation considérable dans le nombre de places d'études relié à chaque procédé d'exploitation, on a quand même tenté d'établir une relation entre la destruction de la régénération préétablie et le procédé utilisé (tableau 2).

Le procédé d'exploitation le moins dévastateur pour la régénération préétablie a été le débusquage par câbles (34% des tiges détruites). Parmi les autres procédés, les seuls qui ont détruit moins de 50% de la régénération préétablie en nombre de tiges à l'acre ont été l'exploitation en 8 pi. (2.4 m) avec transporteuses à roues et la coupe en rondins de 4 pi. (1.2 m) avec traîneaux tirés par des chevaux. Les procédés d'exploitation les plus répandus, à savoir par arbres en longueur et par arbres entiers, tous deux avec débardeuses, ont réduit de 72% et 76% respectivement le nombre de tiges de régénération préétablie en résineux. L'augmentation des dégâts attribuable au procédé par arbres entiers était faible. L'échantillonnage réalisé pour les autres procédés étudiés (abatteuse multi-fonctionnelle Beloit, arbres en longueur avec J-5, et 16 pi. (4.8 m) débardage avec chevaux) était trop faible pour tirer des conclusions significatives. Toutefois, on peut raisonnablement croire que ces procédés détruiraient eux aussi une forte proportion de la régénération préétablie.

Si l'on considère la destruction de la régénération en termes de distribution plutôt qu'en nombre de tiges, les résultats sont passablement différents (tableau 2 et annexe 4). Les procédés les plus destructeurs en termes de densité ont également eu les pires effets sur la distribution de la régénération préétablie. Toutefois, la diminution de la distribution a été plus uniforme, quelle qu'ait été la méthode d'exploitation utilisée. Elle variait, dans le cas des résineux, d'une diminution de 63% du coefficient de distribution pour un procédé très dévastateur utilisant l'abatteuse multi-fonctionnelle Beloit sur terrain marécageux, à seulement 11% lors du débusquage par câbles. Les procédés d'exploitation les plus courants (arbres en longueur ou arbres entiers avec débardeuses) ont réduit la distribution des résineux de 27% et 20% respectivement. Il est intéressant de noter que, selon les résultats obtenus dans deux

aires d'études, la coupe par bandes (avec des transporteuses et des billes de 8 pi. (2.4 m)) a détruit deux fois plus de régénération préétablie (aussi bien en densité qu'en distribution) que le même procédé d'exploitation utilisé lors des coupes à blanc normales.

Si l'on considère la destruction de la régénération préétablie en termes de réduction de la distribution par espèces, les résultats sont étonnamment uniformes, quel que soit le groupe d'espèces ou la distribution initiale (tableau 3). En effet, la réduction de la distribution après l'exploitation variait entre 20% et 25%, sauf dans quelques cas où le coefficient de distribution avant coupe était très faible (20% pour l'épinette et les feuillus et 40% pour le sapin baumier) et alors la distribution après coupe n'était jamais réduite de plus de 10%.

La distribution de la régénération préétablie en sapin baumier avant et après coupe était beaucoup plus élevée que celle de l'épinette ou des feuillus et les chances de rencontrer un peuplement complet en régénération préétablie étaient de beaucoup supérieures avec le sapin baumier qu'avec toute autre espèce (tableau 3).

La figure 4 montre la relation entre les densités du peuplement avant et après coupe et le pourcentage de survie de la régénération préétablie. Aucune place d'études n'a présenté un taux de survie de 100%; dans la plupart des cas, ce pourcentage était inférieur à 50% et dans certaines aires, il n'atteignait que 20%. La diminution en densité de la régénération préétablie est probablement désirable dans les peuplements très denses de sapin baumier, bien que la distribution des tiges restantes tende à être inégale. Sans égards à la distribution, presque toutes les aires offraient au moins 1,000 tiges à l'acre (2,500/ha) immédiatement après l'exploitation. Les aires exploitées par la méthode des arbres en longueur (20 sur 33) avaient en moyenne 7,200 tiges résineuses à l'acre (17,800/ha) après coupe.

Puisque la plupart des aires d'observation étaient constituées de peuplements résineux à maturité ou surannés, soumis à une coupe à blanc, on retrouvait peu d'arbres résiduels après l'exploitation. Lorsqu'il restait des tiges sur pied, il s'agissait de gros feuillus, principalement du bouleau à papier et du peuplier faux-tremble, et de petits résineux (moins de 5 pouces (13 cm) au d.h.p.), comme il se produit généralement dans la plupart des exploitations de bois à pâte dans l'est du Canada.

**Tableau 2: Densité et distribution moyennes de la régénération
préétablie avant et après coupe en fonction des procédés
d'exploitation utilisés.**

Procédé d'exploitation	Nombre d'aires d'études	Avant coupe			Après coupe			Tiges détruites (%)	Diminution de la distribution (%)
		Tiges/ acre	Milliers de tiges/ha	Distribution (%)	Tiges/ acre	Milliers de tiges/ha	Distribution (%)		
ABATTEUSE MULTI- FONCTIONNELLE BELOIT									
Résineux	1	9,900	24.5	96	420	1.0	33	96	63
Feuillus		120	0.3	15	0	0	1	100	14
Total		10,020	24.8	99	420	1.0	34	96	65
ARBRES EN LONGUEUR, J-5	1								
Résineux		114,056	281.8	100	21,979	54.3	66	81	34
Feuillus		240	0.6	10	0	0	0	100	10
Total		114,296	282.4	100	21,979	54.3	66	81	34
16 pi (4.8 m) DÉBARDAGE AVEC CHEVAUX	2								
Résineux		4,100	10.1	75	800	2.0	37	80	38
Feuillus		3,650	9.0	69	1,350	3.3	32	63	37
Total		7,750	19.1	96	2,150	5.3	54	72	42
ARBRES ENTIERS, DÉBARDEUSES	2								
Résineux		138,908	343.2	100	33,106	81.8	80	76	20
Feuillus		5,684	14.0	53	1,320	3.3	9	77	44
Total		144,592	357.3	100	34,426	85.1	89	76	11
ARBRES EN LONGUEUR, DÉBARDEUSES	20								
Résineux		25,607	63.3	85	7,258	17.9	58	72	27
Feuillus		4,022	9.9	30	2,182	5.4	22	46	8
Total		29,629	73.2	94	9,440	23.3	73	68	21
4 pi (1.2 m) TRAINEAUX ET CHEVAUX	3								
Résineux		48,417	119.6	97	24,367	60.2	85	50	12
Feuillus		850	2.1	26	133	0.3	3	84	23
Total		49,267	121.7	99	24,500	60.5	86	50	13
8 pi (2.4 m) TRANSPORTEUSES	2								
Résineux		11,620	28.7	76	6,385	15.8	60	45	16
Feuillus		438	1.1	23	338	0.8	20	23	3
Total		12,058	29.8	85	6,723	16.6	68	44	17
8 pi (2.4 m) TRANSPORTEUSES, COUPE PAR BANDES	2								
Résineux		14,718	36.4	88	3,289	8.1	56	78	32
Feuillus		5,138	12.7	74	2,338	5.8	54	54	20
Total		19,856	49.1	96	5,627	13.9	72	72	24
16 pi (4.8 m) DÉBUSQUAGE PAR CÂBLES	1								
Résineux		2,650	6.5	57	1,500	3.7	46	43	11
Feuillus		10,250	25.3	94	7,000	17.3	79	32	15
Total		12,900	31.9	96	8,500	21.0	84	34	12

Tableau 3: Diminution de la distribution de la régénération préétablie après l'exploitation, en fonction des espèces.

Régénération préétablie prédominante	Distribution avant coupe	Nombre d'aires d'études	Avant coupe (%)	Après coupe (%)	Diminution (%)
SAPIN BAUMIER	MOYENNE	32	78	55	23
	ÉLEVÉE (plus de 90%)	18	98	72	26
	FAIBLE (moins de 40%)	5	12	8	4
ÉPINETTE	MOYENNE	33	50	29	21
	ÉLEVÉE (plus de 90%)	4	96	67	29
	FAIBLE (moins de 20%)	5	9	4	5
FEUILLUS	MOYENNE	26	41	25	16
	ÉLEVÉE (plus de 90%)	6	95	68	27
	FAIBLE (moins de 20%)	12	12	5	7

En moyenne, on retrouvait 54 résineux à l'acre (133/ha) et 24 feuillus (59/ha). Ce total de 78 tiges résiduelles à l'acre (193/ha) représentait 17% du nombre de tiges marchandes avant l'exploitation.

Selon le procédé d'exploitation utilisé et la composition du peuplement avant coupe, le nombre de tiges résiduelles variait de 0 à 265 à l'acre, ce qui, dans ce dernier cas, représentait 64% de la densité avant coupe et comprenait surtout des essences feuillues.

Les résultats obtenus après le premier relevé, tenant compte de l'état de la surface du sol et de la régénération préétablie immédiatement avant et après l'exploitation, ont conduit aux conclusions suivantes:

1. Les peuplements de sapin baumier présentaient la plus abondante régénération préétablie en résineux, suivis des peuplements mélangés, des peuplements d'épinette noire sur stations sèches, d'épinette noire sur stations humides et de pin gris, ces derniers possédant avant coupe moins du huitième de la régénération préétablie des peuplements de sapin baumier. Avant coupe, la régénération en sapin baumier était quatre fois plus abondante qu'en épinette. Même dans les peuplements de bois à pâte, la régénération préétablie en feuillus peut atteindre un chiffre aussi élevé que 4,500 tiges à l'acre (11,000/ha) avant coupe.

- La densité de la régénération préétablie avant l'exploitation variait de 1,000 à plus de 100,000 tiges à l'acre (2,500 à 250,000/ha). Dans trois cas seulement sur 37, le nombre total de tiges fut réduit à moins de 1,000 à l'acre (2,500/ha). Dans cinq cas, le nombre de tiges résiduelles de régénération résineuse préétablie était inférieur à 1,000 à l'acre (2,500/ha). Cependant, même si la quantité de régénération préétablie demeurait élevée après coupe, la destruction atteignait en moyenne 50%.
- Le coefficient de distribution de la régénération préétablie était, dans tous les cas, supérieur à 60% avant l'exploitation. Après coupe, on notait une diminution importante de la distribution. La quantité considérable de tiges de régénération préétablie généralement présente après exploitation était alors mal distribuée. Dans 9 cas seulement sur 37, le coefficient de distribution de l'ensemble de la régénération préétablie était, après coupe, inférieur à 60% (annexe 4). La diminution de la distribution de la régénération préétablie était, suite à l'exploitation, relativement constante, quelles que soient les espèces ou la distribution initiale, et présentait une diminution du coefficient de distribution de 20% à 25%.
- Se basant sur le degré d'exposition, la quantité et l'étendue des déchets de coupe et

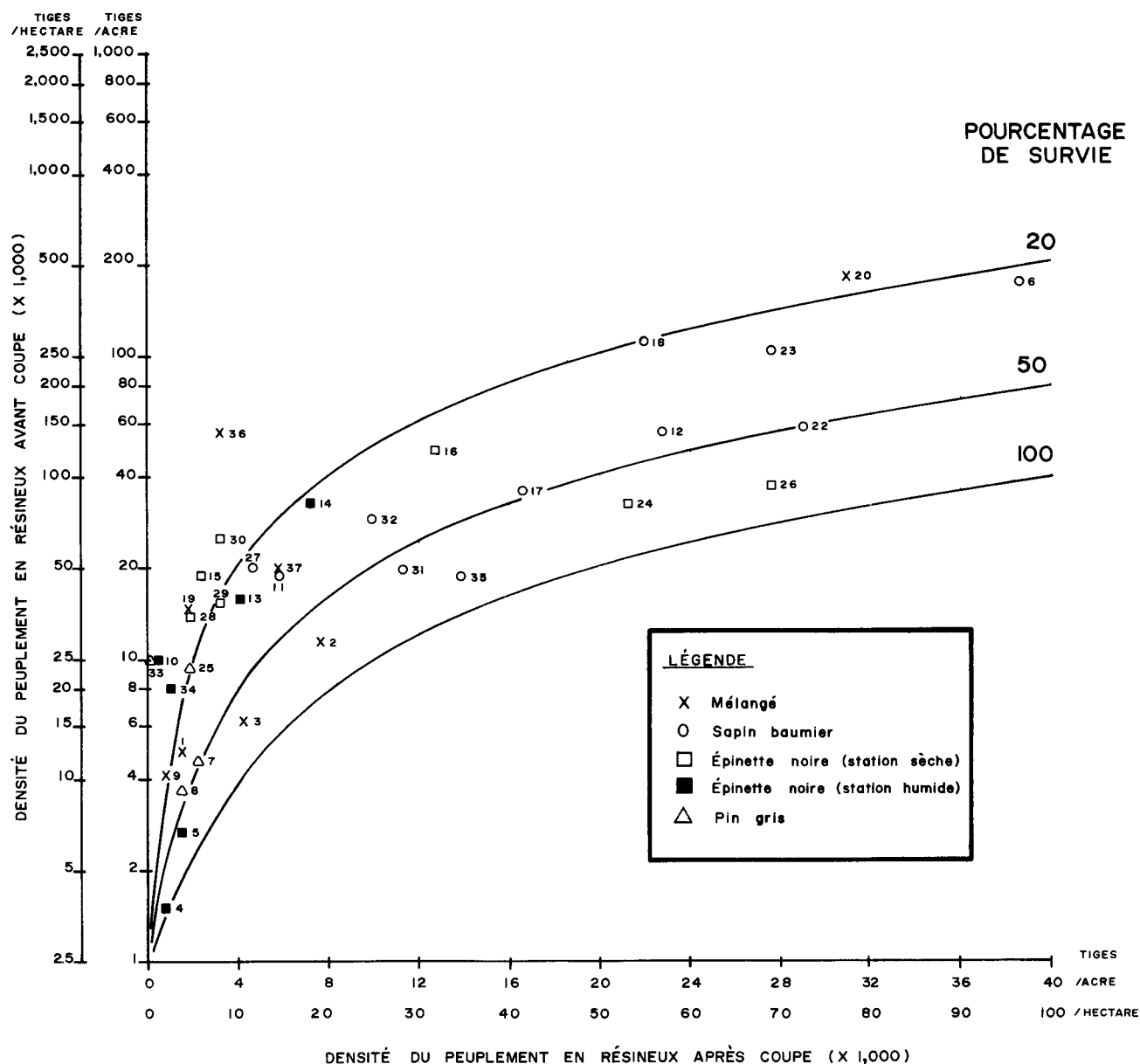


Fig. 4 Survie de la régénération préétablie après l'exploitation.

la vigueur et la qualité des arbres, on a estimé au moment du premier relevé, que la régénération préétablie avait peu de chances de survivre à l'exploitation. Les chercheurs ont établi que, dans 12 places sur 34, le coefficient de distribution de la régénération tomberait à environ 40% ou moins. Par ailleurs, dans le tiers ou même plus des aires bûchées, on s'attendait à ce qu'il n'y ait aucune régénération préétablie en résineux qui survive.

5. Les exploitations n'ont pas créé de lits de germination réceptifs pour la régénération.

Un lit de germination est considéré réceptif lorsqu'il se crée une profonde perturbation de la surface du sol et une exposition du sol minéral. En moyenne, la proportion de l'aire de coupe fortement perturbée par l'exploitation excédait rarement 15% et se trouvait limitée aux sentiers de débardage situés à proximité des jetées. Pour cette raison, il n'a pas été créé de lits de germination en quantité suffisante ou répartis adéquatement pour assurer l'établissement de régénération naturelle. Alors que la proportion des aires coupées ayant subi une

perturbation profonde de la surface du sol était faible, la proportion de celles ayant subi une destruction du tapis végétal ou une perturbation de la litière et des couches d'humus était beaucoup plus élevée. Toutefois, ce genre de perturbation ne constituait pas un scarifiage propice à l'établissement de régénération en résineux au moment du relevé.

6. Les procédés d'exploitation semblent avoir des effets variés sur la destruction de la régénération préétablie. Les procédés les plus destructeurs, aussi bien en densité qu'en distribution de la régénération préétablie, ont été l'abatteuse multi-fonctionnelle Beloit, l'exploitation par arbres en longueur avec J-5 et l'exploitation en billes de 16 pi (4.8 m) débardées par des chevaux. Les procédés les moins dévastateurs ont été le débusquage par câbles en 16 pi (4.8 m), l'exploitation en rondins de 4 pi (1.2 m) avec traîneaux à traction animale et l'exploitation en rondins de 8 pi (2.4 m) au moyen de transporteuses. Les procédés les plus couramment en usage (arbres en longueur et arbres entiers avec débardeuses à roues) ont détruit respectivement 72% et 76% de la régénération préétablie en résineux et ont abaissé le coefficient de distribution de 27% et de 20%. La variation dans la représentation des divers procédés d'exploitation utilisés ne permet pas d'arriver à des conclusions formelles. Il vaut la peine toutefois de noter que la coupe en rondins de 8 pi (2.4 m) avec transporteuses, exécutée par bandes, a été plus néfaste pour la régénération tant en densité qu'en distribution, que lorsque le même procédé est employé dans une coupe à blanc régulière, et que la destruction de la régénération préétablie semble proportionnelle aux déplacements de l'engin à travers le parterre de coupe.

7. L'exploitation mécanisée
 - a détruit considérablement la régénération préétablie;
 - n'a pas provoqué un scarifiage adéquat pour créer des lits de germination réceptifs; et
 - a laissé de piètres chances à l'ensemencement naturel en raison même des vastes étendues coupées à blanc.

Il est donc apparu évident, dès après la coupe, qu'une régénération artificielle accrue serait nécessaire pour assurer un reboisement adéquat des bûchés en résineux. On a aussi estimé à ce moment qu'une forte proportion des bûchés soumis à cette étude ne rencon-

trerait pas les normes usuelles d'un minimum de 600 semis bien distribués et vigoureux à l'acre (1,500/ha), 5 ans après coupe.

8. Les chercheurs ont recommandé, immédiatement après coupe, le recours à la régénération artificielle (par plantations ou ensemencement), dans 22 des 34 aires étudiées, ainsi que l'élimination de la compétition des morts-bois dans 7 places d'études. Les principaux problèmes prévus à ce moment étaient l'absence de tiges résineuses bien distribuées et l'invasion des feuillus sur certaines stations. La compétition qu'offrent les feuillus a souvent été mentionnée comme étant une menace à l'établissement des résineux. Dans seulement 4 cas sur 34, les chercheurs n'ont recommandé aucune intervention, croyant qu'une régénération suffisante en résineux se développerait sans difficultés majeures au cours d'une période acceptable.

Reproduction 5 ans après coupe

Un inventaire complet de chaque aire d'études fut à nouveau exécuté à la fin de la cinquième saison de croissance suivant la coupe. On fit en même temps le relevé de l'état du sol, de la végétation et des placettes d'essais biologiques. Weetman, Grapes et Frisque (1973) en publièrent les résultats.

La figure 5 montre la relation entre la densité du peuplement en résineux après coupe et 5 ans plus tard et l'augmentation ou la diminution du nombre de tiges au cours des 5 années suivant l'exploitation. Lorsque la densité du peuplement en résineux après coupe excédait 10,000 tiges à l'acre (25,000/ha), il y avait une mortalité appréciable durant les 5 années suivantes. Toutefois, les cinq aires où la densité en résineux après coupe était inférieure à 1,000 tiges/acre (2,500/ha) ont fait voir des augmentations de la densité.

Après 5 ans, on a conclu que:

1. Même si les études ont été considérées comme des cas individuels, ne présentant donc pas la possibilité d'établir des moyennes ou des sommations comme lors d'un inventaire, des ressemblances évidentes dans la composition des espèces, la distribution et la densité de la reproduction, sont apparues en regroupant les relevés individuels par couverts forestiers et par régimes hydriques.
2. Les coefficients de distribution en pin gris sur stations sèches et en épinettes blanche et rouge sur stations mélangés humides étaient



Planche II. Excellente reproduction en résineux à partir de la régénération préétablie. L'importance de protéger cette dernière est évidente.

- A (aire 14): Ancien peuplement d'épinette noire, 5 ans après exploitation par la méthode des arbres en longueur avec débardeuses à roues. (Qué.)
- B (aire 13): Ancien peuplement d'épinette noire, 10 ans après exploitation par la méthode des arbres en longueur avec débardeuses à roues. À noter en arrière-plan, les feuillus résiduels. (Qué.)

faibles. Les stations à épinettes et sapins étaient de bien à complètement boisées en sapin baumier. Sur les stations humides, la distribution en épinette noire variait de élevée à faible. Vingt-et-une des 37 aires d'observation possédaient un coefficient de distribution en espèces commerciales recherchées, égal ou supérieur à 60%, ce qui constitue une norme de distribution minimale. Parmi les aires bien boisées, 15 se reprodui-

saient en sapin baumier, 6 en épinette noire et aucune en pin gris.

3. Après 5 ans, la densité des espèces résineuses recherchées était, dans presque tous les cas, de beaucoup inférieure à la densité en résineux avant coupe (figure 5). Là où l'on recherchait le pin gris ou l'épinette blanche ou rouge, la densité de la reproduction était faible, c'est-à-dire inférieure à 1000 tiges à l'acre (2,500/ha). Là où le sapin baumier

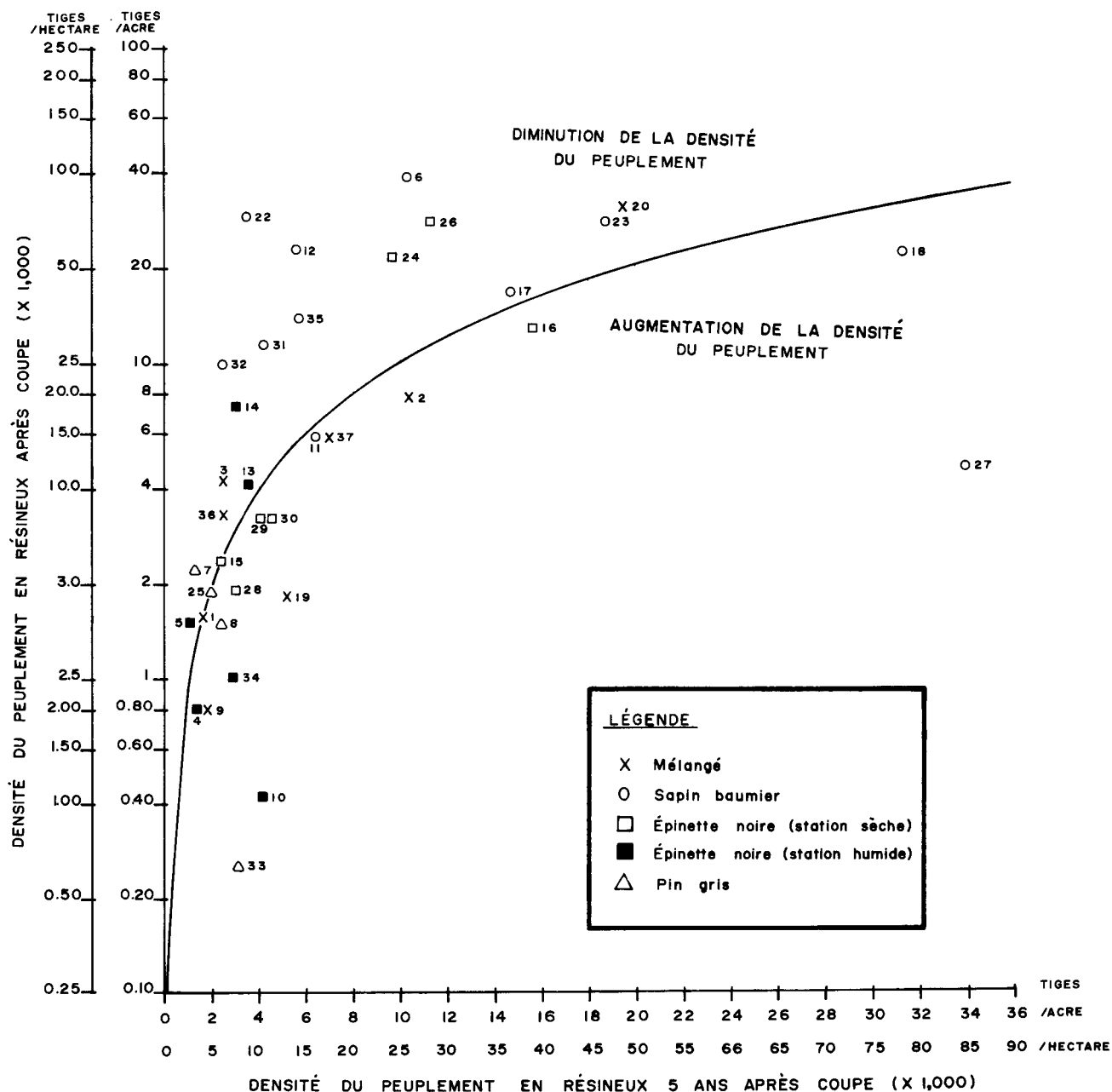


Fig. 5 Changements de la densité en résineux après coupe et 5 ans plus tard.

constituait l'espèce désirée, la densité tendait à être excessive, se situant entre 2,500 et 80,000 tiges à l'acre (6,200 à 200,000/ha). Enfin, là où l'épinette noire était recherchée, la densité variait de faible à excessive, avec moins de 1,000 jusqu'à 10,000 tiges à l'acre (2,500 à 25,000/ha).

Les peuplements pour lesquels le nombre de tiges à l'acre était insuffisant étaient ceux dans lesquels les espèces recherchées étaient le pin gris ou l'épinette blanche ou rouge. Les peuplements extrêmement denses (10,000 à 100,000 tiges à l'acre (25,000 à 250,000/ha) à l'âge de 5 ans) étaient toujours constitués de sapin baumier sur des stations bien drainés. Sur les stations humides, le sapin baumier était moins abondant (1,000 à 10,000 tiges à l'acre (2,500 à 25,000/ha) à l'âge de 5 ans).

4. L'échec de la reproduction du pin gris sur les stations à pin gris était principalement attribuable à une distribution inadéquate de cette espèce plutôt qu'à sa faible densité. L'absence de régénération préétablie en pin gris et les caractéristiques sylvicoles de l'espèce exigent un scarifiage plus efficace que celui produit par l'exploitation estivale. Après 5 ans, les stations à pin gris étaient couvertes surtout par le peuplier, le bouleau, le cerisier et les éricacées.
5. La reproduction en sapin baumier était extrêmement dense et présentait des tiges de hauteur variable. La distribution inégale de cette espèce et la végétation compétitive apparurent comme des difficultés majeures. Le nombre imposant de semis de sapin baumier résultait de l'aptitude de cette espèce à tolérer l'ombre et de la forte densité de la régénération préétablie dans les peuplements avant coupe. Comme il y a peu de nouvelle régénération en sapin ou en épinette dans ces peuplements, certaines précautions lors de la planification de la coupe, de l'abattage et de l'utilisation du matériel d'exploitation assureraient une distribution moins sporadique de la régénération immédiatement après coupe.
6. La qualité de la reproduction en épinette noire est fonction de la station. Sur stations sèches, la reproduction de cette espèce variait en densité et en distribution mais originait, dans la plupart des cas, de marcottes par opposition aux stations humides où elle originait de semis. Dans quelques cas, le sapin baumier surpassait en nombre l'épinette noire. Pour obtenir une régénération plus abondante en épinette noire à partir de graines, il peut être nécessaire de scarifier le sol sur certaines stations sèches. Sur les stations humides, la reproduction en épinette noire était aussi très variable, mais la compétition des aulnes et des joncs influence l'établissement de la régénération subséquente. La croissance des nombreuses marcottes d'épinette noire sur stations humides a été très difficile à prévoir et sans doute faudra-t-il beaucoup de temps avant qu'elles n'atteignent la hauteur de poitrine.
7. Sur les stations mélangées, la reproduction en épinette (blanche ou rouge) était très insuffisante. L'épinette était supprimée par une forte compétition de feuillus et de broussailles. On ne peut obtenir de résultats satisfaisants d'exploitations au cours desquelles on ne récolte que les résineux de valeur marchande sur des stations riches à peuplement mélangé. La conversion d'un peuplement mélangé en un peuplement d'épinette ou même le maintien de la composante résineuse exige l'enlèvement complet ou la suppression de la compétition feuillue.
8. Cinq ans après coupe, on a observé peu de différences dans la reproduction des peuplements exploités suivant différentes méthodes. Le procédé d'exploitation n'a eu d'effet significatif sur l'établissement et la croissance de la régénération que si l'exploitation causait d'importantes perturbations du sol, comme avec l'abatteuse multi-fonctionnelle Beloit. Sauf avec ce dernier engin, les exploitations n'en ont en aucun cas provoqué un scarifiage suffisant pour constituer des lits de germination propices aux résineux. La compaction du sol et l'érosion n'ont pas causé de difficultés particulières.
9. Comme on a constaté qu'une grande partie de la reproduction en résineux dénombrée 5 ans après coupe était établie avant coupe, il a été suggéré de porter une attention particulière à la régénération préétablie au moment de la coupe. Avec une régénération après coupe constituée principalement de morts-bois et de feuillus, les rendements futurs ont été mis en doute et on a pensé faire un plus grand usage d'herbicides à base d'auxines. Le rapport insistait sur la nécessité de posséder des données précises sur les rendements futurs et la rentabilité des traitements sylvicoles; le manque de telles données constitue un obstacle majeur à de meilleures pratiques sylvicoles dans les peuplements de bois à pâte sur les terres de la Couronne. Ces données fourniraient des intrants aux modèles de



Planche III. Invasion par les joncs à la suite d'un traitement à base d'auxines visant à éliminer les aulnes; 10 ans après coupe, 7 ans après le traitement qui n'a pas apporté les résultats anticipés.

A et B (aire 4): Ancien peuplement d'épinette noire, exploitation par la méthode des arbres en longueur avec débardeuses à roues. (Ont.)

décisions d'interventions sylvicoles comme ceux élaborés par Fries et Hagner (1970). (Concernant l'effet de la possibilité ACE («allowable cut effect») et les rendements, voir aussi Schweitzer, Sassaman et Schallau (1972) et Vézina (1973)).

Reproduction 10 ans après coupe

On trouvera à l'annexe 5 la densité et la distribution, par espèce et par groupe

d'espèces, pour chaque aire d'études. Les figures 6 et 7 illustrent les changements dans la densité des résineux et des feuillus entre 5 ans et 10 ans après coupe. Les aires de pin gris montrent peu de changements; chez l'épinette noire sur stations sèches, il y a tendance à une diminution de la densité; par contre, les aires d'études de la même espèce sur stations humides ont montré une augmentation de la densité; quant aux aires de sapin baumier et de mélangés, on n'a noté aucune tendance consistante. Des six peuplements offrant

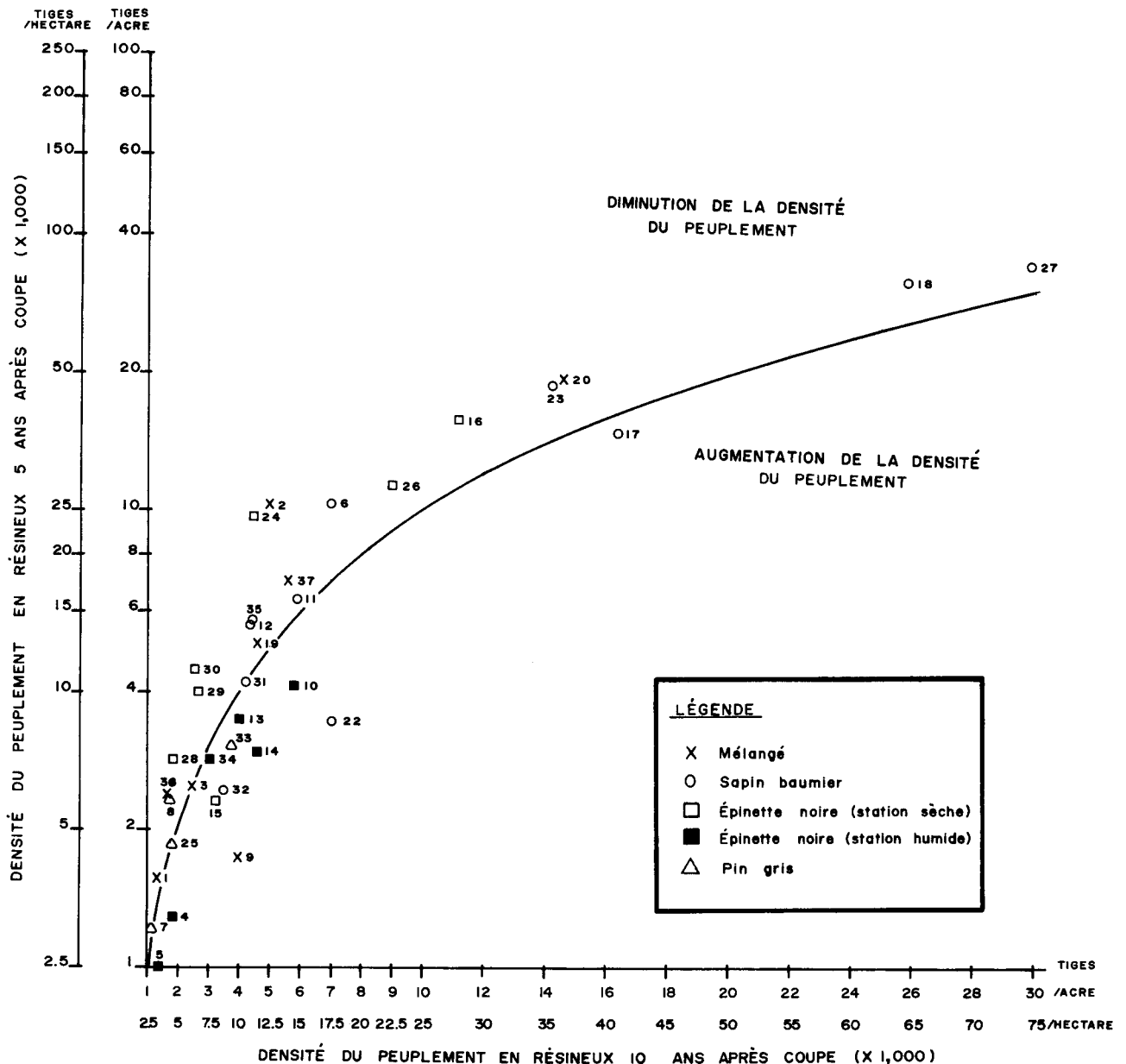


Fig. 6 Changements dans la densité en résineux entre 5 et 10 ans après coupe.

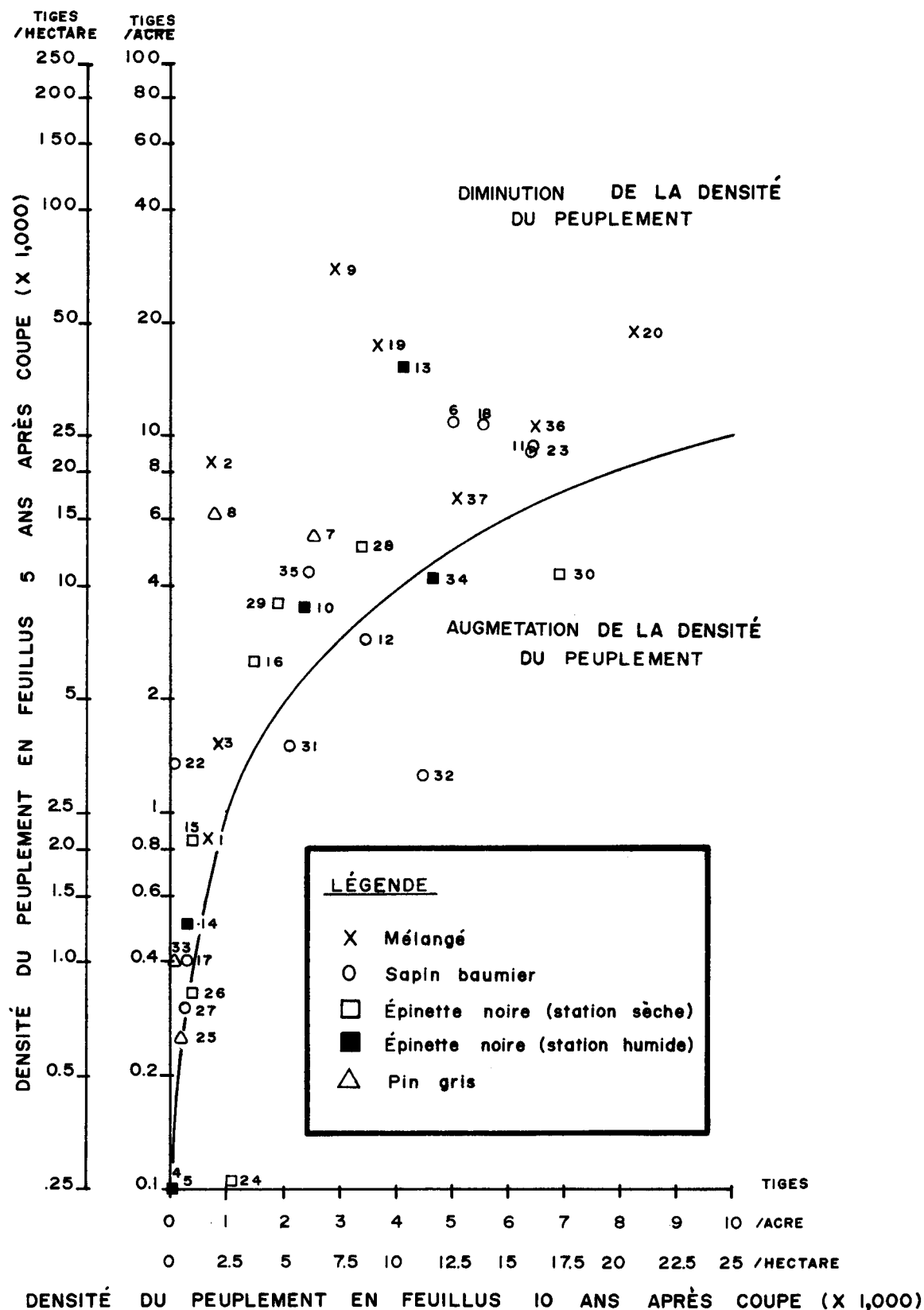


Fig. 7 Changements dans la densité en feuillus entre 5 et 10 ans après coupe.

moins de 2,000 tiges à l'acre (5,000/ha) de résineux 5 ans après coupe, trois ont montré une augmentation, deux ont gardé la même densité, et le dernier a subi une diminution (figure 6).

On a généralement observé une forte diminution du nombre de tiges de feuillus commerciaux entre 5 et 10 ans, principalement attribuable à la mortalité du jeune bouleau à papier.

La figure 8 illustre pour les divers groupes d'espèces, la relation entre la densité en résineux du peuplement après coupe et 10 ans plus tard ainsi que le changement de densité durant cette période, exprimé en pourcentage. Douze aires d'études n'ont montré aucun changement, 6 ont subi une augmentation de 50% ou plus, alors que 19 montraient une diminution de 50% ou plus. Toutes les aires de pin gris avaient des densités se situant entre 1,000 et 4,000 tiges à l'acre (2,500 à 10,000/ha). Sur les stations sèches à épinette noire, la densité de cette espèce variait de 2,000 à 12,000 tiges à l'acre (5,000 à 30,000/ha), alors qu'elle se situait entre 1,000 et 6,000 tiges à l'acre (2,500 à 15,000/ha) sur les stations humides. Chez les mélangés, la densité variait de 1,000 à 15,000 tiges à l'acre (2,500 à 37,000/ha) alors que les peuplements de sapin baumier portaient de 4,000 à 30,000 tiges à l'acre (10,000 à 75,000/ha). Toutes les aires étudiées possédaient au-delà de 1,000 tiges à l'acre (2,500/ha) de résineux à l'âge de 10 ans.

La figure 9 illustre l'évolution de la distribution en résineux 10 ans après coupe ainsi que les augmentations ou les diminutions durant cette période. La plupart des aires d'études ont fait voir des augmentations appréciables du coefficient de distribution; les pertes, bien que relativement faibles, se sont manifestées surtout dans les peuplements de sapin baumier avec une distribution très élevée de la régénération préétablie ayant survécu à l'exploitation. Toutes les aires présentaient un coefficient de distribution en résineux supérieur à 50% après 10 ans; dans seulement deux peuplements, ce coefficient était inférieur à 60%.

La figure 10 illustre l'évolution de la distribution en feuillus au cours des 10 ans qui ont suivi la coupe, ainsi que l'augmentation ou la diminution durant cette période. La plupart des peuplements ont montré des augmentations appréciables du coefficient de distribution des feuillus, mais ces variations étaient beaucoup plus prononcées que dans le cas des résineux; le taux de boisement en

feuillus de certains peuplements est passé de très faible immédiatement après coupe à très élevé 10 ans plus tard, surtout en raison de l'établissement de bouleau à papier dans les peuplements de sapin baumier. Dix ans après coupe, le bouleau à papier et l'érable rouge étaient bien représentés dans les peuplements d'épinette noire sur stations sèches.

Contrairement aux résineux, les densités élevées en feuillus n'étaient pas associées à une distribution élevée en feuillus.

Le tableau 4 et la figure 11 montrent, pour chaque aire d'études, et par groupes d'espèces, le coefficient de distribution du «meilleur sujet» de reproduction 10 ans après coupe. Cette distribution donne une idée de la composition future du peuplement basée sur la prédominance et la vigueur des arbres à l'âge de 10 ans.

Après regroupement des espèces feuillues et résineuses et des broussailles (figure 11), on s'aperçoit que les meilleurs résultats apparaissent chez l'épinette noire sur stations sèches là où cette espèce constituait le meilleur sujet dans 60% des quadrats, alors que les feuillus dominaient dans 24% et les broussailles dans 16% des quadrats. Les pires résultats sont apparus pour le groupe des mélangés dans lequel les résineux occupaient 41% des quadrats, les feuillus 32% et les broussailles 26%. Ces moyennes ne reflètent toutefois pas les variations considérables illustrées à la figure 11: des peuplements de sapin baumier n'avaient que 7% de résineux parmi les espèces dominantes et certains peuplements d'épinette noire sur stations sèches montraient 26% de leur aire dominés par les résineux et 71% par les broussailles. Seules les aires d'études 17, 22, 16 et 26 étaient nettement dominées par les résineux. Aucune de ces aires n'appartenait aux groupes d'espèces de pin gris, mélangé ou d'épinette noire sur stations humides.

Le problème de l'envahissement des bûchés par les broussailles et les feuillus est illustré à la figure 12 qui montre, pour chaque aire d'études, la distribution 10 ans après coupe en résineux, en feuillus et en broussailles par classes de hauteur et de diamètre. On constate que même si tous les peuplements étaient dominés par les résineux avant coupe, plusieurs aires d'études montraient, 10 ans plus tard, une distribution appréciable en feuillus (en gris sur la figure 12) et en broussailles (en blanc) dans l'étage supérieur. Les résineux (en noir) se situaient souvent dans les classes dominées et supprimées. Le tableau 4 fait voir qu'après 10 ans:

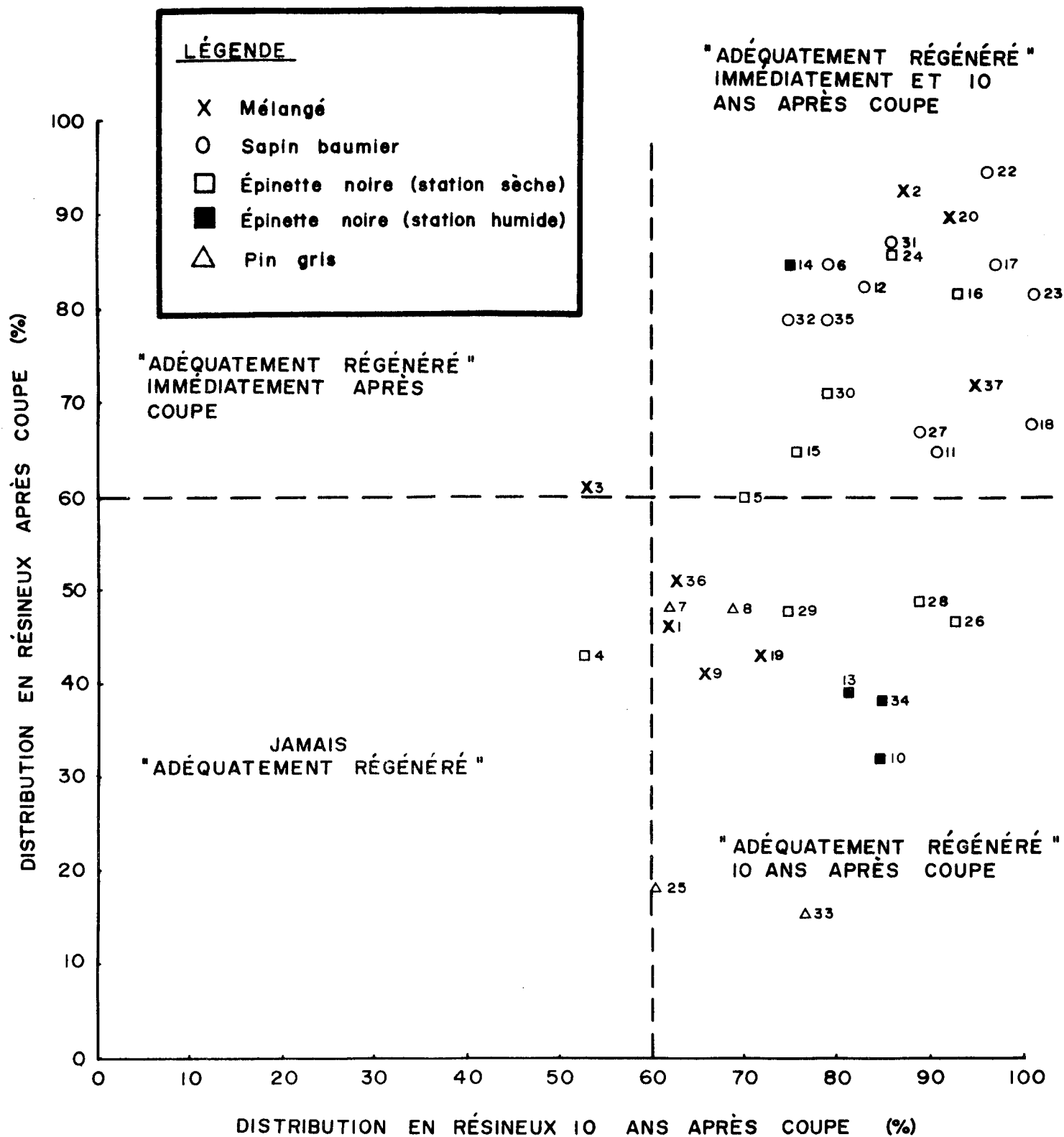


Fig. 9. Changement dans la distribution en résineux après coupe et 10 ans plus tard.

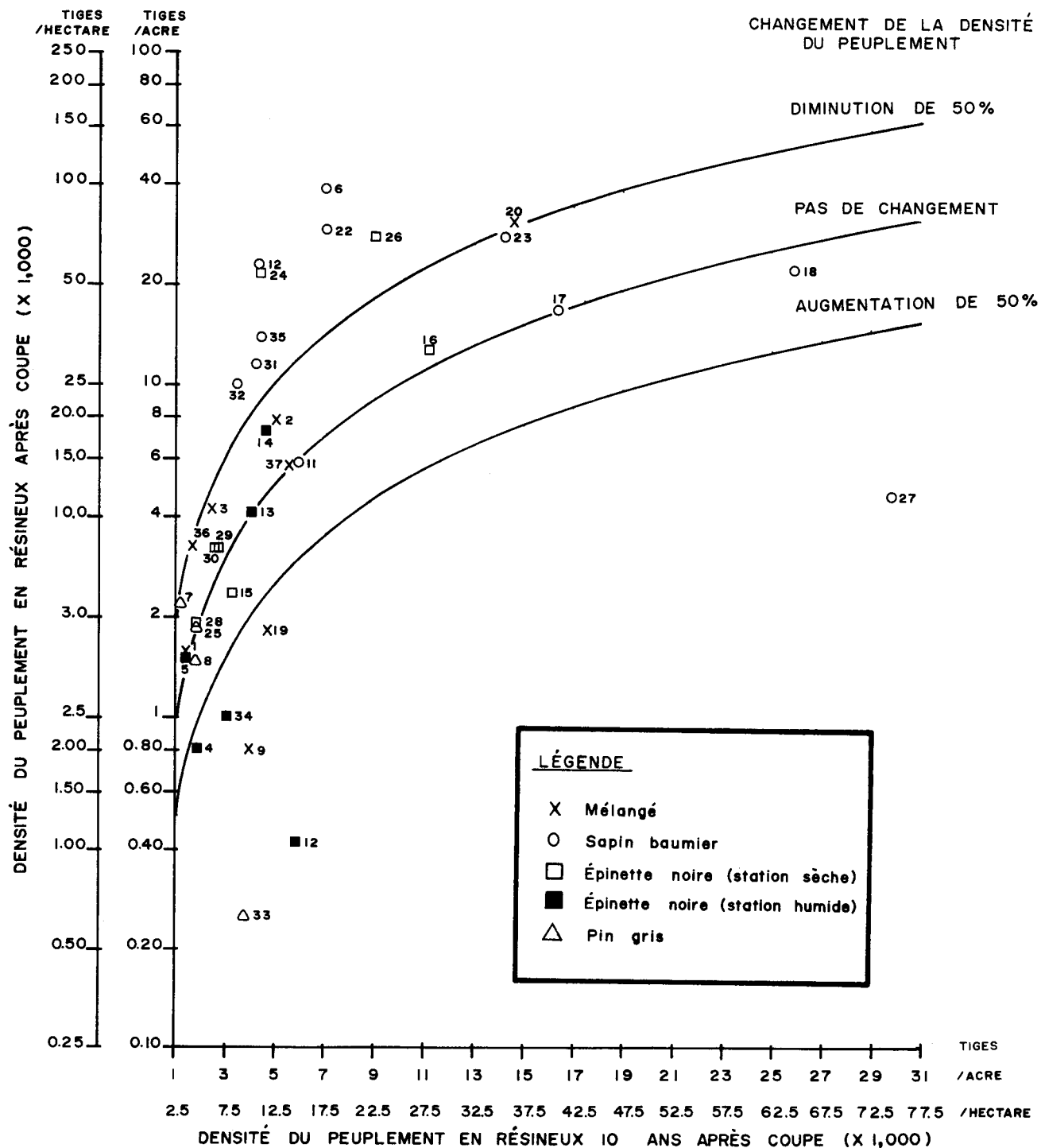


Fig. 8 Changements dans la densité en résineux après coupe et 10 ans plus tard.

1. Dans les peuplements de pin gris, le pin gris et l'épinette noire constituaient le meilleur sujet sur la moitié de la superficie, le peuplier et le bouleau à papier sur le quart;

2. Dans les peuplements d'épinette noire sur stations sèches, l'épinette (noire ou rouge) et le sapin baumier constituaient le meilleur sujet sur 50% à 75% de la superficie. Le bouleau à

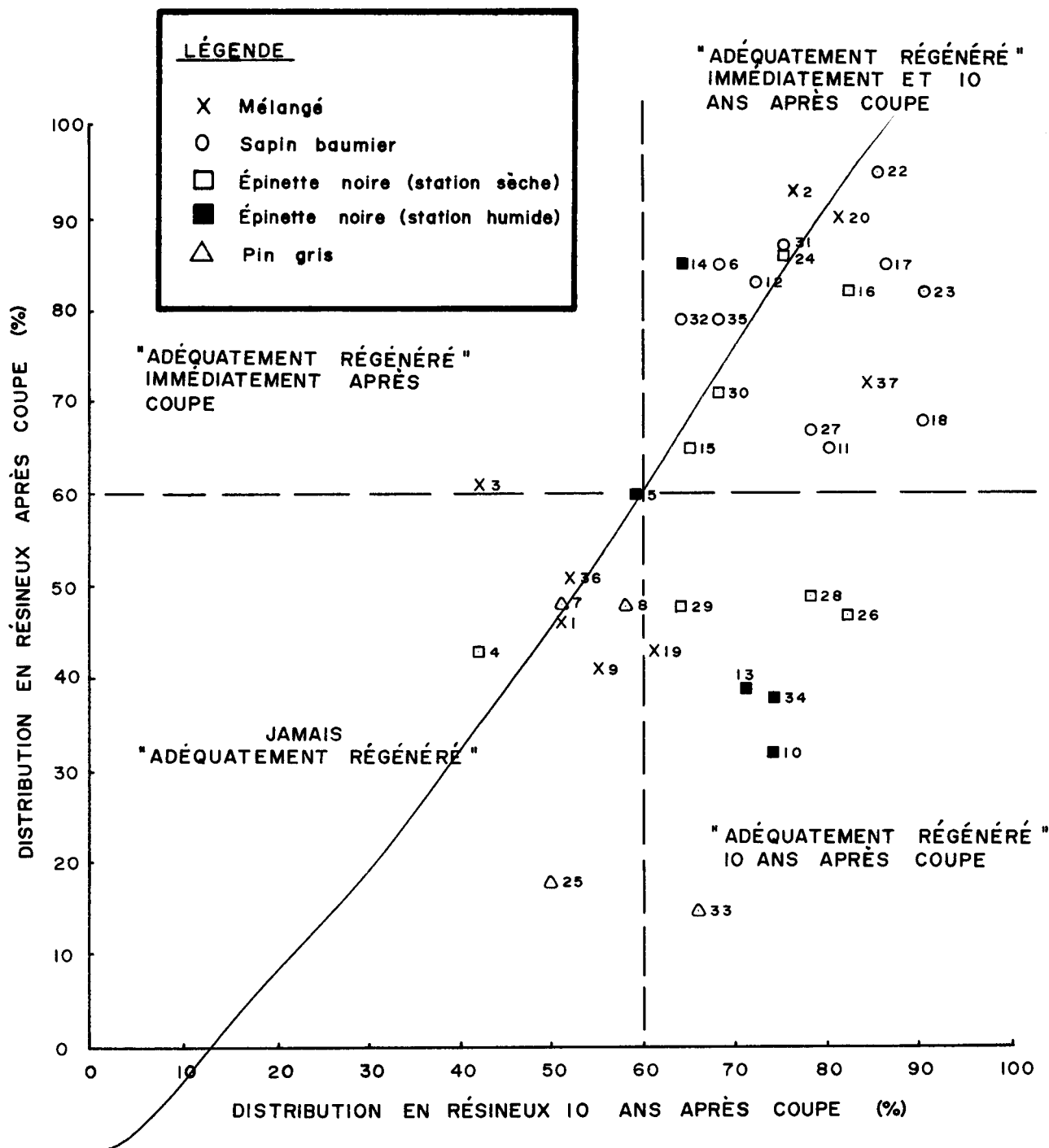


Fig. 9 Changement dans la distribution en résineux après coupe et 10 ans plus tard.

papier dominait sur le tiers et l'érable rouge, lorsque présent, occupait un dixième de la superficie;

3. Les peuplements d'épinette noire sur stations humides étaient dominés par l'épinette noire, le bouleau à papier occupant entre 15% et 30% de la superficie, lorsque présent. La

distribution la plus faible en épinette noire comme meilleur sujet est apparue lorsque les aulnes dominaient sur la moitié de la superficie;

4. Dans les peuplements mélangés, le sapin baumier constituait le meilleur sujet sur 18% à 64% de la superficie, alors que le peuplier et



Planche IV. Développement des feuillus 10 ans après coupe.

A (aire 6): Ancien peuplement de sapin baumier, exploité par la méthode des arbres entiers. (Qué.)

B (aire 24): Régénération de 10 ans sur un sentier déblayé au bulldozer dans un ancien peuplement d'épinette noire exploité en 4 pi. (1.2 m) au moyen de traîneaux tirés par des chevaux. (N.B.)

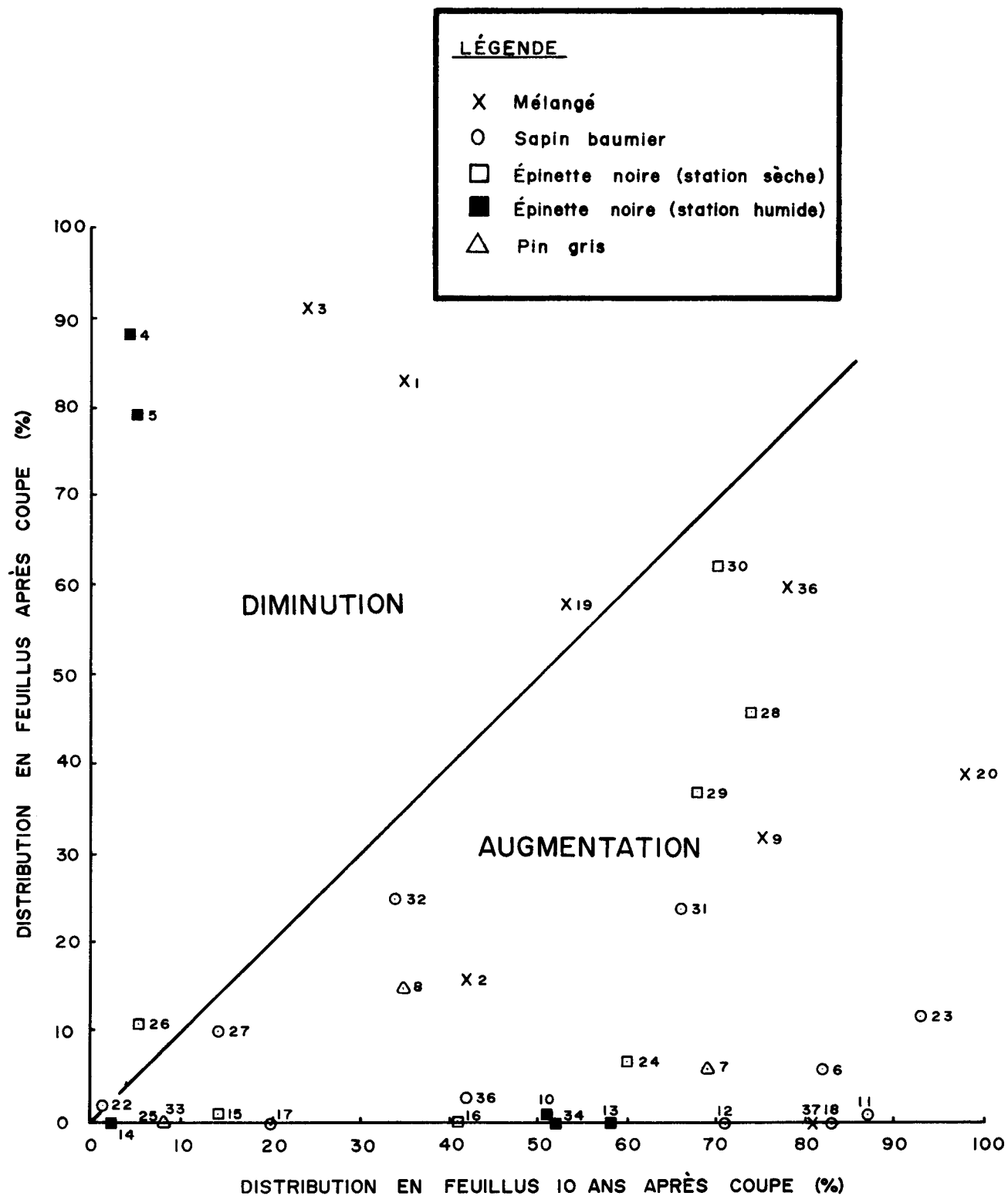


Fig. 10 Changements dans la distribution des feuillus de valeur commerciale après coupe et 10 ans plus tard.

Tableau 4: Coefficient de distribution du meilleur sujet par espèce, aire d'études et groupe d'espèces.

Composition du peuplement avant coupe	Pin gris				Épinette noire (stations sèches)							Épinette noire (stations humides)							Mélangé							Sapin baumier											
Aire d'études	7	8	25	33	15	16	24	26	28	29	30	4	5	10	13	14	34	1	2	3	9	19	20	36	37	6	11	12	17	18	22	23	27	31	32	35	
Épinette	10	23	16	36	66	74	5	35	12	43	7	19	27	58	25	72	63	4	7	4	5	—	3	2	4	5	1	1	39	8	38	—	6	1	1	2	
Sapin	9	3	—	1	—	12	14	54	46	6	47	4	8	1	14	—	2	36	64	20	18	18	51	33	54	24	7	9	54	49	57	23	51	62	61	60	
Pin	18	21	42	34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Tremble	27	10	—	—	4	—	—	—	—	3	3	3	5	2	11	1	—	21	20	18	44	8	11	14	18	8	3	—	—	—	—	—	—	—	—	2	
Bouleau	13	14	—	—	3	9	33	1	26	22	19	—	—	28	15	—	24	1	2	2	11	13	18	26	22	26	51	26	1	32	—	50	10	21	12	12	
Érable rouge	—	—	7	—	—	—	—	—	12	14	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	—	5	
Aulne	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	52	40	—	8	—	—	14	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Coudrier	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	—	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Érable à épis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	—	30	—	8	—	—	—	6	5	—	—	—	—	—	—	5	
Saule	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—	12	6	—	—	—	—	—	—	—	5	—	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Ceriser de Penns.	9	5	—	8	12	—	38	—	—	—	—	—	—	—	22	4	3	—	—	—	—	25	—	4	—	30	—	30	54	11	—	8	26	10	8	5	
Résineux comme meilleur sujet (%)	37	47	58	70	66	86	19	89	54	49	54	23	35	59	39	72	65	40	75	24	27	18	54	35	58	29	8	10	93	57	95	28	57	63	62	62	
Feuillus et broussailles comme meilleur sujet (%)	49	34	7	14	19	9	71	1	38	39	33	67	51	30	56	5	27	53	22	76	60	76	45	56	40	64	90	85	1	43	0	73	36	31	20	29	
Aucun meilleur sujet de valeur (%)	14	19	35	16	15	5	10	10	8	12	13	10	14	11	5	23	8	7	3	4	13	6	1	9	2	7	2	5	6	0	5	4	7	6	18	9	

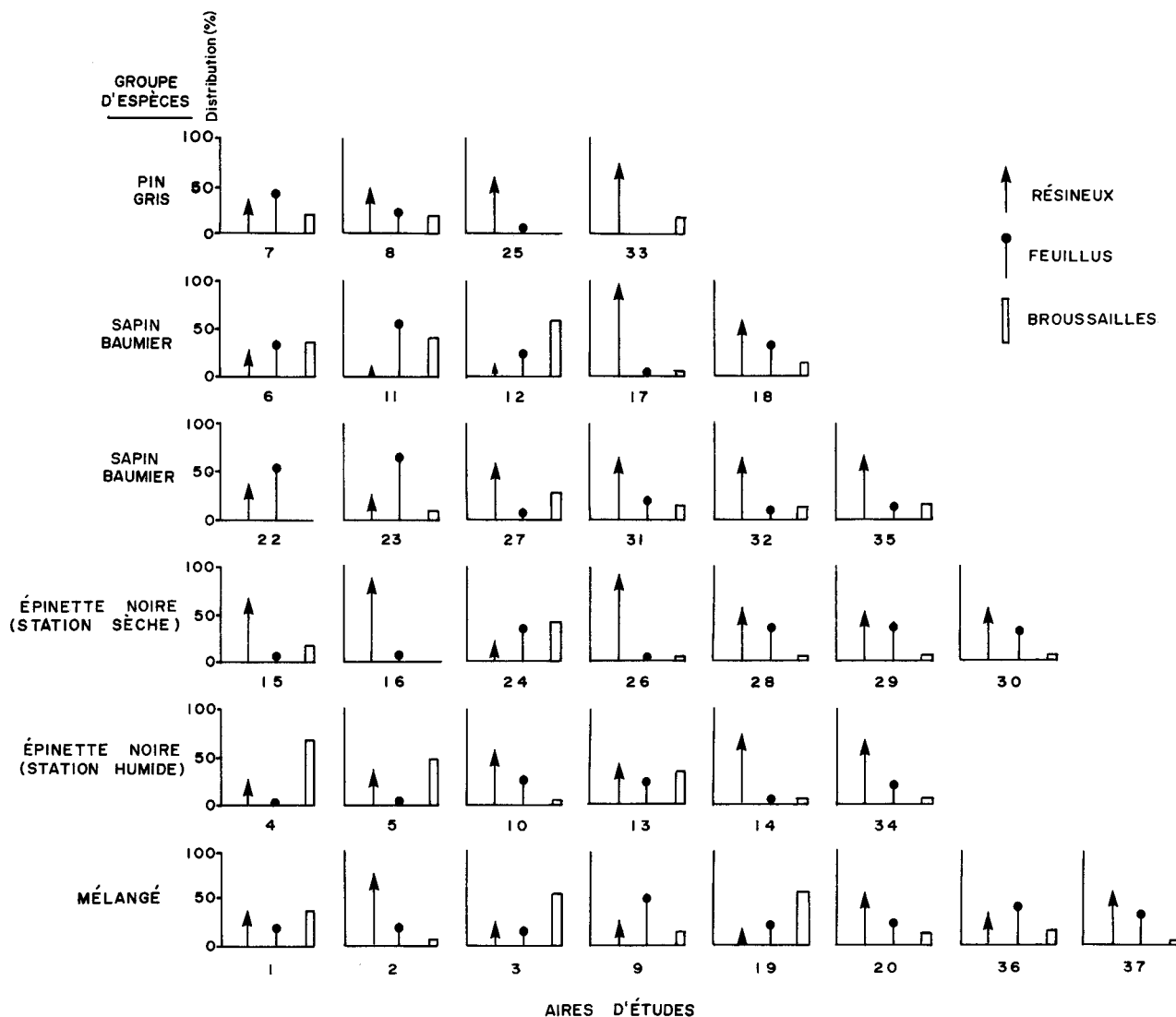


Fig. 11 Coefficient de distribution du meilleur sujet 10 ans après coupe.

le bouleau à papier dominaient sur 20% à 40%. L'érable rouge n'était que très rarement le meilleur sujet dans ces peuplements;

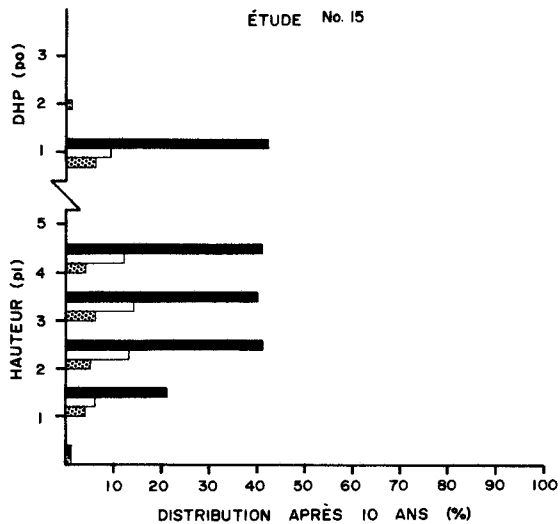
5. Les peuplements de sapin baumier étaient dominés par cette espèce (51%) et par le bouleau à papier et le cerisier de Pennsylvanie (43% de la superficie).

La distribution relativement faible en résineux dans les bûchés, comparativement aux feuillus et aux broussailles, spécialement dans les classes élevées de hauteur et de diamètre, peut influencer le rendement net à l'âge de révolution (figure 12). Les histogrammes des

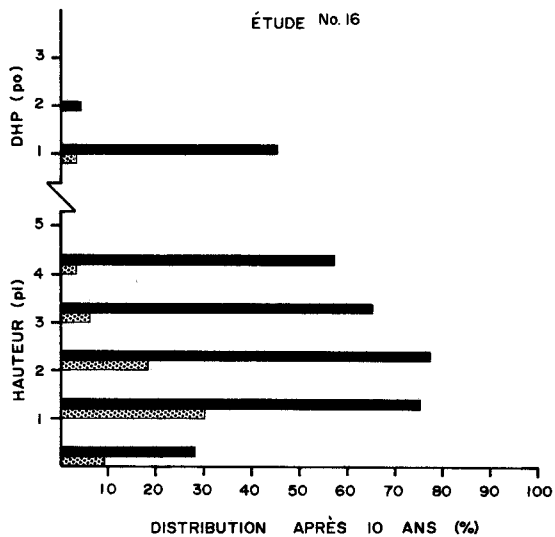
aires d'études de pin gris reflètent la faible distribution de cette essence, même si les résineux dominaient dans trois des quatre aires d'études. Les histogrammes d'épinette noire sur stations sèches montrent, à une exception près, relativement peu de broussailles et de feuillus, les bûchés étant recouverts de régénération préétablie en épinette noire ayant survécu à l'exploitation. Trois des aires d'études établies dans des peuplements d'épinette noire sur stations humides présentaient une distribution importante en broussailles dans les classes de

ÉPINETTE NOIRE
(Station sèche)

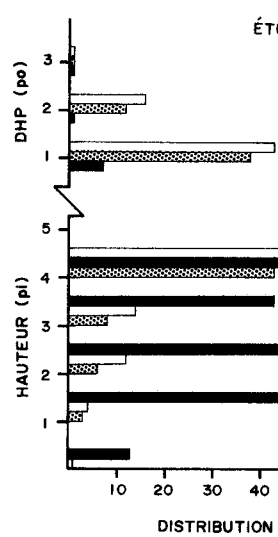
ÉTUDE No. 15



ÉTUDE No. 16

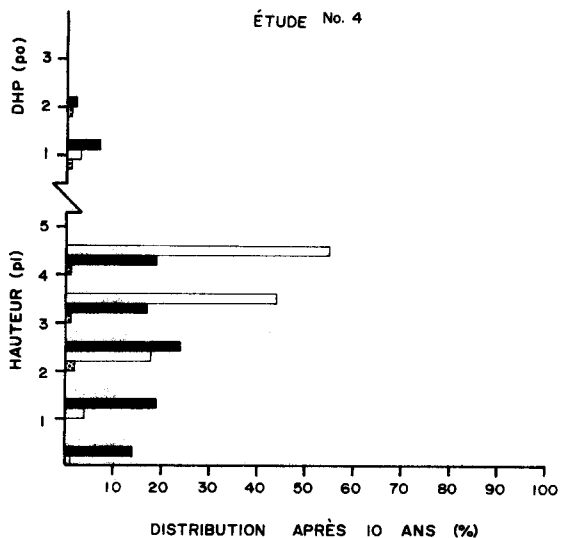


ÉTUDE No. 17

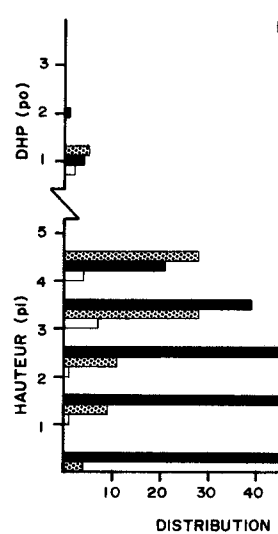
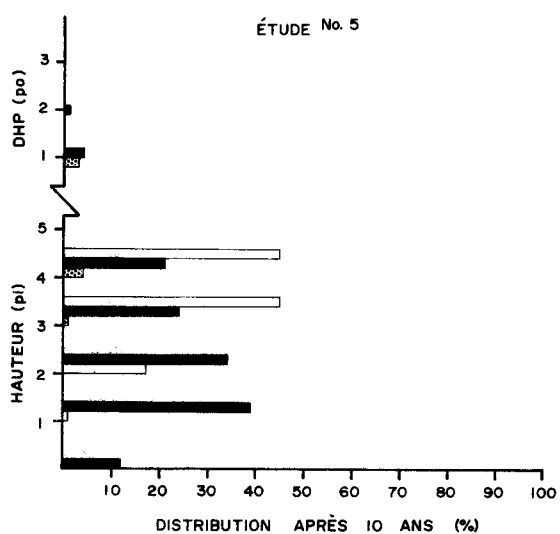


ÉPINETTE NOIRE
(Station humide)

ÉTUDE No. 4

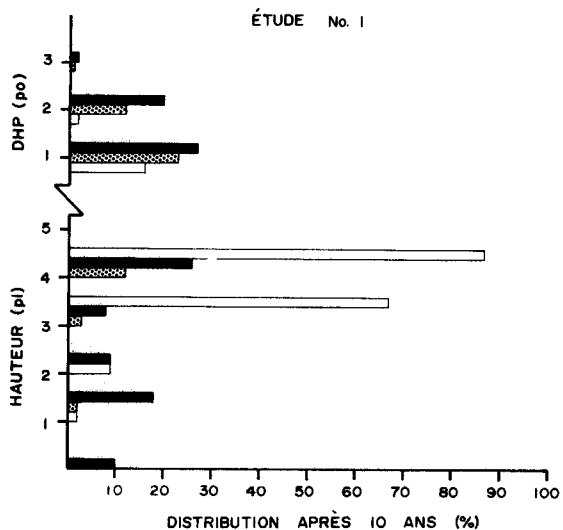


ÉTUDE No. 5

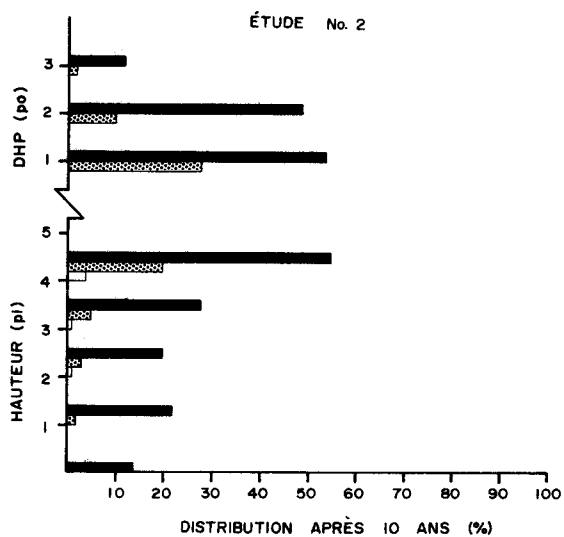


MÉLANGÉ

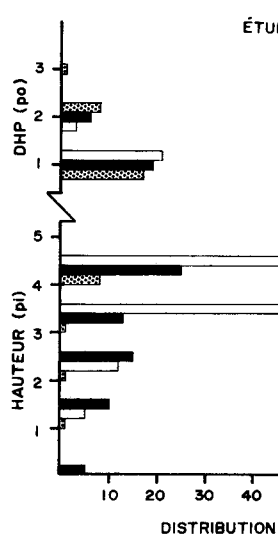
ÉTUDE No. 1



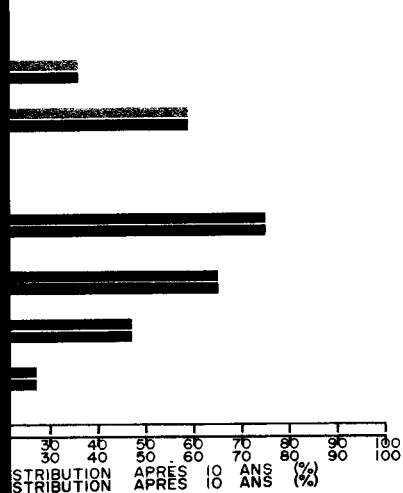
ÉTUDE No. 2



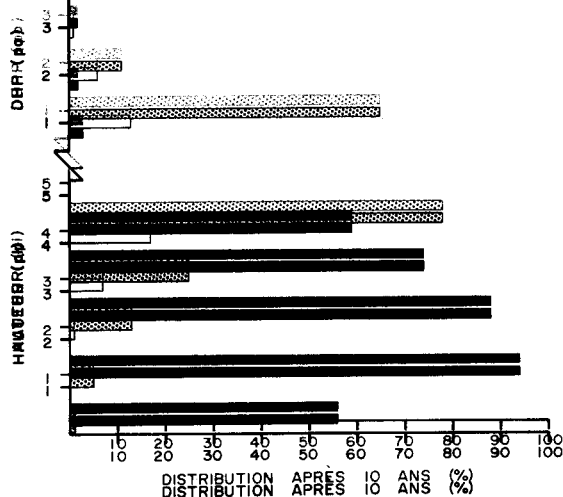
ÉTUDE No. 3



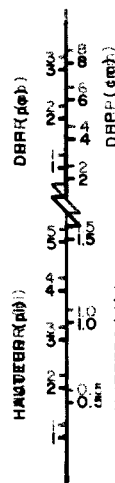
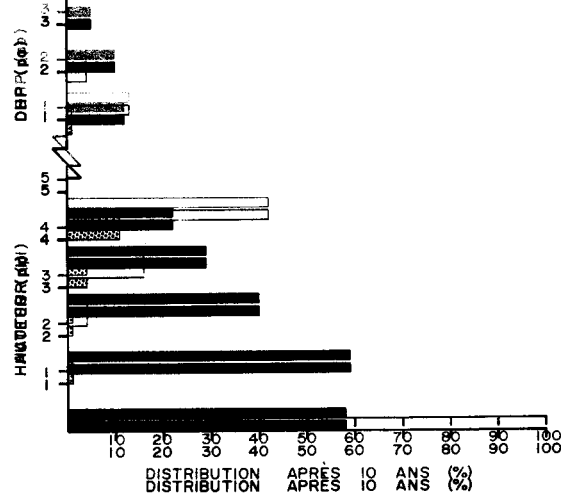
ÉTUDE No. 22
ÉTUDE No. 22



ÉTUDE No. 23
ÉTUDE No. 23



ÉTUDE No. 27
ÉTUDE No. 27



- RÉSINEUX
- ▨ FEUILLUS
- BROUSSAILLES

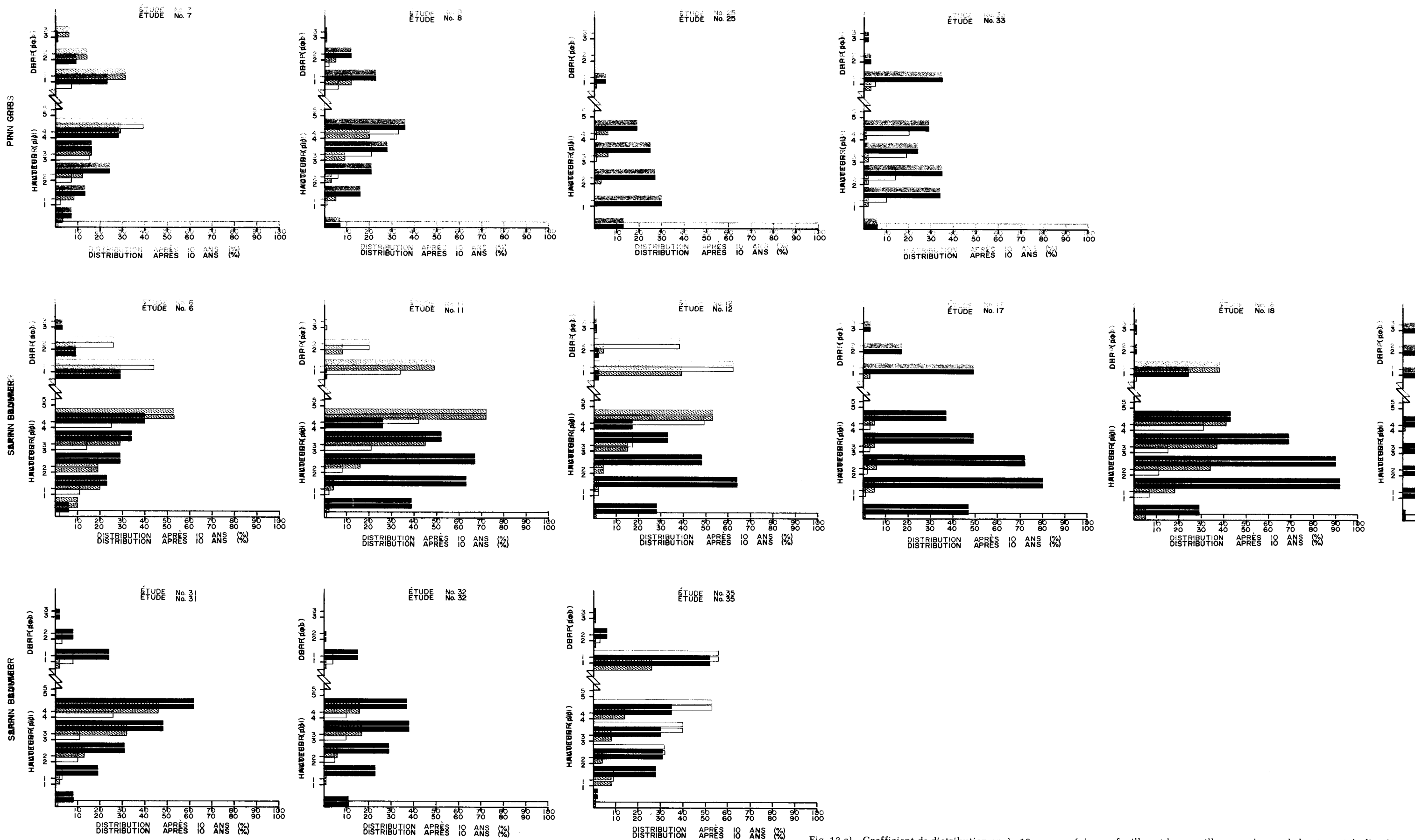


Fig. 12 a) Coefficient de distribution après 10 ans, en résineux, feuillus et broussailles, par classes de hauteur et de diamètre.

o. 24

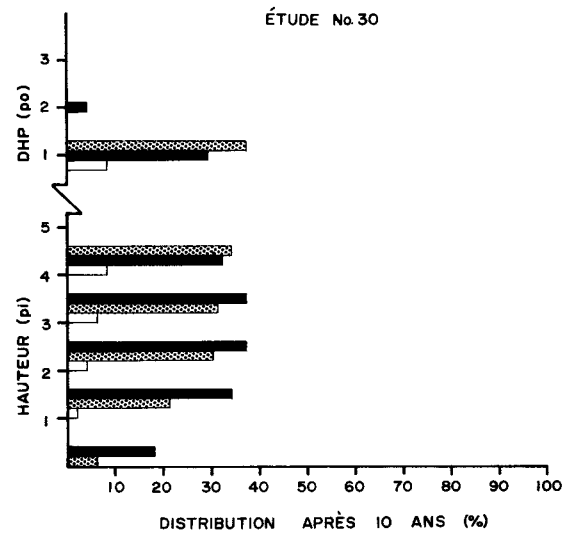
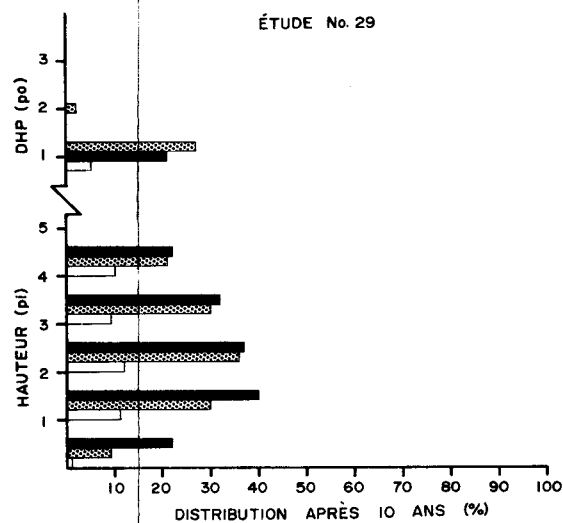
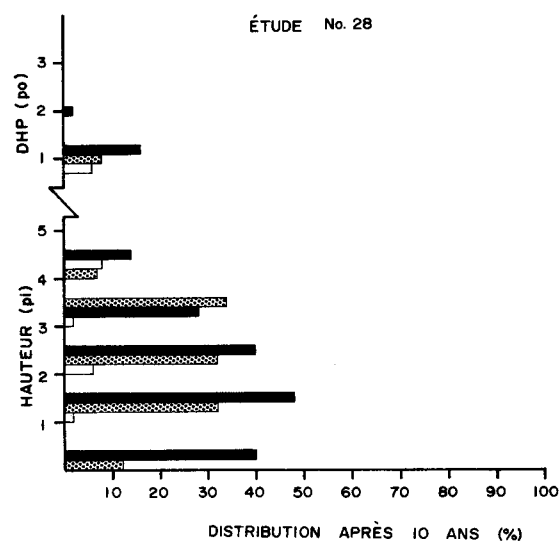
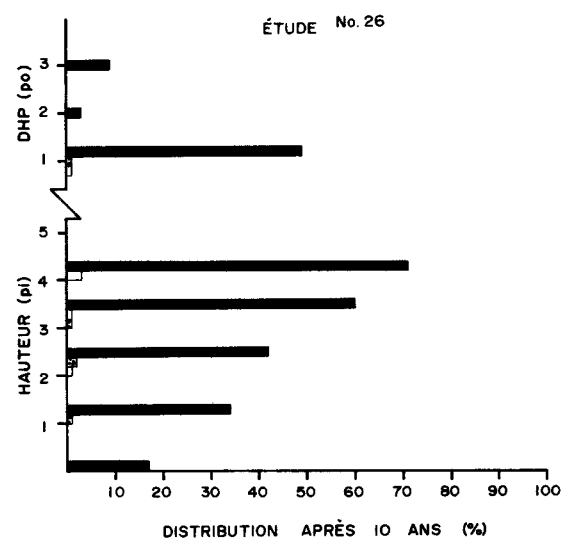
ES 10 ANS (%)

No. 10

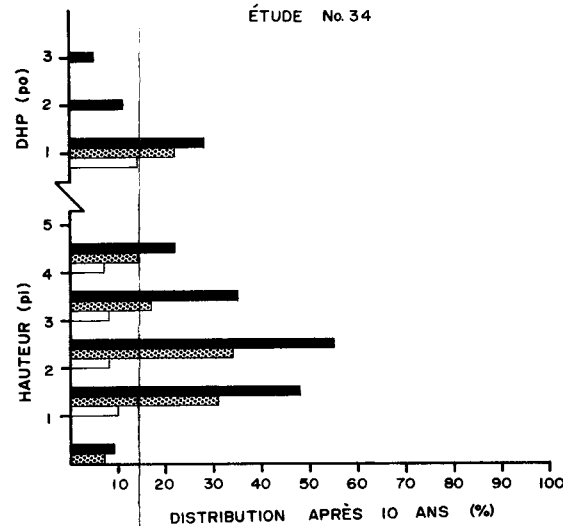
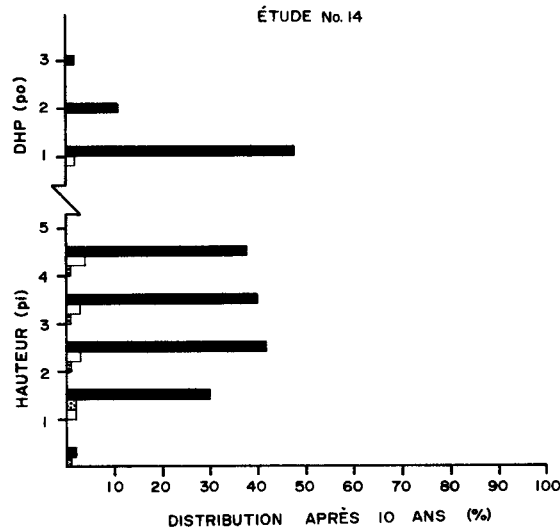
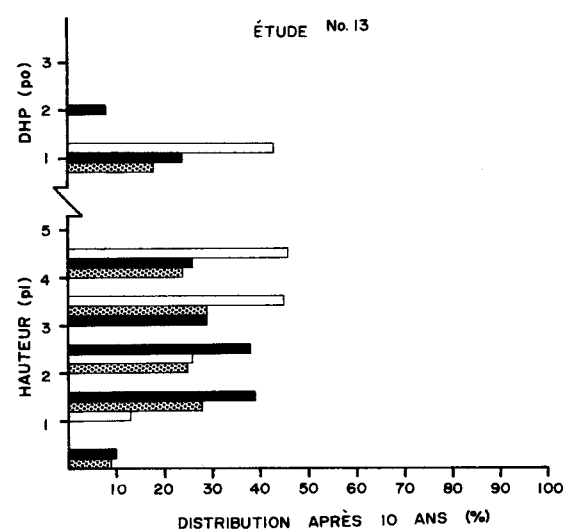
ES 10 ANS (%)

o. 3

ES 10 ANS (%)



■ — RÉSINEUX
 ■ — FEUILLUS
 □ — BROUSSAILLES



DHP (po)
 DHP (cm)
 HAUTEUR (pl)
 HAUTEUR (m)

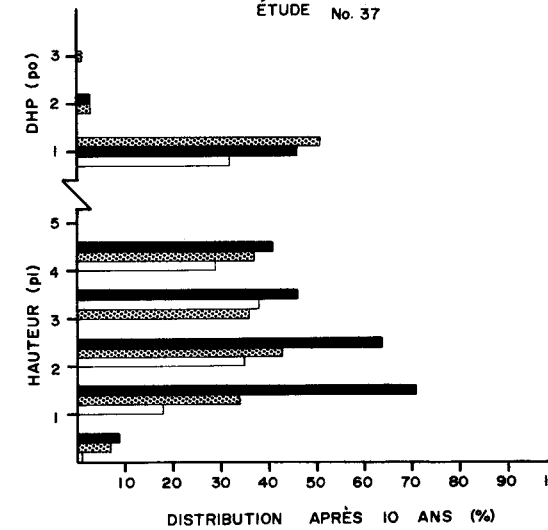
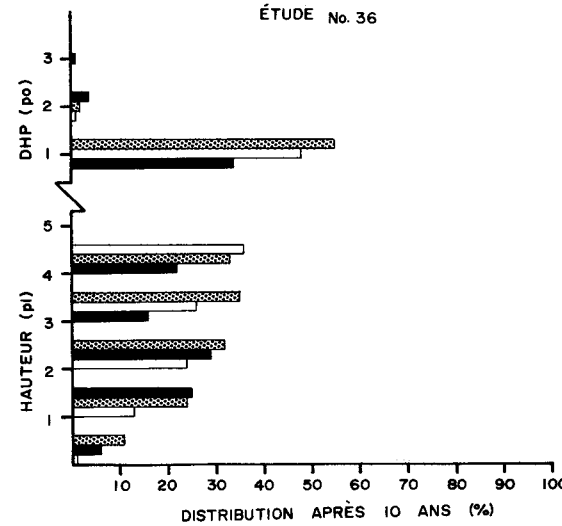
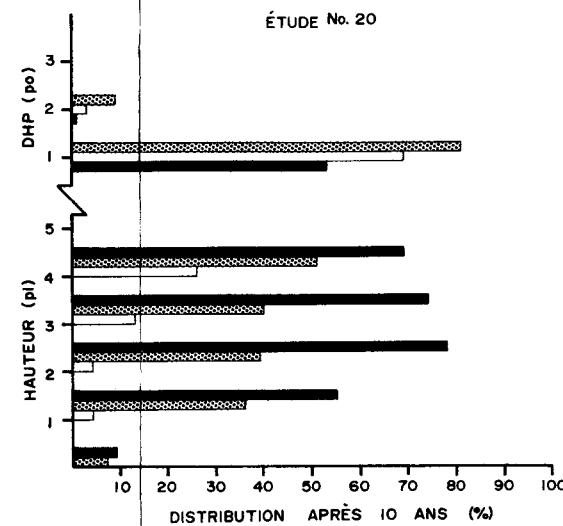
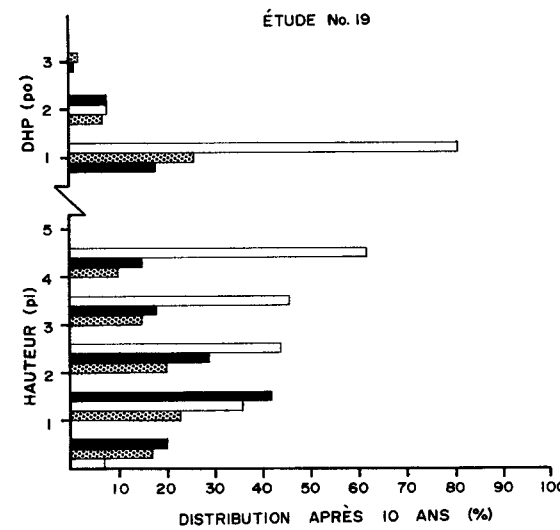
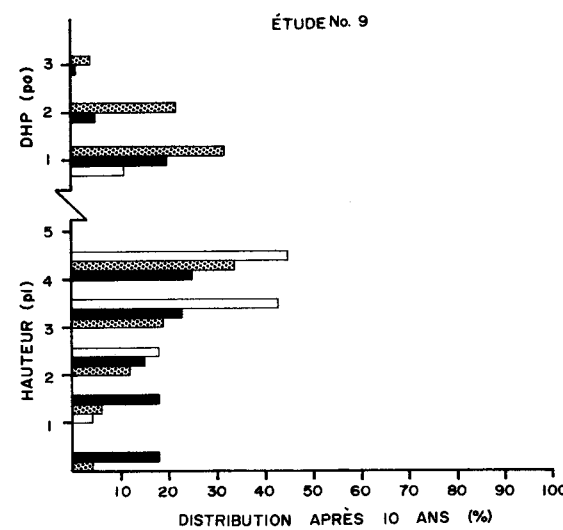


Fig. 12 b) Coefficient de distribution après 10 ans, en résineux, feuillus et broussailles, par classes de hauteur et de diamètre.

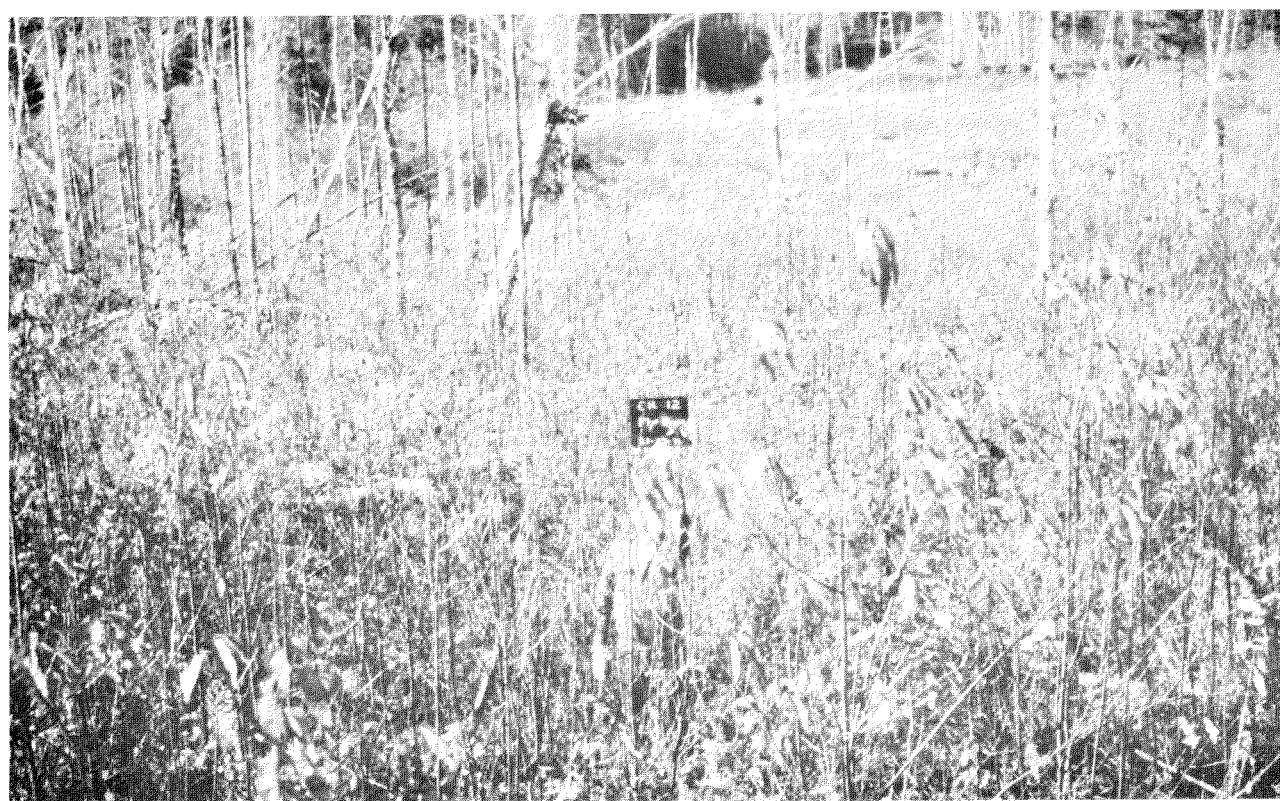


Planche V. Invasion des peuplements de bois à pâte par les broussailles et les feuillus 10 ans après coupe. Le rendement futur en résineux sera très faible.

A (aire 9): Ancien peuplement mélangé, exploitation en billes de 16 pi. (4.8 m), débardage avec chevaux. (Qué.)

B (aire 12): Ancien peuplement de sapin baumier exploité en rondins de 4 pi. (1.2 m) au moyen de traîneaux tirés par des chevaux. (Qué.)

hauteur supérieures, en raison surtout de l'invasion du site par les aulnes. Les broussailles et les feuillus (surtout le coudrier, l'érable à épis et le cerisier de Pennsylvanie) dominaient toutes les aires d'études établies en peuplements mélangés sauf une. Les anciens peuplements de sapin baumier offraient une bonne distribution en résineux 10 ans après coupe. Les aires 17 et 22 (figure 12) sont caractéristiques de peuplements dans lesquels la quasi absence des broussailles et des feuillus permet un développement rapide de la régénération préétablie qui occupe les classes de hauteur supérieures. Mais la dominance des broussailles et des feuillus peut supprimer les résineux, comme ce fut le cas dans les aires d'études 11 et 12 (figure 12).

Rendements projetés 50 ans après coupe

Dans le but d'obtenir une image plus précise de l'importance de l'invasion des feuillus et des broussailles ainsi que des fortes densités en résineux observées dans plusieurs bûchés, chaque aire d'études a été soumise, pour chaque espèce, à un modèle de simulation de la croissance du peuplement dans lequel les conditions initiales du peuplement étaient fondées sur la densité des tiges à l'âge 0, 5 et 10 ans.

Le tableau 5 donne la production totale brute projetée de toutes les espèces commerciales à l'âge de 50 ans, par aire d'études et par espèces. Les rendements moyens bruts projetés des résineux et feuillus combinés, par groupe d'espèces, étaient:

Groupe d'espèces	Rendement moyen projeté à 50 ans	
	cu/acre	m ³ /ha
Épinette noire (stations humides)	7.5	52.5
Pin gris	18	126
Sapin baumier	31	217
Épinette noire (stations sèches)	32	224
Mélangés	45	315

Le nombre de tiges résineuses marchandes au cunit variait de 16 à 600 (6 à 210/m³). En moyenne, ce sont les peuplements de sapin baumier qui engendraient le nombre le plus élevé d'arbres de valeur marchande au cunit.

Le dénombrement des «meilleurs sujets» de reproduction à l'âge de 10 ans, par espèce, devrait fournir une bonne idée de la composition future du peuplement et permettre

d'établir une corrélation avec les rendements futurs. Cependant, la figure 13 montre la relation plutôt faible qui existe entre le rapport résineux-feuillus du meilleur sujet à l'âge de 10 ans et le rapport résineux-feuillus de la surface terrière simulée à l'âge de 50 ans. La relation entre le coefficient de distribution du meilleur sujet et le rendement projeté à 50 ans était également très faible. Il faudrait préciser que la simulation était basée sur la densité à différents âges et à partir de diverses classes de hauteur et diamètre, et ne tenait pas compte des coefficients de distribution.

Les normes de reproduction supposent des taux de boisement élevés et devraient se traduire par des rendements accrus. Aucune relation n'a pu être établie entre la distribution en espèces commerciales 10 ans après coupe et les rendements simulés à l'âge de 50 ans (figure 14). Il existe de grandes variations dans le rendement, même pour des coefficients de distribution entre 80% et 100%.

La faible relation entre les résultats de 10 ans et les rendements projetés à 50 ans peut être attribuable au mauvais fonctionnement du modèle de simulation, qui ne pourrait manipuler des changements brusques d'espèces et d'évolution du peuplement entre 10 et 50 ans après coupe. L'inaptitude de l'observateur à identifier et enregistrer les meilleurs sujets peut également être la cause de ces changements brusques et partant de cette faible relation.

État de la surface du sol 10 ans après coupe

Dix ans après coupe, on a inventorié (tableau 6) l'état de la surface du sol (épaisseur des débris, condition de la surface et végétation dominante), l'indice d'ombrage (élevé, moyen ou bas) et les perturbations à la surface du sol (à l'intérieur comme à l'extérieur des traces d'engins).

Les observations sur l'état du sol à 0 et 5 ans montraient que les engins perturbaient relativement peu la surface du sol en dehors des chemins et des jetées. Dans les aires d'études échantillonnées, les relevés effectués 10 ans après coupe ont indiqué qu'il n'y avait pas d'amoncellement important de déchets de coupe dans les bûchés, pas d'accumulation de matériel issu de la construction des chemins et jetées, toujours plus de 70% de la surface du sol dans un état naturel, un indice d'ombrage de bas à moyen, aucune trace visible d'engins

Tableau 5a: Simulation de la production totale brute projetée (cunits/acre) et nombre d'arbres résineux de valeur marchande au cunit à 50 ans.

Composition du peuplement avant coupe	Aire d'études	Espèces résineuses			Total des résineux	Arbres marchands au cunit **	Espèces feuillus		Total des feuillus	Total de toutes les espèces
		EP*	SAB	PIG			BOP	PET		
ÉPINETTE NOIRE (stations humides)	4	3.2	—	—	3.2	142	—	—	—	3.2
	5	3.0	5.3	—	8.3	97	—	—	—	8.3
	10	0.5	—	—	0.5	0	—	—	—	0.5
	13	4.7	6.0	—	10.7	47	2.0	5.9	7.9	18.6
	14	6.6	—	—	6.6	559	—	—	—	6.6
	34	3.7	3.9	—	7.6	79	—	—	—	7.6
ÉPINETTE NOIRE (stations sèches)	15	16.1	—	—	16.1	287	—	—	—	16.1
	16	2.7	9.6	—	12.3	17	0.1	—	0.1	12.5
	24	7.9	25.5	—	33.5	25	4.0	—	4.0	37.5
	26	16.0	43.9	—	59.8	15	6.8	—	6.8	66.6
	28	—	12.8	—	12.8	39	4.5	—	4.5	17.3
	29	11.5	4.5	—	16.0	71	—	6.8	6.8	22.8
	30	5.6	27.1	—	32.7	32	3.8	12.7	16.5	49.2
SAPIN BAUMIER	6	4.6	7.1	—	11.7	128	11.6	12.1	23.7	35.4
	11	2.3	9.5	—	11.8	186	8.3	—	8.3	20.0
	12	—	7.4	—	7.4	213	20.2	—	20.2	27.6
	17	3.9	10.1	—	14.1	115	0.9	—	0.9	14.9
	18	10.6	7.9	—	18.6	126	16.0	—	16.0	34.6
	22	20.8	42.8	—	63.6	14	—	—	—	63.6
	23	12.6	12.7	—	25.3	38	24.3	—	24.3	49.6
	27	8.5	9.0	—	17.5	104	—	—	—	17.5
	31	—	17.2	—	17.2	36	9.8	—	9.8	27.0
	32	—	15.4	—	15.4	31	2.2	—	2.2	17.6
	35	11.8	12.4	—	22.3	42	4.7	—	4.7	28.9
PIN GRIS	7	6.3	8.5	3.1	17.9	36	—	35.6	35.6	53.5
	8	3.4	—	0.5	3.9	162	—	7.2	7.2	11.1
	25	3.5	—	—	3.5	129	—	—	—	3.5
	33	2.2	—	1.7	3.9	621	—	—	—	3.9
MÉLANGÉS	1	—	10.0	—	10.0	33	—	26.7	26.7	36.7
	2	13.0	28.5	—	41.6	16	—	35.4	35.4	76.9
	3	14.3	13.6	—	27.9	18	5.3	25.7	31.0	58.9
	9	6.9	5.1	15.7	27.7	36	5.0	18.2	23.2	50.9
	19	—	7.1	—	7.1	126	13.1	—	13.1	20.2
	20	4.0	6.4	—	10.4	343	16.7	—	16.7	27.1
	36	7.7	10.2	—	17.9	27	3.3	21.3	24.6	42.5
	37	9.7	12.3	—	22.0	30	1.5	25.0	26.5	48.5

* Les symboles sont identifiés à l'annexe 1.

** (Volume marchand (à l'intérieur de l'écorce) jusqu'à 2 po (5 cm) au fin bout) ÷ nombre total d'arbres de d.h.p. > 1 po (2.5 cm).

**Tableau 5b: Simulation de la production totale brute projetée
(mètres cubes/hectare) et nombre d'arbres résineux
de valeur marchande au mètre cube à 50 ans.**

Composition du peuplement avant coupe	Alre d'études	Espèces résineuses			Total des résineux	Arbres mar- chands au mètre cube **	Espèces feuillus		Total des feuillus	Total de toutes les espèces
		EP*	SAB	PIG			BOP	PET		
ÉPINETTE NOIRE (stations humides)	4	22.4	—	—	22.4	50	—	—	—	22.4
	5	21.0	37.1	—	58.1	34	—	—	—	58.1
	10	3.5	—	—	3.5	0	—	—	—	3.5
	13	32.9	42.0	—	74.9	16	14.0	41.3	55.3	130.2
	14	46.2	—	—	46.2	197	—	—	—	46.2
	34	25.9	27.3	—	53.2	28	—	—	—	53.2
ÉPINETTE NOIRE (stations sèches)	15	112.6	—	—	112.6	101	—	—	—	112.6
	16	19.0	67.2	—	86.2	6	0.7	—	0.7	86.9
	24	55.3	178.4	—	233.7	9	28.0	—	28.0	261.7
	26	112.0	307.2	—	419.2	5	47.6	—	47.6	466.8
	28	—	89.6	—	89.6	14	31.5	—	31.5	121.1
	29	80.5	31.5	—	112.0	25	—	47.6	47.6	159.6
	30	39.2	189.6	—	228.8	11	26.6	88.9	115.5	344.3
SAPIN BAUMIER	6	32.2	49.7	—	81.9	45	81.2	84.7	165.9	247.8
	11	16.1	66.5	—	82.6	66	58.1	—	58.1	140.7
	12	—	51.8	—	51.8	75	141.3	—	141.3	193.1
	17	27.3	70.7	—	98.0	41	6.3	—	6.3	104.3
	18	74.2	55.3	—	129.5	44	112.0	—	112.0	241.5
	22	145.5	299.5	—	445.0	49	—	—	—	445.0
	23	88.2	88.9	—	177.1	13	170.0	—	170.0	347.1
	27	59.5	63.0	—	122.5	37	—	—	—	122.5
	31	—	120.4	—	120.4	13	68.6	—	68.6	189.0
	32	—	107.8	—	107.8	11	15.4	—	15.4	123.2
	35	82.6	86.8	—	169.4	15	32.9	—	32.9	202.3
PIN GRIS	7	44.1	59.5	21.7	125.3	13	—	249.1	249.1	374.4
	8	23.8	—	3.5	27.3	57	—	50.4	50.4	77.7
	25	24.5	—	—	24.5	46	—	—	—	24.5
	33	15.4	—	11.9	27.3	219	—	—	—	27.3
MÉLANGÉS	1	—	70.0	—	70.0	12	—	186.8	186.8	256.8
	2	91.0	199.4	—	290.4	6	—	247.7	247.7	538.1
	3	100.1	95.2	—	195.3	6	37.1	179.8	216.9	412.2
	9	48.3	35.7	109.8	193.8	13	35.0	127.4	162.4	356.2
	19	—	49.7	—	49.7	44	91.7	—	91.7	141.4
	20	28.0	44.8	—	72.8	121	116.8	—	116.8	189.6
	36	53.9	71.4	—	125.3	10	23.1	149.0	172.1	297.4
	37	67.9	86.1	—	154.0	10	10.5	174.9	185.4	339.4

* Les symboles sont identifiés à l'annexe 1.

** (Volume marchand (à l'intérieur de l'écorce) jusqu'à 2 po (5 cm) au fin bout) ÷ nombre total d'arbres de d.h.p. > 1 po (2.5 cm).

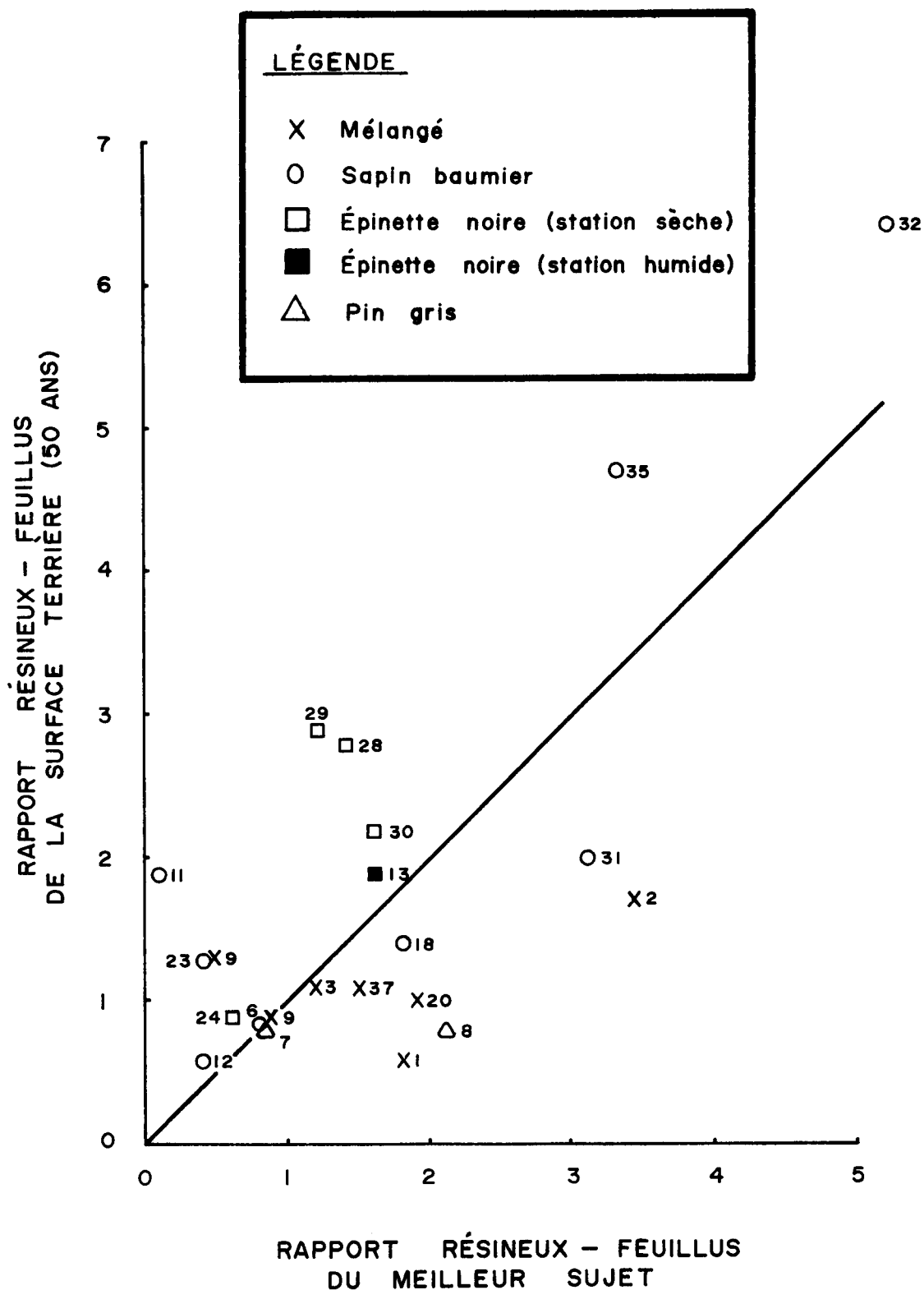


Fig. 13 Relations entre le rapport résineux-feuillus du meilleur sujet à 10 ans et le rapport résineux-feuillus de la surface terrière obtenu par simulation du peuplement à 50 ans.

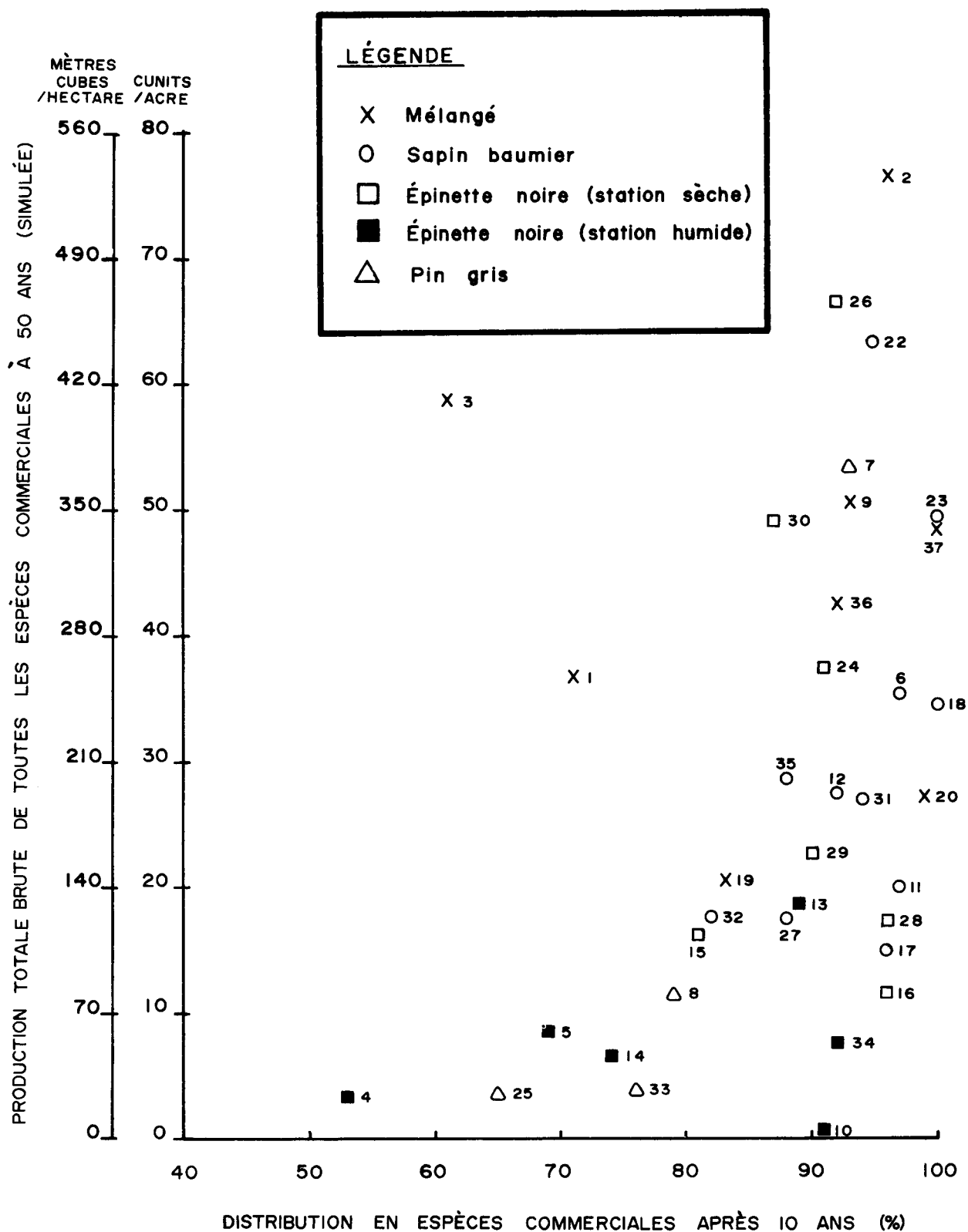


Fig. 14 Relations entre la distribution en espèces commerciales à l'âge de 10 ans et le rendement simulé de ces mêmes espèces commerciales à 50 ans.

Tableau 6: État du sol 10 ans après coupe

Composition du peuplement avant coupe	Surface Intacte (%)	Épaisse couche de débris (%)	Mince couche de débris* (%)	Déchets de cons- truction de routes et jetées	Troncs d'arbres à la surface du sol (%)	Végétation dominante	Indice d'ombrage				Perturbations à la surface du sol	
							Élevé (%)	Moyen (%)	Bas (%)	Complètement exposé (%)	Traces visibles des engins	Pas de perturbations (%)
PIN GRIS	100	0	12	aucun	0	Lédon Laurier Bleuet	0	50	25	20	aucune	98
ÉPINETTE NOIRE (stations sèches)	70	0	10	aucun	10	Bleuet	35	20	10	35	aucune	99
ÉPINETTE NOIRE (stations humides)	95	0	1	aucun	0	Graminées Bleuet	0	45	35	25	aucune	100
MÉLANGÉ	60	0	10	aucun	10	Fougères Surface du sol intacte	35	30	20	10	aucune	90
SAPIN BAUMIER	70	0	7	aucun	0	Mousses Surface du sol intacte	35	30	20	10	aucune	98

* Moins de 6 po. (15 cm) d'épaisseur.

d'exploitation et plus de 95% de la surface du sol imperturbée. Parmi les effets attribuables aux engins d'exploitation, seuls demeuraient encore visibles 10 ans après coupe une légère compaction de l'humus dans une aire d'étude sur 36 et un mélange des horizons du sol dans certaines sections de deux autres aires d'études. Dix ans après coupe, il n'existait plus de relation entre les méthodes d'exploitation et l'état du sol, à l'exception d'une différence visuelle dans la croissance en hauteur ou dans la composition du peuplement, dans le cas de certains procédés d'exploitation où les débris avaient été disposés systématiquement, comme ce fut le cas avec le débardage sur traîneaux. Il n'était pas évident que le mouvement des engins ait provoqué une compaction du sol (c'est-à-dire un changement irréversible dans la structure et les conditions de drainage) ou de l'érosion dans les bûchés. On a déjà établi que la compaction du sol par les engins

d'exploitation ne devrait vraisemblablement pas causer de difficultés particulières dans les peuplements de la forêt boréale sur sols organiques profonds (Barrett 1966, Frisque 1977).

Essais biologiques

La survie moyenne des résineux en godets plantés immédiatement après coupe atteignait 23% après 5 saisons de croissance. Le coefficient de distribution moyen des placettes ensemencées en épinette noire et en pin gris était de 16% après une période identique. L'ensemencement n'a jamais donné de résultats supérieurs à un coefficient de distribution de 29% après 5 ans sauf dans un cas où ce coefficient a atteint 97% pour l'épinette noire dans une aire d'études exploitée à l'aide de l'abatteuse multi-fonctionnelle Beloit. Le

terrain était marécageux et le brassage du sol par ce lourd engin à chenilles a créé un lit de germination extrêmement propice à l'épinette noire.

En raison des piètres résultats obtenus après 5 ans, on n'a effectué aucun autre relevé des placettes d'essais biologiques 10 ans après coupe.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

1. Importance de préserver la régénération préétablie au moment de l'exploitation.

Toutes les aires d'études présentaient avant l'exploitation une abondante régénération préétablie. Suite à la destruction initiale d'une partie de celle-ci au moment même de l'exploitation, la régénération préétablie résineuse résiduelle pouvait réussir à occuper et parfois à dominer le site, mais elle souffrait de la compétition des feuillus et des morts-bois qui se développaient après coupe. La structure du peuplement après 10 ans et les rendements projetés des résineux à 50 ans reflètent ce «début difficile» de la régénération préétablie survivante, surtout dans les sites les plus riches où il existe des risques de compétition de la part des feuillus et des morts-bois.

Les données laissent entrevoir que la destruction presque complète de la régénération préétablie (distribution aussi faible que 15%) peut être suivie du développement d'une bonne régénération en résineux, mais au prix d'une baisse considérablement projeté à 50 ans. Ainsi au seul point de vue du rendement, les efforts requis par l'établissement de mesures destinées à protéger la régénération préétablie durant l'exploitation en valent sans doute la peine. Même dans les peuplements possédant une régénération préétablie très dense en sapin baumier, on ne devrait pas exploiter de façon à laisser une régénération préétablie inégalement distribuée.

Bien que l'échantillonnage ait été limité, il semble que les exploitations où l'on utilise des transporteuses au lieu des débardeuses tendent à détruire une moins grande proportion de la régénération préétablie. Lorsque cette régénération est détruite, les résultats indiquent que le type d'exploitation étudié n'a pas entraîné de scarifiage suffisamment propice à l'établissement

fructueux d'une reproduction en résineux. Arnott (1968b) et Alm (1971) ont également noté l'absence de scarifiage produit par l'équipement d'exploitation.

2. Normes de distribution

Les normes de distribution ont pour but de permettre de juger de la valeur de la régénération en termes de rendement potentiel, ainsi que de la nécessité d'une action réparatrice telle que plantation ou ensemencement.

Sur les terres de la Couronne, il existe traditionnellement une norme minimale assurant que la productivité des futurs peuplements forestiers ne tombera pas en deçà d'un rendement anticipé. Ce rendement est généralement établi comme étant l'équivalent de celui du peuplement original, issu d'un feu et souvent encore vierge, coupé précédemment, ou d'une certaine proportion du rendement «normal» pour cette station. Le chiffre le plus souvent mentionné équivaut à une distribution de 60%, par quadrat d'un millième d'acre, et à une densité de 1,000 tiges à l'acre d'arbres vigoureux et désirables (2,500/ha) (Weetman, Grapes et Frisque 1973, Robinson 1975). On trouve d'autres normes dans des guides sylvicoles particuliers à certaines espèces (Fowells 1965, Marquis, Solomon et Bjorkbom 1969, Frank et Bjorkbom 1973, Robinson 1974, Bruce et Heeney 1974, Marquis et al. 1975).

Une bonne planification de l'aménagement forestier et particulièrement la prévision des rendements exige que l'on connaisse les courbes de rendement selon une variété de stations, d'espèces, de coefficients de distribution et de densités de la régénération, de façon à simuler, dans des modèles-mathématiques, la croissance des peuplements forestiers afin d'en calculer la possibilité. Ces calculs demandent que chaque peuplement soit relié de façon précise à des courbes de rendement. On doit évidemment posséder une bonne idée de l'état de la régénération et de son évolution probable si l'on veut relier une superficie donnée à une courbe de rendement déterminée.

Il n'existe pas de relation évidente entre les normes de distribution à 5 ans actuellement utilisées et les rendements anticipés, surtout lorsque les normes ne tiennent pas compte de la compétition des feuillus et de la tolérance des essences ou de leur croissance en hauteur. Pour certaines espèces, on a pu relier la distribution par quadrat (Staeble 1949) ou la

densité de reproduction (Johnstone 1976) au rendement anticipé. Cependant, il y avait alors absence de compétition sérieuse de la part des feuillus ou d'autres essences. La distribution ne devrait pas seulement donner une idée de l'occupation du site, mais elle devrait également inclure certaines données sur la croissance (Stage 1969).

En principe, on devrait prendre les décisions relatives aux traitements des bûchés avant la récolte et on ne devrait pas attendre 5 ans après la coupe, alors que les traitements réparateurs deviennent difficiles et coûteux. Cependant cette étude a démontré qu'il est très difficile de porter des jugements sûrs au sujet de la survie de la régénération préétablie et de son évolution après coupe. Elle a démontré également qu'une politique délibérée avant coupe, de préservation de la régénération préétablie, s'avère très importante en termes de rendements futurs. Selon l'opinion émise par les auteurs et d'après les aires d'études échantillonnées, la survie de la régénération préétablie s'est révélée meilleure après 5 ou 10 ans qu'on ne l'avait prévu immédiatement après la coupe. Mais la régénération après coupe n'était pas aussi bonne 10 ans plus tard qu'elle n'avait été évaluée 5 ans plus tôt, surtout si l'on s'attarde à la distribution du meilleur sujet.

Dans les peuplements de plus de 5 ans, il est plus valable de prévoir le rendement à l'aide de la structure du peuplement et de la composition des essences qu'à l'aide de la distribution par quadrat ou de simples données sur la densité, surtout si les feuillus et les morts-bois apparaissent.

Si l'on ne fait pas appel à des méthodes d'aménagement conçues en vue d'augmenter le rendement, on ne peut identifier les aires bûchées à des courbes de rendement précises, tant que leur structure et leur composition ne se sont pas stabilisées suffisamment pour le permettre, soit généralement vers l'âge de 20 ou 30 ans. Les tables de rendement des peuplements purs commencent habituellement vers cet âge. Cependant, dans le cas de la plupart des peuplements bûchés de l'est du Canada, on n'a pas encore établi de courbes et de tables de rendement, comme celles d'Alexander, Shepperd et Edminster (1975). De telles courbes sont difficiles à mettre au point à cause de la composition souvent mélangée des essences après coupe et de modèles inconnus d'évolution du peuplement.

De façon courante, dans de récents exemples de simulation de rendement, on a assimilé les

peuplements à des courbes généralisées de rendement (Baskerville et Weetman 1977), ou bien on a eu recours à des courbes de rendement empiriques récemment mises au point (Page et Van Nostrand 1973, Boudoux 1976). De toute évidence, une prévision plus adéquate des rendements exigerait des recherches plus poussées sur la simulation de la dynamique des peuplements (voir Leary 1968, Moser 1972, Payandeh 1974, Boudoux 1977a, b), ainsi que sur les relations entre la distribution par quadrat et les courbes de rendement (voir Rose 1974).

La très grande variation des résultats de reproduction apparaissant dans ce rapport laisse entrevoir que les rendements de ces bûchés seront beaucoup plus variables que ceux des peuplements originaux et probablement plus faibles. Même lorsqu'ils sont groupés par espèces, les tendances demeurent difficiles à déceler. Plutôt qu'une évaluation des bûchés en termes de distribution générale ou de normes de densité, un aménagement forestier plus intensif exige un contrôle attentif de l'évolution du bûché en vue de prévoir le rendement. L'utilisation de la technique du «meilleur sujet» peut être une façon d'accomplir ce contrôle.

3. Rendements projetés

En vue de simplifier la discussion des résultats relativement aux rendements totaux projetés dans les bûchés, on a décidé d'établir quelques objectifs de production simples pour la production totale brute à l'acre à l'âge de 50 ans. Ces objectifs atteignent:

1. 10 cunits (70 m³/ha) dans le cas des peuplements d'épinette noire sur station excessivement humide, représentés par les aires d'études 4, 5, 10, 13, 14 et 34.
2. 25 cunits (175 m³/ha) dans le cas de peuplements d'épinette noire sur station sèche mieux drainée, représentés par les aires d'études 15, 16, 24, 26, 28, 29 et 30.
3. 20 cunits (140 m³/ha) dans les peuplements de pin gris représentés par les aires d'études 7, 8, 25 et 33.
4. 30 cunits (210 m³/ha) dans les peuplements de sapin baumier représentés par les aires d'études 6, 11, 12, 17, 18, 22, 23, 27, 31, 32 et 35.
5. 40 cunits (280 m³/ha) de feuillus et de résineux pour les peuplements mélangés représentés par les aires d'études 1, 2, 3, 9, 19, 20, 36 et 37.

Une fois établis ces standards de production, à partir des rendements obtenus dans les peuplements avant coupe, l'étape suivante



Planche VI. Reproduction en résineux dominée par les feuillus, ce qui entraîne une forte compétition, 10 ans après l'exploitation.

A (aire 9): Ancien peuplement mélangé, débardage de billes de 16 pieds (4.8 m) à l'aide de chevaux. (Qué.)

B (aire 24): Ancien peuplement d'épinette noire, transport de billes de 4 pieds (1.2 m) à l'aide de traîneaux tirés par des chevaux. Remarquer que la reproduction en résineux consiste surtout de sapin baumier. (N.B.)

consiste à les comparer, pour les divers types forestiers, aux rendements totaux bruts projetés à 50 ans, dérivés du modèle (tableau 5, p. 35 - 36).

Dans le cas des peuplements d'épinette noire sur station humide, le rendement total brut à 50 ans se tient généralement au-dessous de l'objectif modeste de 10 cunits à l'acre (70 m³/ha) (tableau 5). Les faibles rendements des peuplements d'épinette noire sur station humide sont généralement liés à de faibles niveaux de distribution. À ces endroits, la densité en résineux à 50 ans n'atteignait en moyenne que 466 tiges à l'acre (1,150/hectare) comparativement à 2,560 (6,300/hectare) pour une station de classe III d'âge équivalent, d'après Plonski (1960). À d'autres endroits, la densité est suffisante, s'élevant à 5,300 tiges à l'acre (13,100/hectare) à 50 ans, mais la croissance est plus lente, ce qui réduit le rendement total brut. Afin d'améliorer la densité et d'empêcher l'élévation de la nappe phréatique (cause probable des faibles taux de croissance), on pourrait modifier la méthode sylvicole de coupe à blanc par une coupe par bandes, cette dernière s'étant avérée plus efficace pour la régénération de l'épinette noire que la coupe à blanc (Fraser et al. 1975, Frisque 1977).

Lorsqu'il s'agit de peuplements d'épinette noire sur station sèche mieux drainées, le rendement total brut projeté à l'acre à 50 ans dépasse l'objectif de production dans trois des sept aires d'étude. La conversion du peuplement d'épinette en un peuplement possédant une proportion beaucoup plus élevée de sapin baumier après l'exploitation ne constitue pas un résultat inattendu (MacLean 1960, Hosie 1953), mais à cause de sa forte proportion en sapin baumier, nous avons alors un type forestier excessivement instable, compte tenu de l'actuelle épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'est du Canada.

Dans les peuplements de sapin baumier, le rendement total brut projeté à l'acre à 50 ans était moins élevé que l'objectif de production, dans toutes les aires étudiées, sauf une. La faible production de sapin baumier est directement liée à la compétition plus forte des feuillus sur ces sites plus riches. On en trouve un bon exemple dans l'aire d'études 12 (figure 12), où le bouleau à papier dominant en hauteur, joint à une forte compétition des morts-bois, est parvenu à éliminer l'épinette du bûché, et à réduire de façon substantielle le développement du sapin baumier dans le

modèle. Le problème de la diminution des rendements due à la compétition des feuillus sur les stations de meilleure qualité ne constitue pas un résultat inattendu et il a déjà été traité par Hughes (1967) et MacLean (1960).

Dans les peuplements de pin gris, le rendement total brut projeté à l'acre à 50 ans resta bien au-dessous de l'objectif de production. Les rendements très faibles en pin gris (seulement 5% de l'objectif de production) furent directement attribués à des niveaux de densité dont la projection n'atteignait en moyenne que 166 tiges de pin gris à l'acre (410/hectare) à 50 ans dans les quatre aires d'études de pin gris, comparativement à 640 tiges à l'acre (1,580/hectare) à 50 ans sur une station de classe II d'après Plonski (1960). De toute évidence, l'augmentation du rendement en pin gris demandera plus qu'une simple coupe à blanc, sans autre apport sylvicole. Dans des cas semblables, Grinnell (1970) a suggéré de faire suivre la coupe à blanc d'un scarifiage qui prépare un lit de germination minéral et d'un contrôle de la compétition des feuillus, ainsi que de plantation ou d'ensemencement aérien.

Dans les peuplements mélangés, la production totale brute des résineux et des feuillus combinés, à 50 ans, dépasse l'objectif de production dans cinq aires d'études sur huit. Il est à noter que la production totale brute peut être élevée dans les peuplements mélangés. Cependant le volume total brut projeté des résineux est souvent moindre que celui des feuillus. Ceci s'explique par les difficultés d'établir une régénération en résineux dans des peuplements mélangés et de la maintenir malgré la forte compétition exercée par les feuillus et les morts-bois (Hughes 1967).

4. Essais biologiques

En général, les exploitations forestières n'ont créé que peu de perturbation du sol. Ainsi les piètres résultats obtenus lors des essais biologiques sur diverses conditions du sol, par l'utilisation de semis en godets (Ontario) et par un ensemencement dense, peuvent être attribués au manque de préparation, par l'équipement d'exploitation, d'un site de plantation et d'un lit de germination adéquats. Comme il n'y a pas eu répétition de l'expérience, le climat local durant la première saison suivant l'essai biologique peut également expliquer quelques-uns des échecs.

Les résultats anormalement médiocres obtenus avec les godets dépendent sans doute des imperfections maintenant bien reconnues du genre de godets utilisés. Sans un scarifiage adéquat, il serait préférable dans la plupart des cas de planter des semis à racines nues ou dans de bons godets, plutôt que d'ensemencer (Cayford 1974). Les résultats indiquent la nécessité de préparer adéquatement les lits de germination et le terrain avant de procéder à la régénération artificielle.

5. Reproduction globale et conséquences pour le rendement

Dix ans après l'exploitation, si l'on regarde les 36 aires d'études, la distribution en résineux s'élève à 79% avec 6,600 tiges à l'acre (16,300/hectare), et la distribution en feuillus à 46% avec 2,580 tiges à l'acre (6,360/hectare). Pour l'ensemble des résineux et des feuillus commerciaux, le coefficient de distribution atteint 87%.

Cependant, si l'on considère la distribution du «meilleur sujet», les résineux dominent 51% des quadrats, tandis que les feuillus (surtout intolérants) dominent 24% des quadrats. Quant au reste (25%), il présente une dominance de broussailles. Ceci signifie qu'un quart de la superficie ne se reproduit pas en essences potentiellement commerciales et que les résineux ne constituent l'essence dominante que sur la moitié de la superficie. On doit comparer ces résultats à la composition du peuplement avant coupe, laquelle était de 88% en résineux et 12% en feuillus, les broussailles ne comptant que pour 0.2%. Cependant, il s'agissait alors d'un peuplement à l'âge de révolution et non 10 ans après l'exploitation.

La projection à 50 ans donne des rendements très variables et souvent très faibles en résineux, parfois même au-dessous d'objectifs de production raisonnables établis d'après des rendements rencontrés dans des peuplements vierges. Ces rendements plus faibles correspondent d'ailleurs à un grand nombre de tiges au cunit, ce qui laisse entrevoir des âges de révolution bien au-dessus de 100 ans si l'on veut attendre que le nombre d'arbres au cunit baisse à un niveau acceptable (c'est-à-dire 10-30 arbres/cunit (4 à 11/m³)), selon les normes commerciales actuelles et la technologie d'exploitation.

Il semble peu probable que la reproduction et l'évolution du peuplement suivent les modèles indiqués par les courbes de rendement normales couramment disponibles, basées sur

des peuplements issus d'un feu. Les peuplements futurs seront moins denses et moins uniformes. Ils contiendront plus de feuillus et seront sous-peuplés, selon les tables de rendement «normales». La valeur des rendements futurs baigne dans l'incertitude (Weetman et Frisque 1977).

À partir de places permanentes de reproduction établies vers 1920, Westveld (1953) a mis au point des tables de rendement empiriques pour les bûchés d'épinette et de sapin du nord-est des États-Unis. Étant donné la différence dans les normes d'utilisation (6 pouces (15 cm) au d.h.p. étant le diamètre minimum de récolte), les données de Westveld ne peuvent se comparer aux rendements projetés obtenus dans ce rapport. Cependant, quelques-uns de ses résultats et de ses conclusions sont semblables aux nôtres. Westveld a trouvé que la distribution après coupe était hautement variable; qu'à une faible distribution initiale correspondait souvent un accroissement rapide de la densité; et que ce taux d'accroissement diminuait avec l'augmentation de la distribution. Il a remarqué que, si l'on veut prévoir le rendement, il est important de déterminer «l'âge réel» d'après le peuplement en croissance dans le bûché, et non l'âge chronologique ou âge actuel basé sur la période écoulée depuis la coupe. Westveld obtint cette autre conclusion frappante que la croissance et le rendement sont intimement liés à la composition du peuplement, c'est-à-dire aux proportions respectives de résineux et de feuillus. Ses données indiquent qu'au cours d'une longue période de temps (50 ans), ces proportions ne se modifient que légèrement, pourvu que n'intervienne aucune épidémie sérieuse causée par un insecte ou une maladie. Ainsi, on n'aurait pas de changement appréciable dans la composition si les projections de rendement sont faites jusqu'à 50 ans.

Il importe de mettre au point des méthodes d'inventaire de la reproduction qui soient plus intimement liées aux rendements futurs. Bien qu'il soit possible d'atteindre les normes de distribution traditionnelles, nous ne pouvons, d'après cette étude, être assurés d'obtenir, à un âge de révolution normal, des rendements futurs aussi élevés ou des peuplements aussi uniformes que les peuplements d'avant coupe. Une première amélioration aux techniques d'inventaire, particulièrement dans les régions sujettes à l'invasion des broussailles et des feuillus, consisterait à utiliser la distribution

du «meilleur sujet» comme indication de la composition future du peuplement.

Cette étude a démontré à quel point il est difficile de prévoir l'évolution de la reproduction en examinant les bûchés immédiatement après la coupe et 5 ans plus tard. Plusieurs aires d'études ont donné des résultats inattendus. De toute évidence, on n'est encore qu'au tout début dans l'élaboration de modèles dynamiques réalistes de l'évolution des peuplements. La période qui s'étend de 0 à 20 ans — peut-être jusqu'au moment de la fermeture du couvert forestier — semble particulièrement importante et inconnue; elle mérite donc une attention spéciale dans la recherche future.

Même si les modèles dynamiques habituels (y compris celui mis au point et publié dans cette étude) ne sont encore que rarement soumis à une «confirmation» traditionnelle, leurs incertitudes n'annulent pas complètement ce qu'ils laissent entrevoir. À tout le moins, les projections de rendements effectuées dans ce rapport devraient-elles soulever certaines questions fondamentales quant à l'usage continu, dans la prévision des rendements, de méthodes et de normes arbitraires et traditionnelles qui supposent que les rendements de tous les bûchés seront équivalents à ceux des peuplements précédents.

LES OBJECTIFS FIXÉS ONT-ILS ÉTÉ ATTEINTS ?

Au début de cette étude, on a posé quelques questions fondamentales, auxquelles certaines réponses ont été apportées:

1. Q: Le scarifiage dû à l'opération de récolte elle-même s'est-il révélé suffisant à la préparation de lits de germination réceptifs pour les résineux, et combien de temps ses effets ont-ils duré ?
R: Non, en général le scarifiage ne s'est pas révélé suffisant, même durant les exploitations d'été.
2. Q: La régénération préétablie était-elle détruite au point de compromettre la reproduction des peuplements récoltés ?
R: Si la régénération préétablie comportait plus de 5,000 tiges bien distribuées à l'acre (12,400/ha), un nombre suffisant d'entre elles ont survécu à l'exploitation d'été pour assurer un nouveau peuplement, mais le rendement en résineux sera probablement

moindre, et il faudra allonger la révolution avant de pouvoir exploiter.

3. Q: La régénération naturelle était-elle suffisamment abondante pour remplacer, si nécessaire, la régénération préétablie détruite par l'exploitation ?
R: La régénération naturelle a remplacé la régénération préétablie détruite, mais elle était plus petite, et n'apparaissait généralement que lorsque l'exploitation avait donné lieu à la préparation de lits de germination. De plus, cette régénération résineuse était plus facilement supprimée par la compétition de morts-bois et de feuillus vigoureux.
4. Q: Les divers types de procédés ou d'engins d'exploitation ont-ils produit des effets différents sur la reproduction des peuplements ?
R: Oui, en ce qui concerne la destruction de la régénération préétablie. Non, si l'on parle d'effets significatifs à long terme sur la perturbation du sol ou le scarifiage des aires bûchées.
5. Q: Lorsqu'il y avait reproduction, se composait-elle des espèces désirées, en quantité suffisante et bien distribuées ?
R: Non, pas selon les normes actuelles d'espèces et d'exploitabilité.
6. Q: Le gros de la reproduction s'est-il établi avant l'exploitation ou surtout après ?
R: Le gros des résineux provenait de la régénération préétablie. Les nombreux feuillus et morts-bois s'établirent presque tous après l'exploitation. Il y eut peu de changement en densité et en distribution entre 5 et 10 ans, mais la dominance relative des espèces s'est modifiée considérablement durant cette période.
7. Q: Quelles sont, à un âge donné, la densité et la distribution idéales de la reproduction qui produiraient à l'âge de révolution un peuplement facilement exploitable ?
R: La densité et la distribution seules ne suffisent pas à définir les conditions idéales, sauf dans des peuplements purs. Toute norme devrait tenir compte de la structure du peuplement et de l'évolution des essences compétitives. On a davantage besoin de modèles d'évolution du peuplement que de normes de distribution. Cette étude démontre que les normes traditionnelles de 60% de distribution et de 1,000 tiges à l'acre (2,500/ha) n'assurent pas nécessairement des rendements équivalents des essences récoltées aux âges habituels de révolution.

8. Q: Quels seraient les taux de survie d'une régénération issue d'ensemencement ou de plantation dans des peuplements soumis à l'exploitation mécanisée ?
- R: Il est peu probable que les taux de survie soient acceptables, sans scarifiage, sans élimination des morts-bois ni autres traitements sylvicoles. On doit ici mentionner que le meilleur godet disponible au début de cette étude n'est plus utilisé aujourd'hui, ayant cédé la place à un godet amélioré, plus grand (Cayford 1972).
9. Q: La compaction du sol et l'érosion poseraient-elles de graves difficultés dans les superficies bûchées soumises à divers procédés d'exploitation mécanisée ?
- R: Non, s'il s'agit de la compaction du sol lors des exploitations d'été et d'automne. Non, dans le cas de l'érosion, mais on n'a étudié que des superficies relativement plates.

CONCLUSIONS

La présente section offre quelques conclusions générales tirées d'une part de cette étude sur la reproduction et l'état du sol avant, immédiatement après, et 5 et 10 ans après l'exploitation mécanisée de 36 peuplements de résineux à pâte dans l'est du Canada, et d'autre part de projections de rendements simulés des peuplements à 50 ans.

L'exploitation a détruit des quantités considérables de régénération préétablie. Au double point de vue de la distribution et de la densité, les pertes variaient suivant l'espèce et le genre d'exploitation. Pour le sapin baumier, l'exploitation a détruit 80% de la régénération préétablie lorsque celle-ci était très dense, et 58% lorsqu'elle était moins dense. La régénération préétablie d'épinette ne représentait que le quart de celle du sapin baumier; les pertes dues à l'exploitation se situaient régulièrement aux alentours de 75%, sauf à des très faibles densités. La régénération préétablie feuillue de faible densité fut détruite à 80%; les pertes étaient moindres lorsqu'on rencontrait par îlots une régénération feuillue plus dense.

Indépendamment de l'essence ou du groupe d'essences, l'exploitation réduisit la distribution de la régénération préétablie de 20 à 25%, sauf à de très bas niveaux de distribution avant coupe; dans ce dernier cas le coefficient de distribution ne s'abaissa jamais de plus de 10%. Le type d'exploitation influença également la survie de la régénération préétablie. Le débusquage par câble, le débardage avec traîneaux et chevaux de rondins de 4 pieds (1.2 m) et les transporteurs de billes de 8 pieds (2.4 m) causèrent moins de dommages à la régénération préétablie que le débardage par les méthodes d'arbres en longueur ou entiers.

La destruction de la régénération préétablie peut être compensée par le développement d'une bonne régénération résineuse après l'exploitation, mais cette dernière régénération doit souvent faire face à une forte compétition des feuillus et des morts-bois après coupe. Les rendements futurs peuvent donc dépendre d'une politique délibérée visant à préserver la régénération préétablie résineuse au moment de l'exploitation. Puisque les difficultés proviennent davantage d'une diminution dans la distribution de la régénération préétablie que dans la densité, on devrait minimiser les déplacements d'engins et le nombre de sentiers de débardage.

Dix ans après l'exploitation, toutes les aires étudiées présentaient plus de 1,000 tiges à l'acre (2,500/ha) et un coefficient de distribution supérieur à 50%. Selon les normes traditionnelles, la plupart d'entre elles jouissaient d'une bonne reproduction. Cependant les résultats obtenus sur la reproduction étaient très variables et laissaient entrevoir des rendements plus faibles que ceux des peuplements avant coupe, surtout dans le cas du pin gris et de l'épinette noire sur station humide.

La structure du peuplement et la composition en espèces 10 ans après coupe apparaissent comme des indices plus révélateurs des rendements futurs que la densité ou la distribution obtenues à partir de quadrats. L'utilisation de la technique de distribution du «meilleur sujet» fournit un aperçu de la composition future du peuplement. Grâce à cette technique, on a trouvé que, dans les peuplements d'épinette noire sur station sèche, les résineux dominaient 60% des quadrats, donnant ainsi les résultats les plus favorables. Les résultats les moins favorables provenaient de peuplements mélangés, où les résineux dominaient 41% des quadrats, les feuillus 32% et les morts-bois 26%.

L'invasion des feuillus et des morts-bois ne constituait pas un problème immédiatement après la coupe, mais elle était devenue évidente 5 ans plus tard. Entre 5 et 10 ans, le nombre de tiges de feuillus et de broussailles alla en diminuant, surtout à cause de la mortalité des jeunes bouleaux à papier. La distribution en résineux augmenta entre les inventaires faits immédiatement après coupe et 10 ans plus tard. Contrairement aux résineux, chez les feuillus, de fortes densités n'étaient pas liées à une distribution élevée.

Il était difficile de prévoir de façon sûre la survie et l'évolution de la régénération préétablie à la suite de l'exploitation. En effet, la survie était meilleure 5 ou 10 ans plus tard qu'on ne l'avait prévu immédiatement après coupe. La régénération après coupe n'était pas aussi bonne au bout de 10 ans qu'elle ne l'avait semblé après 5 ans, surtout lorsqu'on se servait de la technique de distribution du «meilleur sujet».

On ne trouva qu'une faible relation entre les résultats obtenus sur la reproduction à 10 ans et les rendements projetés à 50 ans; tous deux variaient considérablement d'une aire d'études à l'autre. Dans la plupart des aires, on obtenait par projection un nombre élevé de résineux au

cunit. On n'a pas encore mis au point de courbes de rendement des peuplements forestiers issus d'un bûché dans l'est du Canada. La conversion des peuplements résineux en peuplements mélangés, due à l'invasion des feuillus après une coupe de bois à pâte, rendra cette tâche plus difficile.

On devra réexaminer soigneusement les normes actuelles de distribution, afin d'établir une relation plus étroite avec les rendements futurs escomptés. La distribution de la reproduction peut mesurer avec succès le degré d'occupation du site, mais elle laisse de côté les effets de la qualité de la station et de la compétition sur la croissance et l'évolution d'un peuplement. Même en tenant compte d'une considérable marge d'erreur dans le modèle de régénération des bûchés qui englobe les effets de la compétition et de la qualité de la station, on n'a trouvé qu'une faible relation entre la distribution des essences commerciales à 10 ans et les rendements projetés simulés à 50 ans. Au moins la distribution du «meilleur sujet» permet-elle d'évaluer l'effet de la compétition. L'utilisation de cette technique a entraîné l'amélioration de la corrélation entre le rapport simulé de la surface terrière résineux-feuillus à 50 ans et le rapport résineux-feuillus à 10 ans; mais cette relation demeure encore faible.

Une évaluation de la perturbation du sol 10 ans après coupe démontre que 95% de la surface était intacte. On ne voyait pas de traces de compaction du sol ni d'érosion sur les superficies bûchées, mais les routes et les jetées n'ont pas été échantillonnées. La plantation à l'aide de petits godets, ou l'ensemencement direct, immédiatement après coupe, ne rencontrèrent guère de succès. La plantation de semi en godets plus grands ou de semis à racines nues aurait probablement mieux réussi.

ANNEXE 1

NOMS ET SYMBOLES DES ESPÈCES D'ARBRES ET DE PLANTES

Abré- viation *	Nom scientifique	Nom français **	Nom anglais ***
EP	<i>Picea</i> A. Dietr.	Épinette	Spruce spp.
EPN	<i>Picea mariana</i> (Mill.) B.S.P.	Épinette noire	Black spruce
EPB	<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss	Épinette blanche	White spruce
EPR	<i>Picea rubens</i> Sarg.	Épinette rouge	Red spruce
SAB	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	Sapin baumier	Balsam fir
PIG	<i>Pinus divaricata</i> (Ait.) Dumont ou <i>Pinus banksiana</i> Lamb.	Pin gris	Jack pine
PIB	<i>Pinus strobus</i> L.	Pin blanc	White pine
THO	<i>Thuja occidentalis</i> L.	Cèdre blanc	White cedar
PRU	<i>Tsuga canadensis</i> (L.) Carr	Pruche	Eastern hemlock
MEL	<i>Larix laricina</i> (Du Roi) K. Koch	Mélèze laricin	Tamarack
PE	<i>Populus</i> L.	Peuplier	Poplar spp.
PET	<i>Populus tremuloides</i> Michx.	Peuplier faux-tremble	Trembling aspen
BOP	<i>Betula papyrifera</i> Marsh.	Bouleau à papier	White birch
BOJ	<i>Betula alleghaniensis</i> Britton (<i>Betula lutea</i> Michx. f.)	Bouleau jaune	Yellow birch
OSV	<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch	Ostryer de Virginie	Ironwood or Hornbeam
ERR	<i>Acer rubrum</i> L.	Érable rouge	Red maple
ERS	<i>Acer saccharum</i> Marsh.	Érable à sucre	Sugar maple
ERE	<i>Acer spicatum</i> Lam.	Érable à épis	Mountain maple
SO	<i>Sorbus</i> L.	Sorbier	Mountain ash
PRP	<i>Prunus pensylvanica</i> L.f.	Cerisier de Pennsylvanie	Pin cherry
FRA	<i>Fraxinus americana</i> L.	Frêne blanc	White ash
HEG	<i>Fagus grandifolia</i> Ehrh.	Hêtre américain	Beech
SAL	<i>Salix</i> L.	Saule	Willow
AUR	<i>Alnus rugosa</i> (Du Roi) Spreng. (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	Aulne blanc	Speckled alder
COC	<i>Corylus cornuta</i> Marsh.	Coudrier	Beaked hazel
RU	<i>Rubus</i> spp.	Framboisier	Raspberry
VAA	<i>Vaccinium angustifolium</i> Ait.	Bleuet	Blueberry
AME	<i>Amelanchier</i> Med.	Amélanchier	Serviceberry
VIL	<i>Viburnum lentago</i> L.	Viorne	Viburnum
LEG	<i>Ledum groenlandicum</i> Oeder	Lédon du Gröenland (<i>Kalmia</i> habituellement aussi présent)	Labrador tea (<i>Kalmia</i> also usually present)
PRV	<i>Prunus virginiana</i> L.	Cerisier de Virginie	Chokecherry
SAM	<i>Sambucus pubens</i> Michx.	Sureau rouge	Red elderberry
RI	<i>Ribes</i> spp.	Gadellier	Currants
CO	<i>Cornus</i> L.	Cornouiller	Dogwood
F		Feuillus	Hardwoods
R		Résineux	Softwoods

* Normes d'inventaire forestier. 1972. Ministère des Terres et Forêts, Québec.

** Tiré de la 8e édition à paraître de Hosie, R.C. Arbres indigènes du Canada.

*** Hosie, R.C. Native Trees of Canada. 1969. 7th ed. Can. For. Serv.

ANNEXE 2

LISTE DES AIRES D'ÉTUDES

1 Arbres en longueur	Mélangé	Kimberly-Clark
2 Arbres en longueur	Mélangé-sapin baumier	Kimberly-Clark
3 Arbres en longueur	Mélangé-sapin baumier	Kimberly-Clark
4 Arbres en longueur	Épinette noire	Spruce Falls
5 Débusquage par câble	Épinette noire	Spruce Falls
6 Arbres entiers	Sapin baumier	C.I.P.
7 Arbres en longueur	Pin gris-épinette noire	C.I.P.
8 Dowty, 8 pieds	Pin gris	C.I.P.
9 Chevaux, 16 pieds	Mélangé	C.I.P.
10 Beloit	Épinette noire	C.I.P.
11 Arbres en longueur	Sapin baumier	Consolidated-Bathurst
12 Traîneaux tirés par des chevaux	Sapin baumier	Consolidated-Bathurst
13 Arbres en longueur	Épinette noire-sapin baumier	Price
14 Arbres en longueur	Épinette noire	Price
15 Arbres en longueur	Épinette noire	Price
16 Arbres en longueur	Épinette noire-sapin baumier	Price
17 Arbres en longueur	Sapin baumier-épinette noire	Price
18 Arbres en longueur, J-5	Sapin baumier-épinette noire	Abitibi, Ste-Anne
19 Arbres en longueur	Mélangé	Abitibi, Ste-Anne
20 Arbres en longueur	Mélangé	Domtar
21 Chevaux, 16 pieds, coupe sélective	Sapin baumier	C.I.P. (éliminée)
22 Traîneaux tirés par des chevaux, rondins de 4 pieds	Sapin baumier-épinette rouge	Fraser
23 Arbres entiers	Sapin baumier	Fraser
24 Traîneaux tirés par des chevaux, rondins de 4 pieds	Épinette noire-sapin baumier	Fraser
25 Arbres en longueur	Pin gris-épinette noire	Fraser
26 Arbres en longueur	Épinette noire-sapin baumier	Fraser
27 Arbres en longueur	Sapin baumier	Fraser
28 Arbres en longueur	Épinette noire	Consolidated-Bathurst
29 Abatteuse-transporteuse Koehring, billes de 8 pieds	Épinette noire	Consolidated-Bathurst
30 Débardage avec cerclage 8 pieds	Épinette noire	Consolidated-Bathurst
31 Débardage avec cerclage	Sapin baumier	Nova Scotia Pulp
32 Arbres en longueur	Sapin baumier	Nova Scotia Pulp
33 Arbres en longueur	Pin gris-épinette noire	James Maclaren
34 Arbres en longueur	Épinette noire	James Maclaren
35 Arbres en longueur	Sapin baumier	Domtar
36 Arbres en longueur	Mélangé	Domtar
37 Arbres en longueur	Mélangé	Domtar

NOTE: Le bois exploité par arbres en longueur ou entiers était, sauf indication contraire, débardé à l'aide de débardeuses à roues.

INDEX DES AIRES D'ÉTUDES

Par province

Ontario
Québec
Nouveau-Brunswick
Nouvelle-Écosse

Numéro

1 à 5
6 à 20, 33 à 37
22 à 30
31,32

Par méthode d'exploitation

Exploitation en arbres entiers 6, 23
Abatteuse multi-fonctionnelle Beloit 10
Arbres en longueur, débardeuse à roues 1 à 4, 7, 11, 13 à 17, 19, 20, 25 à 28, 32 à 37
Arbres en longueur, J-5 18
Débardage à l'aide de chevaux, billes de 16 pi. 9
Débusquage par câble, billes de 16 pi. 5
Transporteuses à roues, bois courts, 8 pi. 8, 29, 30, 31
Traîneaux tirés par des chevaux, bois courts, 4 pi. 12, 22, 24

Par essence dominante

(1) Pin gris
(2) Épinette noire
(3) Sapin baumier
(4) Mélangé

Numéro

7, 8, 25, 33
4, 5, 10, 13 à 16, 24, 26, 28 à 30, 34
6, 11, 12, 17, 18, 22, 23, 27, 31, 32, 35
1 à 3, 9, 19, 20, 36, 37

ANNEXE 3

MODÈLE D'ÉVOLUTION DU PEUPEMENT *

Les méthodes traditionnelles d'aborder la prévision de l'évolution d'un peuplement ont souvent donné des résultats décevants, d'une part à cause des longues périodes de temps nécessaires à la confirmation de ces modèles, et d'autre part parce que les peuplements issus d'une coupe à blanc moderne ne répondent pas nécessairement aux conditions et aux hypothèses posées par les techniques classiques de croissance et de rendement. C'est pourquoi la présente étude s'est attaquée à la construction et à l'essai d'un modèle de simulation de peuplement, à l'aide de quelques-unes des méthodes récentes de création de modèles dynamiques appliqués aux écosystèmes. Sous sa forme actuelle, le modèle présente d'importantes contraintes de conception et d'exécution, détaillées ci-dessous. On ne cherche ici qu'à résumer le modèle et ses caractéristiques pour les besoins du lecteur en général. Le spécialiste, intéressé à obtenir de plus amples informations sur le modèle et les extraits provenant des données de cette étude, est invité à s'adresser à l'un des auteurs, M. E. Clemmer. La figure 15 présente un diagramme simplifié du modèle.

Pour produire une simulation de l'évolution du peuplement sur une superficie bûchée, le modèle demande:

1. un cadre chronologique dans lequel faire fonctionner le modèle, consistant par exemple en un âge initial de 5 ans et un âge final de 50 ans, ainsi qu'un intervalle précis, par exemple tous les 5 ans, où le modèle doit imprimer l'extrait désiré;
2. une estimation du régime hydrique de l'aire étudiée, selon la méthode de Hills (1952, 1957). Cette estimation est ensuite convertie en une estimation de l'indice de station à 50 ans, à l'aide de l'équation de Lowry (1972) ainsi définie:

$$IS = 26.3 + 6.99 (RH) - 0.96 (RH)^2$$

où IS est l'indice de site et RH le régime hydrique;

* NOTE: L'expression «hauteur-diamètre», telle qu'utilisée à l'annexe 3, signifie deux phénomènes consécutifs. En effet l'étude ayant porté sur des sujets âgés de 0 à 10 ans, la hauteur a été mesurée pour les sujets de moins de 4.5 pi. (135 cm) de haut et le diamètre fut mesuré lorsqu'il s'agissait de sujets de plus de 4.5 pi (135 cm) de haut. Il ne s'agit donc en aucun cas de relation hauteur-diamètre.

3. la classe moyenne de hauteur-diamètre et le nombre moyen de tiges à l'acre des essences marchandes, (épinette noire, sapin baumier, pin gris, bouleau à papier et peuplier), ainsi que la classe moyenne de hauteur-diamètre et le nombre moyen de tiges à l'acre de toutes les espèces combinées présentes sur l'aire, incluant arbres et grands arbustes, qu'ils soient marchands ou non; et
4. une série de constantes utilisées plus tard dans le programme pour estimer la croissance maximale hauteur-diamètre du peuplement dans son ensemble.

À l'aide de tous ces intrants, le modèle se déroule alors de la façon indiquée à la figure 15, passant tour à tour à chacune des espèces qui a au moins une tige à l'acre, de façon à obtenir:

1. Mortalité et ingression*

Dans le modèle, on estime la mortalité et l'ingression, c'est-à-dire la première section de chaque bloc d'espèce à la figure 15, à l'aide d'un indice de compétition défini comme suit:

$$IC = ICP/ICE$$

où IC est l'indice de compétition, ICP est l'indice de compétition du peuplement, et ICE est l'indice de compétition de l'espèce. L'indice de compétition du peuplement se définit par:

$$ICP = XCP/NTAP$$

où ICP représente l'indice de compétition du peuplement, XCP la classe moyenne de hauteur-diamètre de toutes les espèces présentes sur l'aire et NTAP le nombre de tiges à l'acre de ces mêmes espèces. L'indice de compétition de l'espèce se définit de façon analogue par:

$$ICE = XCEM/NTAE$$

où ICE représente l'indice de compétition de l'espèce, XCEM la classe moyenne de hauteur-diamètre de cette espèce marchande et NTAE son nombre de tiges à l'acre. La définition des indices de compétition, tel qu'indiqué ci-dessus, et leur utilisation pour prévoir la mortalité et l'ingression, sont analogues aux indices de compétition de la surface terrière des peuplements, tels qu'utilisés par Clutter et Allison (1974) et Ek (1974) dans les modèles mathématiques de peuplement.

* L'ingression (ingrowth) peut se définir comme l'apparition de nouvelles tiges sur une aire donnée ou dans une classe déterminée de hauteur-diamètre. L'ingression a donc un effet opposé à celui de la mortalité.

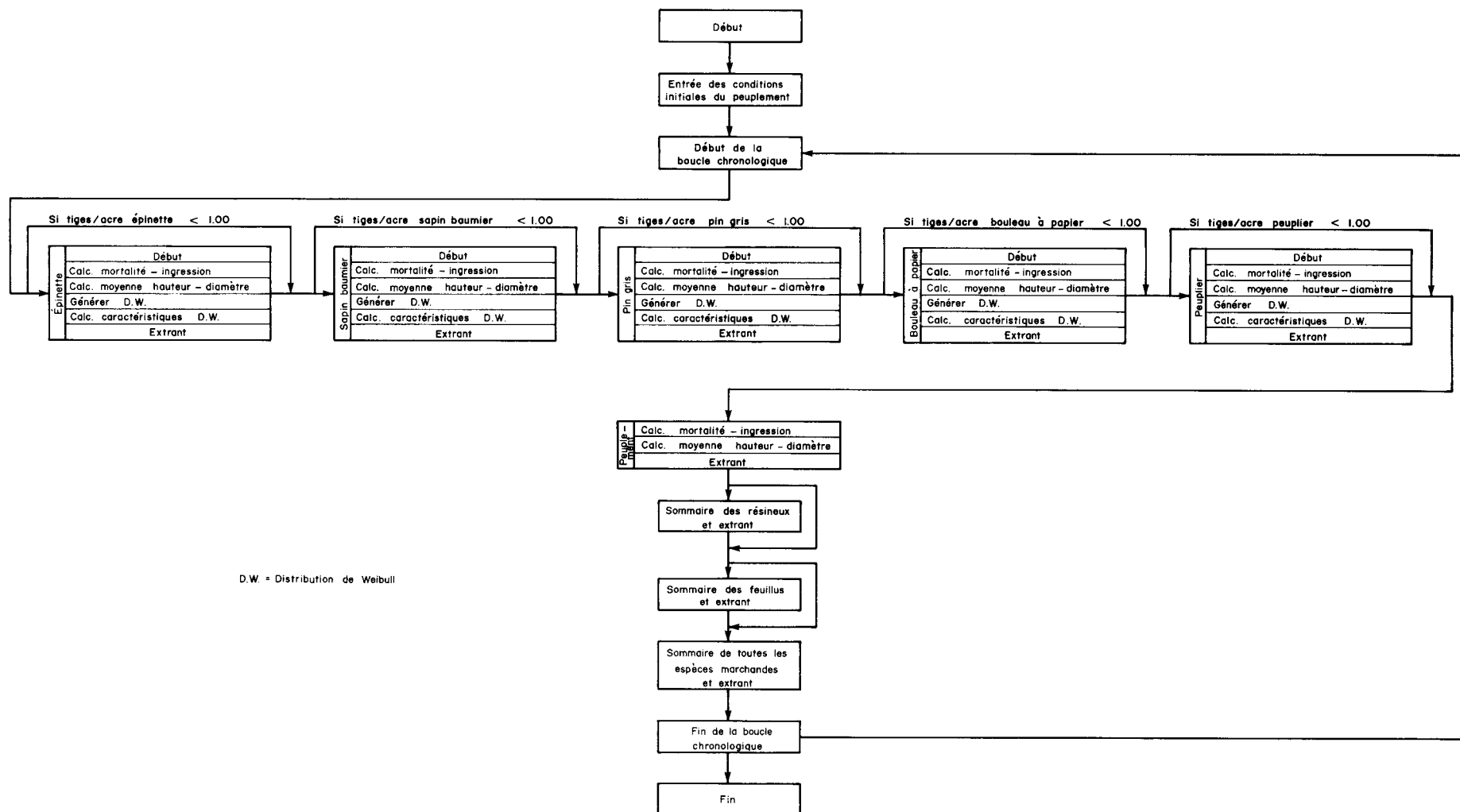


Fig. 15 Organigramme logique simplifié du modèle d'évolution du peuplement.

La relation entre l'indice de compétition tel que défini et l'ingression, définie dans ce modèle comme l'ingression dans la classe de hauteur-diamètre, a été trouvée en pointant les données obtenues durant les périodes 0-5 ans et 5-10 ans de cette étude. Quant à la relation entre la mortalité et l'indice de compétition, on en a dérivé deux séries. La première s'applique aux essences relativement tolérantes (l'épinette et le sapin baumier) et la seconde aux essences intolérantes (le pin gris, le bouleau à papier et le peuplier). Les deux séries de relations, pour l'ingression et la mortalité en réponse à l'indice de compétition, ont été ajustées à des équations hyperboliques de la forme générale:

$$IM = (K \times AS \times IC) / (AS + (K \times IC)),$$

où IM représente soit la mortalité, soit l'ingression, selon l'équation utilisée, K est la pente initiale de la courbe de mortalité ou d'ingression, AS est l'asymptote supérieure qu'approche la courbe de mortalité ou d'ingression, et IC est l'indice de compétition déjà défini.

Dans le modèle, l'ingression se produit au moment où se réalisent deux ensembles de conditions:

1. le diamètre moyen, pour une espèce donnée, est inférieur à 1 pouce (2.5 cm);
2. l'indice de compétition du peuplement demeure au-dessous d'une série de seuils représentant les diverses capacités de croissance des essences marchandes après coupe sur différentes stations. Ces seuils correspondent à 1.5E-4 pour l'épinette, 2.5E-4 pour le sapin baumier, et 4.5E-4 pour le pin gris, le bouleau à papier et le peuplier.

Il y aura mortalité dans le modèle chaque fois qu'on tombera en dehors des limites fixées à l'ingression.

Dans une tentative en vue d'améliorer le fonctionnement des équations fondamentales de mortalité et d'ingression, on a procédé aux modifications suivantes:

1. Pour les équations de mortalité et d'ingression, on a augmenté ou diminué le degré de mortalité et d'ingression par rapport au facteur de saturation défini par:

$$FS = \text{LOG}_{10} \text{NTAE} / \text{LOG}_{10} \text{AST}$$

où FS représente le facteur de saturation, NTAE le nombre de tiges de l'espèce marchande à l'acre et AST l'asymptote supérieure théorique du nombre de tiges de cette espèce sur une station donnée. Le raisonnement invoqué est le suivant: à mesure que l'on approche de la saturation de la station

et qu'on la dépasse, le taux de mortalité augmente alors que le taux d'ingression diminue. Au contraire, à des densités progressivement plus faibles (moins de tiges à l'acre) le taux de mortalité devrait diminuer et le taux d'ingression augmenter.

2. Pour les équations de mortalité seulement, on diminue ou augmente la mortalité des essences marchandes qui ne tolèrent pas l'ombre, c'est-à-dire le pin gris, le bouleau à papier et le peuplier, proportionnellement au facteur de hauteur de l'essence, défini comme suit:

$$FHE = HME/HMTE$$

où FHE représente le facteur de hauteur de l'essence, HME la hauteur moyenne de l'essence et HMTE la hauteur moyenne de toutes les essences marchandes. On se base ici sur le raisonnement suivant, à savoir que, lorsque la hauteur moyenne des essences intolérantes tombe en-dessous de la hauteur moyenne de toutes les essences marchandes, la mortalité devrait augmenter à mesure que les essences intolérantes sont dominées. De plus, indépendamment du facteur de hauteur de l'essence, la mortalité est réduite par un facteur de 1.5 dans le cas du sapin baumier qui tolère l'ombre, et de 1.25 dans le cas de l'épinette, moins tolérante. On suppose ici que l'épinette et le sapin baumier sont susceptibles de résister à un degré plus élevé de suppression à cause de leur plus grande tolérance de l'ombre.

2. Croissance hauteur-diamètre

Une fois terminée l'estimation de la mortalité ou de l'ingression, l'étape suivante consiste, pour une essence marchande donnée, à produire une estimation de la croissance hauteur-diamètre (voir note au bas de la page 51).

D'abord, le modèle produit une mesure de la croissance *potentielle* hauteur-diamètre, qui dans le cas de toutes les essences marchandes, sauf le bouleau à papier, est estimée à partir de l'indice de compétition du peuplement. Pour l'épinette et le sapin baumier, il a été nécessaire d'identifier deux types de réponse à l'indice de compétition du peuplement, selon cet indice lui-même et le régime hydrique. L'un des groupes, doté d'un indice de compétition du peuplement inférieur à 2.5E-4 et d'un régime hydrique situé entre 2 et 5, comprenait les aires, 1, 3, 6, 18-20, 27 et 35-37; l'autre groupe dont l'indice de compétition du peuplement dépassait 2.5E-4 et dont le régime

hydrique se situait en dehors des limites de 2 à 5, comprenait le reste des aires, soit 2, 4, 5, 7-17, 22, 24-26, et 28-34. Dans le cas de l'essence marchande restante, c'est-à-dire le bouleau à papier, on estime la croissance potentielle hauteur-diamètre en fonction de la densité du peuplement. La croissance potentielle hauteur-diamètre, dérivée de l'indice de compétition du peuplement ou de sa densité selon l'essence marchande, est ensuite réduite par un facteur de réduction d'âge obtenu de la façon suivante.

Comme les données sur la croissance potentielle hauteur-diamètre s'appliquent à la période entre 5 et 10 ans, il est nécessaire de développer une méthode pour réduire cette croissance avec le temps; en effet à mesure qu'un arbre croît, il devient progressivement plus difficile de conserver la même croissance hauteur-diamètre que celle d'arbres plus petits âgés de 5 à 10 ans. Dans ce but, on a tracé une série de courbes de potentiel dérivées des tables de rendement normales de Plonski (1960) et de Vézina et Linteau (1968). Elles montrent le taux de changement, dans le temps, des classes de hauteur et de diamètre, pour une qualité de station I, de chaque essence marchande. À partir de cette série de courbes de potentiel, on fait l'estimation du taux de changement de la classe de hauteur ou de diamètre pour l'essence marchande désirée durant une période déterminée de 5 ans. On divise ensuite cette estimation par le changement maximum de classe de hauteur-diamètre obtenu entre 5 et 10 ans sur la même courbe pour la même essence marchande, ce qui réduit selon l'âge le changement de classe de hauteur-diamètre. Le facteur de réduction d'âge ainsi dérivé sert alors à réduire selon l'âge la croissance potentielle hauteur-diamètre. Celle-ci, une fois réduite, est multipliée par le facteur d'indice de station dérivé de la fonction d'indice de station préalablement décrite, pour donner le changement final de classe de hauteur-diamètre qui est alors ajouté à la valeur précédente de classe moyenne de hauteur-diamètre, produisant ainsi une nouvelle valeur moyenne de classe de hauteur-diamètre.

3. Distribution de Weibull

Une fois dérivées les estimations de mortalité-ingression ainsi que de croissance hauteur-diamètre, l'étape suivante dans chaque bloc d'espèce de la figure 15 consiste à produire une distribution de classe de hauteur-diamètre

à l'aide de la fonction de Weibull (voir Bailey et Dell (1973) pour plus de détails sur la distribution de Weibull). À cette fin, on doit posséder une estimation du nombre de tiges à l'acre de l'espèce marchande retenue, le paramètre d'échelle de la distribution de Weibull et son paramètre de forme.

On a déjà obtenu le nombre de tiges à l'acre de l'essence marchande retenue, et l'on peut estimer le paramètre d'échelle de la distribution de Weibull directement à partir de la classe moyenne hauteur-diamètre de cette essence. Enfin, on estimera le paramètre de forme de la distribution de Weibull à partir du nombre de tiges à l'acre de l'essence marchande retenue, en supposant qu'à mesure que ce nombre diminue, la valeur du paramètre de forme augmentera, puisque l'essence marchande sera concentrée en un moins grand nombre de classes de diamètre.

4. Caractéristiques de la distribution des diamètres

Étant donné une distribution de hauteur-diamètre produite à l'aide de la fonction de Weibull, les estimations des classes de hauteur et de diamètre sont basées sur:

1. la hauteur totale, à l'aide des valeurs médianes des classes de hauteur pour les cinq classes de hauteur, et des courbes de hauteur-diamètre dérivées des tables de rendement normales de Plonski (1960) et Vézina et Linteau (1968) pour les classes de diamètre;
2. la surface terrière; et
3. le volume total brut et le volume total marchand à l'aide de la formule de Honer (1967).

À partir des changements de volume total brut et total marchand survenus au cours des 5 années précédentes, on a dérivé une estimation des accroissements brut total et marchand total, annuels courants et annuels moyens du peuplement.

5. Sommaires des paramètres et des groupes d'essences du peuplement

Lorsque la méthode que nous venons de décrire a été suivie pour chaque espèce marchande possédant plus d'une tige à l'acre, l'étape suivante à la figure 15 consiste à

estimer les paramètres appropriés du peuplement. Ils comprennent:

1. la mortalité et l'ingression du peuplement, calculées en fonction de son indice de compétition. Quand cet indice est inférieur à $4.5E-4$, on aura de la mortalité, alors qu'on aura de l'ingression, si l'indice est supérieur à $4.5E-4$;
2. la croissance potentielle hauteur-diamètre du peuplement, calculée en fonction de son indice de compétition et donnant deux types différents de réponse suivant que cet indice est inférieur ou supérieur à $3.0E-4$. Le facteur de réduction d'âge est calculé de façon analogue à celui de l'espèce marchande décrit ci-dessus, sauf que les constantes des changements de classe hauteur-diamètre sont estimés à partir des proportions relatives des espèces marchandes présentes.

Enfin, après avoir estimé les paramètres du peuplement, le modèle prépare des sommaires des résineux, des feuillus et de toutes les espèces marchandes en faisant la sommation des paramètres appropriés à partir du corps principal du programme.

Sous sa forme actuelle, le modèle souffre de plusieurs lacunes qui l'empêchent de coller à la réalité et l'on doit soigneusement les peser et les examiner. Les limitations théoriques du modèle relatives à la mortalité, à l'ingression et à la croissance hauteur-diamètre incluent les hypothèses suivantes:

1. la mortalité et l'ingression peuvent s'expliquer uniquement en termes d'effets de la compétition, excluant donc une mortalité imprévue causée par des agents comme les insectes, les animaux, la maladie et le climat. Hegyi (1974) a conclu que cette mortalité imprévue causait au moins 20% de la mortalité totale;
2. la croissance en hauteur est indépendante des variations dans les conditions climatiques régionales à travers l'est du Canada, ainsi que de tout effet local dû au climat, aux insectes ou aux maladies; et
3. la croissance est répartie comme si toutes les essences du peuplement étaient uniformément distribuées et comme si elles croissaient toutes de la même façon que la tige moyenne. Cependant, les peuplements au stade de la reproduction ont une distribution contagieuse typique et prononcée (Weetman, Grapes et Frisque, 1973). Une telle distribution devrait normalement entraîner une diminution des taux de croissance pris un par un.

Compte tenu de ces contraintes, la mortalité, l'ingression et la croissance en hauteur-diamètre sont au mieux des estimations potentielles, reflétant les limites supérieures de la capacité des stations à assurer la croissance des arbres.

En-dehors de ces contraintes théoriques relatives à la mortalité et à l'ingression, ainsi qu'à la croissance hauteur-diamètre, il existe plusieurs problèmes pratiques de structure. Ce sont les suivants:

1. Lorsque le nombre total des tiges marchandes à l'acre dans le modèle s'approche du nombre total de tiges à l'acre, le peuplement a tendance à croître à un rythme soit aussi élevé, soit plus élevé que les essences marchandes elles-mêmes, à cause des diverses équations utilisées pour produire la croissance potentielle hauteur-diamètre pour chaque espèce marchande et pour le peuplement en son entier. Ceci entraîne une surestimation de la croissance du peuplement et des niveaux élevés de compétition qui produisent une augmentation des taux de mortalité des essences marchandes. Le problème se pose de façon aiguë dans les aires d'études de sapin baumier.
2. Le modèle éprouve des difficultés avec le sapin baumier à forte densité. En effet, le modèle essaie alors de transférer trop de tiges à l'acre dans les classes de diamètre de 1, 2 et 3 pouces (2.5, 5 et 7.5 cm), surestimant ainsi la surface terrière, le volume total et la croissance en volume.
3. Sous sa forme actuelle, le modèle est impuissant à prévoir l'ingression avant que l'essence marchande n'atteigne un diamètre moyen de 1 pouce (2.5 cm). Ceci empêche, dans les classes plus basses de hauteur et de diamètre, l'accumulation de régénération préétablie, ce qui augmenterait considérablement le nombre total de tiges à l'acre.
4. Enfin, il y a le problème de la confirmation du modèle. Puisque les observations de 5 ans et de 10 ans ont servi en quelque sorte à bâtir les équations du modèle, ces mêmes sources ne peuvent être utilisées pour le confirmer. Mais même s'il était possible d'utiliser les résultats obtenus après 5 ans pour produire une estimation des résultats obtenus après 10 ans, estimation que l'on pourrait comparer directement aux observations prises après 10 ans dans les 36 aires à travers l'est du Canada, même alors, la seule chose dont on pourrait être sûr, c'est que le modèle est susceptible de produire des résultats adéquats à 10 ans. Rien ne pourrait garantir que les prévisions

du modèle au-delà de 10 ans correspondent bien à la réalité.

Pour confirmer le modèle au-delà de 10 ans, il faudrait trouver des données sur la régénération provenant de parcelles-échantillons permanentes, qui nous permettraient d'évaluer à quel point les prévisions faites par le modèle collent à la réalité.

Une comparaison de l'extrait du modèle à 45 ans avec les mesures prises dans des places-échantillons permanentes de même âge situées à Iroquois Falls, Ontario (publiées par Moore (1973)) indique que notre modèle de régénération des aires coupées:

1. fait croître les arbres à une taille semblable, mais a tendance à sous-estimer la densité du peuplement dans les stations plus humides d'épinette noire de la région de Kapuskasing près d'Iroquois Falls (aires d'études 3 et 4), et
2. présente une image fidèle de la taille du peuplement et de sa densité dans des peuplements mélangés semblables, à faible présence de bouleau à papier, au Québec et en Ontario (aires d'études 1, 2, 3 et 9).

Une telle comparaison ne constitue pas une «confirmation» mais elle se rapproche partiellement d'une «infirmité» du modèle (Clark, Jones et Holling 1977), ce qui signifie que les résultats de la comparaison ne tombent pas en-dehors des limites de crédibilité.

Compte tenu de toutes ces restrictions, on doit se servir avec beaucoup de précautions des extraits produits par le modèle. Il constitue principalement une mesure comparative de l'évolution des bûchés à travers l'est du Canada, comparaison permettant de déceler dans différents types de coupes les aires où la régénération pose un problème. Jusqu'à ce que l'on puisse confirmer davantage le modèle à l'aide de données précises, particulièrement au-delà de l'âge de 20 ans, toute tentative visant à dépasser ces limites serait imprudente et complètement injustifiée.

ANNEXE 4
DESTRUCTION DE LA RÉGÉNÉRATION PRÉÉTABLIE:
DENSITÉ ET POURCENTAGE DE DISTRIBUTION
IMMÉDIATEMENT AVANT ET APRÈS LA COUPE,
PAR ESPÈCES PRINCIPALES DANS CHAQUE AIRE D'ÉTUDES.

Aire d'études N°	Espèces principales*	Avant coupe			Après coupe		
		Tiges/acre	Mille tiges/hectare	Distribution %	Tiges/acre	Mille tiges/hectare	Distribution %
1	SAB	4,800	11.9	87	1,550	3.8	43
	EP	100	0.2	13	0	0	5
	F	23,900	59.0	90	16,150	40.0	83
2	SAB	10,650	26.3	88	7,400	18.3	84
	EP	650	1.6	25	300	0.7	18
	F	150	0.4	16	150	0.4	16
3	SAB	5,800	14.3	79	3,950	9.8	56
	EP	350	0.9	15	200	0.5	10
	F	20,800	51.4	98	14,800	36.6	91
4	EP	900	2.2	47	450	1.1	35
	SAB	600	1.5	23	350	0.9	20
	F	12,250	30.3	96	6,250	15.4	88
5	EP	1,500	3.7	57	800	2.0	46
	SAB	1,150	2.8	43	700	1.7	35
	F	10,250	25.3	94	7,000	17.3	79
6	SAB	146,944	363.1	99	32,111	79.3	79
	EP	26,722	66.0	91	6,500	16.1	78
	F	1,167	2.9	12	1,889	4.7	6
7	SAB	3,158	7.8	53	1,947	4.8	39
	EPN	1,369	3.4	33	263	0.6	21
	F	947	2.3	21	315	0.8	17
8	EPN	3,335	8.2	57	1,320	3.3	34
	SAB	305	0.8	18	150	0.4	10
	F	275	0.7	16	75	0.2	15
9	SAB	3,650	9.0	75	650	1.6	37
	EPN	450	1.1	22	150	0.4	9
	F	3,650	9.0	69	1,350	3.3	32
10	EPN	9,540	23.6	96	420	1.0	33
	SAB	360	0.9	25	0	0	3
	F	120	0.3	15	0	0	1
11	SAB	17,800	44.0	98	5,610	13.9	61
	EP	850	2.1	34	170	0.4	9
	F	50	0.1	3	0	0	1
12	SAB	55,350	136.8	98	22,650	56.0	78
	EPR	350	0.9	25	100	0.2	12
13	EPN	12,350	30.5	75	3,125	7.7	34
	SAB	3,250	8.0	81	1,000	2.5	21
14	EPN	31,717	78.4	100	7,096	17.5	84
	SAB	382	0.9	2	96	0.2	1
	F	144	0.4	1	0	0	0

* Voir l'explication des symboles à l'annexe 1.

ANNEXE 4 (suite)

Aire d'études N°	Espèces principales*	Avant coupe			Après coupe		
		Tiges/acre	Mille tiges/hectare	Distribution %	Tiges/acre	Mille tiges/hectare	Distribution %
15	EPN	18,507	45.7	87	2,302	5.7	66
	BOP	50	0.1	0	50	0.1	0
16	SAB	25,311	62.5	86	8,249	20.4	63
	EPN	22,875	56.5	97	4,437	11.0	74
	BOP	62	0.2	0	0	0	0
17	SAB	26,600	65.7	100	12,625	31.2	67
	EPN	8,850	21.9	57	4,062	10.0	30
18	SAB	112,246	277.4	100	21,598	53.4	66
	EPN	1,810	4.5	25	381	0.9	5
	F	240	0.6	1	0	0	0
19	SAB	14,507	35.8	93	1,812	4.5	44
	ERE	10,150	25.1	99	2,700	6.7	58
20	SAB	155,686	384.7	97	24,814	61.3	89
	EPR	25,126	62.1	73	6,000	14.8	49
	THO	1,313	3.2	12	125	0.3	1
	BOJ	1,751	4.3	18	312	0.8	13
22	SAB	55,050	136.0	100	27,400	67.7	85
	EP	2,500	6.2	65	1,650	4.1	23
	F	2,150	5.3	61	250	0.6	2
23	SAB	101,050	249.7	100	27,000	66.7	76
	EP	3,100	7.7	53	600	1.5	12
	F	10,200	25.2	94	750	1.8	12
24	SAB	27,300	67.5	92	18,550	45.8	91
	EPN	4,700	11.6	77	2,750	6.8	69
	F	400	1.0	17	150	0.4	7
25	EPN	9,250	22.8	70	1,850	4.6	19
	ERR	550	1.4	16	0	0	0
26	SAB	27,900	68.9	96	23,550	58.2	88
	EPN	8,750	21.6	82	4,100	10.1	67
	F	400	1.0	21	150	0.4	11
27	SAB	19,250	47.6	97	4,250	10.5	67
	EPR	700	1.7	20	400	1.0	9
	F	950	2.3	35	250	0.6	10
28	SAB	4,840	12.0	88	1,600	4.0	44
	EPN	1,500	3.7	38	320	0.8	8
	F	7,400	18.3	80	2,320	5.7	52
29**	EPN	12,135	30.0	79	3,065	7.6	46
	SAB	755	1.9	34	200	0.5	10
	F	2,210	5.5	59	1,910	4.7	41
30**	SAB	15,167	35.5	97	3,033	7.5	67
	EPN	1,378	3.4	42	200	0.5	10
	F	8,066	19.9	89	2,767	6.8	66
31	SAB	19,400	47.9	96	11,100	27.4	85
	EP	200	0.5	7	200	0.5	4
	F	600	1.5	30	600	1.5	24

* Voir l'explication des symboles à l'annexe 1.

** Coupe par bandes.

ANNEXE 4 (suite)

Aire d'études N°	Espèces principales*	Avant coupe			Après coupe		
		Tiges/acre	Mille tiges/hectare	Distribution %	Tiges/acre	Mille tiges/hectare	Distribution %
32	SAB	28,500	70.4	98	9,900	24.5	80
	EP	200	0.5	1	0	0	0
	F	900	2.2	38	200	0.5	25
33	EPN	9,750	24.1	70	150	0.4	15
	SAB	100	0.2	10	100	0.2	4
34	EPN	7,750	19.2	86	950	2.3	66
	SAB	150	0.4	8	50	0.1	6
	BOP	—	—	—	1,050	2.6	32
35	SAB	16,300	40.3	98	12,350	30.5	78
	EP	2,250	5.6	30	1,500	3.7	15
	F	1,250	3.1	8	200	0.5	3
36	SAB	54,950	135.8	94	3,150	7.8	50
	EP	850	2.1	10	100	0.2	2
	F	2,650	6.5	29	—	—	—
37	SAB	19,500	48.2	100	5,750	14.2	70
	EP	150	0.4	20	0	0	8
	F	500	1.2	17	0	0	0

* Voir l'explication des symboles à l'annexe 1.

ANNEXE 5A
ÉTAT DE LA REPRODUCTION 10 ANS APRÈS COUPE:
NOMBRE DE TIGES À L'ACRE (PREMIÈRE COLONNE) ET COEFFICIENT DE DISTRIBUTION
(DEUXIÈME COLONNE) PAR ESPÈCE POUR CHAQUE AIRE D'ÉTUDES.

Composition du peuplement avant coupe	PIN GRIS				ÉPINETTE NOIRE (STATION SÈCHE)							ÉPINETTE NOIRE (STATION HUMIDE)						
Aire d'études	7	8	25	33	15	16	24	26	28	29	30	4	5	10	13	14	34	
Épinette noire Épinette blanche Épinette rouge Épinette spp.	150 24	1400 46	1000 23	1100 50	3250 75	7400 86	400 35	2200 64	32	2100 64	350 36	1450 41	850 61	5800 84	2400 70	4500 73	2850 80	
Sapin baumier	650 24	10		100 8	3	3800 68	4000 79	6750 79	1600 66	350 20	2200 69	300 12	450 25	5	1500 40	50 2	200 13	
Pin gris Pin blanc	300 24 50 2	300 32	800 45	2500 42				50 6	200 34	200 26	14				100 2			
Cèdre blanc Mélèze laricin		50 3				2			6			100 10	70 1			50 1		
Résineux	1150 61	1750 68	1800 60	3750 76	3250 75	11200 92	4400 85	9000 92	1800 88	2650 74	2550 78	1850 52	1370 69	5800 84	4000 81	4600 74	3050 84	
Peuplier faux-tremble Bouleau à papier	1150 41 1000 38	150 15 600 24	1 100 4	4 100 4	50 10 350 10	50 1 1450 41	1 1150 56		8 1400 46	150 6 1200 38	650 10 4450 43	50 4	5	3 2350 51	500 24 3600 50	1 300 2	2 4750 52	
Bouleau jaune Érable rouge	400 11		200 7				3		2000 40	550 39	1800 44							
Foillies	2550 69	750 35	200 8	100 8	400 14	1500 42	1150 60	200 5	3400 74	1900 68	6900 70	50 4	5	2350 51	4100 58	300 2	4750 52	
Érable à épis Sorbier Cerisier de Pennsylvanie Saule Aulne blanc Coudrier	1150 18 500 28 200 4 400 1	750 19 700 24 850 6		950 20 1300 22	1250 27 3		3200 73	50 4	2 14	5 700 25	650 20			300 5 100 4 450 2	3250 42 2250 14 19	5 250 3	1250 25	
Morts-bois	2250 51	2300 48	2	2250 36	1250 30	0	3200 73	50 4	16	700 28	650 20	7050 77	6900 64	850 11	5500 73	250 8	1250 25	
Arbres	3700 93	2500 79	2000 65	3850 76	3650 81	12700 96	5550 91	9200 92	5200 96	4550 90	9450 87	1900 53	1370 69	8150 91	8100 89	4900 74	7800 92	

ANNEXE 5A (suite)

Composition du peuplement avant coupe	MÉLANGE								SAPIN BAUMIER										
Aire d'études	1	2	3	9	19	20	36	37	6	11	12	17	18	22	23	27	31	32	35
Épinette noire Épinette blanche Épinette rouge Épinette spp.	50 10	300 16	200 8	700 33	7	3950 62	200 16	650 44	1600 34	400 18	50 8 7250 72		1850 34	1800 66	900 42	900 26	100 6	50 3	800 17
Sapin baumier	1300 58	4600 78	2250 51	400 40	4650 71	10500 92	1450 56	4950 90	5400 71	5500 88	4300 82	9050 86	24050 100	5150 84	13250 100	29000 86	4100 84	3450 74	3600 77
Pin gris Pin blanc		100 8		250 8										100 4					
Cèdre blanc Mélèze laricin				2600 9		150 8						100 9			100 13				
Résineux	1350 61	5000 86	2450 52	3950 65	4650 71	14600 91	1630 62	5600 94	7000 78	5900 90	4350 82	16400 96	25900 100	7050 95	14250 100	29900 88	4200 85	3500 74	4400 78
Peuplier faux-tremble Bouleau à papier	650 30 7	650 38 50 12	750 20 100 6	1250 56 1700 39	150 20 3300 44	1650 62 4100 87	1750 39 4100 64	1350 46 3800 58	500 18 4600 78	50 6 6900 86	1 3050 68	50 2 300 18	50 2 5550 82		100 4 4900 77		150 14	1800 65	4450 34 1550 31
Bouleau jaune Érable rouge					250 8	2500 54	650 16		50 2	1 2	2 450 2				100 2 1300 40		200 1	300 3	850 10
Feuillus	650 35	700 42	850 24	2950 75	3700 53	8250 98	6500 78	5150 81	5150 82	6950 87	3500 71	350 20	5600 83	50 1	6400 93	350 14	2100 66	4450 34	2450 42
Érable à épis Sorbier Cerisier de Pennsylvanie Saule Aulne blanc Coudrier	2800 44 350 5 700 19 27850 71	 250 16 24150 77	4500 61 100 4 1600 17 900 9 600 11	2150 35 400 5 5600 52 550 12	7400 82 1250 10 5600 52 550 12	 150 18 6150 63	2900 27 1750 12 2150 30 600 18 450 8	1150 28 750 24 1350 38 450 6	 400 4 4150 69 350 8	1350 20 150 4 1700 58 150 4	150 20 200 9 3600 74	 100 4	50 1 550 21 1200 40 50 6	 350 26		300 2 150 4 2250 35 150 5	150 12 650 30	300 9 550 16	2900 49 250 16 1550 19 1400 12 1200 13 650 24
Morts-bois	31700 94	0	29000 96	5650 62	14800 95	6300 78	7850 69	3700 73	4900 80	3350 71	3950 83	100 4	1850 54	0	350 26	2850 46	800 42	850 23	7950 82
Arbres	2000 71	5700 96	3300 61	6900 93	8350 83	22850 99	8150 92	10750 100	12150 97	12850 97	7850 92	16750 96	31500 100	7100 95	20650 100	30250 88	6300 94	7950 82	6850 88

ANNEXE 5B
ÉTAT DE LA REPRODUCTION 10 ANS APRÈS COUPE:
NOMBRE DE TIGES À L'HECTARE (PREMIÈRE COLONNE) ET COEFFICIENT DE DISTRIBUTION
(SECONDE COLONNE) PAR ESPÈCE POUR CHAQUE AIRE D'ÉTUDES.

Composition du peuplement avant coupe	PIN GRIS				ÉPINETTE NOIRE (STATION SÈCHE)							ÉPINETTE NOIRE (STATION HUMIDE)					
Aire d'études	7	8	25	33	15	16	24	26	28	29	30	4	5	10	13	14	34
Épinette noire	370 24	3400 45	2500 23	2700 50	8000 75	18300 86						3600 41	2100 61	14300 84	5900 70	11100 73	7000 80
Épinette blanche																	
Épinette rouge							990 35	5400 64									
Épinette spp.									32	5200 64	860 36						
Sapin baumier	1600 24	10		250 8	3	9400 68	9900 79	16700 79	4000 66	860 20	5400 69	740 12	1100 25	5	3700 40	120 1	490 13
Pin gris	740 24	740 32	2000 45	6200 42													
Pin blanc	120 2							120 6	490 34	490 26	14				250 2		
Cèdre blanc									6								
Mélèze laricin		120 3				2						250 10	170 1			120 1	
Résineux	2800 61	4300 68	4400 60	9300 76	8000 75	27700 92	10900 89	22200 92	4400 88	6500 74	6300 78	4600 52	3400 69	14300 84	9900 81	4000 74	7500 84
Peuplier faux-tremble	2800 41	370 15	1	4	120 10	120 1	1		8	370 6	1600 10	120 4	5	3	1200 24	1	2
Bouleau à papier	2500 38	1500 24		250 4	860 10	3600 41	2800 56	490 5	3400 46	3000 38	11000 43			5800 51	8900 50	740 2	11700 52
Bouleau jaune																	
Érable rouge	990 11		490 7				3		4900 40	1400 39	4400 44						
Feuillus	6300 69	1800 36	490 8	250 8	990 34	3700 42	2800 60	490 5	8400 74	4700 68	17000 70	120 4	5	5800 51	10100 58	740 2	11700 52
Érable à épis																	
Sorbier	2800 18	1800 19							2	5							
Cerisier de Pennsylvanie	1200 28	1700 24		2300 20	3100 27		7900 73	120 4	14	1700 25	1600 20			740 5	8000 42	5	3100 25
Saule	490 4		1	3200 22	3							1600 20	2000 11	250 4	5600 14	620 3	
Aulne blanc	990 1	2100 6										15800 64	15100 59	1100 2	19		
Coudrier																	
Morts-bois	5600 51	5700 48	2	5600 36	3100 30	0	7900 73	120 4	16	1700 28	1600 20	17400 77	17000 64	2100 11	13600 73	620 8	3100 25
Arbres	9100 93	6200 79	4900 65	9500 76	9000 81	31400 96	13700 91	22700 92	12800 96	11200 90	23400 87	4700 53	3400 69	20100 91	20000 89	12100 74	19300 92

ANNEXE 5B (suite)

Composition du peuplement avant coupe	MÉLANGE								SAPIN BAUMIER										
Aire d'études	1	2	3	9	19	20	36	37	6	11	12	17	18	22	23	27	31	32	35
Épinette noire Épinette blanche Épinette rouge Épinette spp.	120 10	740 16	490 8	1700 33			490 16	1600 44	4000 34	990 18	120 8	17900 72		4400 66	2200 42	2200 26	250 6	120 3	2000 17
Sapin baumier	3200 58	11400 78	5600 51	990 40	11500 71	25900 92	3600 56	12200 90	13300 71	13600 88	10600 82	22400 86	59400 100	12700 84	32700 100	71700 86	10100 84	8500 74	8900 77
Pin gris Pin blanc		250 8		620 8										250 4					
Cèdre blanc Mélèze laricin				6400 9		370 8						250 9			250 13				
Résineux	3300 61	12400 86	6000 52	9800 65	11500 71	36100 91	4100 62	13800 94	17300 78	14600 90	10700 82	40500 96	64000 100	17400 95	35200 100	73900 88	10400 85	8600 74	10900 78
Peuplier faux-tremble Bouleau à papier	1600 30 7	1600 38 120 12	1800 20 250 6	3100 56 4200 39	370 20 8200 44	4100 62 10100 87	4300 39 10100 64	3300 46 9400 58	1200 18 11400 78	120 6 17000 86	1 1 7500 68	120 2 740 18	120 2 13700 82		250 4 12100 77	370 14	4400 65	11000 34	120 5 3800 31
Bouleau jaune Érable rouge					620 8	6200 54	1600 16		120 2	1 2 2	2 1100 2				250 2 3200 40	490 1	740 3		2100 10
Feuillus	1600 35	1700 42	2100 24	7300 75	9100 53	20400 98	16100 78	12700 81	12700 82	17200 87	8600 71	860 20	13800 83	120 1	15800 93	860 14	51900 66	11000 34	6000 42
Érable à épis Sorbier Cerisier de Pennsylvanie Saulé Aulne blanc Coudrier	6900 44 860 5		11100 61 250 4	5300 35 990 5 4000 17 2200 9	18300 82 3100 10 13800 52 1400 12		7200 27 4300 12 5300 30 1500 18	2800 28 1800 24 3300 38 1100 6		3300 20 370 4 4200 58 370 4	370 20 490 9 8900 74		120 4 1360 21 3000 40 120 6			740 2 370 4 5600 35 370 5	370 12 370 12 1600 30	740 9 1400 16	7200 49 620 16 3800 19 3400 12 3000 13 1600 24
Morts-bois	78300 94	0	71700 96	14000 62	36600 95	15600 78	19400 69	9100 73	12100 80	3300 71	9800 83	250 4	4600 54	0	860 26	7000 46	2000 42	2100 23	19600 82
Arbres	4900 71	14100 96	8200 61	17000 93	20600 83	56500 99	20100 92	26600 100	30000 97	31800 97	19400 92	41400 96	77900 100	17500 95	51000 100	74700 88	15600 94	19600 82	16900 88

BIBLIOGRAPHIE

- ABEELS, P. 1972. Possibilités et perspectives en mécanisation forestière. Bull. Soc. Roy. For. Belg. 79 (6-7): 323-410.
- ALEXANDER, R.R., W.D. SHEPPERD et C.B. EDMINISTER. 1975. Yield tables for managed even-aged stands of spruce-fir in the Central Rocky Mountains. U.S. Dept. Agric., For. Serv., Res. Pap. RM-134. 20 p.
- ALM, A.A. 1971. Site disturbance resulting from mechanized logging and the effect on coniferous reproduction. Dans Proc. of Conf. on biological and economic considerations in mechanized timber harvesting. Coll. For. Univ. Minn., For. Series 11: 16-21.
- ARNOTT, J.T. 1968a. Silvicultural implications of mechanical logging. Establishment report Q-138. Can. Dept. For. Rural. Dev. Inf. Rep. Q-9. 9 p.
- 1968b. Tree-length wheeled-skidder logging and its effects in certain black spruce forest types in Quebec. Pulp Pap. Mag. Can. 69 (10): 103-106, 109.
- 1969. Regeneration two years following mechanized logging. Can., Dept. Fish. For., Inf. Rep. Q-X-10. 8 p.
- BAILEY, R.L., et T.R. DELL. 1973. Quantifying diameter distribution with the Weibull function. For. Sci. 19 (2): 97-104.
- BARRETT, P.N. 1966. Rubber-tired skidders on unfrozen swamps. Pulp Pap. Mag. Can. 67 (4): 222-228.
- BASKERVILLE, G., et G.F. WEETMAN. 1978. Forest management at Nova Scotia Forest Industries. Ch. 1 (27 p.) dans Forest Management in Canada. Vol. II, case studies. Par F.L.C. Reed and Associates Ltd. Can. For. Serv., For. Man. Inst., Info. Rept. FMR-X-103.
- BELL, M.A.M., J.M. BECKETT et W.F. HUBBARD. 1975. Impact of harvesting on forest environments and resources. A review of the literature and evaluation of research needs. Can. For. Serv., Pac. For. Res. Centre, Contract OSP3-0410. 141 p.
- BJERKELUND, T. 1965. Forestry consequences of the changing operational techniques. For. Chron. 41 (4): 384-390.
- BORMANN, F.H., et al. 1974. The export of nutrients and recovery of stable conditions following deforestation at Hubbard Brook. Ecol. Monographs 44 (3): 255-277.
- BOUDOUX, M. 1976. Tables de rendement pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris pour la province de Québec. Groupe COGEF, Québec, Rapp. Étape 5.
- 1977a. Modèles de simulation appliqués à l'aménagement forestier. Univ. Laval, Dépt. Aménagement Sylviculture, Note Tech. 1. 82 p.
- 1977b. L'accroissement annuel réel dans les modèles de simulation de peuplements forestiers. Jour. can. rech. for. 7 (2): 197-204.
- BRUCE, D.S., et C.J. HEENEY. 1974. A silvicultural guide to the hard maple, yellow birch and hemlock working group in Ontario. Toronto: Ontario Ministry of Natural Resources. 50 p.
- CANDY, R.H. 1951. Reproduction on cut-over and burned-over land in Canada. Can. Dept. Resources Develop., For. Res. Div., Silv. Res. Note 92. 224 p.
- CAYFORD, J.H. 1972. Container planting systems in Canada. For. Chron. 48 (5): 235-239.
- ed. 1974. Direct seeding symposium. Can. Dept. Environ., Can. For. Serv., Public. 1339. 178 p.
- CLARK, W.C., D.D. JONES et C.S. HOLLING. 1977. Lessons for ecological policy design: a case study of ecosystem management. Institute of Resource Ecology, Univ. of British Columbia, R-10-B. 108 p.
- CLUTTER, J.L., et B.J. ALLISON. 1974. A growth and yield model for *Pinus radiata* in New Zealand. Dans Growth models for tree and stand simulation, ed. J. Fries, pp. 136-160. Stockholm, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser, No. 30. 379 p.
- EK, A.R. 1974. Nonlinear models for stand table projections in northern hardwood stands. Can. J. For. Res. 4 (1): 23-27.
- ELLIS, R.C., et C.R. MATTICE. 1974. Stand development following pulpwood harvesting at the Experimental Lakes Area in northwestern Ontario. Can. Dept. Environ., Can. For. Serv., Inf. Rep. O-X-207. 43 p.
- FAO. 1962. Influences exercées par la forêt sur son milieu. FAO étude des forêts et des produits forestiers, No. 15, Rome: FAO. 341 p.
- FOWELLS, H.A. 1965. Silvics of forest trees of the United States. U.S. Dept. Agric., Handb. 271. 762 p.
- FRANK, R.M., et J.C. BJORKBOM. 1973. A silvicultural guide for spruce-fir in the northeast. U.S. Dept. Agric., For. Serv., Gen. Tech. Rep. NE-6. 29 p.
- FRANKLIN, J.F., et D.S. DE BELL. 1972. Effects of various harvesting methods on forest regeneration. Dans Even-aged management symposium, ed. R. Hermann, pp. 29-57. Corvallis: Oregon State Univ.
- FRASER, J.W. et al. 1975. Black spruce regeneration on strip cuts and clearcuts in the Nipigon and Cochrane areas of Ontario. Can. Dept. Environ., Can. For. Serv., Rep. O-X-246. 33 p.
- FRIES, J., et S. HAGNER. 1970. Silvicultural decision models. Proc. Am. Pulpwood Assoc., New York. 96 p.
- FRISQUE, G. 1974. Régénération après coupe mécanisée: où en sommes-nous ? L'Aubelle 29 (1): 28-31.
- 1977. Régénération naturelle de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). Thèse Doct. Sc., Univ. Laval. 546 p.
- et G.F. WEETMAN. 1974. Reproduction 5 années après la coupe: 21 aires d'études au Québec. Forêt-Conserv. 40 (4): 17-21.
- GRINNELL, W.R. 1970. Applied silviculture in Ontario. Dans Lakehead Univ. For. Assoc. 2nd. Annual Symp. pp. 13 - 24. Thunder Bay, Ont.: Lakehead Univ.
- HEGYI, F. 1974. A simulation model for managing jack pine stands. Dans Growth models for tree and stand simulation, ed. J. Fries, pp. 74-90. Stockholm, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser No. 30. 379 p.
- HÉROUX, R. 1975. Normes d'exploitation forestière sur la Côte Nord. Ressources 6 (6): 5-7.
- HILLS, G.A. 1952. The classification and evaluation of site for forestry. Ont. Dept. Lands For., Res. Rep. No. 23. 41 p.

- 1957. Field methods for investigating site. Site Res. Manual 4 (revision of 1954 ed.). Toronto: Ont. Dept. of Lands and Forests.
- HOLT, L. 1948. A survey of silvicultural studies conducted by the member companies of the Canadian Pulp and Paper Association. Pulp Pap. Res. Inst. Can., Woodlands Res. Index 45 (F-2). 28 p.
- HONER, T.G. 1967. Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada. Can., Dept. For. Rural Develop., Can. For. Serv., Inf. Rep. FMR-X-5. 153 p.
- HORTON, K.W. 1965. Mechanical pulpwood logging and regeneration. Pulp Pap. Mag. Can. 66 (11): 494-498.
- HOSIE, R.C. 1953. Forest regeneration in Ontario based on a review of surveys conducted in the province during the period 1918-1951. Univ. Toronto, For. Bull. No. 2. 134 p.
- HUGHES, E.L. 1967. Studies in stand and seedbed treatment to obtain spruce and fir reproduction on the mixedwood slope type in northwestern Ontario. Can., Dept. For. Rural Develop., For. Br., Public. 1189.
- HURD, E.S. 1968. Silvicultural problems arising from mechanized pulpwood harvesting. Am. Pulpwood Assoc., Tech. Pap. 68-5.
- JOHNSON, H.J., et al. 1971. Some implications of large-scale clearcutting in Alberta: a literature review. Can., Dept. Fish. For., Can. For. Serv., Inf. Rep. NOR-X-6. 114 p.
- JOHNSTONE, W.D. 1976. Variable-density yield tables for natural stands of lodgepole pine in Alberta. Can., Dept. Environ., Can. For. Serv., For. Tech. Rep. 20. 110 p.
- JULIEN, S. 1975. L'exploitation forestière et la ressource eau. Ressources 6 (6): 3-4.
- KEMPER, R.E., et L.S. DAVIS. 1976. Costs of environmental constraints on timber harvesting and regeneration. J. For. 74 (11): 754-756, 761.
- KIMMINS, J.P. 1973. Forest ecology: the biological basis for the management of renewable forest resources. For. Chron. 49 (1): 25-30.
- et G.J. KRUMLIK. 1976. On the question of nutrient losses accompanying whole tree logging. Dans Oslo biomass studies: Papers presented at the XVth International Congress of IUFRO during the meeting of S4.01 in Oslo, Norway, June 22, 1976. pp. 41-53. Orono, Me.: College of Life Sciences and Agriculture, Univ. of Maine, 1977. 302 pp.
- LEARY, R.A. 1968. A multi-dimensional model for even-aged forest growth. Ph. D. dissertation Purdue Univ., Fac. Agr. For. Wildlife. 70 p.
- LOWRY, G.L. 1972. Forest soil-site studies. V. Black spruce productivity as related to soil and other site factors. Pulp Pap. Res. Inst. Can., Woodl. Rep. 44. 49 p.
- MACLEAN, D.W. 1960. Some aspects of the aspen-birch-spruce-fir type in Ontario. Can., Dept. For., For. Res. Div., Tech. Note 94. 24 p.
- MARQUIS, D.A., D.S. SOLOMON et J.C. BJORKBOM. 1969. A silvicultural guide for paper birch in the northeast. U.S. Dept. Agric., For. Serv. Res. Pap. NE-130. 47 p.
- et al. 1975. Interim guides to the regeneration of Allegheny hardwoods. U.S. Dept. Agric., For. Serv., Gen. Tech. Rep. NE-19. 14 p.
- MOORE, C.L. 1973. A study of cutover pulpwood stands near Iroquois Falls, Ontario. 1925-1971. Ont. Min. Nat. Resour., For. Res. Br., Res. Rep. 93.
- MOSER, J.W.J. 1972. Dynamics of an uneven-aged forest stand. For. Sci. 18 (3): 184-191.
- OLSON, C.E., Jr., et R.R. BAY. 1955. Reproduction of upland cutover spruce-balsam-hardwood stands in Minnesota. J. For. 53 (11): 833-835.
- PAGE, G., et R.S. VAN NOSTRAND. 1973. Empirical yield tables for the major forest cover types of Newfoundland. Can., Dept. Environ., Can. For. Serv., Inf. Rep. N-X-100. 84 p.
- PAYANDEH, B. 1974. Spatial pattern of trees in the major forest types of northern Ontario. Can. J. For. Res. 4 (1): 8-14.
- PLONSKI, W.L. 1960. Normal yield tables for black spruce, jack pine, aspen, white birch, tolerant hardwoods, white pine and red pine. Ont., Dept. Lands For., Silv. Series, Bull. 2. 39 p.
- ROBINSON, F.C. 1974. A silvicultural guide to the black spruce working group *Picea mariana* (Mill.) BSP. Toronto: Ontario Ministry of Natural Resources. 44 p.
- 1975. Ontario stocking standards for black spruce. Dans Black Spruce Symposium, pp. 23-31. Can., Dept. Environ., Can. For. Serv., Symposium Proc. 0-P-4. 289 p.
- ROSE, D.W. 1974. Long-term effects of two extreme second-growth stocking assumptions. For. Chron. 50 (4): 155-159.
- SCHULTZ, C.D., & CO. LTD. 1973. The environmental effects of timber harvesting operations in the Edson and Grande Prairie Forests of Alberta. Edmonton: Alberta Minister of Lands and Forests, Vol. 1. 291 p.
- SCHWEITZER, D.L., R.W. SASSAMAN et C.H. SCHALLAU. 1972. Allowable cut effect. Some physical and economic implications. J. For. 70 (7): 415-418.
- SHAW, E.W. 1972. An analysis of forestry issues in the first session of the 92d Congress. Printed for the use of the Senate Committee on Interior and Insular Affairs. Washington, U.S. Government Printing Office.
- SILVERSIDES, C.R. 1966. The influence of mechanization on harvesting and transportation methods. Pulp Pap. Mag. Can. 67: 473-481.
- 1972. How shifting forest influences may shape future logging methods. Can. For. Ind. 92 (3): 44, 47, 49.
- SMITHERS, L.A. 1964. The impact of mechanical logging on silviculture in Canada. Repr. from Proc. IUFRO Meeting, Sect. 32, Montreal 1964. 6 p.
- STAEBLER, G.R. 1949. Predicting the volume and normality of reproduction of stands of Douglas fir. J. For. 47 (10): 828-833.
- STAGE, A.R. 1969. A growth definition for stocking: units, sampling, and interpretation. For. Sci. 15 (3): 255-265.
- STONE, E. 1973. The impact of timber harvest on soils and water. Dans Report of the President's Advisory Panel on Timber and the Environment. F.A. Seaton (chairman), U.S. Supt. Documents 1973: 427-467.
- TELFER, E.S. 1974. Logging as a factor in wildlife ecology in the boreal forest. For. Chron. 50 (5): 186-190.

- VÉZINA, P.E. 1973. La production en matière ligneuse de divers peuplements de la forêt boréale traités suivant certaines options d'aménagement, Qué., Min. Terres Forêts, Dir. Gén. For., Serv. Rech., Mémoire 12. 55 p.
- et A. LINTEAU. 1968. Growth and yield of balsam fir and black spruce in Quebec. Can., Dept. For. Rural Develop., Que. Region, Inf. Rep. Q-X-2. 58 p.
- WEBBER, B., J.T. ARNOTT, G.F. WEETMAN et G.C.R. CROOME. 1968. Advance growth destruction, slash coverage and ground conditions in logging operations in eastern Canada. Pulp Pap. Res. Inst. Can., Woodl. Rep. 8. 109 p. (Émis aussi comme Woodl. Pap. 8, 1969.)
- WEBSTER, A.D. 1965. A study of the effects of rubber-tired vs. tracked skidders on the advance growth of a forest. Pulp Pap. Mag. Can. 66 (12): 547-550.
- WEETMAN, G.F. 1965. The need to study silvicultural effects of mechanized logging systems in eastern Canada. For. Chron. 41 (2): 252-256.
- 1966. The effects of mechanization on silviculture in natural stands. Pulp Pap. Mag. Can. 67 (6): 316-320.
- 1970. La mécanisation et le milieu forestier. C-R 50e Congr. Annuel Corp. Ing. For. Prov. Qué.: 24 -30.
- et B. WEBBER. 1971. The influence of wood harvesting on the nutrient status of two spruce stands. Pulp Pap. Res. Inst. Can., Woodl. Rep. 33. 26 p.
- W.W. GRAPES et G.J. FRISQUE. 1973. Reproduction et conditions de terrain 5 ans après une récolte de bois à pâte: résultats de 37 aires d'études dans l'est du Canada. Inst. Canad. Rech. Pâtes Pap., Rapp. Rech. Exploitation RRE/51. 99 p.
- et G. FRISQUE. 1977. Reproduction patterns and species dominance ten years after pulpwood harvesting. Pulp Pap. Canada 78 (9) 78-84.
- WESTVELD, M. 1953. Empirical yield tables for spruce-fir cut-over lands in the Northeast. U.S. Dept. Agric., For. Serv., Stn. Pap. 55, 64 p.
- WINER, H.I. 1970. La mécanisation et le milieu forestier. C-R 50e Congr. Annuel Corp. Ing. For. Prov. Qué.: 31-35.
- WOOD, N. 1971. Clearcut: the deforestation of America. Sierra Club, San Francisco. 151 p.
- WRIGHT, T.G. 1963. Some approaches to regeneration from the logging standpoint. For. Chron. 39 (2): 145-148.